

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



**Politecnico
di Torino**

A.A. 2022/2023

TESI MAGISTRALE

**Studio di sistemi di protezione contro la caduta
massi e loro degrado durante la vita utile**

Il caso studio di Varallo Sesia (VC)

Relatori:

Prof.ssa Monica Barbero

Dr. Maria Lia Napoli

Co-relatori esterni:

Geol. Giovanni Cavagnino

Geol. Chiara Minella

Studentessa:

Erica Ugazio - s292388

*A mia nonna, di cui porto il nome
E che oggi ho potuto portare qui solo nel mio cuore*

Sommario

Indice delle figure.....	iii
Indice delle tabelle	viii
Premessa	1
1. Introduzione al caso studio	2
2. Cenni di stabilità dei pendii	8
2.1. Classificazione di Cruden & Varnes in base alla velocità (1996)	9
2.2. Classificazione di Fell in base al volume mobilitato (1994).....	9
2.3. Classificazione di Varnes in base al tipo di materiale e al tipo di movimento	10
2.4. Caduta massi	11
2.5. Ribaltamento.....	12
2.6. Scivolamento.....	14
2.7. Espansione laterale	17
2.8. Flussi o colate	17
2.9. Frane complesse.....	19
3. Elementi di difesa e mitigazione caduta massi	20
3.1. Barriere paramassi a rete	21
3.1.1. La struttura di intercettazione	22
3.1.2. La struttura di sostegno	22
3.1.3. La struttura di connessione.....	23
3.1.4. La struttura di fondazione	26
3.1.5. Parametri di progetto.....	28
3.2. Reti in aderenza armate e non	36
3.2.1. La rete di contenimento	39
3.2.2. Le funi.....	41
3.2.3. Gli ancoraggi.....	42
3.2.4. Parametri di progetto.....	44
3.3. Opere di ingegneria naturalistica	56
3.3.1. Effetti della presenza di specie vegetali seminate, messe a dimora o spontanee.....	57
4. Danneggiamento delle opere di difesa contro la caduta massi	62
4.1. Effetti dei massi sulle opere	64
4.2. Effetti del sottodimensionamento, installazione e manutenzione non idonee	75

4.3.	Effetti dell'interazione delle opere con l'ambiente circostante	80
5.	Descrizione delle opere esistenti	87
5.1.	Analisi storica delle opere esistenti sulla rupe del Sacro Monte	88
5.2.	Stato di manutenzione ordinaria e straordinaria	93
5.3.	Il problema dell'estensione areale di alcune opere di difesa	101
5.4.	Presenza di vegetazione	103
6.	Procedura speditiva per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a rete e delle reti in aderenza armate e non	105
6.1.	Metodo Marchelli et al. 2020 per le barriere paramassi	106
6.2.	Metodo Marchelli et al. 2019 per le reti in aderenza	114
6.3.	Metodo automatizzato per l'applicazione degli approcci Marchelli et al.	122
7.	Valutazione dello stato di salute delle opere censite	125
7.1.	Osservazioni sui risultati ottenuti	137
8.	Progetto di recupero e manutenzione	138
8.1.	Descrizione degli interventi	139
8.2.	Sistemi di allertamento	144
9.	Conclusioni	146
	Ringraziamenti	149
	Riferimenti bibliografici e sitografici	150
	Allegati	155
	Barriera paramassi n°1a	155
	Barriera paramassi n°1b	165
	Barriera paramassi n°2	174
	Barriera paramassi n°3	183
	Barriera paramassi n°4	193
	Barriera paramassi n° 5	203
	Barriera paramassi n°6	213
	Barriera paramassi n°7	223
	Barriera paramassi n°8	233
	Rete in aderenza non armata	243
	Rete in aderenza armata	247

Indice delle figure

Figura 1: Estratto della Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico relativo all'area di installazione delle reti armate. [7]	2
Figura 2: Estratto della Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico relativo all'area di installazione delle barriere paramassi. [7]	3
Figura 3: Estratto SIFraP. [7].....	3
Figura 4: Estratto carta delle pendenze su base BDTRE annuale 2022 Regione Piemonte. [7]	5
Figura 5: Posizione delle barriere paramassi (in nero e rosso). [51]	5
Figura 6: Posizione delle reti in aderenza (area in prossimità della scritta Varaletto). [51]	6
Figura 7: Posizione del rilevato paramassi (in arancione). [51]	6
Figura 8: Posizionamento opere di difesa oggetto di studio da QGis. [44].....	7
Figura 9: Classificazione di Cruden & Varnes in base alla velocità. [8]	9
Figura 10: Esempio di caduta massi. [8].....	11
Figura 11: Evento di caduta massi. [9]	12
Figura 12: Esempio di ribaltamento di un singolo blocco. [8].....	12
Figura 13: Ribaltamento di una serie di blocchi. [8]	13
Figura 14: Esempio di ribaltamento. [10]	13
Figura 15: Scivolamento traslazionale. [10]	14
Figura 16: Scivolamento a cuneo.	14
Figura 17: Esempio di scivolamento traslazionale. [8].....	15
Figura 18: Scivolamento rotazionale. [11]	15
Figura 19: Esempio di scivolamento rotazionale. [8]	16
Figura 20: Scivolamento composto. [8]	16
Figura 21: Espansione laterale. [8].....	17
Figura 22: Esempio di colata. [8]	18
Figura 23: Classificazione delle colate (Hungar et al, 2001).....	19
Figura 24: Profilo di una barriera paramassi tipo.....	21
Figura 25: Dettaglio di pannello di rete metallica ad anelli. [12]	22
Figura 26: Particolare di struttura di sostegno. [5]	23
Figura 27: Particolare di struttura di connessione. [13]	23
Figura 28: Particolare di dissipatore. [14]	24
Figura 29: Particolare di dissipatore [15]	24

Figura 30: Particolare di dissipatore [69].	25
Figura 31: Esempio di plinto di fondazione.[16]	26
Figura 32: Sezione di chiodo [17].	26
Figura 33: Esempio di plinto e micropali [18].	27
Figura 34: Componenti di una barriera paramassi.....	27
Figura 35: Grafico dell'energia cinetica. [25]	28
Figura 36: Fasi del moto [81] e traiettoria tipo. [25].....	29
Figura 37: Velocità in direzione parallela e perpendicolare al pendio nel piano d'impatto. [25].....	30
Figura 38: Altezza residua e massima elongazione di una rete paramassi tipo.....	32
Figura 39: Reti a cortina e reti armate.[19].....	36
Figura 40Esempi di diverse installazioni di reti non armate [19].....	37
Figura 41: Componenti.....	38
Figura 42: Esempio di rete a singola torsione a maglia romboidale [28].....	39
Figura 43: Dettaglio rete a doppia torsione [26].....	40
Figura 44: Esempio di rete a doppia torsione a maglia esagonale [27]	40
Figura 45: Pannelli in funi d'acciaio (a sinistra) [29] e pannelli ad anelli (a destra) [30].....	41
Figura 46: Dettaglio di collegamento tra funi e redancia del sistema d'ancoraggio [31]	41
Figura 47: Sezione di una chiodatura d'ancoraggio tipo [22]	42
Figura 48: Coefficienti parziali per azioni. [46].....	45
Figura 49: Coefficienti parziali per parametri geotecnici del terreno. [46]	45
Figura 50: Schema delle forze agenti e della geometria. [19].....	47
Figura 51: Esempio di abaco ottenuto da simulazione agli elementi distinti. [45]	50
Figura 52: Schema geometrico di sezione di fonte in roccia tipo. [45].....	50
Figura 53: Schema geometrico per la progettazione. [45].....	51
Figura 54: Andamento curva forza-spostamento. [45]	52
Figura 55: Schemi progettuali in base alla posizione del blocco rispetto alla parete. [45].....	52
Figura 56: Schema 2. [45].....	53
Figura 57: Schema 1. [45].....	54
Figura 58: Apparato radicale su pendio instabilizzato. [47]	57
Figura 59: Effetto contrafforte.....	58
Figura 60: Grafico delle forze stabilizzanti e instabilizzanti al variare dell'inclinazione del pendio [37]	58

Figura 61: Variazione delle forze dovute al peso della vegetazione e del terreno all'aumentare della profondità e dell'inclinazione del pendio [37]	59
Figura 62: Esempio di fenomeno franoso con detrito misto a vegetazione ad alto fusto [41]	61
Figura 63: Schema planimetrico del caso di Villa Santina. [54].....	64
Figura 64: Evidente deformazione plastica di origine flessionale. [54]	65
Figura 65: Flesso-torsione plastica di un montante IPE200.[54]	66
Figura 66: Deformazione localizzata della sezione del montante e rotazione in corrispondenza della cerniera di base. [55].....	66
Figura 67: Distribuzione delle tensioni sulla superficie esterna della chiodatura. [57]	67
Figura 68: Anelli ovalizzati. [24]	68
Figura 69: Esempio di rete lacerata in seguito ad impatto di collaudo. [60]	68
Figura 70: Ingranamento di un masso. [24]	69
Figura 71: Spanciamento di detrito in rete in aderenza armata. [19]	70
Figura 72: Schema della simulazione a grandezza reale.[62].....	71
Figura 73: Esempio di simulazione.[62]	71
Figura 74: Stato deformativo in prossimità del sistema di ancoraggio. [62]	72
Figura 75: Lacerazione di rete a singola torsione in prossimità di sistema di ancoraggio.[19]	72
Figura 76: Caso di scivolamento del sistema di prova al di sotto delle funi ad X. [62]	73
Figura 77: Deformazione plastica. [62]	73
Figura 78: a) fune integra, b) fune danneggiata da eccesso di carico, c) fune sottoposta ad usura, d) fune sottoposta a fatica, e) fune corrosa, f) fune piegata, g) fune tranciata.[63]	74
Figura 79: Barriera distrutta da evento di caduta massi.[24]	75
Figura 80: Perforazione dovuta a blocco con livello di energia troppo elevato. [65]	75
Figura 81: Interferenza tra plinto e fune. [61]	76
Figura 82: Incongruenza tra installazione e manuale di montaggio. [61].....	76
Figura 83: Esempio di vuoto al piede della barriera. [61]	77
Figura 84: Interasse errato dei morsetti. [61]	77
Figura 85: Esempio di varco al piede ripristinato in modo difforme. [61]	78
Figura 86: Barriera piena di detrito con riduzione dell'altezza di intercettazione. [65]	79
Figura 87: Reti in aderenza completamente sormontate dalla vegetazione.	80
Figura 88: Tronco a ridosso della rete di una barriera. [66].....	81
Figura 89: Diminuzione dell'altezza della barriera dovuta al ribaltamento di tronchi a monte. [65]81	
Figura 90: Stato vegetativo e freni dissipatori. [69].....	81

Figura 91: Vegetazione ad alto fusto totalmente solidale al sistema di difesa.....	82
Figura 92: Divisione degli ambienti in categorie di corrosione. [67].....	83
Figura 93: Esempio di circuito elettrochimico. [68]	84
Figura 94: Dado di ancoraggio corrosivo. [65]	85
Figura 95: Dettaglio di morsetti corrosi.	86
Figura 96: Estratto planimetria, maggio 1987. [50]	88
Figura 97: Sezione tipo barriera. [50].....	89
Figura 98: Pendio in seguito alla frana del 1994. [50].....	89
Figura 99: Mappa delle attività svolte sul versante in frana. [50]	91
Figura 100: Posizionamento delle opere di difesa sul territorio.	92
Figura 101: Lista di controllo minima per ispezioni e monitoraggi [35]	94
Figura 102: Lista di controllo minima per manutenzioni e riparazioni [35]	96
Figura 103: Esempio di apertura di fessure in prossimità del montante per assenza di giunzioni opportune.[51]	100
Figura 104: Massi che hanno oltrepassato le barriere e si sono depositati sulla mulattiera.[51] ..	100
Figura 105: Esempio di primo approccio di campionamento delle aree di reti in aderenza armate (in rosso) e non armate (in nero).	102
Figura 106: Interfaccia del modello Excel per la procedura speditiva per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a rete.	123
Figura 107: Esempio di output del foglio Excel per barriera paramassi.	124
Figura 108: Posizione barriera paramassi 1a. [44]	125
Figura 109: Posizionamento barriera paramassi 1b.....	126
Figura 110: Posizionamento barriera paramassi 2. [44]	127
Figura 111: Posizionamento barriera paramassi 3. [44]	127
Figura 112: Posizionamento barriera paramassi 4. [44]	128
Figura 113: Posizionamento barriera paramassi 5. [44]	129
Figura 114: Posizionamento barriera paramassi 6. [44]	129
Figura 115: Posizionamento barriera paramassi 7. [44]	130
Figura 116: Posizionamento barriera paramassi 8. [44]	131
Figura 117: Schematizzazione del pendio su Rocfall con massi di 1 m ³ . [72]	133
Figura 118: Schematizzazione del pendio su Rocfall con massi di 2 m ³ . [72]	133
Figura 119: Schematizzazione del pendio su Rocfall con massi di 5 m ³ . [72]	133
Figura 120: Grafico dell'energia cinetica di massi di 1 m ³ sulla barriera. [72]	134

Figura 121: Grafico dell'energia cinetica di massi di 2 m ³ sulla barriera. [72]	134
Figura 122: Grafico dell'energia cinetica di massi di 5 m ³ sulla barriera. [72]	134
Figura 123: Posizionamento rete in aderenza semplice. [44]	136
Figura 124: Posizionamento rete in aderenza armata. [44]	137
Figura 125: Mappa delle attività previste da progetto di ripristino e manutenzione. [72]	140
Figura 126: Rimozione totale della vegetazione nell'area adiacente le reti in aderenza. [72]	141
Figura 127: Rimozione e accatastamento di vegetazione ad alto fusto in corrispondenza di muretti a secco. [72]	141
Figura 128: Installazione di nuove reti in aderenza armate. [72]	142
Figura 129: Rimozione vegetazione in prossimità delle barriere e svuotamento dal detrito.....	142
Figura 130: Aggiunta di morsetti, prima assenti, tra pannelli di rete della barriera n°7.	143
Figura 131: Accatastamento del detrito rimosso dalle barriere ricoperto da reti in aderenza armate.	143
Figura 132: Barriere paramassi e sistemi di allertamento. [73]	144
Figura 133: Reti in aderenza e sistemi di allertamento. [73]	145
Figura 134: Esempio di andamento danneggiamento-costi dovuti alla corrosione nelle strutture [76]	147

Indice delle tabelle

Tabella 1: Classificazione di Fell in base al volume mobilitato.[8]	9
Tabella 2: Classificazione di Varnes in base al tipo di materiale e al tipo di movimento (1978).[8].	10
Tabella 3: Classificazioni barriere paramassi in base ai livelli SEL e MEL in kJ.	33
Tabella 4: Reti a doppia torsione in commercio [26]	39
Tabella 5: Capacità di assorbimento di alcune tipologie di piante.[48]	57
Tabella 6: Confronto tra differenti specie e capacità di consolidamento. [47]	60
Tabella 7: Confronto tra differenti specie e forza di trazione da applicare per estirparle. [47]	60
Tabella 8: Tabulato per ispezioni di tipo A per barriere paramassi. [70]	97
Tabella 9: Tabulato per ispezioni di tipo A per reti in aderenza. [70]	98
Tabella 10: Valori di I.P.P.S. e P.P.S. [70]	98
Tabella 11: Componenti di cui si valuta il danneggiamento per le barriere paramassi.	106
Tabella 12: Danneggiamenti e classi d'importanza per barriere paramassi	106
Tabella 13: Matrice di associazione dei punteggi P_i per la definizione dello stato di conservazione dell'opera in funzione del livello di danno e della classe di importanza di ciascun potenziale danno.	111
Tabella 14: Matrice di associazione del livello di conservazione A in funzione del livello di danno e della classe d'importanza di ciascun potenziale danno.	111
Tabella 15: Estensione del danno in base al valore percentuale di PTOT.....	112
Tabella 16: Componenti di cui si valuta il danneggiamento per le reti in aderenza	114
Tabella 17: Danneggiamenti e classi d'importanza per reti in aderenza non armate.	114
Tabella 18: Danneggiamenti e classi d'importanza per reti in aderenza armate.....	117
Tabella 19: Matrice di associazione dei punteggi P_i per la definizione dello stato di conservazione dell'opera in funzione del livello di danno e della classe di importanza di ciascun potenziale danno.	119
Tabella 20: Matrice di associazione del livello di conservazione A in funzione del livello di danno e della classe d'importanza di ciascun potenziale danno.	119
Tabella 21: Estensione del danno in base al valore percentuale di P_{TOT}	120
Tabella 22: Indici relativi alla barriera paramassi n°1a	125
Tabella 23: Indici relativi alla barriera paramassi n°1b.	126
Tabella 24: Indici relativi alla barriera paramassi n°2.	127
Tabella 25: Indici relativi alla barriera paramassi n°3	128
Tabella 26: Indici relativi alla barriera paramassi n°4	128
Tabella 27: Indici relativi alla barriera paramassi n°5	129

Tabella 28: Indici relativi alla barriera paramassi n°6	130
Tabella 29: Indici relativi alla barriera paramassi n°7	130
Tabella 30: Coordinate del pendio.	131
Tabella 31: Proprietà della roccia affiorante.....	132
Tabella 32: Proprietà del detrito abbondante vegetato.	132
Tabella 33: Energia cinetica al 95-esimo percentile per i tre volumi.	135
Tabella 34: Indici relativi alla barriera paramassi n°8	135
Tabella 35: Indici relativi alla rete alta non armata.	136
Tabella 36: Indici relativi alla rete centrale armata.	137
Tabella 37: Metodo Marchelli 2020 su barriera 1a.....	155
Tabella 38: Metodo Marchelli 2020 su barriera 1b.....	165
Tabella 39: Metodo Marchelli 2020 su barriera 2.....	174
Tabella 40: Metodo Marchelli 2020 su barriera 3.....	183
Tabella 41: Metodo Marchelli 2020 su barriera 4.....	193
Tabella 42: Metodo Marchelli 2020 su barriera 5.....	203
Tabella 43: Metodo Marchelli 2020 su barriera 6.....	213
Tabella 44: Metodo Marchelli 2020 su barriera 7.....	223
Tabella 45: Metodo Marchelli 2020 su barriera 8.....	233
Tabella 46: Metodo Marchelli 2019 su rete alta non armata.	243
Tabella 47: Metodo Marchelli 2019 su rete armata.	247

Premessa

Il presente elaborato riporta l'attività di tesi svolta presso la società Tecnoesia s.r.l.

L'attività ha riguardato il censimento e la valutazione dello stato di conservazione di specifici sistemi di difesa contro la caduta massi, al fine di individuare una procedura di prioritizzazione degli interventi di manutenzione di tali opere. In particolare, sono state analizzate barriere paramassi e reti in aderenza, sia di tipo semplice che rinforzato.

Durante l'analisi, si è fatto riferimento agli approcci proposti in letteratura (Marchelli, 2019; Marchelli, 2020) illustrati nel Cap. 6. Al fine di agevolare la definizione dello stato di salute delle opere di difesa a partire da dati di rilievo in sito, tali approcci sono stati implementati in un apposito foglio Excel.

A scopo introduttivo, verranno presentati capitoli descrittivi sulla stabilità dei pendii e sulle opere di difesa contro la caduta massi, con particolare attenzione alla descrizione delle loro componenti e al dimensionamento delle stesse. Un capitolo specifico sarà dedicato alle modalità di danneggiamento delle barriere paramassi e delle reti in aderenza, al fine di fornire una solida base per lo sviluppo dell'analisi, in linea con l'obiettivo della tesi.

Per una migliore comprensione del contesto, verrà proposto l'inquadramento storico, geologico, geomorfologico e della pericolosità dell'area di installazione delle opere. Si descriveranno anche tutte le attività di consolidamento (di cui si è a conoscenza) che sono state effettuate negli ultimi decenni.

Una parte delle attività svolte è stata di tipo pratico, infatti durante la collaborazione con lo studio Tecnoesia, si sono eseguiti una serie di sopralluoghi che hanno consentito di censire le opere e di mettere in luce diverse problematiche del versante. Tali problemi sono principalmente ricondursi alle attività di manutenzione e alla presenza di vegetazione.

Si è cercato, dunque, di dimostrare l'importanza della realizzazione della manutenzione delle opere per la protezione della funzionalità del sistema di difesa. Lo stesso ragionamento viene applicato, di pari passo, alle attività di ispezione e monitoraggio, poichè se eseguite con la giusta frequenza, sono di ausilio alla scelta della manutenzione da effettuare. Durante i sopralluoghi si è sollevato, inoltre, un dubbio in merito all'ambivalenza del ruolo della vegetazione, poichè in alcuni casi è risultata essere in favore, in altri a sfavore della stabilità dei pendii.

Ogni considerazione nata durante le ricerche in loco sarà riportata nel lavoro di tesi, in quanto si è rivelata utile per l'analisi dello stato di conservazione delle opere e per la redazione del progetto di ripristino presente alla fine dell'elaborato.

Attraverso tale premessa si intende, quindi, fornire una panoramica delle attività svolte come contributo allo sviluppo della gestione efficiente delle opere di difesa contro la caduta massi.

1. Introduzione al caso studio

Gli elementi di cui è stata valutata la conservazione si trovano nel comune di Varallo (VC) e si possono dividere in due categorie:

- Barriere paramassi installate presumibilmente nell' intervallo tra il 1990 e il 1994;
- Reti in aderenza armate e non in alcuni casi con presenza di anti-erosivo installate a partire dal 1995.

Dalla "Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico" la zona oggetto di studi è inserita tra le "Aree con condizioni fisiche molto sfavorevoli legate a precarie condizioni di stabilità dei versanti, all'azione diretta dei corsi d'acqua e delle valanghe".

In generale si è osservato che i fenomeni di instabilità riscontrati sono:

- Frana per crollo in stato attivo, senominata con codice FA1 (fig.1);
- Frana per colamento veloce in stato quiescente con codice FQ6 (fig.2);

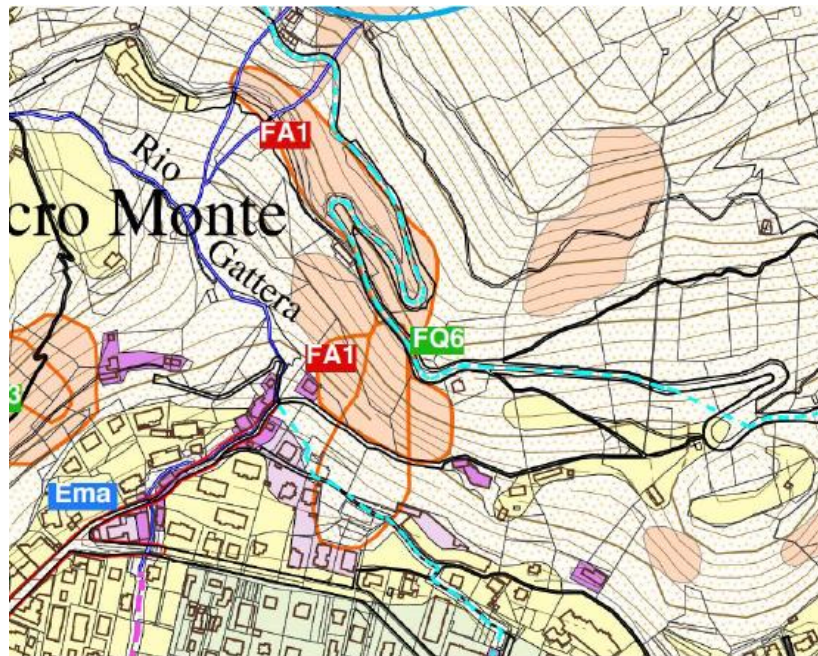


Figura 1: Estratto della Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico relativo all'area di installazione delle reti armate. [7]

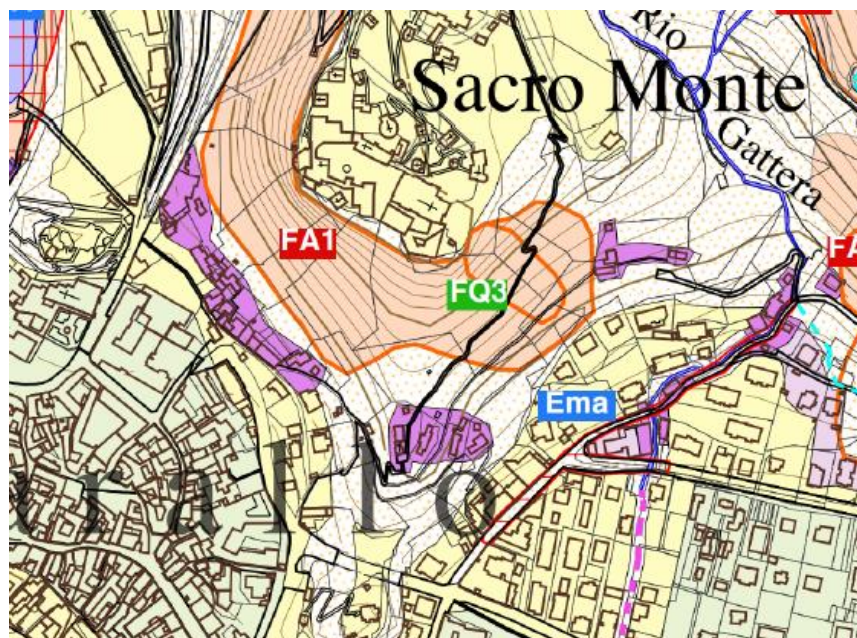


Figura 2: Estratto della Carta della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico relativo all'area di installazione delle barriere paramassi. [7]

Si riporta di seguito (fig.3) un estratto da “Sistema Informativo Frane in Piemonte” dove sono riportati diversi tipi di movimenti franosi:

- IDFRANA 20031700 – aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi (1987);
- IDFRANA 20031600 – aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi (1970);
- IDFRANA 20032100 – aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi (1988);
- IDFRANA 20032000 – crollo/ribaltamento (1988);
- IDFRANA 20032600 – colamento rapido (1994).



Figura 3: Estratto SIFraP. [7]

Come si evince dalla fig.3, la zona è stata interessata da un esteso evento di mud flow il 6 novembre 1994.

Durante la notte, 14 persone morirono in seguito a una frana di acqua, fango e piante che investì le loro abitazioni distruggendole in modo così rapido da non consentire loro nemmeno di potersene accorgere. Scappare non è nemmeno stata una possibilità.

“Un forte boato e un intenso odore di zolfo si levarono in tutta la zona”, questo è quanto riportato dalla cronaca dei giornali dell’epoca.

Si trattava di almeno 2500 m³ di suolo mobilitato dalle piogge intense dell’ autunno valsesiano che, dopo essersi concentrate lungo la sede viabile della strada Comunale per il S. Monte, si sono riversate sul versante asportando terreno agricolo, muretti a secco e vegetazione. Il suolo distaccatosi ha poi proseguito il suo corso lungo scarpate rocciose, inclinate di 60° sormontando una conoide e poi impattando contro gli edifici.

In termini di inquadramento geologico, l’area oggetto di studi si trova all’interno della Zona Ivrea-Verbanò, con rocce appartenenti al complesso kinzigitico e rocce appartenenti al complesso mafico. [7]

Alla scala locale sono presenti le seguenti litologie:

- Rocce appartenenti al complesso kinzigitico, prevalentemente si tratta di kinzigiti: paragneiss a grana viscosa, derivati da sedimenti argillosi di età pre-ordoviciani, con metamorfismo varisco di grado medio alto, costituiti da biotite, quarzo, sillimanite, cordierite e granato, plagioclasio +/- muscovite +/- K - Feldspato. Queste rocce hanno subito evidenti processi di fusione parziale (anatessi), con produzione di un liquido di composizione granitica; il fuso non è stato allontanato in questo caso dal luogo della sua formazione ed è consolidato in situ, costituendo le sacche ed i filoni chiari diffusi all’interno dei paragneiss che assumono così l’aspetto di migmatiti. Il processo anatettico si è svolto durante una fase tettonica che ha prodotto deformazioni disarmoniche; esse sono il risultato della presenza, nelle migmatiti, di una parte solida, più refrattaria e rigida, e di una frazione liquida ad alta mobilità.
- Rocce appartenenti al complesso mafico sono costituite da dioriti: composte da plagioclasio e prevalente biotite a grana media. Il litotipo comprende inoltre, quarzo-diorite, e monzogabbri. Anfiboli, ortopirosseni e clinopirosseni sono in quantità subordinata alla biotite. Sono localmente presenti anche quarzo e feldspato potassico. Il granato si trova in abbondanza al contatto con la formazione kinzigitica.
- Deposito misto costituito da deposito subglaciale profondamente alterato e rimaneggiato e deposito eluvico-colluviale composto da suolo limoso sabbioso organico, con detriti all’interno, nel quale si è impostata la vegetazione;
- Deposito detritico di falda eterogeneo con pezzatura prevalentemente intorno a qualche dm³ a volte anche di grandezza superiore a 1 m³, questo tipo di deposito lo si può trovare anche localizzato in prossimità degli sbancamenti effettuati con la costruzione della carrozzabile del Sacro Monte.

In termini di inquadramento geomorfologico, il versante ha uno sviluppo altimetrico di circa 450 m, suddivisibile in tre fasce a diversa acclività: nella parte sommitale (tra 950 e 800 m s.l.m.) è elevata,

si riduce nella fascia intermedia (tra 800 e 650 m s.l.m.) in presenza di terreno pianeggiante, mentre è di nuovo acclive nella fascia al di sotto dei 650 m s.l.m. (che risulta essere la zona oggetto di studi) in prossimità di fronti di roccia affiorante. (fig.4)

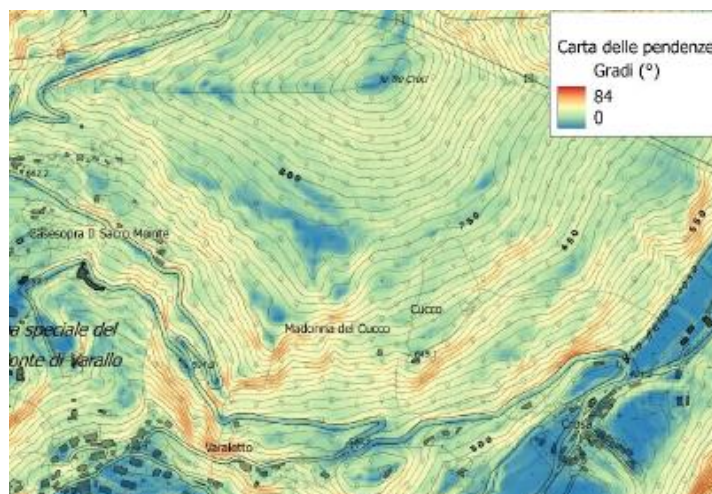


Figura 4: Estratto carta delle pendenze su base BDTRE annuale 2022 Regione Piemonte. [7]

Gli elementi di difesa sono stati installati al fine di ridurre il rischio a cui sono esposte le abitazioni sottostanti la rupe del Sacro Monte a fenomeni di caduta massi.

Ad oggi sono presenti:

- 9 barriere paramassi sul lato sud-est della rupe del Sacro Monte, 6 delle quali installate in protezione della mulattiera che da via Nazario Sauro porta al Sacro Monte (fig.5);
- 1700 m² di rete in aderenza che si estende dalla salita pedonale Sacro Monte fino a via Nazario Sauro (fig.6);
- 6000 m² di rete in aderenza armata che si estende dalla salita pedonale Sacro Monte fino a via Nazario Sauro (fig.6).
- 1 rilevato paramassi in terra rinforzata sul lato ovest della rupe del Sacro Monte (fig.7).

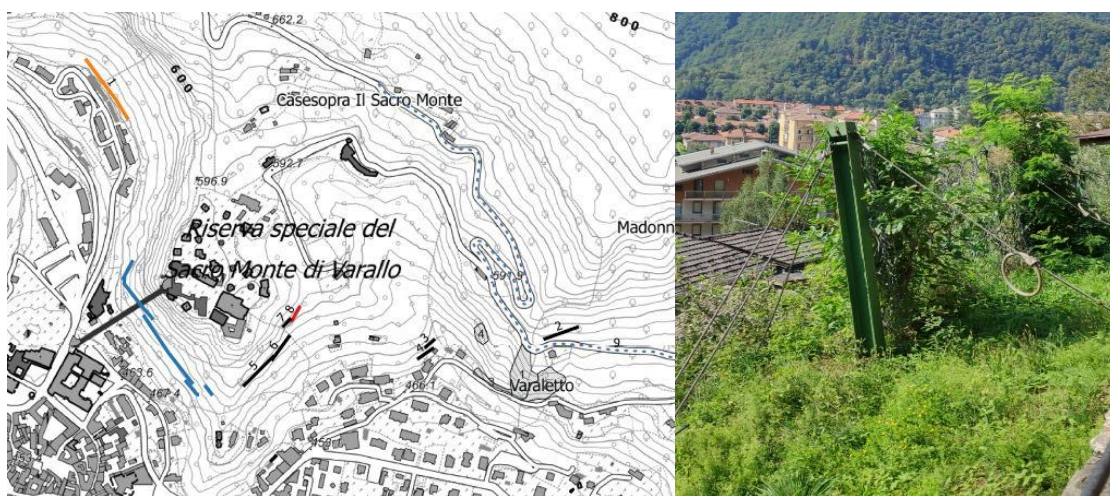


Figura 5: Posizione delle barriere paramassi (in nero e rosso). [51]

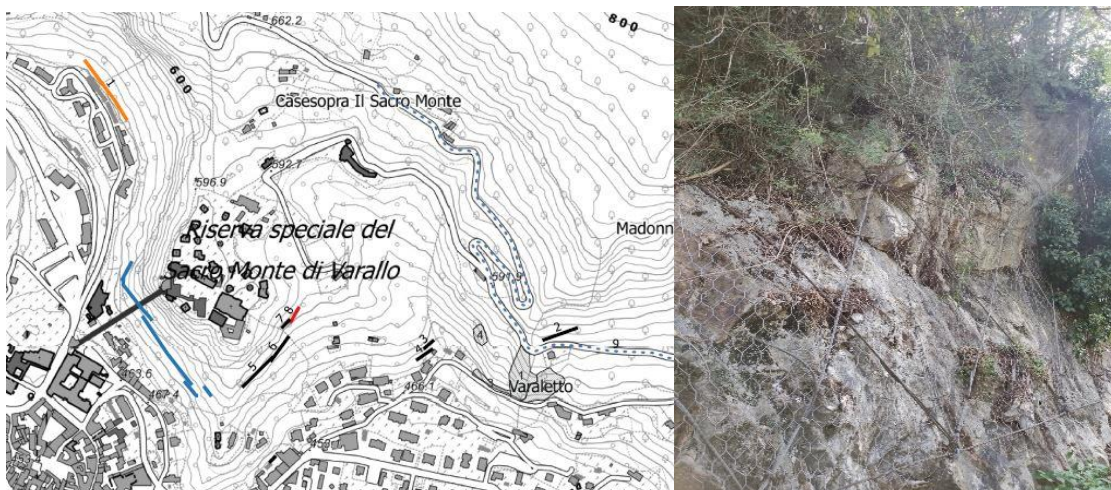


Figura 6: Posizione delle reti in aderenza (area in prossimità della scritta Varaletto). [51]

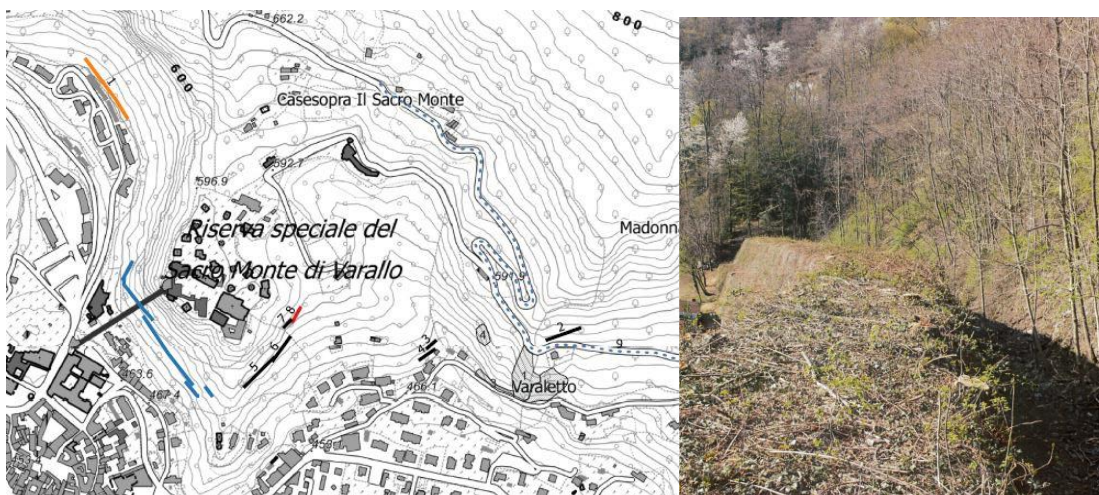


Figura 7: Posizione del rilevato paramassi (in arancione). [51]



Figura 8: Posizionamento opere di difesa oggetto di studio da QGis. [44]

I punti GPS ottenuti durante i rilievi hanno consentito il posizionamento delle opere di difesa (fig.8).

Si sono riportati i punti GPS rilevati durante i rilievi che corrispondevano rispettivamente:

- al primo e all'ultimo montante dello stesso filare per le barriere paramassi;
- a alcuni punti perimetrali visibili e raggiungibili durante la campagna per le reti in aderenza.

Il collegamento dei rispettivi punti ha consentito una riproduzione realistica di quanto rilevato in campagna, ottenendo pertanto la distribuzione delle barriere paramassi (in arancione) e della copertura delle reti in aderenza armate e non (in rosso e nero rispettivamente).

I punti ottenuti in campagna sono stati sovrapposti a un layer contenente la Base Cartografica di Riferimento Annuale 2022 reperibile sul Geoportale della Regione Piemonte.

2. Cenni di stabilità dei pendii

I pendii sono superfici che presentano una certa inclinazione rispetto alla direzione orizzontale, possono essere costituiti da suolo oppure da roccia o da entrambi e si definiscono instabili quando una parte più o meno grande degli stessi è soggetta a movimento. Erroneamente si parla di frana riferendosi non all'evento in sé, bensì al corpo di frana, il materiale distaccatosi dalla nicchia di distacco e fermatosi in zone morfologicamente e topograficamente atte alla deposizione. Durante il tragitto dalla nicchia alla zona di deposizione, il materiale può cambiare la sua forma, sradicare la vegetazione esistente sul versante, erodere parti di pendio aumentando il volume finale del corpo della frana o evolvere in tutt'altra tipologia di cinematismo.

Il movimento può avere origine da diversi fattori suddivisi in predisponenti o innescanti: nello specifico, i primi sono predisposizioni intrinseche della geometria/materiale che determinano il tipo di cinematismo, per esempio le proprietà del materiale e l'orientazione dei giunti nelle rocce, ma senza azione esterna non determinano movimento, per cui predispongono il pendio a un determinato tipo di frana. Le cause innescanti, invece, sono esterne: azioni di qualsiasi natura, che sfruttano la predisposizione dell'evento all'instabilizzazione e fanno in modo che avvenga, si veda per esempio l'effetto dell'acqua in pressione nei giunti, del sisma, dell'erosione del vento, delle radici della vegetazione etc..

L'instabilizzazione può essere innescata dal peso proprio del cuneo di materiale mobilitato o dall'azione di forze esterne. Non è per nulla semplice prevedere il cinematismo di un pendio, le variabili sono molteplici, così come le modalità in cui un singolo evento può evolversi.

I pendii possono essersi creati naturalmente o artificialmente, i rilevati o le dighe in terra ne costituiscono gli esempi più comuni.

I pendii naturali, tra i quali ricordiamo pareti montuose e collinari o affioramenti in roccia, sono caratterizzati da morfologia e superfici complesse, non sono solitamente costituiti dallo stesso materiale in tutto il loro sviluppo e se anche lo fossero, il materiale non avrebbe le stesse caratteristiche fisico-meccaniche al variare dell'esposizione, della profondità, dello stato di tensione geostatica a cui sono soggetti. Al contrario, i pendii di origine artificiale presentano geometria e proprietà fisico-meccaniche dei materiali noti, in quanto sono stati scelti in fase di progetto affinché la struttura abbia determinate capacità di resistenza. I fenomeni di instabilità che avvengono in pendii naturali possono verificarsi anche in quelli artificiali. Si ricorda inoltre che le frane possono essere considerate attive, sospese, riattivate o inattive sulla base del loro stato di moto.

I fenomeni franosi non sono caratterizzati da una sola grandezza o proprietà che li distingue dagli altri, pertanto sono stati proposti svariati metodi di classificazione, si riportano di seguito i più conosciuti e utilizzati.

2.1. Classificazione di Cruden & Varnes in base alla velocità (1996)

Classificando gli eventi sulla base della loro velocità di propagazione (in mm/sec) durante il moto tra la nicchia di distacco e la zona di deposizione, Cruden & Varnes hanno diviso gli eventi in 7 classi di velocità. (fig.9)

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)
7	Extremely rapid	5×10^3
6	Very rapid	5×10^1
5	Rapid	5×10^{-1}
4	Moderate	5×10^{-3}
3	Slow	5×10^{-5}
2	Very slow	5×10^{-7}
	Extremely slow	

Figura 9: Classificazione di Cruden & Varnes in base alla velocità. [8]

2.2. Classificazione di Fell in base al volume mobilitato (1994)

Classificando gli eventi sulla base del volume mobilitato (in m³) durante il moto, Fell ha diviso gli eventi in 7 classi. (tab.1)

Tabella 1: Classificazione di Fell in base al volume mobilitato.[8]

Descrizione	Volume [m ³]
Estremamente vasto	$> 5 \cdot 10^6$
Vasto	$1 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$
Da medio a vasto	$2.5 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$
Medio	$5 \cdot 10^4 - 2.5 \cdot 10^5$
Ridotto	$5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4$
Molto ridotto	$5 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^3$
Estremamente ridotto	$< 5 \cdot 10^2$

2.3. Classificazione di Varnes in base al tipo di materiale e al tipo di movimento

Ad oggi, il metodo di classificazione considerato il più completo e anche più utilizzato è quello proposto da Varnes nel 1978. Si basa sulla distinzione dei fenomeni di instabilità in base al tipo di materiale coinvolto e al tipo di cinematismo. (tab.2)

Tabella 2: Classificazione di Varnes in base al tipo di materiale e al tipo di movimento (1978).[8]

Tipo di movimento	Tipo di materiale		
	Roccia	Detrito	Terreno
Caduta	Crollo in roccia	Crollo di detrito	Crollo di terra
Ribaltamento	Ribaltamento in roccia	Ribaltamento di detrito	Ribaltamento di terra
Scivolamento	Scorrimento di roccia	Scorrimento di detrito	Scorrimento di terra
Espansione laterale	Espandimento in roccia	Espandimento di detrito	Espandimento di terra
Colata	Colata in roccia	Colata di detrito	Colata di terra
Complessa	Combinazione di due o più delle principali tipologie di movimento		

I materiali coinvolti sono tre:

- roccia;
- detrito caratterizzato da percentuali comprese tra 20-80 % di materiale con diametro maggiore di 2 mm;
- terreno caratterizzato da una percentuale di materiale fino (minore di 2 mm) maggiore del 80%.

Le tipologie di cinematismo invece sono:

- caduta massi;
- ribaltamento;
- scivolamento traslazionale o rotazionale;
- espansione laterale;
- flusso/colata;
- frane complesse;

2.4. Caduta massi

La caduta massi (fig.10) è un fenomeno di instabilità che interessa prevalentemente i materiali rocciosi e consiste nel distacco e nella conseguente caduta di un masso o di un blocco da una scarpata o da un pendio molto inclinato rispetto all'orizzontale. [8]



Figura 10: Esempio di caduta massi. [8]

Il blocco cade liberamente, durante il moto può rimbalzare, rotolare o traslare in base alle proprietà geometriche del masso, ma anche in base all'attrito che il masso sviluppa nel suo moto con la superficie del pendio. Durante il moto, il fenomeno può inoltre variare diventando una frana complessa. Sono eventi estremamente rapidi nonostante nella maggior parte dei casi si tratti di eventi isolati di volumi di roccia minori di 1000 m³.

Per quanto possa considerarsi facile il rilevamento della nicchia di distacco, non è altrettanto semplice predire il tipo di traiettoria che il masso avrà durante la caduta, in quanto il moto stesso dipende da molti fattori come: la velocità iniziale, la forma, la grandezza e il tipo di materiale costituente il blocco, la geometria del pendio e le rispettive caratteristiche litologiche che governano la dissipazione dell'energia per attrito.

Come già spiegato precedentemente i fenomeni che causano la caduta massi possono essere di natura predisponente o innescante.

Nella prima categoria rientrano:

- pareti di roccia affiorante (verticali o a scalini) in cui sono presenti numerose discontinuità che determinano la formazione dei blocchi;
- la presenza di argilla all'interno dei giunti che può gonfiarsi in volume aumentando la pressione nei giunti;
- fenomeni erosivi o di escavazione al piede della scarpata con la conseguente formazione di uno strapiombo.

Nelle cause innescanti invece è possibile riscontrare:

- aumento della pressione idrostatica all'interno delle discontinuità;
- crioclastismo;

- bioclastismo;
- azione del vento;
- effetti dovuti a stati di tensione transitori (sismi, vibrazioni etc..) anche dovuti a attività antropiche come il traffico veicolare o esplosioni;



Figura 11: Evento di caduta massi. [9]

2.5. Ribaltamento

Il ribaltamento consiste nella rotazione attorno a un punto (o a un asse) di un blocco di forma regolare nella direzione dell'altezza. È facilmente confondibile con il fenomeno della caduta massi, in quanto entrambi gli eventi interessano versanti in roccia, inoltre lo stesso ribaltamento sia durante il moto, sia dopo la deposizione al piede, può comportarsi come fenomeno franoso complesso. Il ribaltamento può interessare un singolo blocco (fig.12) o una serie blocchi (fig.13).

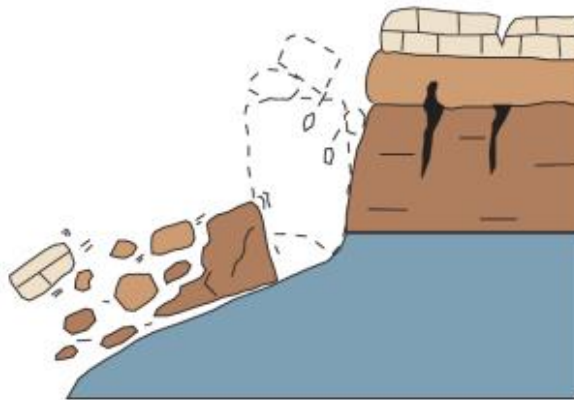


Figura 12: Esempio di ribaltamento di un singolo blocco. [8]

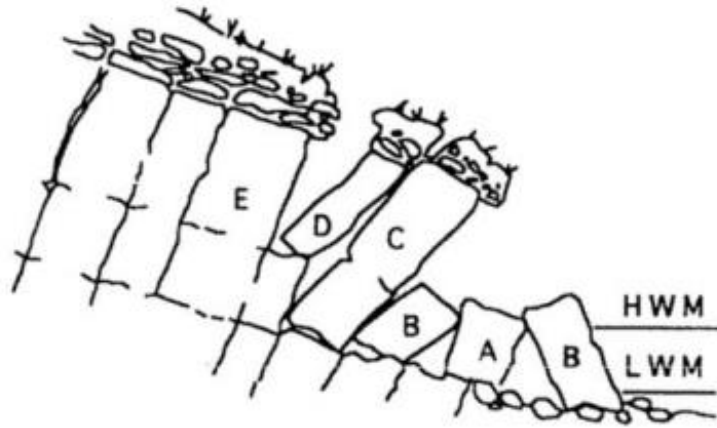


Figura 13: Ribaltamento di una serie di blocchi. [8]

Le cause predisponenti del fenomeno sono:

- orientazione dei giunti nella roccia;
- erosione al piede del pendio;
- peso proprio delle colonne superiori che grava su quelle al piede;
- l'apertura dei giunti.

Tra le cause determinanti è, invece, possibile trovare:

- peso proprio del dirupo stabile al di sopra della zona interessata al ribaltamento;
- presenza di acqua o ghiaccio nei giunti;
- vibrazioni, sottoerosione, degradazione del materiale, escavazione o erosione.



Figura 14: Esempio di ribaltamento. [10]

2.6. Scivolamento

Il fenomeno franoso dello scivolamento si ha quando un volume ben definito di roccia o di terreno inizia a scivolare su una o più superfici. Si possono averne due tipologie distinte in base alla forma della superficie di scivolamento.

Solitamente se il fenomeno avviene in roccia o in materiali non coesivi, la superficie di scivolamento sarà tendenzialmente piana o una combinazione di superfici piane, per tale motivo il fenomeno si dice traslazionale (fig.15) o a cuneo (fig.16). La superficie di scivolamento sarà delimitata dall'eterogeneità nel suolo, ad esempio in presenza di strati di minor rigidezza o con proprietà alterate. Lo scivolamento non avviene simultaneamente in ogni punto della superficie, si tratta infatti di un fenomeno di progressivo raggiungimento delle resistenze limite del materiale. I primi segni di scivolamento si hanno sul coronamento, con la formazione di fratture superficiali. La massa in movimento tende a non rimanere compatta ma a frammentarsi, inoltre tende ad essere un fenomeno particolarmente rapido.

La nomenclatura delle parti del corpo frana è presente in fig.18.

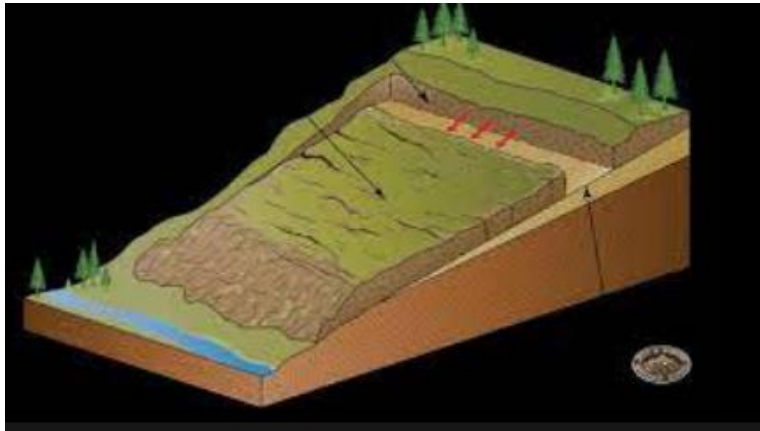


Figura 15: Scivolamento traslazionale.[10]

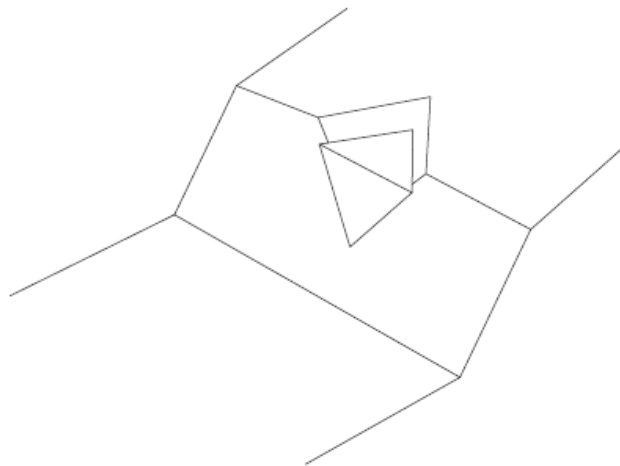


Figura 16: Scivolamento a cuneo.



Figura 17: Esempio di scivolamento traslazionale. [8]

Al contrario, in terreni omogenei (argillosi per esempio), la superficie di scivolamento tende ad essere di forma circolare, o per meglio dire non piana, perciò tale fenomeno assume il nome di scivolamento rotazionale. (fig.19)

É un fenomeno di durata maggiore rispetto allo scivolamento traslazionale.

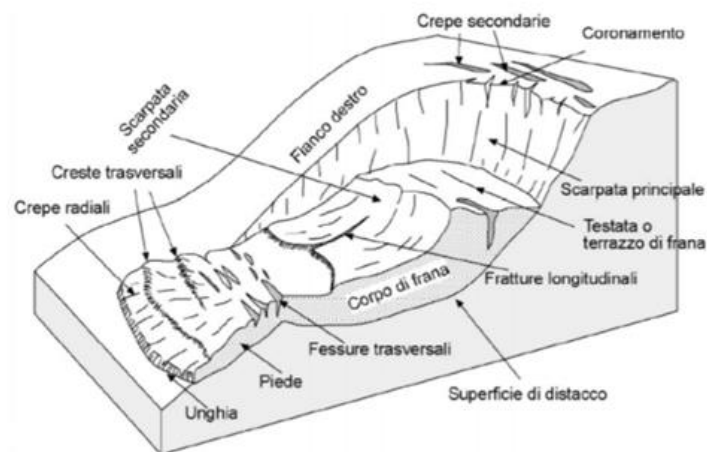


Figura 18: Scivolamento rotazionale.[11]



Figura 19: Esempio di scivolamento rotazionale. [8]

É inoltre possibile che si verifichi uno scivolamento misto tra i due precedentemente presentati, in cui la superficie è a tratti planare e a tratti circolare/curva dovutamente alla stratigrafia del pendio. (fig.20)

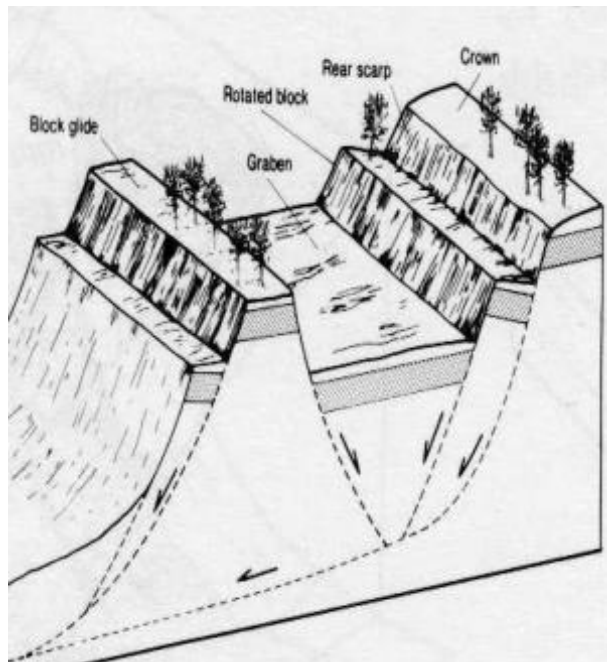


Figura 20: Scivolamento composto. [8]

2.7. Espansione laterale

Il movimento del corpo frana dovuto a un fenomeno di espansione laterale potrebbe essere facilmente confondibile con un evento di scivolamento traslazionale, se solo non fosse che nel caso di espansione laterale non è facilmente definibile né una superficie di scivolamento né una zona di plasticizzazione.

É un evento caratterizzato da un'espansione laterale del materiale dovuto o a liquefazione o a deformazione plastica di uno strato di materiale più profondo, su cui giace uno strato più superficiale solitamente più rigido. (fig.21)

Il meccanismo è il seguente: la plasticizzazione o liquefazione nello strato più soffice e profondo induce nello strato più superficiale e rigido (può essere costituito da roccia fratturata ad esempio) dei movimenti differenziali. Tale fenomeno avviene prevalentemente in zone pianeggianti e la velocità che caratterizza l'evento è lenta.

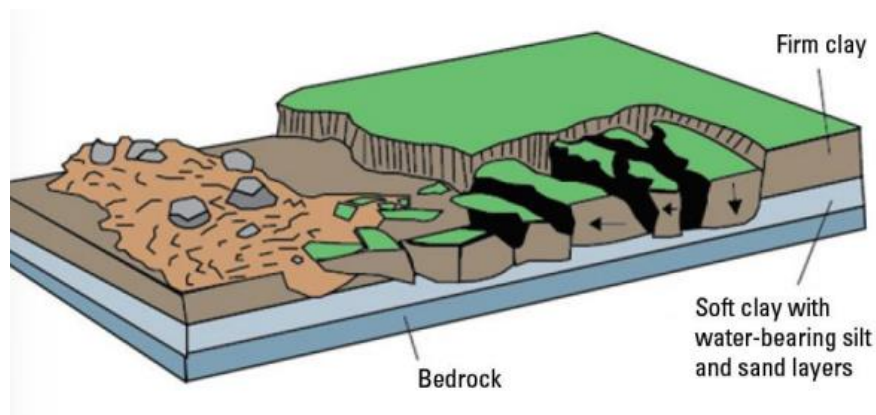


Figura 21: Espansione laterale. [8]

2.8. Flussi o colate

I flussi o colate avvengono sia in ammassi rocciosi che in terreni sciolti e presentano cinematismi simili a quelli di un fluido viscoso, non è immediata la valutazione della superficie di scivolamento in quanto varia continuamente durante il moto della colata. Possono presentare velocità molto diverse tra loro in dipendenza dal materiale coinvolto, dal quantitativo di acqua presente nella colata o dalla pendenza del pendio.

In generale si possono distinguere due tipologie di colate:

- Le colate di fango (mud flows);
- Le colate di debris (debris flows).

La differenza tra i due è sostanzialmente nel materiale coinvolto, nel primo caso l'acqua è prevalente sul terreno omogeneo, mentre nel secondo caso sono presenti inoltre rocce e frammenti delle stesse.

Si muovono in entrambi i casi lungo i pendii sfruttando i canali naturali come quelli creati da acqua di ruscellamento o piccoli torrenti, mentre il fenomeno di deposizione avviene naturalmente appena diminuisce la pendenza del pendio e l'energia propria della colata.

É opportuno porre una distinzione tra le colate di fango e le colate di terra (chiamate più comunemente earthflow), caratterizzate entrambe dalla presenza di materiale fino e saturo di acqua.

Per quanto riguarda gli earthflows, infatti, la massa si muove come un corpo singolo e presenta una distanza percorsa limitata rispetto ai mud flows, per tale motivo sono eventi meno rischiosi, in quanto la velocità e l'area di propagazione sono ridotti e ciò consente l'evacuazione della zona potenzialmente interessata dal dissesto.

Il fenomeno del mud flow è un flusso di detriti che si verifica quando una grande quantità di materiale fangoso e acqua scorre lungo un versante. É estremamente rischioso e distruttivo, si verifica solitamente in seguito a eventi di pioggia intensa dove l'acqua si unisce al suolo, creando una miscela molto fluida in grado di sradicare alberi, rocce o veicoli, se in movimento ad alte velocità.

É un fenomeno fortemente influenzato dalla topografia del terreno, pertanto è molto comune in zone ad elevate pendenza ed è difficilmente prevedibile. (fig.22)



Figura 22: Esempio di colata. [8]

In generale sono reperibili molte classificazioni delle colate in base al tipo di materiale coinvolto, al contenuto d'acqua, alla velocità e alle condizioni specifiche. Si riporta di seguito la classificazione proposta da Hung et al. nel 2001. (fig. 23)

Material	Water content ¹	Special condition	Velocity	Name
Silt, sand, gravel, and debris (talus)	Dry, moist, or saturated	No excess pore-pressure Limited volume	Various	<i>Non-liquefied sand (silt, gravel, debris) flow</i>
Silt, sand, debris, and weak rock ²	Saturated at rupture surface	Liquefiable material ³ Constant water content	Extremely rapid	<i>Sand (silt, debris, rock) flow slide</i>
Sensitive clay	At or above liquid limit	Liquefaction <i>in situ</i> ³ Constant water content ⁴	Extremely rapid	<i>Clay flow slide</i>
Peat	Saturated	Excess pore-pressure	Slow to very rapid	<i>Peat flow</i>
Clay or earth	Near plastic limit	Slow movements Plug flow (sliding)	Less than rapid	<i>Earth flow</i>
Debris	Saturated	Established channel ⁵ Increased water content ⁴	Extremely rapid	<i>Debris flow</i>
Mud	At or above liquid limit	Fine-grained debris flow	Greater than, very rapid	<i>Mud flow</i>
Debris	Free water present	Flood ⁶	Extremely rapid	<i>Debris flood</i>
Debris	Partly or fully saturated	No established channel ⁵ Relatively shallow, steep source	Extremely rapid	<i>Debris avalanche</i>
Fragmented rock	Various, mainly dry	Intact rock at source Large volume ⁷	Extremely rapid	<i>Rock avalanche</i>

¹ Water content of material in the vicinity of the rupture surface at the time of failure.

² Highly porous, weak rock (examples: weak chalk, weathered tuff, pumice).

³ The presence of full or partial *in situ* liquefaction of the source material of the flow slide may be observed or implied.

⁴ Relative to *in situ* source material.

⁵ Presence or absence of a defined channel over a large part of the path, and an established deposition landform (fan). *Debris flow* is a recurrent phenomenon within its path, while *debris avalanche* is not.

⁶ Peak discharge of the same order as that of a major flood or an accidental flood. Significant tractive forces of free flowing water. Presence of floating debris.

⁷ Volume greater than 10,000 m³ approximately. Mass flow, contrasting with fragmental rock fall.

Figura 23: Classificazione delle colate (Hungr et al, 2001).

2.9. Frane complesse

Queste tipologie di cinematismi sono definite complessi in quanto generati da uno degli eventi descritti che evolve in altri. É infatti comune che le frane si sviluppino a fasi, iniziando come scivolamento rotazionale, ad esempio, e diventando in seguito colate di terra se il terreno mobilitato dal primo cinematismo viene a contatto con un determinato quantitativo d'acqua.

3. Elementi di difesa e mitigazione caduta massi

Al fine di contrastare i crolli è possibile optare per differenti modalità.

Innanzitutto, è opportuno fare una distinzione tra opere di stabilizzazione e difesa.

Le opere di stabilizzazione si occupano di impedire l'innesco dell'instabilità di blocchi rocciosi migliorandone la resistenza meccanica, riducendo i carichi agenti sul masso o migliorandone l'adesione al pendio. Si può agire pertanto sul profilo del pendio, sulle condizioni piezometriche o sulla resistenza meccanica dell'ammasso roccioso mediante:

- i tiranti;
- i rivestimenti combinati di reti metalliche e beton spritz;
- la riprofilazione del versante;
- la rimozione locale dei massi instabili;
- l'installazione di sistemi di drenaggio;
- la progettazione di pozzi o trincee drenanti.

Al contrario, i sistemi di difesa agiscono nel momento in cui il cinematismo si attiva e riducono l'insorgenza di danni dovuti all'innesco del fenomeno. Sostanzialmente si occupano di arrestare il moto, di ridurre la velocità di caduta dei massi o deviare il percorso della frana.

In tale categoria si possono considerare:

- le chiodature;
- le barriere paramassi elastiche o rigide;
- le reti in aderenza;
- le reti in aderenza armate con rivestimento anti-erosivo;
- i rilevati paramassi;
- le trincee o gallerie;

La scelta della tipologia di sistema difensivo dipende dall'energia cinetica del masso impattante o dai vincoli ambientali attorno all'area oggetto di studio.

Si procede con la descrizione dei soli sistemi di difesa che saranno poi oggetto dello studio dello stato di conservazione.

3.1. Barriere paramassi a rete

“Le barriere paramassi sono tipicamente costituite da pannelli di rete in fune o ad anelli, sostenuta da montanti in profilato d'acciaio, vincolati a piastre di base, funi di acciaio, dissipatori di energia e ancoraggi di fondazione.” [43]

Le barriere paramassi vengono utilizzate per casi di caduta massi con energia compresa tra 100 e 8000 kJ, se l'energia stimata di impatto è maggiore, si consiglia di optare per rilevati paramassi. Si riporta, in fig. 24, una sezione tipo di una barriera.

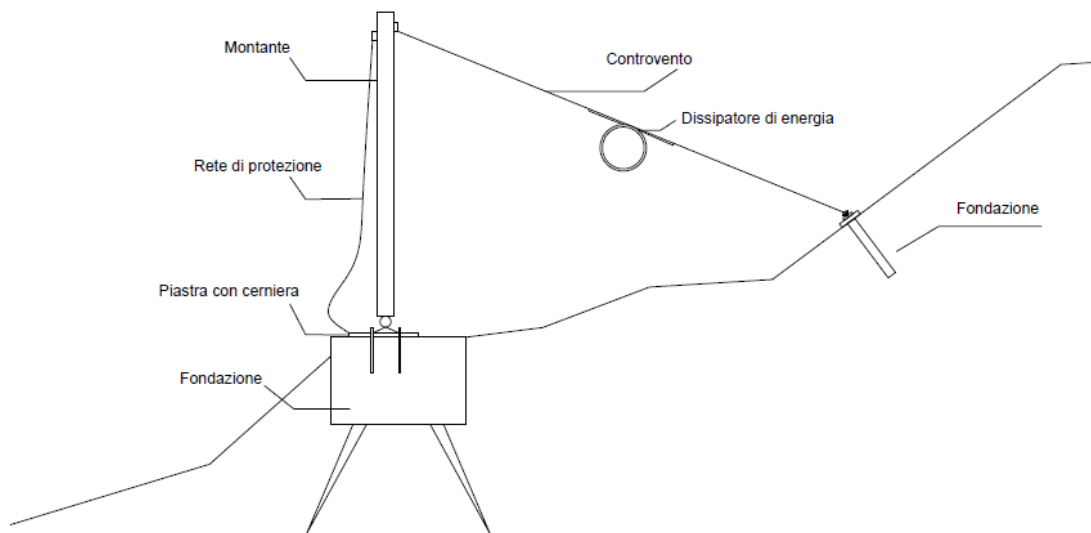


Figura 24: Profilo di una barriera paramassi tipo.

Le componenti di una barriera paramassi sono:

- la struttura di intercettazione;
- la struttura di sostegno;
- la struttura di connessione;
- la struttura di fondazione.

3.1.1. La struttura di intercettazione

È costituita da rete metallica ad anelli o parasiluri che trasmette la forza di impatto alla struttura di connessione, di supporto e di fondazione (fig.25);



Figura 25: Dettaglio di pannello di rete metallica ad anelli.[12]

Al fine di trattenere detriti di diverse dimensioni si possono inoltre sovrapporre più reti a maglie di dimensioni differenti.

Gli anelli dei pannelli costituenti la struttura di intercettazione sono composti da funi spirroidali realizzate da un filo unico avvolto sette volte su sé stesso fino alla creazione di un trefolo. Ogni anello è collegato a quattro anelli per garantire la trasmissione della forza d'impatto alla struttura di connessione. Per evitare deformazioni inadeguate o tensionamenti insufficienti, le funi longitudinali superiori e inferiore devono essere correttamente tesate.

3.1.2. La struttura di sostegno

È costituita da elementi metallici detti montanti che mantengono la rete in posizione di esercizio. Sono solitamente elementi trave di differenti sezioni, sono incernierati o incastrati al piede a una piastra che funge da collegamento alla struttura di fondazione. Possono quindi ruotare rispetto alla base e muoversi assecondando la deformazione della rete nel caso siano incernierati. Nel caso di installazione di barriere paramassi combinate a rilevati a ciglio strada, solitamente, si opta per barriere rigide cioè incastrate al piede. Se il sistema lavora opportunamente, impedisce che la struttura di intercettazione rilasci massi lungo la scarpata. I montanti possono essere direttamente connessi con la struttura di intercettazione. (fig.26)



Figura 26: Particolare di struttura di sostegno. [5]

3.1.3. La struttura di connessione

È composta di cavi metallici perpendicolari e trasversali la struttura di intercettazione chiamati funi longitudinali superiori, inferiori, di controvento di monte, di valle e laterali (fig.27). Hanno la funzione di trasmettere la forza d’impatto alle fondazioni, inoltre sui cavi possono essere presenti elementi di deformazione controllata denominati “freni” o dissipatori di energia. Le funi sono opportunamente connesse mediante grilli al sistema di intercettazione o fatte scorrere attraverso la rete principale affinché le due componenti siano solidali. È opportuno, inoltre, che siano connesse ai montanti.



Figura 27: Particolare di struttura di connessione.[13]

I dissipatori di energia sono elementi cavi attraversati dalle funi di controvento, presentano rigidità maggiore rispetto alla fune e hanno la funzione di dissipare l’energia della caduta massi mediante

attrito e deformazione plastica. I dissipatori di energia sono formati da due piastre in acciaio. (fig.30) In ogni fune viene realizzata un'asola, bloccata tra le due piastre tramite quattro bulloni ad alta resistenza. Tale asola, sotto l'azione dei carichi dinamici applicati alla rete, tende a chiudersi, scorrendo tra le due piastre e dissipando energia meccanica in misura proporzionale alla tensione di serraggio dei bulloni.

I freni, in generale, possono funzionare anche dissipando energia mediante il solo attrito, come accade nei dissipatori tipo U-brake: elementi lineari che offrono resistenza attritiva sulla superficie esterna della fune. (fig.29)



Figura 28: Particolare di dissipatore. [14]



Figura 29: Particolare di dissipatore [15]



Figura 30: Particolare di dissipatore [69].

3.1.4. La struttura di fondazione

Le funi di controvento sono collegate alla struttura di fondazione tramite l'utilizzo di ganci che emergono dal suolo. Tali ganci sono progettati affinché sia consentito alle funi di scorrere al loro interno e di venire fissate a sé stesse mediante l'uso di morsetti. In pratica, i ganci sono posizionati in modo strategico e saldamente ancorati alla struttura di fondazione. Le funi passano nei ganci e i morsetti ne collegano l'estremità finale all'estremità in ingresso al gancio. I morsetti assicurano, pertanto una presa stabile, prevenendo lo slittamento mutuo dei lembi della fune.

Le fondazioni sono l'ultimo elemento di trasmissione della forza al terreno, sono di rilevante importanza e per questo motivo necessitano di opportuna progettazione anche in relazione alla tipologia di terreno o roccia in cui si trovano. Possono essere plinti di fondazione in calcestruzzo armato (fig.31), chiodature (fig.32) oppure micropali (fig.33).

Le barriere paramassi possiedono la caratteristica di essere molto versatili: infatti riescono egregiamente ad assolvere al proprio compito in diverse condizioni, per questa motivazione possono anche essere infisse a fronti particolarmente acclivi.



Figura 31: Esempio di plinto di fondazione.[16]

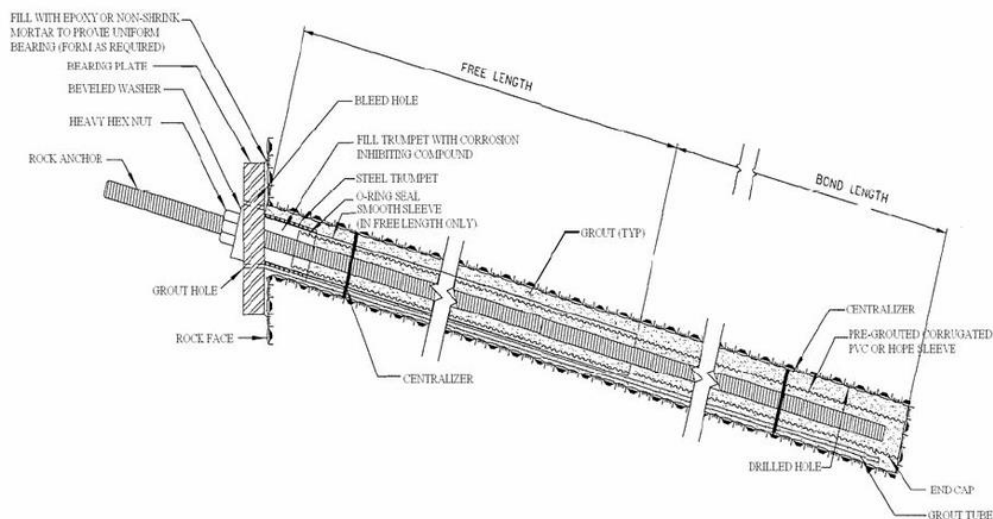


Figura 32: Sezione di chiodo [17].

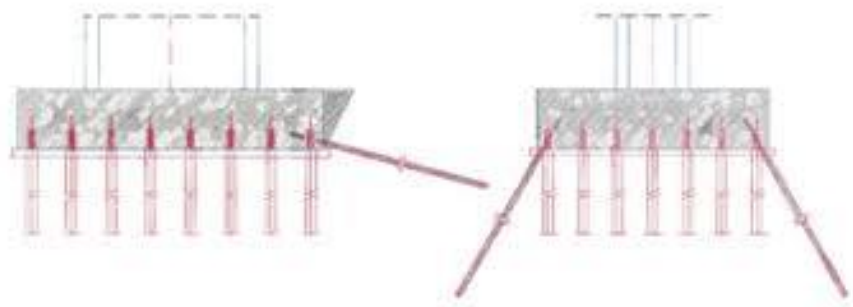


Figura 33: Esempio di plinto e micropali [18].

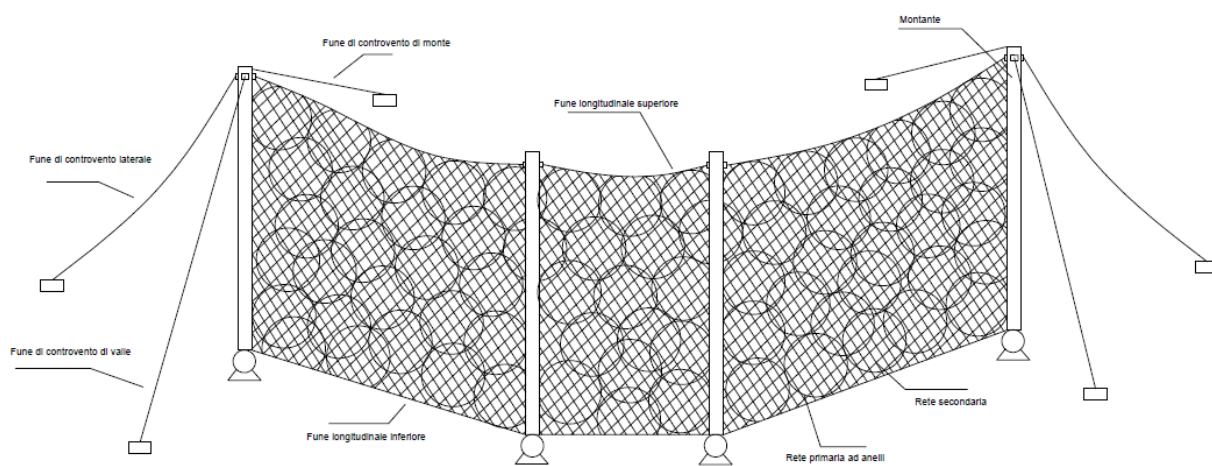


Figura 34: Componenti di una barriera paramassi.

Le barriere paramassi possono essere combinate con altri elementi di difesa, al fine di avere un sistema complessivamente più performante.

3.1.5. Parametri di progetto

Prima di scegliere il modello di barriera paramassi è opportuno svolgere diverse analisi.

Innanzitutto è necessario definire la nicchia di distacco del materiale, la geometria del pendio, il probabile percorso dei massi e il volume degli stessi. Si tenta, dunque, di ricostruire la cinematica reale del masso con il fine ultimo di trovarne l'energia cinetica nel punto in cui si è deciso di predisporre la barriera.

L'energia cinetica del masso in caduta è direttamente proporzionale alla massa e alla velocità di caduta del masso. (fig.35).

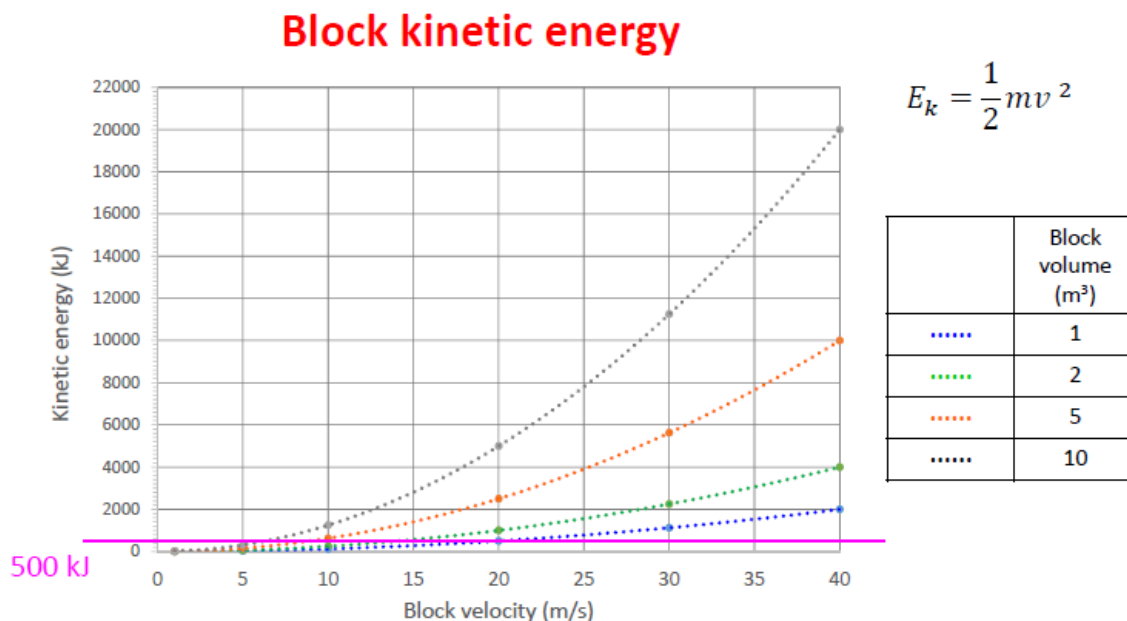


Figura 35: Grafico dell'energia cinetica. [25]

Una parte di questa energia viene dissipata durante il tragitto per via della forza di attrito che si sviluppa tra la superficie del pendio e la superficie esterna del masso, ma anche mediante la frammentazione del masso e la deformazione plastica. La differenza tra l'energia cinetica totale nel punto e quella dissipata fino a quel punto di traiettoria è l'energia che la barriera dovrà essere in grado di assorbire durante l'impatto.

La modellazione dell'evento è solitamente eseguita mediante approccio stocastico utilizzando software come RocFall della catena RocScience che consentono la riproduzione di eventi di caduta massi.

Il moto del masso è divisibile in 4 fasi:

- distacco del blocco;
- moto del masso in aria;
- impatti del masso con il pendio;
- moto del masso lungo il pendio.

Le caratteristiche delle fasi del moto sono fortemente influenzate dall'incertezza e dell'imprevedibilità dell'evento, è infatti complicato ottenere informazioni certe in merito a:

- la posizione della nicchia di distacco;
- la forma e la grandezza del blocco;
- la velocità iniziale del masso al distaccamento, sia in termini di intensità che di direzione;
- la traiettoria in aria, in termini di posizione nello spazio e velocità del blocco in qualsiasi istante della caduta;
- la posizione del punto di impatto;
- la dissipazione dell'energia;
- la velocità del masso dopo l'impatto, sia in termini di intensità che di direzione;
- l'altezza di rimbalzo;
- il moto del masso lungo il pendio (se tenderà a rotolare, a scivolare, a fermarsi etc..).

La posizione della nicchia di distacco e le dimensioni del masso si possono ottenere durante i sopralluoghi, in cui si censiscono le famiglie di giunti potenzialmente instabili presenti negli affioramenti rocciosi risalendo alla forma, alle dimensioni e al tipo di cinematismo del blocco.

Durante il moto del blocco, si considera trascurabile l'attrito del masso con l'aria, si assume inoltre che durante il moto, il masso assuma una traiettoria di tipo parabolico, di cui si scelgono il punto di partenza (x_0, y_0) e la velocità iniziale nelle due direzioni $(v_{0,x}, v_{0,y})$. (fig.36)

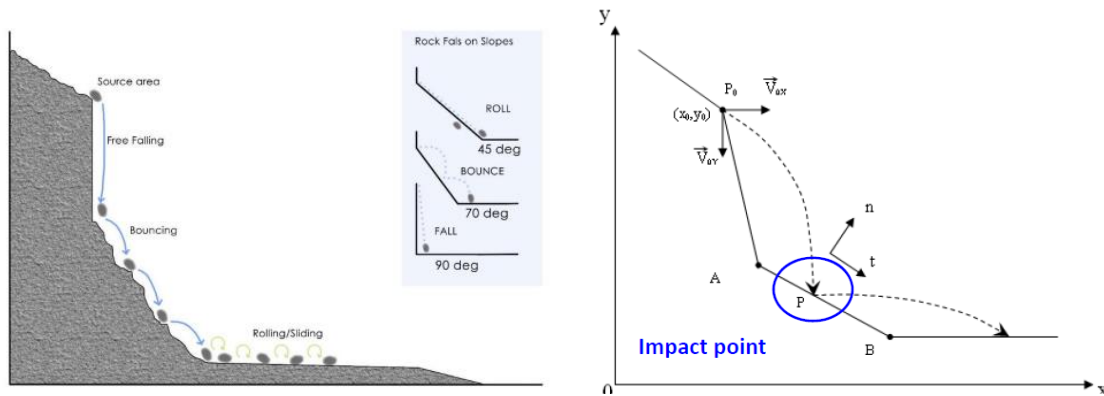


Figura 36: Fasi del moto [81] e traiettoria tipo. [25]

Le leggi del moto nelle due direzioni saranno pertanto:

$$x = v_{0,x} * t + x_0$$

$$y = \frac{1}{2} * g * t^2 + v_{0,y} * t + y_0$$

Le coordinate del punto di impatto del masso con il pendio sono ottenute dall'intersezione della parabola con la linea rappresentante il profilo del pendio tra i punti $A(x_1, y_1)$ e $B(x_2, y_2)$ secondo il seguente sistema:

$$y = \frac{1}{2} * g * \frac{(x - x_0)^2}{v_{0,x}^2} + v_{0,y} * \frac{(x - x_0)}{v_{0,x}} + y_0$$

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

La dissipazione dell'energia posseduta dal masso è dovuta all'interazione del blocco con il pendio ed è influenzata dalla geometria e topografia del terreno, dalle caratteristiche geo-meccaniche e dimensionali del blocco, dalle proprietà geo-meccaniche del suolo, dalla presenza di copertura vegetale e di ostacoli. Inoltre l'interazione può avvenire secondo differenti modalità, infatti il blocco può impattare con il suolo e fratturarsi, può deformare il suolo, ma può anche rimbalzare, traslare o ruotare lungo il pendio.

Le componenti della velocità del masso, con il rimbalzo, variano in intensità e direzione in base alla topografia e alla presenza di vegetazione, per analizzare il moto del masso è opportuno conoscere la velocità che lo stesso possiede prima dell'impatto. L'interazione è rappresentata nell'analisi mediante un approccio semplificato che si basa, appunto, sulla variazione di queste due velocità e conseguentemente delle energie cinetiche. Entrano in gioco nell'analisi i coefficienti di restituzione **R**, grandezze fisicamente non misurabili:

$$R = \frac{v_{post\ impatto}}{v_{pre\ impatto}}$$

In generale, è più utile riferirsi a due coefficienti di restituzione, relativi alla variazione delle velocità nelle direzioni perpendicolare e parallelo al pendio nel piano di impatto (fig.37).

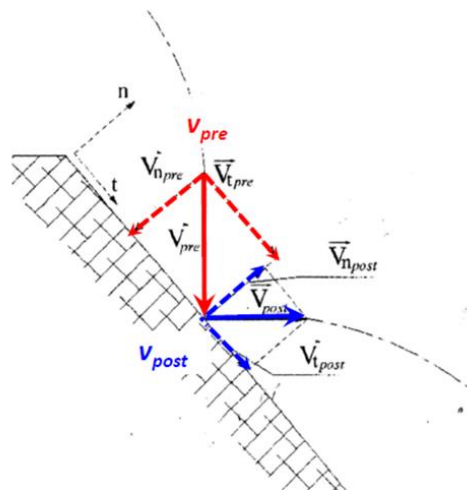


Figura 37: Velocità in direzione parallela e perpendicolare al pendio nel piano d'impatto. [25]

I coefficienti di restituzione, nel caso non siano reperibili in altre modalità, possono essere ottenuti da letteratura con cognizione di causa. In generale ogni analisi di caduta massi deve essere sviluppata solo dopo aver già sviluppato una back analysis, un processo secondo il quale si ricrea sul software un evento realmente accaduto, sullo stesso pendio e con le stesse proprietà, di cui sono noti gli effetti. Pertanto la back analysis consente la calibrazione dei coefficienti di restituzione relativamente al caso specifico affinché i risultati del modello siano quanto più simili a quelli realmente ottenuti in seguito all'evento. L'incertezza dovuta al grandissimo numero di variabili come:

- l'area/punto di distacco;
- il volume, la forma e le proprietà geo-meccaniche del masso;
- la velocità del blocco al distacco;
- la topografia del pendio;
- le caratteristiche meccaniche del materiale costituente la copertura del pendio;

- la presenza dettagliata di vegetazione o ostacoli che impediscono il moto del blocco;

rende “obbligatorio” lo sviluppo di una back analysis in quanto l’evoluzione di un evento futuro è fortemente dipendente da un evento passato. La possibilità di avere a disposizione gli esiti di calibrazione dati da una back analysis, pertanto, riduce il livello di incertezza. Durante l’analisi è possibile introdurre, inoltre, alcuni valori di deviazione standard per tutte le variabili statistiche del sistema.

La modellazione può riferirsi a differenti categorie, può fornire infatti risultati in 2D, in “simil” 3D e in 3D e la simulazione può essere eseguita considerando il blocco come una massa concentrata in un punto (lumped mass) assumendo quindi che le traiettorie del moto non dipendano dalla sua geometria, come un corpo rigido o mix delle due possibilità (approccio ibrido): si considera come un punto in aria e come un corpo rigido al contatto con il pendio.

Una volta impostate tutte le variabili in input e le relative deviazioni standard, il software si occupa di simulare un numero finito (scelto a priori) di cadute. Basandosi sul principio della ridondanza dei risultati, i risultati della simulazione ricadono in un range di valori possibili, da cui il software è in grado di estrarre la legge del moto statisticamente più corretta per il masso.

Lo stesso è in grado di restituire molti dati utili alla progettazione tra cui:

- le traiettorie dei blocchi per ogni simulazione;
- la massima energia cinetica ottenuta nelle simulazioni in ogni punto lungo il pendio;
- l’altezza massima ottenuta nelle simulazioni in ogni punto lungo il pendio;
- la velocità massima ottenuta nelle simulazioni in ogni punto lungo il pendio;
- la distribuzione statistica dei possibili punti di arresto del masso sulla scarpata;
- l’andamento in termini statistici dei valori di energia cinetica, velocità e altezza in ogni punto del pendio da cui si estrae il valore al 95-esimo percentile, utile nella progettazione;

Una volta noti i parametri di progetto, le barriere paramassi a rete si scelgono dai cataloghi dei produttori (Bianchini Ingegneri, Geobrugg AG, Maccaferri) che ne forniscono le qualità di tipo prestazionale. Ad esempio:

- massima distanza di elongazione verso valle della struttura durante l’impatto (fig.38);
- altezza residua dopo l’impatto (fig.38);
- carichi agenti sulle fondazioni e sugli elementi strutturali durante l’impatto.
- energia che la barriera può assorbire e il suo comportamento durante l’impatto;

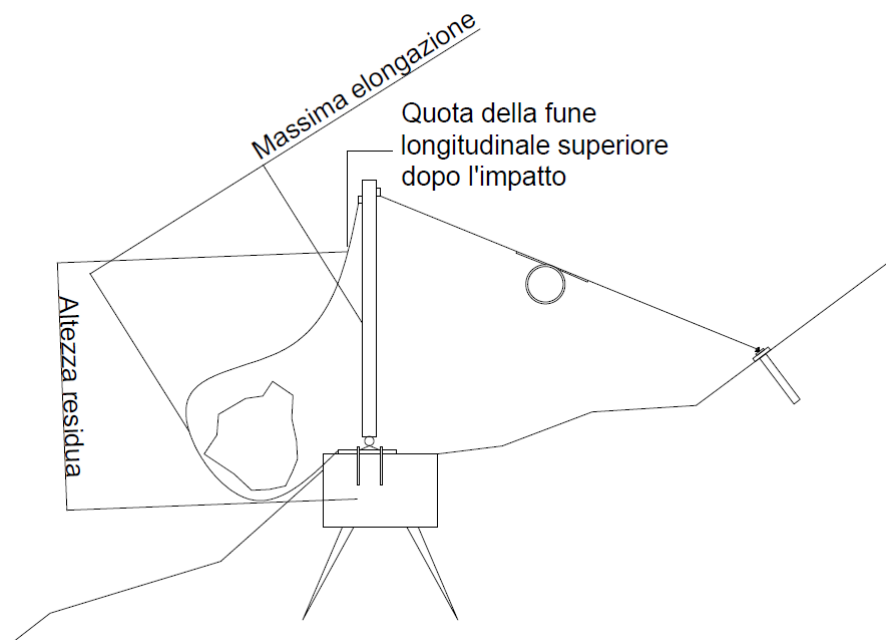


Figura 38: Altezza residua e massima elongazione di una rete paramassi tipo.

Le reti non si valutano su un solo valore di energia, bensì su due livelli: SEL e MEL.

Il SEL (Service Energy Level) è l'energia cinetica di un blocco regolare impattante la rete, la quale garantisce le seguenti condizioni:

- la barriera arresta il blocco dopo due impatti alla stessa energia cinetica;
- dopo il primo impatto, il blocco è arrestato e non sono visibili danneggiamenti nelle strutture di connessioni, le aperture della struttura di intercettazione sono minori del doppio della loro dimensione iniziale, l'altezza residua è maggiore o uguale al 70% dell'altezza nominale della rete prima del test.
- dopo il secondo impatto, il blocco è arrestato dal sistema.

Il MEL (Maximum Energy Level) è invece il livello di energia cinetica di un blocco regolare impattante la rete, la quale garantisce le seguenti condizioni:

- $MEL \geq 3 \cdot SEL$;
- la barriera frena il blocco;
- il blocco durante l'impatto non raggiunge il terreno finché non raggiunge la massima elongazione.

Entrambi i livelli vengono verificati mediante prove di collaudo in cui si misurano stato deformativo del sistema di intercettazione e stato tensionale del sistema di fondazione.

La norma ETAG027 classifica le barriere paramassi in 8 classi energetiche e per ciascuna classe sono compresi due livelli di energia SEL e MEL. (tab.3)

Tabella 3: Classificazioni barriere paramassi in base ai livelli SEL e MEL in kJ.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

Sono inoltre fornite altre restrizioni in merito al valore dell'altezza residua dopo la prova MEL.

- Categoria A: altezza residua $\geq 50\%$ dell'altezza nominale;
- Categoria B: altezza residua tra il 30% e 50% dell'altezza nominale;
- Categoria C: altezza residua $\leq 30\%$ dell'altezza nominale.

Il fornitore deve garantire le caratteristiche dichiarate del prodotto e anche che lo stesso abbia ottenuto il Benestare Tecnico Europeo (BTE), al fine di ciò le barriere devono essere opportunamente collaudate. Le barriere devono rispettare tutti i parametri previsti dalle linee guida europee.

La norma UNI 11211-4:2018 fornisce direttive da rispettare affinché un sistema di reti paramassi possa essere considerato valido.

In primis, l'energia $E_{BTE,barriera}$ che la barriera può dissipare (ridotta di un fattore di sicurezza Υ_E da applicare al livello MEL) in condizioni di sicurezza deve essere superiore all'energia di progetto del blocco che si muove alla velocità calcolata dalle analisi.

$$E_{progetto} - \frac{E_{BTE,barriera}}{\Upsilon_E} < 0$$

L'energia dissipabile dalla barriera si desume dalla certificazione delle prove al vero denunciate dal produttore, mentre il fattore di sicurezza Υ_E dipende dal livello energetico scelto:

- 1.20 per livello energetico MEL;
- 1.00 per livello energetico SEL.

L'energia di progetto da confrontare si potrebbe stimare direttamente dal software di analisi, ma la normativa consiglia di utilizzare la seguente espressione:

$$E_{progetto} = \frac{1}{2} * v_{progetto}^2 * m_{progetto}$$

La velocità si ottiene dal frattile del 95% delle velocità v_t calcolate dal software nel punto di impatto amplificata da un coefficiente di sicurezza Υ_F mediante l'espressione:

$$v_{progetto} = v_t * \Upsilon_F$$

Mentre il coefficiente di sicurezza Υ_F è il prodotto di due componenti:

$$\Upsilon_F = \Upsilon_{Tr} * \Upsilon_{Dp}$$

- Υ_{Tr} è il coefficiente di attendibilità dei calcoli delle traiettorie, può assumere valore di 1.02 per calcoli bidimensionali o tridimensionali calibrati su back analysis oppure 1.10 per calcoli bidimensionali basati solo su coefficienti di restituzione derivati da informazioni bibliografiche;

- Υ_{dp} è il coefficiente di sicurezza relativamente alla qualità della discretizzazione del pendio e può assumere valore di 1.02 per pendii precisamente discretizzati da rilievo topografico oppure 1.10 per bassa precisione di rilievo.

La massa del masso si ottiene, invece, partendo dal volume stimato $Vol_{stimato}$ del blocco instabile e dalla densità Υ del materiale costituente, anche in questo caso è consigliato l'utilizzo del coefficiente di sicurezza Υ_m a sua volta prodotto di fattori di sicurezza dichiarati successivamente.

$$m_{progetto} = Vol_{stimato} * \Upsilon * \Upsilon_m$$

$$\Upsilon_m = \Upsilon_{volF1} * \Upsilon_Y$$

Dove:

- Υ_{volF1} è il coefficiente legato alla precisione del rilievo volumetrico del blocco e può assumere valore di 1.02 per rilievi accurati o 1.1 nel caso in cui il valore si sia ottenuto da rilievi non legati al progetto;
- Υ_Y è il coefficiente di sicurezza per la stima della densità del materiale, solitamente è assunto pari all'unità.

L'energia di progetto può eventualmente può essere considerata maggiorata da coefficienti di sicurezza relativi al livello di rischio:

- per modesta esposizione economica e/o di vite umane, si assume coefficiente unitario;
- per elevata esposizione economica e/o di vite umane ma facilmente riparabile, si può assumere coefficiente pari a 1.05;
- per elevata esposizione economica e/o di vite umane e difficile riparazione del danno, si sceglie 1.10 per il coefficiente;
- per elevata esposizione economica e/o di vite umane e impossibile riparazione del danno, in tal caso si sceglie il valore peggiore pari a 1.2.

Vengono presentate inoltre due altre condizioni di progetto, relative rispettivamente all'altezza di intercettazione e alla massima deformata della barriera.

L'altezza di intercettazione, intesa come l'altezza della barriera h_i (ortogonalmente alla pendenza media del pendio) depurata del franco superiore (definito dal produttore) deve essere superiore all'altezza di progetto $h_{progetto}$ calcolata mediante l'analisi. Per cui:

$$h_{progetto} - h_i \leq 0$$

In questa circostanza, l'altezza di intercettazione $h_{progetto}$ è il frattile del 95% dell'altezza di passaggio dei blocchi moltiplicata per un fattore di sicurezza Υ_F .

Il franco di sicurezza non deve essere inferiore al diametro medio del blocco. È necessario conoscere l'altezza del masso nel punto di installazione della barriera, così che la stessa possa essere efficace anche in elevazione evitando l'effetto "sormonto", in cui il masso supera la barriera passandoci al di sopra.

La massima deformata d_a della barriera (se sottoposta a urto MEL) deve essere inferiore alla distanza tra opera di difesa e opera da difendere $d_{progetto}$.

$$d_{progetto} - d_a \geq 0$$

La massima deformata della barriera d_a si ottiene dal massimo valore di elongazione (ottenuto dalla prova di collaudo MEL) $d_{\max\text{MEL}}$ corretto dal fattore di sicurezza γ_d dipendente da condizioni di impatto particolari:

- se si conosce solo il valore di distanza MEL si assume 1.3;
- se si conosce anche il valore di distanza SEL si assume 1.00;
- se le campate di estremità sono comprese nell'area di possibili traiettorie o la barriera avesse meno di tre moduli funzionali si assume, a scopo cautelativo, il valore di 1.50.

Inoltre, è presente un altro suggerimento di installazione, infatti per meglio proteggere le zone coperte dalle campate periferiche del filare di barriere, è consigliato di prevedere una sovrapposizione di almeno mezza campata tra due filari contigui.

3.2. Reti in aderenza armate e non

Le reti in aderenza si distinguono in due categorie principali:

- A) reti di protezione semplici (fig.39);
- B) rafforzamenti corticali (fig.39).

Sono installate al fine di prevenire e controllare lo sviluppo di dissesti corticali [19] in roccia, ma anche al fine di rinforzare i pendii costituiti da terreno omogeneo.

Le reti in aderenza, in caso di fronti in roccia, si occupano pertanto di gestire il moto e trattenere il detrito che si forma superficialmente (a profondità di 1-2 m) all'affioramento in seguito a fenomeni accelerati di degrado e alterazione.

Le volumetrie tipiche di questo dissesto sono comprese tra 0.01 m³ e 1.5 m³ di materiale.

Possono, inoltre, essere applicati a pendii in terreno, al fine di impedire il verificarsi di scorrimenti superficiali di terreno e trattenere piccoli smottamenti.

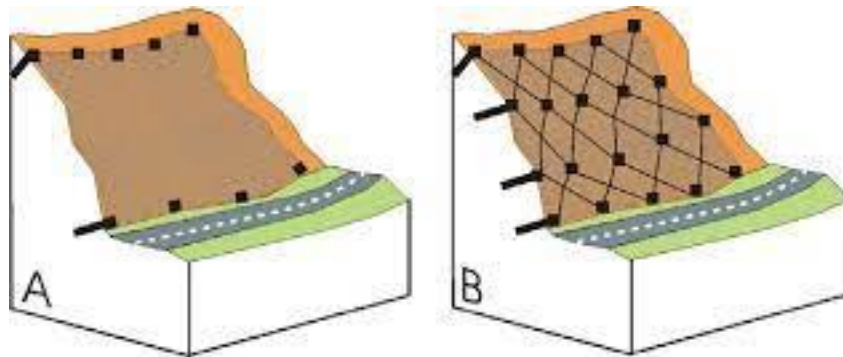


Figura 39: Reti a cortina e reti armate.[19]

La differenza principale tra i due sistemi di difesa è la maggiore densità di chiodi di ancoraggio a parità di estensione areale dell'intervento, inoltre, nei rafforzamenti corticali vi è la presenza di funi in acciaio a X aggiuntive a creare una seconda maglia, garantendo una maggiore connessione tra la parte disgregata e la parte sana in profondità. I rafforzamenti corticali garantiscono una migliore ritenuta del materiale, di contro però ne rendono oneroso e difficoltoso il processo di pulizia poiché i massi si trovano tra gli ancoraggi sulla scarpata e non al piede del sistema difensivo (come accadrebbe nelle semplici reti a cortina). Le reti armate vengono utilizzate in ammassi rocciosi suddivisi in blocchi di dimensione maggiore della maglia di rete, che però non sono abbastanza grandi da poter essere stabilizzati mediante ancoraggi puntuali. Gli ancoraggi presenti in modo così continuativo impediscono i movimenti relativi tra i blocchi fornendo un contributo, seppur minimo, alla stabilizzazione del versante.

Per quanto riguarda le reti di protezione semplici, invece, possono essere installate quanto più possibile aderenti alla parete, devono essere pertanto molto flessibili affinché si adattino alla forma del pendio, intercettino i volumi di roccia e facciano in modo di trattenerli il più possibile vicini alla nicchia di distacco. Tale metodologia viene utilizzata principalmente in pendii acclivi, nella scelta delle diverse tipologie di reti di protezione vanno considerati:

- lo spazio disponibile al piede del pendio per la manutenzione o eventuale costruzione di trincee per il disgaggio;

- la massima deformazione consentita al sacco al piede;
- la tipologia di sollecitazione cui potrebbe essere soggetta la rete;
- la morfologia della parete rocciosa;
- l'impatto visivo;
- i costi di posa in opera e di manutenzione;
- la sicurezza del personale durante la posa in opera.

Al contrario le reti possono anche essere installate senza che siano aderenti alla superficie affiorante, infatti viene sostenuta in sommità e lasciata libera di tesaarsi sotto il proprio peso. Ai massi viene consentito di avere una traiettoria lungo il pendio che però è contenuta dalla rete. Tale tecnica è preferita in scarpate molto pendenti.[19]

Genericamente si scelgono i rafforzamenti corticali rispetto alle reti di protezione semplici quando si prevede la caduta di massi di medie dimensioni e la si vuole impedire, mentre si scelgono i secondi quando si vuole contenere il dissesto ammettendo una traiettoria al piede che risulti, però, controllata dalla presenza della rete di contenimento.

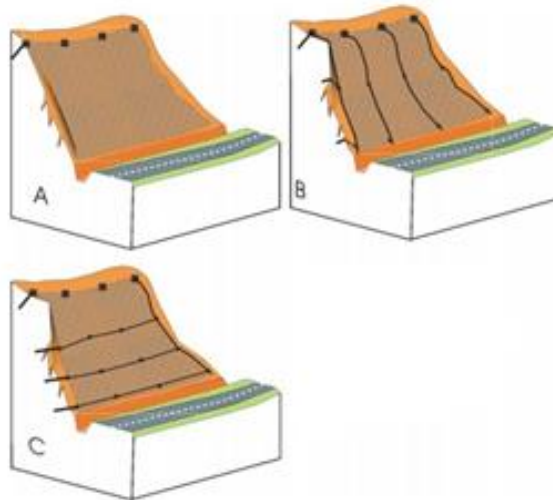


Figura 40 Esempi di diverse installazioni di reti non armate [19].

Le componenti di una rete in aderenza sono:

- la rete di contenimento;
- le funi (sostegno sommitale, al piede, di rinforzo);
- gli ancoraggi;

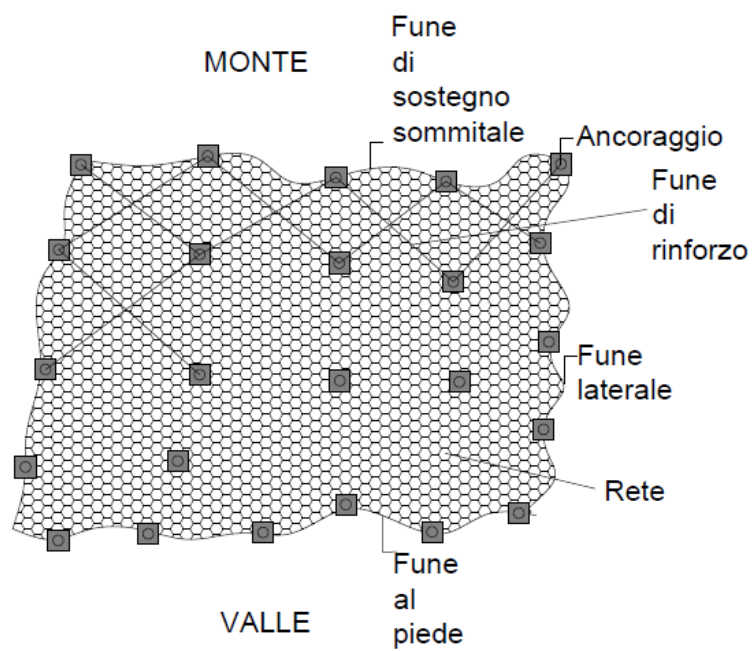


Figura 41: Componenti.

3.2.1. La rete di contenimento

É la componente che, per l'appunto, si occupa di contenere il detrito o il terreno, può essere costituita da:

- rete in filo d'acciaio a singola torsione, caratterizzata da una maglia romboidale di solito abbinata a piastre di ripartizione di chiodi che trasferiscono le sollecitazioni al terreno/roccia in cui sono inseriti. (fig.42)



Figura 42: Esempio di rete a singola torsione a maglia romboidale [28]

- rete in filo d'acciaio a doppia torsione, sono le metodologie solitamente più utilizzate poiché la doppia torsione del filo garantisce una maggior resistenza della maglia alla propagazione della lacerazione. (fig.43-44)

Le più comuni presentano filo di diametro compreso tra 2.7 e 3 mm e maglia di forma esagonale, le reti standard disponibili in commercio sono riassunte in tab.4:

Tabella 4: Reti a doppia torsione in commercio [26]

Denominazione Tipo	Diametro "D" nominale [mm]	Tolleranze [mm]
6x8	60	Da 0 mm a 8 mm
8x10	80	Da 0 mm a 10 mm

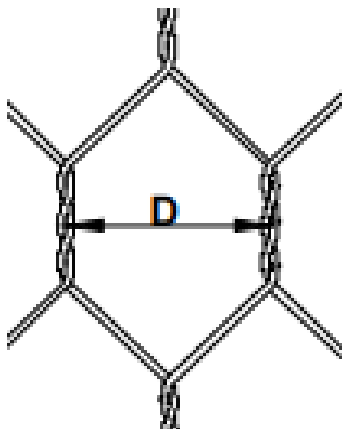


Figura 43: Dettaglio rete a doppia torsione [26]



Figura 44: Esempio di rete a doppia torsione a maglia esagonale [27]

La resistenza nominale a trazione è di 50 kN/m ricavata con modalità di prova conformi alla normativa ASTM A-975-97. Il carico di rottura minimo è compreso tra 350 e 550 N/mm² e allungamento minimo pari al 12%. [22]

- Pannelli in fune d'acciaio o ad anelli.

I pannelli sono delle “strisce” di determinata larghezza e lunghezza progettata a ricoprire tutto il pendio nel suo sviluppo longitudinale. I pannelli vengono installati uno adiacente all'altro affinché vi sia la garanzia che tutta la superficie a rischio venga rinforzata. È importante che siano tra loro connessi e ciò può avvenire mediante l'utilizzo di borchie a clip oppure mediante filo d'acciaio che presenti ottime proprietà in termini di resistenza all'apertura e al degrado per corrosione.

Si distinguono principalmente due tipologie di pannelli, i primi sono molto simili a quelli che costituiscono il sistema d'intercettazione delle barriere, sono infatti dei pannelli composti da anelli tra loro concatenati al fine di creare una maglia più o meno fitta (fig.45).

Esistono inoltre i pannelli di fune d'acciaio, in cui una rete in filo d'acciaio semplice o a doppia torsione è abbinata a delle funi d'acciaio che si intersecano tra loro a formare dei rombi.



Figura 45: Pannelli in funi d'acciaio (a sinistra) [29] e pannelli ad anelli (a destra) [30].

Ogni maglia di rete o pannello presenta caratteristiche geometriche e prestazionali differenti, pertanto deve essere scelta opportunamente in base al caso studio.

3.2.2. Le funi

Le funi sono una componente essenziale dell'opera di difesa in quanto consentono il posizionamento e il fissaggio del sistema di contenimento, inoltre la presenza delle funi garantisce che il detrito che si distacca dal pendio rimanga all'interno della rete, formando una vera e propria sacca al piede del pendio o nelle diverse sezioni delimitate dalle reti con armature trasversali.

Le funi si dividono in:

- funi di sostegno sommitale, sono poste in corrispondenza del bordo superiore del pendio;
- funi di sostegno al piede, sono poste in corrispondenza del bordo inferiore del pendio;
- funi di sostegno di rinforzo (presenti solamente nei rafforzamenti corticali).

Il sistema di connessione è costituito da trefoli opportunamente collegati alla rete di contenimento (risvoltata di almeno 40 cm) mediante cucitura continua in filo d'acciaio delle stesse caratteristiche di quello costituente la rete, di diametro pari a 2.2 mm o con legature puntuali eseguite manualmente, con cucitrice automatica o con false maglie in acciaio di passo minimo non inferiore a 50 cm. [22]

Le funi devono essere inoltre collegate al sistema di ancoraggio, i cavi vengono fatti scorrere all'interno della redancia del chiodo di fondazione. (fig.46)



Figura 46: Dettaglio di collegamento tra funi e redancia del sistema d'ancoraggio [31]

3.2.3. Gli ancoraggi

Come per le funi anche gli ancoraggi hanno il compito essenziale di trasferire le forze agenti sul sistema di contenimento dalla rete, alle funi, fino al terreno. Le chiodature sono sistemi di ancoraggio passivo, pertanto si attivano solo nel momento in cui la struttura viene caricata, altrimenti rimangono inerti all'interno del suolo. (fig.47)

Solitamente vengono posti ad interasse orizzontale di 2 o 3 m in funzione della larghezza del telo di rete e ad interasse verticale dai 2 ai 6 m in funzione delle dimensioni delle sezioni in cui si vuole suddividere l'intero pendio.

Il sistema viene solitamente cementato per iniezione a pressione con boiaccia di cemento R32.5 al fine di renderlo solidale con il sottosuolo in cui è inserito. La profondità dipende dalle proprietà geotecniche del suolo/roccia.



Figura 47: Sezione di una chiodatura d'ancoraggio tipo [22]

Per ogni caso di consolidamento di scarpate sono disponibili una serie di valide opzioni, per scegliere nel modo migliore si considerano:

- diametro del filo: maggiore è il diametro del filo, maggiore è la resistenza sia alla lacerazione che alla trazione;
- apertura della maglia: la densità della maglia fa variare la capacità della rete di trattenere detrito di pezzatura più o meno piccola. Una maglia più piccola inoltre irrigidisce maggiormente la struttura;
- resistenza dell'acciaio: più l'acciaio è resistente più l'opera risulta efficiente, di contro, però, risulta essere anche particolarmente rigida, il che potrebbe costituire una difficoltà durante l'installazione;
- protezioni contro l'ossidazione del filo metallico: è opportuno ricordare che, un materiale danneggiato o degradato dall'ossidazione non garantisce le stesse proprietà di resistenza di un acciaio non intaccato dallo stesso fenomeno, pertanto è opportuno rivestire i materiali costituenti l'intera opera (rete, funi, giunzioni e ancoraggi) con leghe galvaniche o con rivestimenti in plastica.
- forma, spessore, tipo di trama della maglia: a prescindere dall'acciaio costituente, la scelta della tipologia della maglia garantisce diverse proprietà, ad esempio le reti a singola torsione

sono molto deformabili e ciò le rende adatte alla dissipazione dell'energia degli urti, invece quelle esagonali a doppia torsione sono più rigide e migliori nel caso del consolidamento dei pendii. Il tipo di trama della maglia è inoltre indice della resistenza alla propagazione della lacerazione, le reti ad alto numero di torsioni per via delle deformazioni impresse durante il processo produttivo impediscono che un filo tranciato scucia l'intera struttura di contenimento, degrado invece molto comune nelle reti a singola torsione di forma romboidale;

- comportamento della rete: la rete non è una struttura isotropica, ma presenta resistenze e deformabilità differenti in base alla direzione in cui la stessa viene sollecitata;
- difficoltà della messa in opera;
- incidenza della mano d'opera in termini economici;
- costo.

3.2.4. Parametri di progetto

È opportuno precisare che, in relazione alla progettazione dell'opera di difesa in pendii rocciosi, si farà riferimento alla sola stabilità globale, non si considereranno tutti i meccanismi che contribuiscono alla lacerazione o rottura per punzonamento puntuale della struttura di contenimento.

Si proporranno, di seguito, due metodologie per il dimensionamento del sistema di difesa entrambi basati sul confronto delle azioni e resistenze.

Il primo, proposto da Ferraiolo e Giacchetti, si concentra principalmente sull'analisi dettagliata dei contributi delle forze agenti sul sistema, con particolare attenzione al carico dovuto alla presenza della neve.

Il secondo contributo alla progettazione di tali opere è di Peila et al. che propongono un metodo analitico (basato sulla simulazione numerica agli elementi distinti) in cui la sollecitazione indotta dal peso del volume critico viene confrontata con la resistenza a trazione della rete.

L'approccio progettuale segue i concetti generali delle NTC, in cui si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati.[46]

Si fa riferimento pertanto al metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi. In tale approccio, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra le forze agenti (anche dette instabilizzanti) e resistenti (o stabilizzanti).

Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici, $R_{k,i}$ e $E_{k,i}$ definiti rispettivamente come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza, di solito i frattili sono del 5%. Nello specifico, per quanto riguarda i problemi geotecnici, i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito. Pertanto, in tale circostanza, al valore caratteristico si attribuisce una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite d'interesse. Le indagini risultano quindi utili alla realizzazione del modello geotecnico definibile come uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico. [46]

Le indagini pertanto devono o essere eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art.59 del DPR 6.6.2001, n.380. Le norme tecniche del 2008 specificano anche che, nel caso le costruzioni o gli interventi siano di modesta rilevanza e nel caso ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può basarsi sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove:

- $E_d = \gamma_E * E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$ è il valore di progetto dell'azione;

- $R_d = \frac{1}{\gamma_R} * R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$ è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Azioni e resistenze sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto $\frac{X_k}{\gamma_M}$ e della geometria di progetto a_d .

Si riportano di seguito i coefficienti parziali di sicurezza per azioni e resistenze. (fig. 48-49).

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Figura 48: Coefficienti parziali per azioni. [46]

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Figura 49: Coefficienti parziali per parametri geotecnici del terreno. [46]

Il valore di progetto delle resistenze può essere determinato in 3 modalità:

- in modo analitico, riferendosi al valore caratteristico o dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella fig. 49 e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi a ciascun tipo di opera.

Le opere devono essere verificate anche agli stati limite d'esercizio (SLE) che esplicitano le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e alle prestazioni attese per l'opera stessa.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

Dove:

- E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni;
- C_d è il prescritto valore dell'effetto delle azioni.

METODO FERRAILOLO-GIACCHETTI

La progettazione si riferisce a una rete non armata, posizionata in aderenza a un pendio inclinato di un angolo β . Il principio di funzionamento della rete semplice è che, una volta avvenuto il distaccamento, il detrito sia libero di scivolare lungo il pendio fermandosi al piede, trattenuto dalla rete formando una vera e propria sacca. [19]

Pertanto note le forze stabilizzanti e instabilizzanti, è possibile valutarne il fattore di sicurezza.

$$FS = F_{stabilizzanti} / F_{instabilizzanti}$$

Il fattore di sicurezza è un mezzo efficace per la valutazione della stabilità, in quanto se risulta essere maggiore di 1, il pendio si considera localmente stabile. Nel caso invece la computazione del fattore di sicurezza restituisce un valore uguale all'unità, il pendio si troverebbe nelle condizioni di equilibrio limite, per cui il minimo aumento delle forze agenti o la minima diminuzione delle forze resistenti implicherebbe il raggiungimento di un FS minore di uno, a cui corrisponde l'induzione del cinematisimo.

L'approccio del fattore di sicurezza è utile in quanto restituisce un risultato di facile comprensione in merito alla valutazione della stabilità, di contro presenta una notevole dipendenza da proprietà incostanti nel mezzo, essendo lo stesso un suolo o una roccia fratturata genericamente eterogeneo, anisotropo e non lineare.

Nelle forze stabilizzanti si considera l'apporto dato dalla resistenza al taglio del sistema che però risulta essere una combinazione di differenti fattori:

- carichi agenti sugli ancoraggi;
- componente normale del peso del detrito sulla rete;
- angolo di attrito tra la rete e la superficie su cui è la rete è posta.
- sforzo di taglio delle armature metalliche;
- qualità dell'iniezione d'intasamento;
- aderenza limite tra miscela di intasamento e terreno;
- resistenza del terreno;

Nelle forze instabilizzanti invece è possibile riconoscere:

- peso proprio del sistema di difesa;
- carichi variabili (neve...);
- peso proprio di opere accessorie (antierosivo..);
- impatti di massi puntuali.

Lo schema delle forze agenti utilizzato per lo sviluppo del metodo è riportato in fig.50.

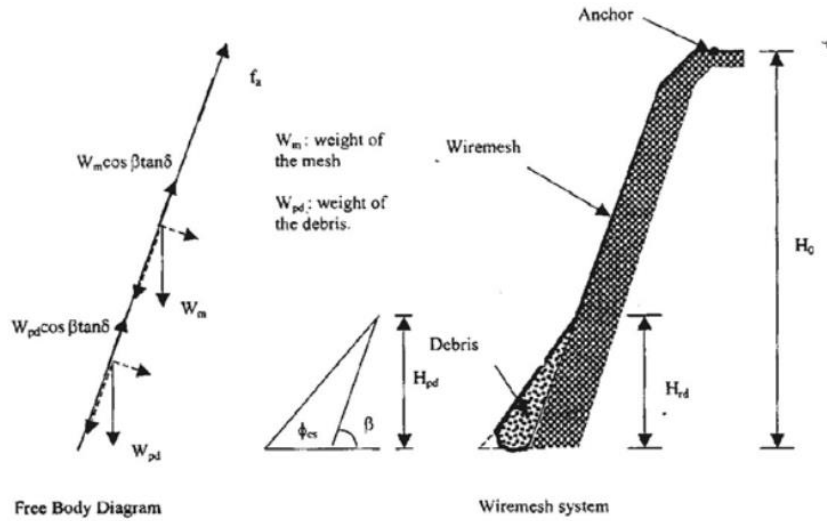


Figura 50: Schema delle forze agenti e della geometria. [19]

Si procede alla valutazione dei contributi alla stabilità in termini di stato limite ultimo, nell'ipotesi che non venga considerato l'apporto dato dal carico variabile della neve.

La resistenza al taglio dagli ancoraggi f_a è data dall'espressione:

$$f_a = P * J$$

Dove:

- J è il numero degli ancoraggi;
- P è la resistenza di ogni singolo ancoraggio.

La resistenza al taglio data dal peso della rete f_w è data dall'espressione:

$$f_w = \gamma_w * \left(\frac{H_0}{\sin \beta} \right) * \cos \beta * \tan \delta$$

Dove:

- H_0 è l'altezza della scarpata;
- β è l'inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale;
- δ è l'angolo d'attrito rete-superficie di appoggio;
- γ_w è il peso unitario della rete.

L'angolo δ dipende dalla quantità di aderenze della rete al terreno, dall'angolo di attrito del materiale costituente la superficie, dalla morfologia del terreno e dal quantitativo d'acqua al suo interno.

L'ultima forza resistente considerata è quella esercitata dal detrito sulla rete di protezione, ma è difficilmente stimabile in quanto funzione di numerose variabili come la geometria della sacca e dell'angolo di attrito del detrito a riposo. Si semplifica il problema considerando il solo peso del detrito:

$$f_{pd} = 0.5 * H_{pd}^2 * \gamma_{pd} * \cos \beta * (\cot \phi_{cs} - \cot \beta) * \tan \delta$$

Dove:

- H_{pd} è l'altezza del detrito accumulatosi alla base del pendio;
- γ_{pd} è la densità del detrito;
- ϕ_{cs} è l'angolo di attrito stimato del detrito.

Per quanto riguarda le forze agenti invece, sono entrambe forze di trazione sul rivestimento dovute al peso proprio della rete e del detrito e sono determinate ipotizzandole parallele al pendio:

$$f_{pdm} = 0.5 * H_{pd}^2 * \gamma_{pd} * \sin\beta * (\cot\phi_{cs} - \cot\beta)$$

$$f_{wm} = \gamma_w * \left(\frac{H_0}{\sin\beta} \right)$$

Pertanto:

$$FS = \frac{f_a + f_w + f_{pd}}{f_{pdm} + f_{wm}}$$

Tale formulazione consente, inoltre, di poter progettare il numero di ancoraggi da installare. Infatti, se si impone che il fattore di sicurezza abbia valore unitario, note f_w , f_{pd} , f_{pdm} , f_{wm} e la resistenza di ogni singolo ancoraggio, è possibile, invertendo l'equazione, trovare il numero J di ancoraggi che garantiscono l'equilibrio limite della struttura.

Le azioni esterne che vengono considerate prevalentemente nelle verifiche di stabilità sono quelle dovute alla presenza di carichi nevosi, in quanto come confermato dalle indagini condotte dal Washington State Department of Transportation (2003), gli stessi risultano essere la causa principale della rottura degli ancoraggi.

Il carico viene valutato in modo semplicistico, l'approccio infatti non è lo stesso utilizzato per la verifica delle reti fermaneve. Il fattore determinante i fenomeni di instabilità è quello della variazione di temperatura, infatti al di sotto degli 0° , la neve, il pendio e la rete congelati si comportano come se fossero un corpo unico, la neve pertanto non scivola e il suo peso proprio va a sommarsi ai carichi già agenti sull'opera di difesa.

In funzione di tali considerazioni, si assume che la forza sviluppata da un ancoraggio per unità di larghezza della rete sia data da:

$$F_c = \rho * g * H * L * \sin\theta - L * c$$

Dove:

- ρ è la densità della neve a profondità media;
- g è l'accelerazione di gravità;
- θ è l'inclinazione del pendio;
- H è l'altezza del manto nevoso misurata perpendicolarmente dal pendio;
- L è la lunghezza del pendio rivestito dalla rete;
- c è la coesione della massa nevosa.

Risulta una valutazione molto cautelativa, in quanto nella realtà non si ha mai una perdita totale della coesione del manto nevoso. La non perfetta linearità del pendio garantisce, infatti, l'aderenza della rete che impedisce il completo scivolamento della massa nevosa.

Quando, invece, la temperatura è di poco maggiore degli 0° gradi, la neve a contatto col terreno inizia a sciogliersi, anche se il resto del manto nevoso rimane congelato alla rete. Si forma quindi

uno strato di acqua liquida che funge da lubrificante riducendo (al massimo annullando) la coesione del manto nevoso. Pertanto, la forza sviluppata da un ancoraggio risulta essere:

$$F_c = \rho * g * H * L * \sin\theta$$

Quando invece le temperature sono di molto superiori allo 0°, la massa nevosa si separa dalla neve e dal terreno e inizierà a scivolare lungo il pendio. Pertanto la rete sarà soggetta alla forza di attrito prodotta dalla neve e dal terreno al di sotto della stessa e la forza agente sugli ancoraggi risulterà essere:

$$F_c = \rho * g * H * L * \sin\theta - \rho * g * H * L * \cos\theta * \tan\phi$$

Dove:

- ϕ è il coefficiente di attrito tra rete e terreno.

METODO PEILA-BARBERO-OGGERI

Il secondo approccio [45] si basa sulla definizione del volume critico che si potrebbe mobilitare tra i chiodi.

Si suppone che la parete di ammasso roccioso fratturato presenti due famiglie principali di discontinuità e che sia coperta da rinforzo corticale (fig.52). Durante l'analisi si sono fatti variare l'interasse tra i chiodi i , la giacitura α e la spaziatura s dei sistemi di discontinuità al fine di ottenere degli abachi di variazione del volume critico (fig.51).

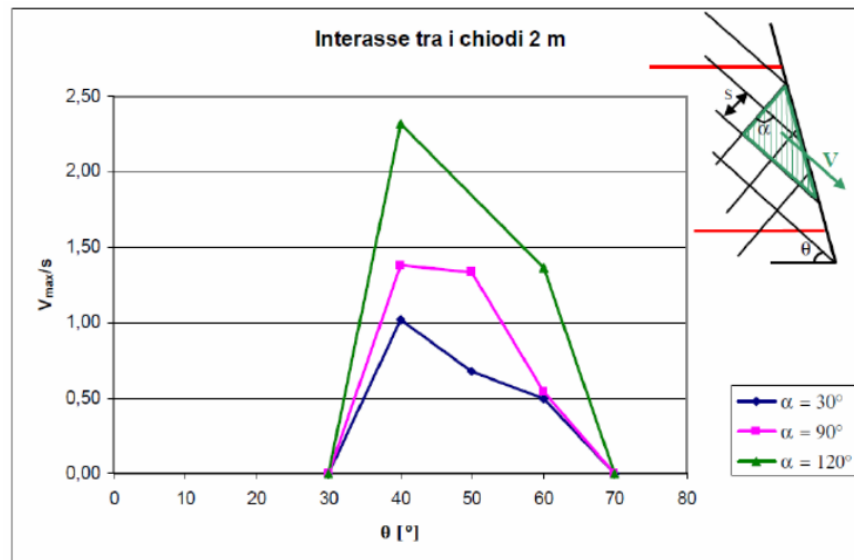


Figura 51: Esempio di abaco ottenuto da simulazione agli elementi distinti. [45]

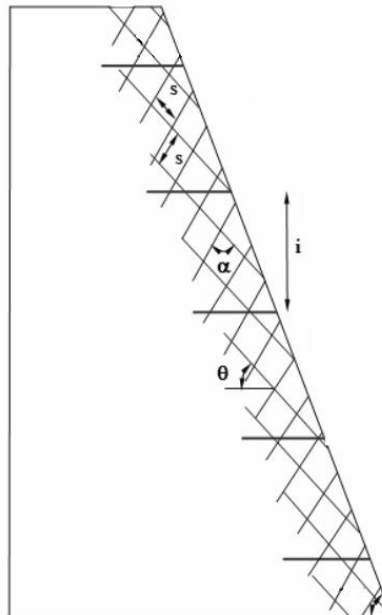


Figura 52: Schema geometrico di sezione di fonte in roccia tipo. [45]

Il volume critico è fortemente dipendente dalla spaziatura tra i chiodi e la forma del masso dipende dalla giacitura e dalla spaziatura delle discontinuità. [45]


$$S = \frac{G \cos \theta \tan \varphi - c \frac{x}{\cos \theta}}{\sin \theta \tan \varphi}$$

Dove:

- Si suppone noto il comportamento della rete in seguito alla sollecitazione. (fig.54)

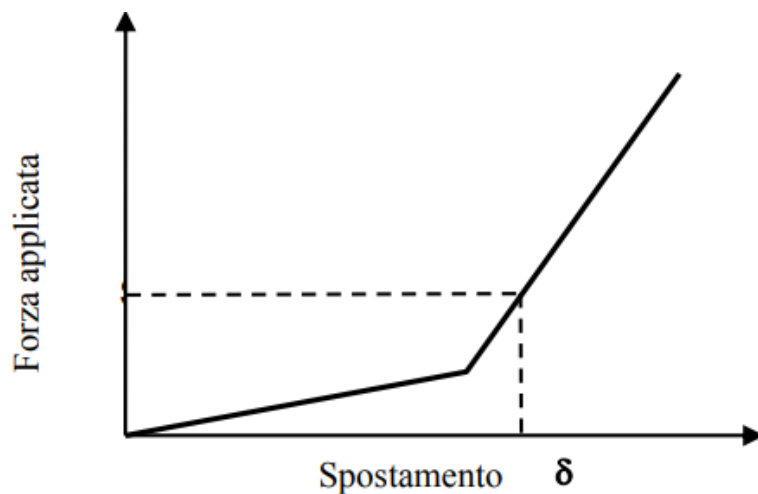


Figura 54: Andamento curva forza-spostamento. [45]

Noto il valore dello spostamento δ , si utilizza lo schema in fig. 55.

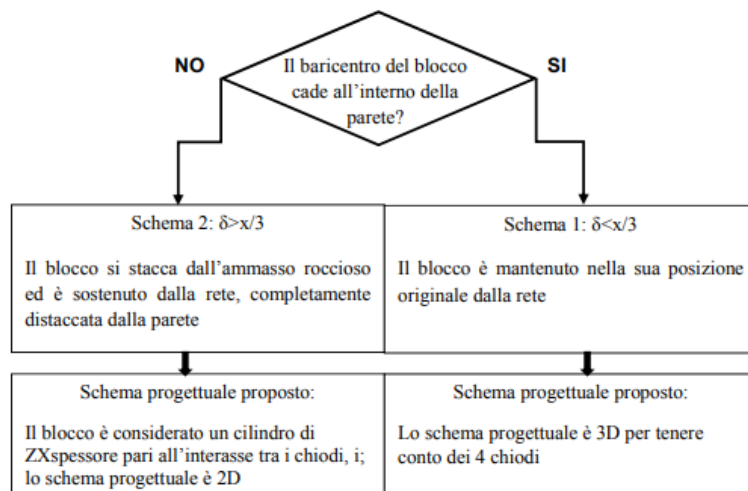


Figura 55: Schemi progettuali in base alla posizione del blocco rispetto alla parete. [45]

Dagli schemi si ottengono le sollecitazioni sulla rete e sui quattro chiodi di ancoraggio della rete alla parete, mediante equazioni di equilibrio.

Nel caso in cui il blocco esca dalla parete ci si riferisce allo schema 2 (fig.56).

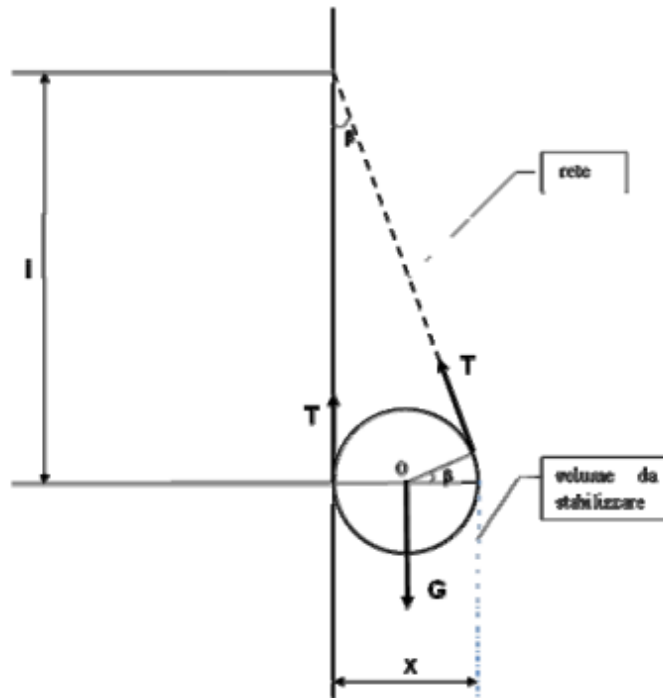


Figura 56: Schema 2. [45]

La forza di trazione T agente sulla rete, per unità di lunghezza, è calcolata come:

$$G = T + T \cos \beta$$

Da cui:

$$T = \frac{G}{1 + \cos \beta}$$

Essendo:

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{l}$$

Nel caso in cui il blocco sia completamente trattenuto dalla rete ci si riferisce allo schema 1. (fig.57)

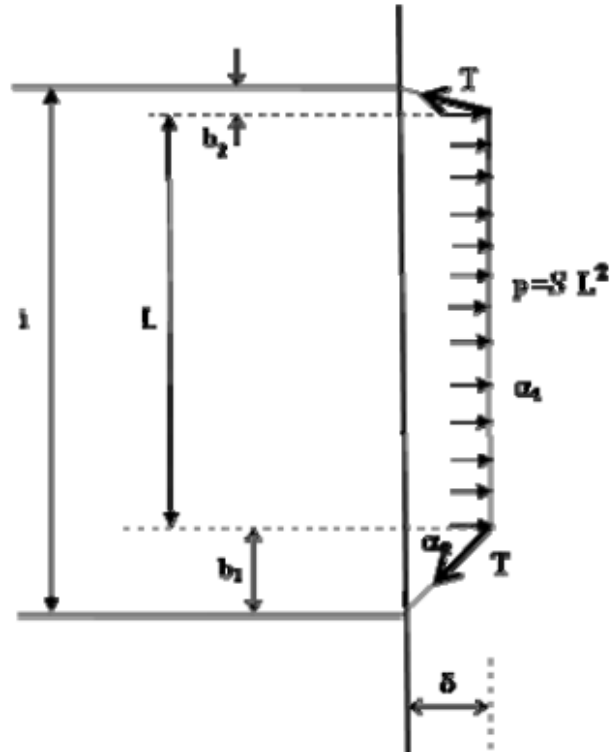


Figura 57: Schema 1. [45]

La pressione $p = S/L^2$ agente sulla rete è bilanciata dalle forze di trazione agenti sulla rete stessa e trasmesse ai chiodi.

$$\alpha_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\delta}{b_1}$$

$$\alpha_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\delta}{b_2}$$

Dunque la forza T è:

$$T = \frac{S}{L(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)}$$

I valori ottenuti per entrambi i casi dovranno essere confrontati con la resistenza a trazione della rete, applicando alle azioni e alle resistenze i rispettivi coefficienti parziali di sicurezza previsti dalle NTC2018.

Per quanto riguarda lo stato limite d'esercizio [32], invece, la rete è verificata se:

$$B_{ulg} - Z_{bulg} \geq 0$$

Dove:

- **B_{ulg}** = **D_{mbulg}** * **γ_{mbulg}** nota come deformazione ammissibile;
- **D_{mbulg}** è la deformazione di progetto massima;
- **γ_{mbulg}** è il coefficiente di sicurezza;
- **Z_{bulg}** è la deformazione del rivestimento ottenuta applicando i carichi d'esercizio.

È utile considerare anche questa parte della progettazione in quanto, se ne è raggiunto il limite massimo è opportuno procedere con la manutenzione e lo svuotamento per evitare la rottura della rete, inoltre una rete troppo caricata può causare sfilamento degli ancoraggi e minor durata dell'opera.

3.3. Opere di ingegneria naturalistica

Le classiche opere di ingegneria geotecnica (alcune delle quali già descritte nel presente capitolo) non sono l'unico e solo approccio alla stabilizzazione dei versanti, infatti, anche la vegetazione svolge un ruolo fondamentale, a tal punto da fare in modo che si sviluppasse un settore tecnico specifico detto, appunto, ingegneria naturalistica o bio-ingegneria.

“L'ingegneria naturalistica (IN) è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antierosivi, di consolidamento e di rinaturazione, da sole o in abbinamento con altri materiali (paglia, legno, pietrame, reti metalliche, biostuoie, geotessuti, etc.)”. [47]

Si può preferire tale approccio invece di quello tradizionale perché le opere di bio-ingegneria, a parità di efficacia nel consolidamento nei versanti, risultano sistemi economicamente molto competitivi.

Un altro aspetto di notevole rilevanza è riservato al basso impatto che la messa a dimora della vegetazione ha nei confronti dell'ambiente sia in termini paesaggistici, sia in termini di inquinamento ambientale. L'installazione delle opere di ingegneria naturalistica non immette gas serra in atmosfera, contribuisce alla ricostruzione di ecosistemi autoctoni e, mediante la fotosintesi clorofilliana, si occupa di ridurre anidride carbonica producendo ossigeno. L'interesse principale si concentra, dunque, sulla crescita delle radici e dei rami della vegetazione.

Esistono centinaia di tecniche di ingegneria naturalistica che possono essere distinte in quattro macro-categorie:

- opere di rivestimento o anti-erosivi, in particolare tutte le tipologie di stuoie o di semina che consenta la crescita di copertura erbacea;
- opere stabilizzanti come la messa a dimora di arbusti, talee, fascinate, gradonate o viminate;
- opere combinate per consolidamento, come palificate vive, grate vive o terre rinforzate verdi;
- opere particolari: drenaggi, barriere antirumore o frangivento.

L'ingegneria naturalistica si può, quindi, considerare come la primordiale forma dell'ingegneria geotecnica, scoperta e praticata fin dai tempi dei romani che cercavano di ridurre l'insorgenza di cinematismi nei pendii sfruttando le risorse e le tecniche loro disponibili.

3.3.1. Effetti della presenza di specie vegetali seminate, messe a dimora o spontanee

La flora è un elemento che contribuisce all' incremento di stabilità del terreno. Le radici per cercare il nutrimento si sviluppano nel terreno, imbrigliandone le particelle e rendendolo meccanicamente più stabile e coeso. (fig.58)

L'aumento della stabilità del pendio non è l'unico vantaggio apportato dalla presenza della vegetazione, le piante mediante il meccanismo dell'evapotraspirazione rallentano e riducono l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

La diminuzione del quantitativo d'acqua riduce le pressioni interstiziali nei giunti di roccia o nel suolo. (tab.5)

La presenza della vegetazione non solo riduce significativamente la probabilità che un fenomeno franoso si verifichi applicando un consolidamento meccanico, grazie alla capacità di trattenere il terreno con le radici, ma agisce anche in sfavore delle forze che causano instabilità. [48]

Tabella 5: Capacità di assorbimento di alcune tipologie di piante.[48]

Tipo di vegetazione	mm/m ²	% totale della precipitazione
Praterie alpine	50	5
Coltivazioni erbacee	400	50
Boschi di conifere	580	46
Boschi misti	500-860	50-54



Figura 58: Apparato radicale su pendio instabilizzato. [47]

Da un punto di vista ancora più ingegneristico, assumendo una stratigrafia in cui superficialmente è presente del suolo instabile poggiante su uno strato meccanicamente più resistente a cui sono tenacemente ancorate le piante, le stesse possono essere visualizzate come una serie di mensole incastrate al sottofondo roccioso che sono in grado di sostenere, nei limiti biologici, il peso dello

strato di terreno instabile sovrastante (fig.59). Tale fenomeno si definisce “effetto contrafforte” della vegetazione. [38]

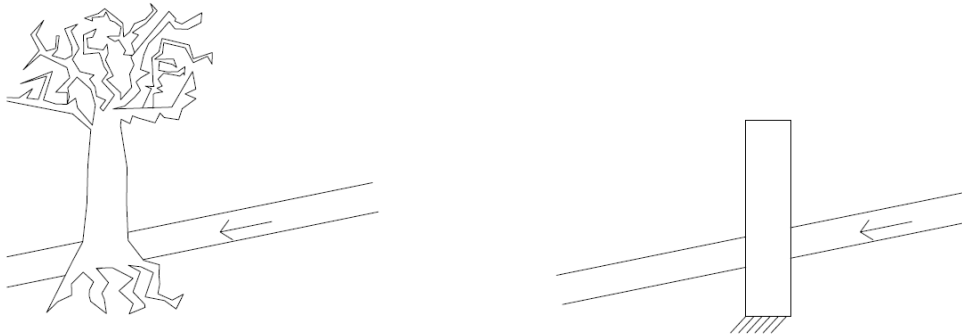


Figura 59: Effetto contrafforte.

Di contro, lo stesso apparato radicale con il passare del tempo può aggrovigliarsi eccessivamente all’ammasso roccioso compatto causandone la fratturazione e la conseguente formazione di blocchi instabili. Dalle fratture nel terreno o nella roccia, inoltre, può infiltrarsi l’acqua, che stipata nel sottosuolo, aumenta le pressioni interstiziali instabilizzando il pendio.

Le piante, soprattutto quelle ad alto fusto, durante i mesi invernali possono caricarsi del peso di neve o ghiaccio. Tale sovraccarico può avere azioni negative sulla stabilità del pendio, in quanto contribuisce all’aumento delle forze instabilizzanti, anche se tali effetti sono “talmente locali che non influenzano la stabilità totale di una frana (anche per quelle piccole)”. [37]

In generale si nota dal grafico in fig. 60 come, effettivamente, gli effetti del sovraccarico e del peso proprio delle piante siano instabilizzanti nel solo caso in cui l’inclinazione del pendio sia maggiore di 45°.

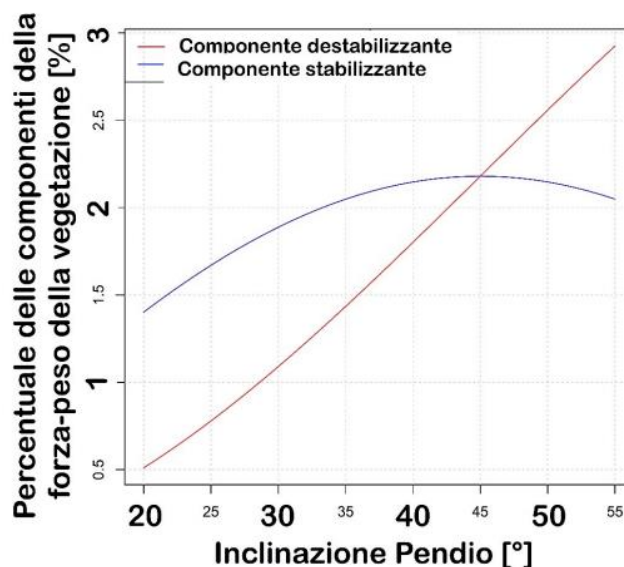


Figura 60: Grafico delle forze stabilizzanti e instabilizzanti al variare dell'inclinazione del pendio [37]

Comunque la variazione di peso dovuto alla vegetazione non è minimamente comparabile alla variazione di forza instabilizzante indotta dal peso stesso della frana. L'effetto del peso della vegetazione diminuisce all'aumentare della profondità del piano di scorrimento della frana. (fig.61)

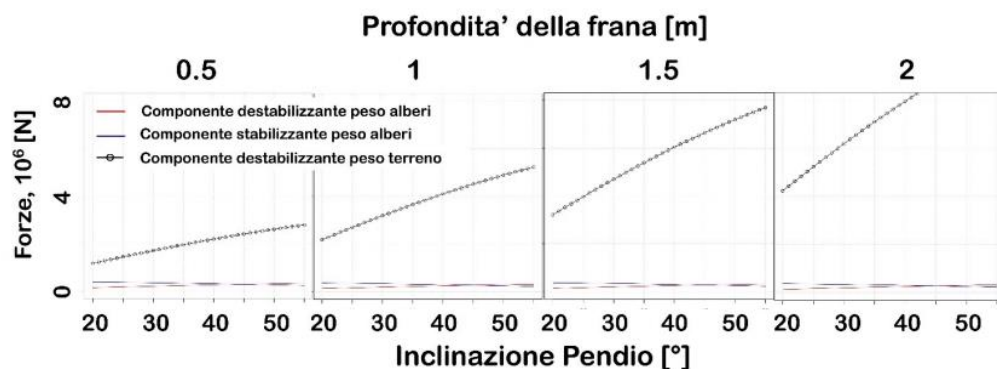


Figura 61: Variazione delle forze dovute al peso della vegetazione e del terreno all'aumentare della profondità e dell'inclinazione del pendio [37]

Schwarz [37] ha la stessa opinione anche in merito all'azione delle correnti d'aria, contrariamente Epis [38], nel suo elaborato di tesi, sostiene che i venti forti possano trasferire, attraverso il tronco, tensioni di natura dinamica al terreno a tal punto che “nei casi più estremi, essi possono portare allo sradicamento dell'albero e alla conseguente formazione di punti preferenziali per l'innescio di successivi dissesti”.

Non solo le radici contribuiscono attivamente al miglioramento della resistenza al taglio dello strato più superficiale del suolo, ma le piante con fitto fogliame intercettano l'acqua piovana, riducendone la quantità che sopraggiunge il suolo istantaneamente. Una volta al suolo, l'acqua si infiltra o, nel caso di saturazione, ruscella sul pendio. All'aumentare della quantità d'acqua che ruscella, aumenta anche la velocità di dilavamento con cui l'acqua si muove sul fronte, erodendo e asportando particelle di suolo a valle, causando progressivamente instabilità.

In definitiva, il bosco svolge sul pendio un ruolo determinante anche in termini di mitigazione del rischio idrogeologico. Riducendo la caduta dell'acqua al suolo, diminuisce il fenomeno di dilavamento che, in casi di fortissime precipitazioni, può contribuire attivamente alla riduzione dei picchi delle piene a valle. Agendo sull'erosione, inoltre, si forma meno detrito e ancor meno lo stesso va a depositarsi sui letti dei fiumi, riducendone la sezione e aumentando quindi la probabilità che in caso di piena, il fiume esondi.

Si riporta che su un fronte densamente vegetato, “la velocità di deflusso delle acque è circa un quarto di quella che si avrebbe, a parità di pioggia, su suoli privi di vegetazione e di conseguenza, l'azione erosiva, che varia con il quadrato della velocità, può scendere fino al 1/16” [47].

Anche le opere di bioingegneria vanno opportunamente progettate al fine di ottenere le massime prestazioni possibili: la vegetazione messa a dimora deve essere, in primis, autoctona di modo tale che non vi sia impatto visivo con le specie circostanti, in secundis, deve essere adatta al contesto in cui verrà inserita.

Nel caso in cui la messa a dimora avvenga, ad esempio, in un luogo in cui sono frequenti le inondazioni che manterrebbero in immersione l'apparato radicale da varie ore fino ad alcuni giorni, sarebbe più opportuno optare per piante che sopportino tale condizione e non muoiano di asfissia.

La scelta della migliore tipologia di pianta comprende anche la capacità della stessa di consolidare il terreno, proprietà non comune a tutte le specie. La capacità di consolidare il terreno è direttamente proporzionale al rapporto tra il volume delle radici e il volume dei getti, pertanto maggiore è il rapporto, maggiore è l'efficacia. (tab.6)

Tabella 6: Confronto tra differenti specie e capacità di consolidamento. [47]

Specie vegetale	Capacità di consolidamento
Viburnum lantana	2.3
Salix eleagnos	1.8
Salix purpurea	1.5
Fraxinus excelsior	1.5
Ligustrum vulgare	1.2
Acer pseudoplatanus	1.1
Salix alba	0.5

Un altro parametro di cui è importante tenere conto è la resistenza all'estirpazione dell'intera pianta, poichè è indice della densità dell'apparato radicale che contribuisce all'azione antiersiva del pendio. (tab.7)

Tabella 7: Confronto tra differenti specie e forza di trazione da applicare per estirparle. [47]

Specie vegetale	Forza di trazione [N]
Poa annua	1.04
Lolium perenne	5
Trifolium repens	3.5
Anthyllus vulneraria	86
Lotus corniculatus	142
Trifolium pratense	154
Onobrychis sativa	350
Medicago sativa	3250

Salix caprea	5500
Carpinus betulus	4000

Nella selezione della specie, è fondamentale prendere in considerazione l'altezza e le dimensioni che potrebbe raggiungere la pianta e di conseguenza la potenziale instabilità a cui potrebbe essere soggetta. Il ribaltamento delle piante può comportare infatti, oltre all'instabilizzazione del pendio in cui si trovano, la possibile distruzione di opere di difesa esistenti, delle abitazioni o delle infrastrutture nelle vicinanze.

La vegetazione ad alto fusto, nel caso di inneschi di mud flows o debris flows, se impattata dal detrito, potrebbe, inoltre, essere sradicata e contribuire al volume del materiale costituente il corpo frana (fig.62).



Figura 62: Esempio di fenomeno franoso con detrito misto a vegetazione ad alto fusto [41]

La vegetazione non ha solo un ruolo nella stabilizzazione dei versanti, ma anche nella difesa contro la caduta dei massi. Agisce, quindi, anche in seguito all'evento, poichè "per massi fino a 5 m³ di volume gli alberi costituiscono un ostacolo al rotolamento, esercitando un effetto di rimbalzo, frenata e trattenuta naturale a volte sorprendente". [49]

4. Danneggiamento delle opere di difesa contro la caduta massi

Le opere di difesa contro la caduta massi, durante la loro vita utile, sono sottoposte a una serie di agenti esterni (per lo più dovuti all'ambiente e al contesto in cui le strutture sono inserite) che possono danneggiarle. Il danneggiamento riduce l'efficacia delle strutture difensive, impedendo, con il passare del tempo, che rimangano utili allo scopo per cui sono state installate, motivo per il quale devono essere sostituite o mantenute. Una barriera danneggiata non è in grado di fermare i massi con energia cinetica di progetto, una rete in aderenza non è in grado di trattenere detrito che provochi un carico pari a quello di progetto, pertanto il danno nelle opere fa in modo che le stesse non abbiano più lo stesso ruolo determinante nella mitigazione del rischio. Le strutture danneggiate, infatti, non garantiscono più lo stesso livello di sicurezza di quando sono state installate.

Il danneggiamento contribuisce all'aumento della pericolosità, intesa come la probabilità che un certo evento di una determinata intensità si verifichi in una determinata area.

Con l'installazione delle opere di difesa passive come le reti e le barriere paramassi, non si riduce la probabilità che l'evento avvenga, ma si devia o arresta il percorso del masso, riducendo la probabilità che l'evento di tale intensità giunga alla determinata area. Lavorare sulla pericolosità consente di mitigare il rischio essendo lo stesso definibile come:

$$R = P * V * E$$

Dove:

- **R** è il rischio, inteso come la probabilità che un determinato evento di data intensità si verifichi in una determinata area in un determinato intervallo di tempo, producendo un particolare livello di danno agli elementi esposti.
- **P** è la pericolosità intesa come la probabilità che un certo evento di una determinata intensità si verifichi in una determinata area;
- **V** è la vulnerabilità, cioè la predisposizione dell'elemento esposto di riportare danno se sottoposto al determinato evento;
- **E** è l'esposizione intesa come "il numero di unità (o valore) di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area, come le vite umane o gli insediamenti" [77].

Il rischio è quindi funzione della pericolosità, se si riduce la pericolosità, a parità di vulnerabilità ed esposizione, si riduce di conseguenza il rischio. Tale è il motivo per il quale le opere di difesa sono anche chiamate opere di mitigazione del rischio.

La perdita di efficienza delle opere (e quindi l'aumento del rischio) dipende in massima parte da due fattori principali:

- dal tipo e dall'entità di azione danneggiante;
- dall'importanza, in termini strutturali e funzionali, della componente dell'opera che viene danneggiata.

Si procederà nel presente capitolo con l'analisi degli agenti deterioranti e degli effetti che derivano dalla compromissione dell'integrità strutturale delle opere, rifacendosi a casi studio ed esempi riportati dalla letteratura.

Nello specifico, in questa sezione dell'elaborato di tesi si illustreranno le modalità e gli effetti del danneggiamento dovuti a:

- gli impatti dei massi sulle strutture;
- il sottodimensionamento, la manutenzione e installazione non idonea delle opere;
- l'interazione con l'ambiente, con particolare attenzione ai fenomeni di corrosione e agli effetti della vegetazione;

al fine di porre le basi per lo sviluppo dell'analisi sullo stato di conservazione delle opere oggetto di studio.

4.1. Effetti dei massi sulle opere

Le barriere paramassi sono installate al fine di intercettare o ridurre l'energia cinetica del masso in caduta mediante fenomeni di dissipazione. È possibile quindi che l'impatto con il masso sia una delle modalità mediante la quale il sistema può ritrovarsi danneggiato.

Gli effetti di un impatto possono essere localizzati in una componente della barriera o su parte di essa. A volte, nel caso di massi che impattano sul sistema con energia cinetica maggiore di quella prestazionale della barriera, è più probabile che il danneggiamento interessi la barriera nella sua totalità, annullandone l'efficienza complessiva.

In generale, non è solo il valore di energia cinetica a governare il danneggiamento, bensì anche la traiettoria e il punto di impatto dei massi, ma anche il tipo di barriera (se rigida, semi-flessibile o flessibile) e la presenza di alcune componenti (ad esempio i freni dissipatori). Si riportano alcuni esempi, nonostante la disponibilità di dati sperimentali sull'argomento sia esigua per via dell'elevato costo delle prove in vera grandezza. [54]

Considerando il caso di un filare di barriere, è altamente improbabile che, durante un evento di caduta massi lo stesso venga interessato nella sua interezza dall'evento. Solitamente, infatti, le frane da crollo rilasciano un numero esiguo di blocchi, ed è pertanto difficile che tutte le campate vengano contemporaneamente interessate dal dissesto. In seguito a un impatto alcune campate mostreranno segni di danneggiamento più evidenti di altre.

Da alcune analisi sul comportamento delle barriere all'impatto dei massi si è scoperto che "il danno più frequente [...] era stato, in particolare, quello definibile come dovuto all'effetto proiettile ovvero quello di blocchi di dimensione ridotta (50-100 kg) che ad elevata velocità (50-80 m/s) avevano perforato la rete". [56]

Si veda, come esempio, l'analisi dello stato di danneggiamento delle opere a bassa deformabilità installate a Villa Santina (UD) (fig.63).

Le barriere sono state interessate da un evento di caduta massi modesto, infatti sono stati rinvenuti solo alcuni detriti aventi volume massimo di 0.5 m³ che hanno impattato sulla barriera causando la deformazione permanente di alcuni elementi.

Il filare è lungo 72 metri, è sostenuto da 25 montanti alti 5 metri, incastrati alla base in plinti di calcestruzzo armato, ma solo una delle 24 campate risulta danneggiata.

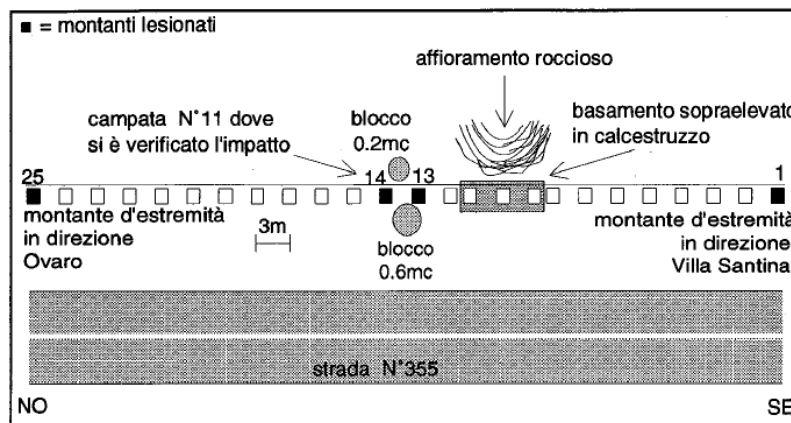


Figura 63: Schema planimetrico del caso di Villa Santina. [54]

In seguito all'impatto si sono osservati danneggiamenti specialmente sui montanti e sul sistema di ancoraggio delle funi di controvento a terra. Per meglio comprendere gli effetti di un impatto su una barriera paramassi è opportuno spiegare il principio di funzionamento di tali opere di difesa.

Nello specifico, quando avviene l'impatto, la prima componente che di solito è interessata è la rete di intercettazione. Questa trasmette le forze ad altre parti della struttura tramite le funi di connessione. Il criterio di diffusione tensionale dipende dal tipo di barriera e dalle caratteristiche dei materiali costituenti. La sollecitazione, se opportunamente prevista, solitamente termina il suo ciclo di diffusione al suolo, mediante ancoraggi e fondazioni. Per questo motivo non si parla di un criterio di rottura standard, poiché la tensione è sopportata in diverse modalità.

Più in generale, in seguito agli impatti (naturali e innescati artificialmente) è stato notato sperimentalmente che nel caso di struttura paramassi semi-rigida, incastrata al piede e in assenza di freni dissipatori, le funi trasmettono lo stato tensionale ai montanti subito adiacenti alla campata interessata dalla caduta. I montanti si deformano plasticamente in direzione normale al piano della barriera (fig.64). In sistemi di questa tipologia in cui le funi trasmettono le tensioni ai montanti verticali è comune ritrovare, inoltre, i profilati estremi della barriera intensamente deformati. [54]

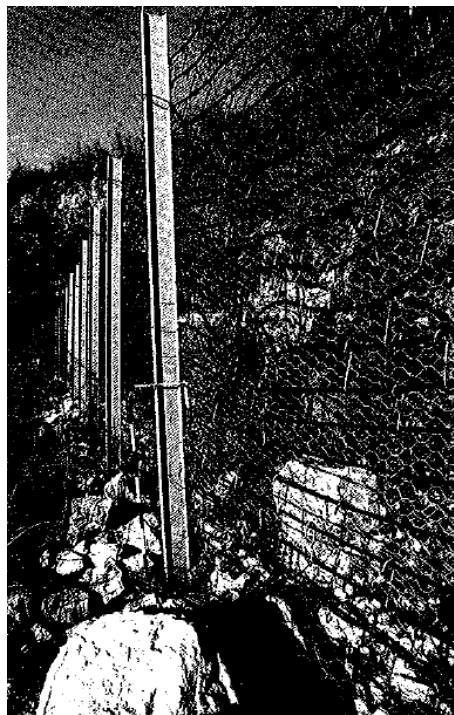


Figura 64: Evidente deformazione plastica di origine flessionale. [54]

Al contrario, se il masso impatta contro la rete nella fascia medio-alta, può indurre deformazione plastica di origine flesso-torsionale nei profilati adiacenti che, senza mostrare rottura fragile, ruotano su sé stessi anche di 90°. (fig.65)

L'origine di tale tipologia di deformazione è dovuta all'esistenza di componenti oblique della sollecitazione indotta dall'impatto rispetto agli assi principali dei montanti incastrati. [54]



Figura 65: Flesso-torsione plastica di un montante IPE200.[54]

Le barriere che dissipano energia in sfavore della funzionalità dei montanti, ad oggi, non sono preferite, in quanto si ammetterebbe la riduzione dell'efficienza del sistema a discapito delle componenti di sostegno, il cui unico compito sarebbe quello di mantenere in posizione il sistema di difesa. Per questa motivazione è più comune trovare barriere paramassi i cui montanti sono incernierati al piede e in cui la dissipazione avviene tramite i freni dissipatori (che si attengono, pertanto, allo scopo per cui sono stati predisposti). Anche per la barriera paramassi si può parlare di gerarchia delle resistenze, mediante la quale si progetta opportunamente la componente più debole che dovrà sacrificarsi per il mantenimento della funzionalità dell'intero sistema, riducendo al minimo le perdite di efficienza. [59]

Nel caso in cui la rotazione parziale al piede del montante fosse consentita dalla presenza di un vincolo tipo cerniera, il montante direttamente interessato dall'impatto, quindi, presenterebbe sola deformazione locale (fig.66) ed eventuale rotazione al piede, senza deformazioni plastiche dovute a stati tensionali di flessione.



Figura 66: Deformazione localizzata della sezione del montante e rotazione in corrispondenza della cerniera di base. [55]

Sono quindi possibili modalità di danneggiamento che non coinvolgono i montanti.

Per esempio, se l'impatto implica la trasmissione di una forza particolarmente intensa alla struttura, sarà comune ritrovare le chiodature (che ancorano le funi di controvento al suolo) sfilate dal terreno.

Questo fenomeno (detto appunto di sfilamento delle chiodature) avviene quando la forza di trazione applicata al chiodo è maggiore della resistenza che il chiodo riesce a sviluppare in termini di attrito con il terreno in cui è inserito. [58]

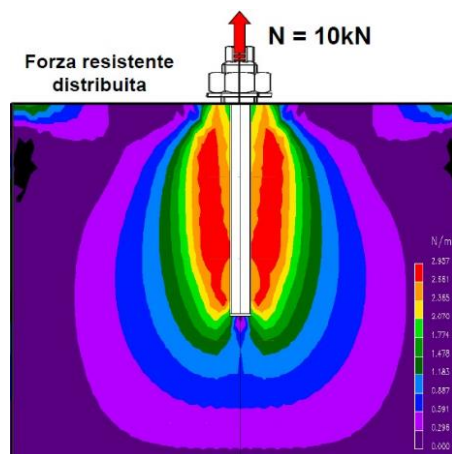


Figura 67: Distribuzione delle tensioni sulla superficie esterna della chiodatura. [57]

In circostanze come quella precedentemente descritta, la barriera paramassi potrebbe complessivamente trovarsi integra poiché l'energia cinetica del masso potrebbe essere stata dissipata totalmente attraverso l'attrito generato in fase di sfilamento. Lo sfilamento è dovuto all'incorretta distribuzione delle tensioni, indotte dall'impatto e concentratesi sul chiodo.

È un fenomeno, comunque, da evitarsi poiché "comprometterebbe la funzionalità dell'opera e la sua capacità di assorbimento energetico". [61]

L'impatto dei massi può causare, inoltre, il danneggiamento di altre componenti oltre ai chiodi e ai montanti. È molto comune, infatti, che l'elemento più danneggiato sia soprattutto la rete (d'arresto) e le funi.

La rete, se costituita da anelli concatenati, detta anche rete antisommersibile [54] in seguito agli impatti tende a deformarsi elasticamente molto facilmente senza creare rilevanti stati tensionali addizionali. Tuttavia è comune che si concentrino, in prossimità dell'area di impatto, degli sforzi che provocano ovalizzazione plastica degli anelli. (fig.68) Tale area principale di deformazione ha la forma di un cono con vertice nel punto di contatto e apertura angolare di circa 30°. [54] La lacerazione della rete (fig.69), soprattutto secondaria, si basa sullo stesso principio di concentrazione degli sforzi alla base dell'ovalizzazione. [54]



Figura 68: Anelli ovalizzati. [24]



Figura 69: Esempio di rete lacerata in seguito ad impatto di collaudo. [60]

In seguito all’impatto, sarà possibile distinguere fenomeni di rottura e lacerazione o di ovalizzazione, in base alla tipologia di rete costituente il sistema di intercettazione.

Come già descritto nel Cap. 3, il masso in caduta presenta un moto parabolico, in cui lo stesso può traslare, saltare o rotolare. Se il masso giunge alla rete con un minimo moto rotazionale allora avviene l’ingranamento, un fenomeno per cui, complice la dimensione della maglia della rete e la

scabrezza del masso, questi vi rimane incastrato, deformando o lacerando localmente il sistema d'arresto. (fig.70)

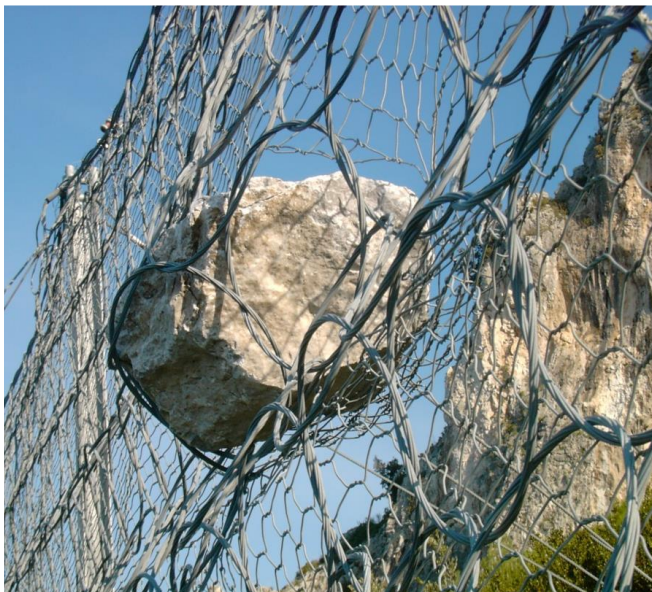


Figura 70: Ingranamento di un masso. [24]

La lacerazione locale della rete secondaria potrebbe, nel caso la barriera non venga ripristinata, essere il principio di innesco di un danneggiamento maggiore, cioè la completa apertura di un varco. Se la rete viene mantenuta in tensione (non svuotata) o sottoposta a nuovi impatti, reagirà quasi sicuramente diffondendo la lacerazione locale (è una debolezza del sistema), amplificando lo squarcio dal quale potrebbero transitare massi.

In merito allo studio degli agenti ammaloranti delle reti in aderenza rinforzate, semplici o a pannelli non è pertinente riferirsi agli impatti, pertanto le cause saranno da ricercare nell'ambito del solo contatto tra la rete e il masso.

I rafforzamenti corticali, di qualsiasi tipologia, non sono progettati per intercettare il blocco durante la traiettoria parabolica di caduta come per le barriere. Essendo le reti aderenti alla superficie, si occupano di rinforzare l'affioramento e nel caso di distaccamento di massi, la rete svolge il compito di trattenere i detriti quanto più possibile aderenti alla parete. Non si esclude che, in alcuni casi (ad esempio nel caso di reti a cortina non armate), il masso scivoli verso valle tra la superficie del pendio e la rete. In questo caso, la presenza della rete impedisce che il masso assuma una traiettoria parabolica, che avrebbe naturalmente in aria. È pertanto improprio parlare di impatti, perché l'evento è definibile come a bassa/media energia, il danneggiamento è dovuto principalmente alla dimensione del masso e alle sollecitazioni che impone alla struttura di mitigazione.

La rete è resa aderente al pendio mediante l'utilizzo di chiodature (il cui principio di danneggiamento è già stato illustrato per le barriere paramassi) e trattiene il detrito al piede grazie alla presenza di funi che consentono la formazione della classica "sacca".

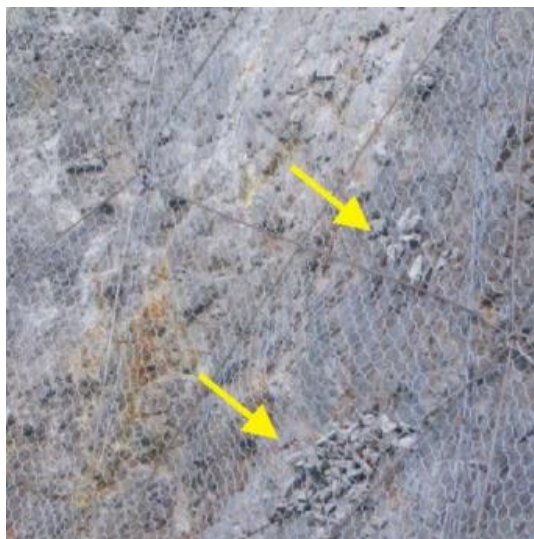


Figura 71: Spanciamento di detrito in rete in aderenza armata. [19]

Senza l'apporto delle funi, le reti governerebbero il moto del masso senza, però, riuscire a trattenerlo al piede. Le reti non sono quindi progettate su livelli prestazionali di energia cinetica, ma sulla resistenza a trazione della maglia. Il principio di diffusione degli sforzi è più semplice di quello relativo alle barriere poiché, nel caso di reti semplici, il masso viene trattenuto dalla rete che trasmette lo stato di tensione ai più vicini chiodi. Qualora il masso giungesse al piede, allora la sollecitazione verrebbe a concentrarsi anche sulla fune al piede oltre che alla rete, ed entrambe trasferirebbero gli sforzi agli ancoraggi, come nel caso di reti rinforzate.

La rete può mostrare segni di danneggiamento da contatto, come già illustrato per le barriere paramassi, quando il masso, durante la discesa, friziona contro la rete e ne causa la lacerazione.

Grazie ai risultati dei test su scala reale [62], è stato possibile avere una panoramica più ampia in merito alle modalità di danneggiamento dovute al carico applicato dai massi trattenuti dalla rete.

Si è notato che il comportamento dipende nettamente dal tipo di rete, la differenza comportamentale si è rilevata principalmente tra i sistemi costituiti da pannelli e da reti a doppia torsione.

I test sono stati effettuati mediante l'applicazione di un carico crescente trasmesso alla rete da un martinetto idraulico. (fig.72) Il contatto tra rete e martinetto è di tipo superficiale e non puntuale e avviene tramite una testa distributrice di forma sferica. La scelta della superficie sferica annulla le possibilità di danneggiamento della rete dovuto alla scabrezza del masso test. Mediante questo approccio sono stati quindi valutati i soli effetti del carico applicato.

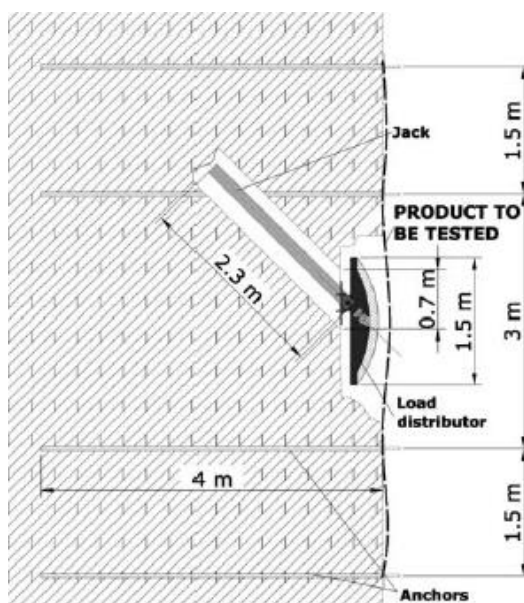


Figura 72: Schema della simulazione a grandezza reale.[62]

Il campione di rete ($3.00 \times 3.00 \text{ m}^2$) è fissato alla parete mediante 4 chiodi. (fig.73)

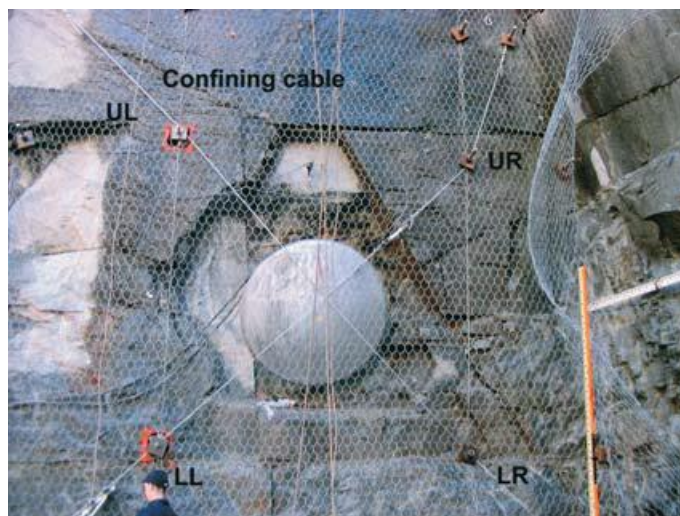


Figura 73: Esempio di simulazione.[62]

Non si procederà con la spiegazione delle dinamiche specifiche delle simulazioni, in quanto non pertinenti allo scopo di redazione del presente capitolo ma ci si concentrerà sugli effetti.

In particolare, è stato notato che le reti a doppia torsione, a parità di carico, presentavano livelli deformativi decisamente maggiori rispetto ai pannelli in rete a tal punto che, in alcuni test, si è raggiunto lo stato di massima deformazione ammissibile ancora prima del massimo carico sopportabile.

In merito ai pannelli, inoltre, lo stato deformativo (minore di quello delle reti a doppia torsione) si concentra nell'area compresa tra i quattro chiodi, anche se i pannelli a maglia più densa (300 x 300 mm) si deformano nettamente meno rispetto a quelli a maglia 400 x 400 mm. [62]

Lo stato deformativo ridotto è probabilmente dovuto alla maggiore rigidità della maglia più fitta. In seguito ad approfondite osservazioni, è stato possibile notare che anche in prossimità degli ancoraggi la maglia di rete tende a deformarsi eccessivamente assumendo forma romboidale e talvolta sono presenti anche lacerazioni (fig. 74-75).



Figura 74: Stato deformativo in prossimità del sistema di ancoraggio. [62]



Figura 75: Lacerazione di rete a singola torsione in prossimità di sistema di ancoraggio.[19]

In caso di reti in aderenza rinforzate con funi ad X, è stato notato che il sistema che trasferisce il carico alla struttura tendeva a scivolare al di sotto delle funi. (fig.76)

Nei casi reali, i massi presentano scabrezza che produce attrito nei confronti della rete, pertanto, è meno probabile che questa eventualità si verifichi, ma la non perfetta aderenza delle funi ad X all'affioramento risulta comunque un danno in termini prestazionali.



Figura 76: Caso di scivolamento del sistema di prova al di sotto delle funi ad X. [62]

I sistemi di rafforzamento corticale con rete a singola o doppia torsione hanno dimostrato, inoltre, che lo stato deformativo fosse di tipo plastico, poiché alla rimozione del carico e della testa sferica, la deformazione si è mantenuta (fig.77).



Figura 77: Deformazione plastica. [62]

Infine, come già anticipato, sia per le barriere paramassi che per le reti in aderenza, il danneggiamento può interessare anche le funi di connessione.

Le funi di connessione, solitamente trefoli in acciaio, sono gli elementi più comuni nel trasferimento dei carichi, per via della loro elevata resistenza a trazione. [63]

Le funi danneggiate presentano differenti sezioni trasversali, in dipendenza dalla causa. (fig. 78)

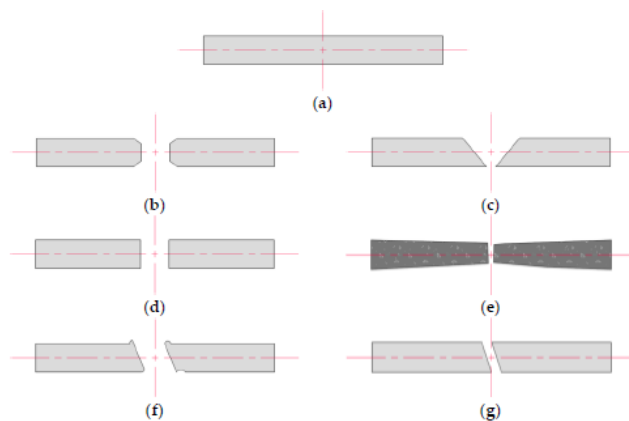


Figura 78: a) fune integra, b) fune danneggiata da eccesso di carico, c) fune sottoposta ad usura, d) fune sottoposta a fatica, e) fune corrosa, f) fune piegata, g) fune tranciata.[63]

Pertanto, se una fune danneggiata è visionabile, si può risalire all'origine dell'ammaloramento per agire sulle cause.

4.2. Effetti del sottodimensionamento, installazione e manutenzione non idonee

Le opere di mitigazione, volte a ridurre il rischio, possono essere meno funzionali a causa di fattori di origine umana come il sotto-dimensionamento, la non idonea installazione o la cattiva gestione della manutenzione. Non si considera l'atto vandalico come azione umana, in quanto imprevedibile, pertanto non si faranno mai riferimenti a danneggiamenti di quell'origine anche se, in verità, possono esistere.

Succede spesso che un errore in termini di previsione dell'evento di caduta massi (e conseguente progettazione delle barriere) possa portare alla totale distruzione dell'opera di difesa (fig.79) o alla completa perforazione della componente di intercettazione (fig. 80).



Figura 79: Barriera distrutta da evento di caduta massi.[24]



Figura 80: Perforazione dovuta a blocco con livello di energia troppo elevato. [65]

È possibile, inoltre, che un sistema ben progettato subisca una perdita delle prestazioni perché installato nel modo non corretto. Si veda, ad esempio, il caso in fig. 81, in cui il plinto di un montante

interferisce con la fune longitudinale impedendone il corretto scorrimento o il caso in fig. 82, dove i controventi sono più lunghi di quanto prescritto nel manuale di montaggio, tale anomalia potrebbe indurre sollecitazioni differenti da quelle di prova a seguito di un impatto.



Figura 81: Interferenza tra plinto e fune. [61]



Figura 82: Incongruenza tra installazione e manuale di montaggio. [61]

In alcune circostanze, è stato rilevato un significativo dislivello tra due montanti contigui o angoli in pianta elevati tra due campate successive, dovuti a questioni topografiche, che possono impedire lo scorrimento delle funi sottoponendole ad angolazioni che possono danneggiarle. [61]

Un altro modo in cui le barriere perdono efficienza, è quando le funi inferiori non aderiscono bene al pendio, creando varchi al piede del sistema che intercetta efficientemente il massa, ma non riesce a trattenerlo. Talvolta il massa può transitare al di sotto, senza venire intercettato.



Figura 83: Esempio di vuoto al piede della barriera. [61]

Infine, è comune riscontrare, in opere particolarmente “anziane”, l’assenza di alcune componenti di importanza vitale dell’opera come grilla, morsetti di collegamento, talvolta anche funi. Se ne vedranno gli effetti nel capitolo 5, dedicato all’analisi del caso studio.

Nelle barriere e nelle reti, le componenti non hanno tutte la stessa importanza, l’assenza o il danneggiamento di alcune componenti può essere molto più impattante rispetto all’assenza o al danneggiamento di elementi secondari. Tali aspetti sono stati considerati anche nella redazione del metodo Marchelli et al. 2020 e Marchelli et al. 2019, con la proposta di inserimento di tutti gli elementi in tre differenti classi di importanza. (tab. 12 – 17 - 18)

In altre circostanze invece, si sono riscontrate installazioni non conformi alle normative vigenti, come nel caso in fig. 84, in cui i morsetti di collegamento delle funi sono montati con maggiore interesse rispetto a quanto imposto dalle UNI EN 13411-5.



Figura 84: Interesse errato dei morsetti. [61]

A partire dall’installazione comincia a scorrere la vita nominale dell’opera durante la quale è opportuno svolgere frequenti sopralluoghi al fine di valutare lo stato dei luoghi. Se viene riscontrata

una perdita di funzionalità, è opportuno agire con attività per il ripristino delle prestazioni delle opere.

Succede, talvolta, che gli interventi necessari alla manutenzione siano difforni dallo schema costruttivo della barriera. Si veda come in fig.85 un varco al piede (che può formarsi anche per erosione del terreno) sia stato chiuso facendo passare le funi longitudinali inferiori in un ancoraggio, impedendo alle stesse di scorrere in seguito agli impatti.



Figura 85: Esempio di varco al piede ripristinato in modo difforme. [61]

In altre circostanze, invece, è possibile ritrovare alcuni elementi lesionati non ripristinati o stati sostituiti, ma non installati secondo la configurazione originaria.

Quando le reti o le barriere hanno subito una caduta massi e stanno trattenendo del materiale, è opportuno che vengano mantenute il prima possibile con la rimozione del detrito che le mantiene in tensione. (fig.85)

Le motivazioni sono da ricercarsi nella possibilità che, nel periodo tra la caduta massi e l'attività di manutenzione, possano ripetersi eventi come quello appena avvenuto. Nel caso tale prospettiva si avverasse, i sistemi potrebbero non reagire al massimo della loro potenzialità, poiché sono già in uno stato di pre-tensione. Qualora il secondo evento mettesse in tensione la struttura con una sollecitazione o energia cinetica maggiore della resistenza del sistema di mitigazione, potrebbe avvenire la lacerazione delle reti con conseguente liberazione dei massi (precedentemente trattenuti) sul pendio. Le barriere deformate potrebbero, inoltre, presentare una sensibile diminuzione dell'altezza di intercettazione, aumentando il rischio di effetto "sormonto" del masso.



Figura 86: Barriera piena di detrito con riduzione dell'altezza di intercettazione. [65]

Attività di manutenzione assenti o non eseguite nella maniera opportuna potrebbero, quindi, annullare gli effetti benefici dovuti all'installazione delle opere di difesa.

4.3. Effetti dell'interazione delle opere con l'ambiente circostante

L'ambiente in cui l'opera è inserita riveste un ruolo di fondamentale importanza nel danneggiamento della stessa: può, infatti, influenzare la durabilità delle opere di difesa e conseguentemente la sicurezza delle aree protette.

Nello specifico, quando si parla di interazione tra le opere e l'ambiente, si include la presenza della vegetazione che compromette il sistema dal punto di vista strutturale, ma anche dell'acqua che microscopicamente avvia un processo di degradazione dal punto di vista chimico del materiale.

La presenza di fitta vegetazione ad alto, basso fusto o arbustiva rappresenta una problematica secondo diversi punti di vista.

In primis può costituire un impedimento alla corretta progettazione poiché, uno stato vegetale estremamente fitto, può nascondere i massi instabili e le nicchie di distacco, portando a un posizionamento e/o dimensionamento possibilmente errato delle opere di difesa passive. (fig.87)



Figura 87: Reti in aderenza completamente sormontate dalla vegetazione.

La vegetazione rappresenta un ostacolo per il monitoraggio e per la manutenzione delle opere. Infatti, una rete occultata dalla vegetazione può essere difficilmente individuabile anche a breve distanza, impedendo di notare eventuali danneggiamenti o deterioramenti e di conseguenza di programmare interventi tempestivi.

La presenza di piante in prossimità delle barriere, più precisamente, a valle delle stesse, costituisce un'importante interferenza al corretto comportamento delle strutture (fig. 88). Tale configurazione impedisce alla rete di deformarsi completamente, riducendone la capacità di assorbimento energetico. [61]



Figura 88: Tronco a ridosso della rete di una barriera. [66]

Al contrario la vegetazione ad alto fusto (in questo caso a monte delle barriere come in fig.89) può crollare sul sistema di difesa provocandone una sensibile diminuzione dell'altezza, i massi potrebbero, quindi, sormontarla e giungere a valle. [65]



Figura 89: Diminuzione dell'altezza della barriera dovuta al ribaltamento di tronchi a monte. [65]

La vegetazione, talvolta, può svilupparsi all'interno dei freni dissipatori delle barriere paramassi, impedendone la completa deformazione e, quindi, dissipazione energetica (fig.90).



Figura 90: Stato vegetativo e freni dissipatori. [69]

Le reti in aderenza, invece, possono essere lacerate dalla presenza della vegetazione che si sviluppa all'interno dei fori delle maglie, deformandoli e addirittura lesionandoli all'aumentare del diametro di radici o fusti.

Gli alberi ad alto fusto che si sviluppano sulle reti in aderenza giungono velocemente a una completa solidarizzazione con il sistema di difesa (fig. 91) e nel caso di ribaltamento, potrebbero sradicare intere porzioni di rafforzamento corticale.



Figura 91: Vegetazione ad alto fusto totalmente solidale al sistema di difesa.

La corrosione è un processo chimico naturale che provoca l'ammaloramento dei materiali metallici. Alla base della corrosione ci sono alcune reazioni chimiche che avvengono tra il materiale e l'ambiente circostante. La corrosione avviene all'intorno della regione critica, al contatto tra due metalli, suscettibile di corrosione ed evolve nel tempo con velocità dipendente dal tempo di esposizione, dalla natura e dalla concentrazione dell'agente aggressivo nell'ambiente (pH) e dalla temperatura. L'arrugginimento è quindi considerato un processo progressivo che porta al danneggiamento delle opere di difesa contro la caduta massi, essendo costituite in massima parte da acciaio. [68]

L'ambiente di corrosione può essere umido, nel quale l'agente aggressivo è un liquido (acqua piovana insieme a inquinanti atmosferici) o secco, nel quale l'agente aggressivo è l'ossigeno. Talvolta la corrosione può avvenire anche all'interno del terreno proporzionalmente al livello di umidità e contrariamente alla resistività. Quanto più l'atmosfera è salina o industriale, più sarà corrosiva, al contrario dell'atmosfera rurale, caratterizzata da una scarsa aggressività. (fig.92)

<i>Category</i>	<i>Corrosion</i>	<i>Environmental characteristics</i>
C 1	Very low	Dry, hot areas with very low pollution
C 2	Low	Temperate areas with low pollution ($\text{SO}_2 < 12\mu\text{g}/\text{m}^2$) (rural areas and small villages)
C 3	Medium	Temperate areas with medium pollution (SO_2 12-40 $\mu\text{g}/\text{m}^2$) Low chlorides areas (cities or non-coastal sea areas)
C 4	High	Temperate areas with mild pollution ($\text{SO}_2 > 40\mu\text{g}/\text{m}^2$) or coastal areas
C 5	Very high	Temperate areas with high pollution ($\text{SO}_2 > 80\mu\text{g}/\text{m}^2$) Chlorides-exposed areas (industrial sites, ports, off-shore platforms, etc.)

Figura 92: Divisione degli ambienti in categorie di corrosione. [67]

Gli inquinanti atmosferici sono principalmente:

- il biossido di zolfo, dovuto alla combustione di combustibili fossili ricchi di zolfo e carbonio durante i processi industriali. La molecola reagisce con l'acqua (o vapore) in atmosfera formando acido solforoso e solforico. Gli acidi reagiscono con i metalli a formare solfati o solfiti idrosolubili che presentano scarsa adesione con il metallo;
- i cloruri di sodio, presenti nell'aria di ambienti marini o zone costiere fino a 2 km dalla costa. Sono meno aggressivi con lo zinco rispetto al biossido di zolfo, però reagiscono con l'acciaio per formare sali di ferro solubili che si concentrano in vaioli.

Il principio alla base della corrosione è l'origine di un circuito elettrochimico tra un catodo (cioè un elemento che si riduce nella soluzione) e un anodo (cioè un elemento che si discioglie nella soluzione) attraverso un elettrolita (una soluzione contenente ioni messi in movimento dalla differenza di potenziale instauratasi). (fig.93)

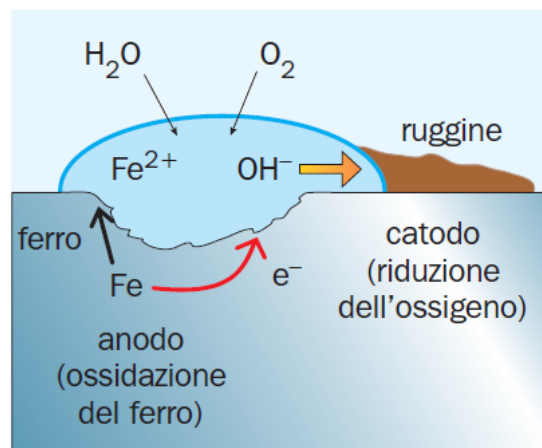
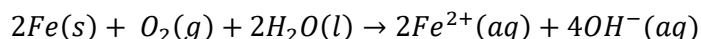
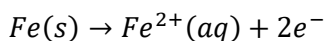


Figura 93: Esempio di circuito elettrochimico. [68]

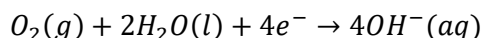
In caso di corrosione umida del ferro, devono essere presenti contemporaneamente H_2O e O perché avvenga una reazione tipo:



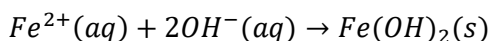
Sulla superficie del manufatto si crea una zona anodica, per cui il ferro è l'anodo.



Ogni atomo di ferro cede due elettroni, questi vengono trasferiti attraverso il metallo verso un'altra zona a contatto con l'aria che si comporta da catodo. In tale ambiente avviene la riduzione dell'ossigeno in presenza di acqua.



Gli ioni ferrosi vengono a contatto con gli ioni OH^{-} e formano l'idrossido ferroso, scarsamente solubile in acqua.



L'idrossido ferroso, in presenza di acqua e aria, si trasforma in ruggine ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$), un mix di composti solidi. Si genera quindi un circuito elettrochimico con flusso inarrestabile di elettroni che produce ruggine e pori scoperti.

La reazione è tanto più veloce quanto maggiore è la conducibilità elettrica della soluzione acquosa, se si interpone uno strato isolante tra l'aria/acqua e il ferro, è possibile limitare la corrosione.

In generale, in base all'aspetto morfologico che assume il materiale corrosivo si può avere [67]:

- corrosione generalizzata;
- corrosione galvanica;
- corrosione per vaiolatura;
- corrosione in fessura;
- corrosione intergranulare;
- corrosione sotto-sforzo;
- corrosione selettiva;

I sistemi di difesa possono essere ammalorati dalla corrosione generalizzata e galvanica, pertanto si procederà alla descrizione delle due sole modalità perché non ci si concentri sui concetti teorici, quanto più sugli effetti che la corrosione ha sugli elementi.

La corrosione generalizzata può essere più o meno uniforme sulle superfici esposte ad ambiente corrosivo e si riscontra in metalli e acciai. È facilmente controllabile in quanto è possibile utilizzare rivestimenti protettivi (che impediscono che il metallo sia esposto ad acqua ed aria, i più comuni sono rivestimenti zincati) o inibitori (che bloccano gli ioni H impedendo la reazione catodica) o un metallo sacrificale (che viene corroso al posto della superficie).

La corrosione galvanica, invece, avviene al contatto galvanico tra due metalli di differente potenziale elettrochimico. Questi, immersi in una soluzione, formano una cella galvanica e il metallo con potenziale elettrochimico più basso tende a reagire e dissolversi.

La corrosione galvanica dipende dal rapporto tra le aree catodiche e anodiche, tanto più questo valore è alto, tanto più velocemente si consuma l'anodo in favore del catodo.

Essendo le opere di difesa di composizione prevalentemente metallica, uno dei danneggiamenti possibili è dovuto alla corrosione. Un esempio può essere quello di fig. 94, in cui si riporta lo stato di danneggiamento da corrosione di un dado di ancoraggio installato in un ambiente marino.



Figura 94: Dado di ancoraggio corrosivo. [65]

La corrosione tende ad agire dalla superficie esterna del metallo e a scavare verso l'interno, riducendo progressivamente la sezione resistente della componente dell'opera. Questo è il meccanismo di rottura delle funi corrose, seppur dai campioni analizzati non si siano riscontrati rilevanti fenomeni corrosivi delle funi. [61]

Si riscontrano fenomeni di corrosione soprattutto in prossimità delle zone di struttura direttamente impattate da massi, poiché il masso scabro, al contatto, tende a erodere il rivestimento anticorrosivo, ma nel caso di corrosione di montanti si può considerare un danneggiamento trascurabile. Le componenti più soggette a corrosione di tipo galvanico, sono i morsetti di collegamento delle funi. [61]

I morsetti e i ganci di collegamento delle funi a sé stesse e ad altre componenti delle strutture (sia barriere che reti), se corrosi, potrebbero rompersi e non garantire il collegamento, ma soprattutto

il trasferimento delle tensioni, innescando una variazione nel funzionamento strutturale dell'opera che potrebbe ridurne la funzionalità. (fig.95)



Figura 95: Dettaglio di morsetti corrosi.

5. Descrizione delle opere esistenti

Nelle prime settimane di agosto 2022, il pendio dove sono installate le barriere paramassi oggetto di studio (nello specifico da n° 8 a n° 5 in fig.8) è stato interessato da un fenomeno di instabilità.

Nei mesi successivi, sono stati svolti alcuni sopralluoghi per valutare lo stato in cui le opere versavano. Nello specifico, nell'ambito della tesi, si sono svolte le seguenti attività:

- visionare il principale problema che affligge l'intero versante: la presenza di fittissima vegetazione ad alto, basso fusto e rampicanti che possono compromettere l'efficienza delle barriere e delle reti presenti.
- visionare le barriere interessate dal crollo. Si è osservato che, durante l'evento, alcuni massi avevano oltrepassato le barriere senza lacerarle, depositandosi lungo la scarpata o sulla mulattiera quotidianamente percorsa per raggiungere il Sacro Monte, luogo di culto non solo per i varallini ma per tutta la comunità cattolica valsesiana.
- rilevare le barriere installate a protezione della mulattiera, raccogliendo i dati per l'applicazione del metodo di letteratura (Marchelli et al., 2020) illustrato nel Cap. 6 del presente elaborato e poi i punti GPS per il censimento delle opere mediante gps topografici per il geoposizionamento;
- visionare la parte di rupe interessata dall'installazione delle reti in aderenza, per quanto possibile data l'elevata inclinazione del pendio e lo stato di vegetazione. Anche in tale occasione si sono raccolti alcuni punti GPS sul perimetro esterno raggiungibile dell'area coperta dalle reti;

In seguito all'inizio dei lavori per il ripristino della funzionalità delle opere e la manutenzione dell'esistente si è svolto un sopralluogo successivamente, per visionare nello specifico le attività svolte sulle barriere paramassi.

Nel seguente capitolo si esporranno alcune considerazioni in merito allo stato delle opere di protezione.

5.1. Analisi storica delle opere esistenti sulla rupe del Sacro Monte

Non essendo disponibili documenti specifici in merito al dimensionamento e alla scelta dei modelli delle opere di difesa che sono state censite durante i sopralluoghi, si suppone che siano in linea con le modalità progettuali e costruttive degli anni '80-'90.

Si sono trovate però alcune documentazioni in merito al pronto intervento dell'aprile 1987, in fig. 96, in cui si prevede la posa di 60 ml di barriera paramassi. Un aggiornamento del maggio 1987 prevedeva che si installasse un secondo lotto di barriere della lunghezza di 20 ml.

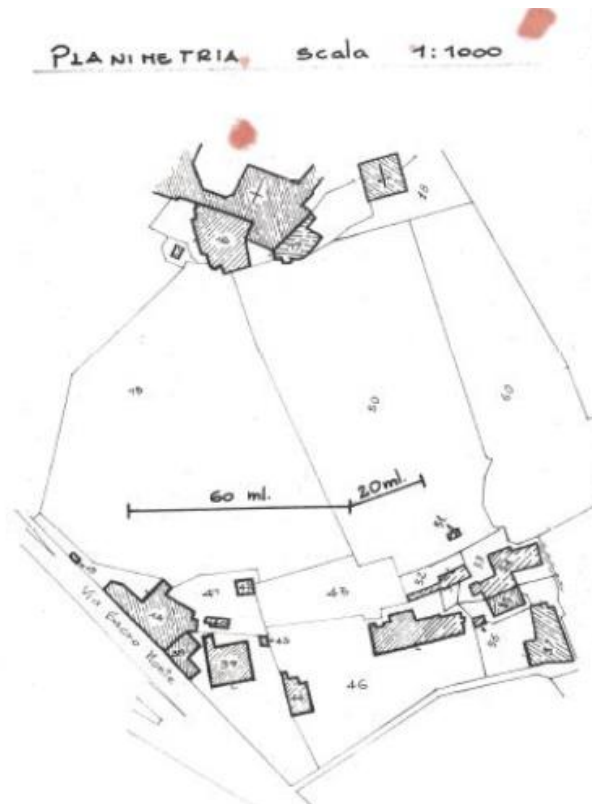


Figura 96: Estratto planimetria, maggio 1987. [50]

Sono reperibili, sempre dagli stessi documenti, disegni di sezioni tipo della barriera installata (fig.97). Tale documentazione, però, si riferisce alle barriere paramassi di tipo semi-rigido installate nel lato ovest della rupe del Sacro Monte (area non oggetto di studi). Anche questi sistemi di difesa, in passato, sono stati sottoposti alla valutazione dello stato di conservazione utilizzato nel presente elaborato. I sistemi sono risultati non più efficienti, pertanto il metodo ne ha consigliato la sostituzione, avvenuta, grazie a un nuovo lotto di finanziamenti, nei primi mesi del 2023. Per una migliore comprensione del lotto di sistemi a cui si fa riferimento, si guardi la fig. 100, le barriere ad oggi sostituite sono rappresentate in azzurro.

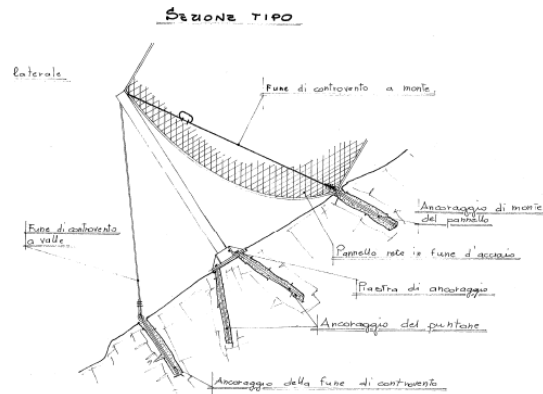


Figura 97: Sezione tipo barriera. [50]

Sempre nel documento di pronto intervento di maggio 1987, erano previsti interventi in parete per l'installazione di reti a contatto, di ancoraggi con pannelli e funi, nella rupe del Sacro Monte, cioè nell'area dove ad oggi sono state censite le barriere paramassi da 8 a 3 (fig.8).

Le barriere paramassi oggetto dell'analisi (locate sul versante est della rupe del Sacro Monte) sono state messe in opera presumibilmente tra il 1989 e 1994, cioè nel lustro antecedente la frana di Via Oberdan (fig.98). Non si hanno specifiche in merito alle strutture installate ma, grazie ai sopralluoghi e alle fotografie dell'epoca, si è ipotizzato che siano modelli diversi rispetto a quelli installati nel 1987.

Si hanno invece più informazioni in merito alle attività svolte sul versante soggetto a mud flow a partire dal 1994. In generale, sono state svolte attività di sistemazione forestale, di consolidamento della rupe e del versante franato, di drenaggio e raccolta delle acque superficiali e di sistemazione della strada che porta al Sacro Monte.



Figura 98: Pendio in seguito alla frana del 1994. [50]

Nello specifico, a partire dagli anni '90, nell'area dove sono state censite le reti in aderenza, sono state svolte le seguenti attività localizzate geograficamente in fig. 99:

- 1) Lavori di protezione dell'abitato lato fronte frana
- 3) Lavori di protezione sotto la Rupe del S. Monte, nello specifico installazione di filari di barriere, pannelli di rete, chiodature.
- 4) Sgomberi frane varie (Parone, Camasco, Prati di Cervarolo e di Via Oberdan)
- 5) Sistemazione del fronte frana mediante riprofilatura del versante con 2 escavatori tipo "ragno", posa di rete armata con anti erosivo tipo MacMat e regimazione delle acque dalla strada del Sacro Monte.
- 6) Costruzione di una condotta scolmatore per le acque e sistemazione strada S. Monte
- 7) Bonifica tratto intermedio e superiore frana di Via Oberdan
- 8) Sistemazione versante zona est Rio Gattera con l'installazione delle barriere 1a-1b e interventi puntuali di difesa attiva
- 9) Ripristino parete area soprastante Villa S. Maria delle Grazie
- 12) Completamento bonifica del versante est del S. Monte
- 13) Bonifica tratto parete sopra casa Capelli
- 14) Completamento bonifica del tratto di parete tra la Madonna del Cuore e la Giannetta
- 15) Sistemazione parete inferiore frana a protezione della viabilità e dell'abitato sottostante
- 21) Raccolta acque lungo la strada pedonale del S. Monte
- 23) Completamento dei lavori di protezione sotto la Rupe del S. Monte, nello specifico sono state implementate opere di difesa attiva come chiodi e reti.
- 24) Attività di devitalizzazione delle piante insistenti sulla Rupe del S. Monte
- 25) Ripristino della viabilità della strada carrozzabile per il S. Monte, nello specifico attività di asfaltatura, costruzione di cuneette e installazione di guardia via.



Figura 99: Mappa delle attività svolte sul versante in frana. [50]

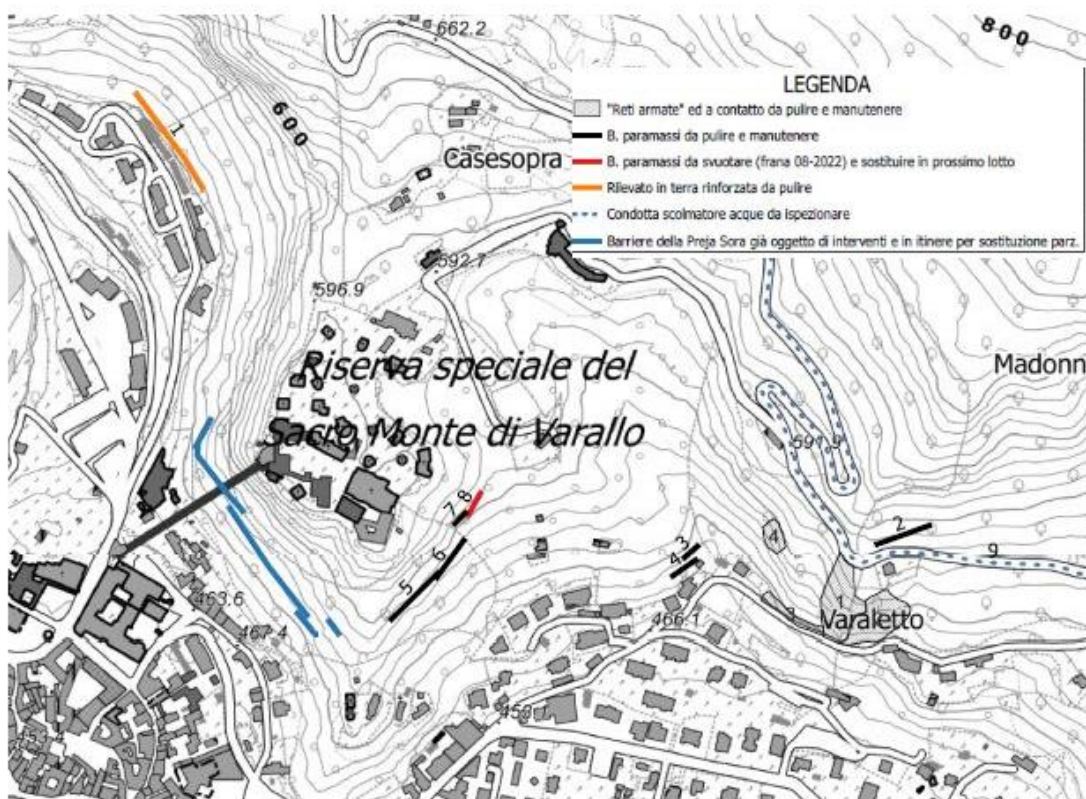


Figura 100: Posizionamento delle opere di difesa sul territorio.

Si propone, infine, in fig.100 il posizionamento di tutte le opere esistenti nell'area oggetto di studi, affinché si abbia una migliore visione globale d'insieme. Le barriere oggetto di valutazione e ripristino nel presente elaborato sono rappresentate in nero e in rosso.

5.2. Stato di manutenzione ordinaria e straordinaria

Per manutenzione straordinaria ci si riferisce, invece, all'insieme di azioni, comprendenti lavori, di entità eccezionale e non ricorrente, fino alla sostituzione di parti d'opera con materiali di manutenzione, il cui scopo è quello di prolungare la vita utile dell'opera o, in via subordinate, migliorarne l'efficienza (fino a riportarla ai livelli prestazionali di progetto, al momento della costruzione), l'affidabilità, la manutentabilità e il monitoraggio, oppure di riportare l'opera o un suo componente da un livello di grave danneggiamento o degrado, al livello prestazionale originario o comunque superiore alla soglia di efficienza di costruzione.

Le attività (per entrambe le tipologie di manutenzione) non devono modificare le caratteristiche originarie, la struttura essenziale e la funzione richiesta all'opera al momento della costruzione, infatti devono soltanto mantenere le proprietà iniziali o ripristinarle qualora siano peggiorate.

É oltremodo importante sottolineare che qualsiasi azione che modifichi la risposta dell'opera è considerata al pari di una manomissione.

Le barriere paramassi e le reti in aderenza sono scelte sulla base delle loro prestazioni o resistenze e sono garantite dai produttori se e solo se vengono mantenute intatte le caratteristiche di collaudo. Le opere di difesa dalla caduta massi, inoltre, andrebbero frequentemente ispezionate e monitorate.

Tutte le attività da farsi in seguito all'installazione sono in capo al gestore e possono essere raccolte in un piano di gestione o di un progetto specifico. Il gestore ha il compito di svolgere tali attività se ne possiede le competenze oppure può delegare il compito a un altro soggetto qualificato mediante un opportuno contratto di ispezione. Il piano o progetto precedentemente citato contiene tutte le operazioni da farsi e stabilisce, inoltre, diverse procedure di intervento a seconda del grado di danneggiamento cui è sottoposta l'opera. Le attività possono essere programmate nel tempo o essere di natura eccezionale, cioè eseguite solo quando è ritenuto necessario e il danneggiamento è grave, le prime, invece, hanno scadenze e modalità di esecuzione predefinite e possono essere ad esempio: controlli periodici e rimozioni di accumuli detritici sull'opera, oppure verifiche e serraggi dei morsetti sulle giunzioni delle funi. (UNI/TR 11211-5:2019)

I piani di gestione non sono universali, infatti vanno redatti specificatamente caso per caso considerando la complessità dell'opera e del contesto, il rischio stimato accettabile, le procedure e la sicurezza degli operatori e degli elementi vulnerabili sul territorio, l'ambiente in cui è inserita l'opera a livello "chimico" e le modalità di accesso alle opere, alle aree di deposito dei materiali e alle attrezzature necessarie.

I piani di manutenzione se realizzati ad hoc prolungano la vita utile della struttura impedendone la prematura sostituzione.

L'ispezione e il monitoraggio vanno di pari passo alle attività di manutenzione e anche queste vanno opportunamente pianificate per diversi tipi di controllo in base al livello di approfondimento [35]:

- Tipo A: controllo a livello macroscopico dello stato generale dell'opera;
- Tipo B: verifica visiva della permanenza dei componenti dell'opera e dello stato degli stessi;
- Tipo C: verifica sperimentale dello stato dell'opera e del relativo funzionamento;
- Tipo D: rilievo di informazioni continuo nel tempo e trasmissione dei risultati in remoto con possibilità di attivare sistemi di segnalazione.

L'ispezione o monitoraggio va opportunamente riportato e documentato in una lista di controllo e valutazione del livello prestazionale (fig.101).

Anagrafica	1	identificazione dell'opera
	2	proprietario dell'opera e gestore
	3	responsabile dell'attività di ispezione/monitoraggio (se soggetto esterno incaricato dal gestore, relativi riferimenti del contratto di ispezione o monitoraggio)
	4	identificazione della Documentazione tecnica dell'opera
	5	identificazione delle attività di ispezione o monitoraggio
	6	riferimenti alla precedente ispezione o monitoraggio, se esistenti
Registrazione	7	esiti dell'ispezione o monitoraggio, dell'eventuale diagnostica con misurazioni (prove di monitoraggio) e riferimenti ad eventuali documenti allegati
	8	eventuali indicazioni per la successiva ispezione
	9	eventuale comunicazione al gestore, degli esiti dell'ispezione o monitoraggio, di situazioni di rilevante degrado o danneggiamento che richiedono la valutazione di un esperto o attività specifiche di monitoraggio supplementare
	10	conferma o aggiornamento della Documentazione tecnica dell'opera (Piano di manutenzione, Fascicolo dell'opera, Piano di gestione, se esistenti)
	11	responsabile e data

Figura 101: Lista di controllo minima per ispezioni e monitoraggi [35]

Le attività di manutenzione, siano queste di origine ordinaria o straordinaria, sono necessarie per preservare la vita utile di un'opera esistente, ma anche per prolungarla e per fronteggiarne la perdita di efficienza indotta da stati di degrado o danneggiamento.

Si propongono ora, per chiarezza, le definizioni di manutenzione ordinaria e straordinaria [35]:

Per manutenzione ordinaria si intende l'insieme di azioni, comprendenti lavori, di entità contenuta e predefinita, il cui scopo è quello di mantenere l'efficienza, l'affidabilità, la manutentabilità e il monitoraggio dell'opera, oppure di riportare l'opera o un suo componente da uno stato di lieve danneggiamento o degrado, al livello prestazionale originario o comunque superiore alla soglia di efficienza di costruzione.

In generale per le reti in aderenza, per i rivestimenti corticali e per le legature, la normativa UNITR 11211-5 fornisce esempi per le attività di ispezione e monitoraggio.

Controllo visivo, TIPO A:

- Controllo di eventuali anomalie rispetto all'aspetto e alla forma all'opera complessiva;
- Controllo dello stato della vegetazione e della presenza di materiali depositati nelle aree pertinentziali e via d'accesso;
- Controllo della presenza e dell'entità di accumuli detritici o massi sull'opera;
- Controllo delle eventuali deformazioni delle reti, dei pannelli, delle funi, dei morsetti etc..

Verifica visiva, TIPO B:

- Verifica visiva a campione della permanenza dei componenti dell'opera;
- Verifica della permanenza e delle posizioni di reti, pannelli ecc.;
- Verifica delle parti fuori terra di fondazioni e ancoraggi, piastre di ripartizioni, bulloni ecc.;
- Verifica degli elementi di giunzione;

- Verifica di lesioni o danni all'opera;
- Verifica di lesioni alle funi portanti superiori, inferiori, intermedie.

Verifica sperimentale, TIPO C:

- Rilevazione topografica e geometrica dell'opera mediante idonea strumentazione con la possibilità di confronto delle informazioni nel tempo;
- Verifica della tesatura di funi, reti e pannelli;
- Verifica del corretto serraggio delle giunzioni di funi eseguite con morsetti;
- Verifica dello sfilamento di fondazioni e ancoraggi;
- Verifica dello stato del rivestimento anti-corrosivo.

Rilievo, TIPO D:

- Posizionamento di sensori in punti predefiniti dei manufatti di progetto e trasmissione di dati sulla permanenza in loco, di deformazione o di carico dei componenti monitorati.

Per le barriere paramassi invece l'esempio riportato è il seguente:

Controllo visivo, TIPO A:

- Controllo di eventuali anomalie rispetto all'aspetto e alla forma dell'opera complessiva;
- Controllo dello stato della vegetazione e della presenza di materiali depositati nelle aree pertinentziali e vie d'accesso;
- Controllo di eventuali danni da impatti;
- Controllo della presenza e dell'entità di accumuli detritici;

Verifica visiva, TIPO B:

- Verifica visiva a campione della permanenza dei componenti dell'opera;
- Verifica della permanenza e delle posizioni di montanti e dei giunti mono e bi-direzionali qualora presenti;
- Verifica delle parti fuori terra di fondazioni e ancoraggi, piastre di ripartizione, bulloni ecc.;
- Verifica degli elementi di giunzione tra reti contigue;
- Verifica di lesioni o danni all'opera;
- Verifica di lesioni alle funi.

Verifica sperimentale, TIPO C:

- Rilevazione topografica e geometrica dell'opera mediante idonea strumentazione con la possibilità di confronto delle informazioni nel tempo;
- Verifica della tesatura di funi ecc;
- Verifica del corretto serraggio delle giunzioni di funi eseguite con morsetti;
- Verifica dei sistemi di dissipazione dell'energia;
- Verifica allo sfilamento o cedimento delle fondazioni;
- Verifica dello stato del rivestimento anticorrosivo.

Rilievo, TIPO D:

- Posizionamento di sensori in punti predefiniti dei manufatti di progetto e trasmissione di dati sulla permanenza in loco, di deformazione o di carico dei componenti monitorati.

Anche le manutenzioni e riparazioni effettuate vanno raccolte in una lista di controllo. (fig.102)

Anagrafica	1	identificazione dell'opera
	2	proprietario dell'opera e gestore
	3	responsabile dell'attività di manutenzione o riparazione (se soggetto esterno incaricato dal gestore, relativi riferimenti del contratto di manutenzione o riparazione)
	4	identificazione della Documentazione tecnica dell'opera
	5	identificazione dei componenti soggetti a manutenzione o riparazione
	6	identificazione delle lavorazioni di manutenzione o riparazione
	7	riferimenti delle precedente manutenzione o riparazione, se esistenti
Rendicontazione	8	esiti delle misurazioni, certificazioni o collaudi dei lavori, se eseguiti, ed eventuali osservazioni (riferimento ad eventuali documenti allegati)
	9	eventuali indicazioni per la successiva manutenzione
	10	conferma o aggiornamento della Documentazione tecnica dell'opera (Piano di manutenzione, Fascicolo dell'opera, Piano di gestione, se esistenti)
	11	responsabile e data

Figura 102: Lista di controllo minima per manutenzioni e riparazioni [35]

In concomitanza con le ispezioni di tipo A, in merito a reti e barriere, si possono compilare dei fogli d'ispezione, attribuendo un punteggio (il cui massimo valore attribuibile è scritto tra parentesi quadre) in merito allo stato generale delle componenti della struttura. [70]

Questo approccio, ancor più speditivo di quello proposto nel Cap. 6, consente, una volta sommati i punteggi attribuiti alle varie anomalie riscontrate, di trovare il valore di I.P.P.S. (index of conservation of the work). In base al valore di I.P.P.S. lo stato di conservazione delle opere si può dividere in quattro classi, basati sul P.P.S. (efficiency classes).

Nello specifico, durante i sopralluoghi per le barriere si compila il foglio di lavoro in tab.8:

Tabella 8: Tabulato per ispezioni di tipo A per barriere paramassi. [70]

Stato generale delle strutture	Punteggio
Anomalie geometriche e nella forma della struttura (vuoti al di sotto della rete, detensionamento delle funi, rotazioni, spostamenti dei plinti di fondazione e/o ancoraggi etc..)	/10
Collasso generale della struttura o riempimento di materiale che supera il 30% dell'altezza iniziale	/10
Danni da impatto alle componenti della barriera paramassi (reti, funi, montanti, scivolamento dei dissipatori, morsetti non aderenti)	/10
Presenza di materiale e massi nella struttura di intercettazione per un'altezza minore del 30% dell'altezza iniziale	/5
Caduta alberi su funi/reti	/5
Presenza di vegetazione	/1
Anomalie nella viabilità d'accesso alle opere	/1

Per le reti in aderenza invece quello in tab.9.

Tabella 9: Tabulato per ispezioni di tipo A per reti in aderenza. [70]

General state of the structure	Score
Colalasso generale della struttura per instabilità	/10
Anomalie geometriche e nella forma della struttura (vuoti al di sotto della rete, detensionamento delle funi, rotazioni, spostamenti dei plinti di fondazione e/o ancoraggi etc..)	/10
Presenza di detrito nella rete (spessore maggiore di 20 cm)	/5
Presenza di vegetazione	/1
Anomalie nella viabilità d'accesso alle opere e/o ai lavori complementari e/o alle opere di drenaggio delle acque superficiali	/1

Una volta sommati i valori dei punteggi attribuiti in campagna si può ottenere il valore di I.P.P.S. a cui corrisponde un P.P.S. che dà idea dell'efficienza complessiva del sistema (tab.10).

Tabella 10: Valori di I.P.P.S. e P.P.S. [70]

IPPS>9	9>IPPS>3	3>IPPS>1	IPPS=0
Il danneggiamento influenza l'efficienza del sistema, urge manutenzione o svuotamento.	Necessario lavoro di svuotamento o manutenzione ma l'efficienza è intatta.	Limitata quantità di materiale da svuotare.	Nessuna richiesta di intervento.
PPS = problematico	PPS = sufficiente	PPS = discreto	PPS = buono

La normativa UNITR 11211-5 per la manutenzione di reti in aderenza, rivestimenti corticali, legature e barriere paramassi consiglia come manutenzioni e riparazioni più frequenti da fare:

- Serraggio delle giunzioni di funi eseguite con morsetti;
- Serraggio dei morsetti di giunzione di reti e pannelli;
- Sostituzione di componenti danneggiati, deformati o lacerati;
- Ripristino dei singoli componenti degradati o danneggiati con sostituzione delle parti inefficienti dell'opera;
- Riposizionamento (con demolizione e ricostruzione) di intere parti dell'opera deformate o abbattute da impatti.

Nello specifico per le reti in aderenza:

- Rimozione delle sacche detritiche e dei singoli frammenti di roccia a tergo delle reti;
- Riparazione delle parti ammalorate dell'opera come per esempio le connessioni tra gli ancoraggi e le funi;
- Sostituzione parti danneggiate come ancoraggi sfilati, parti di rete e funi sfibrate o lesionate etc.

Per le barriere paramassi invece:

- Rimozioni di massi e detriti impattati contro reti e pannelli;
- Sostituzione delle parti danneggiate dell'opera, come per esempio i montanti e i giunti mono e bi-direzionali qualora presenti, sistemi di dissipazione dell'energia, fondazioni e ancoraggi sfilati, le parti di rete, pannelli e funi sfibrate o lesionate ecc.

Nel caso di studio, da quanto osservato durante i sopralluoghi non sembra siano state seguite delle procedure di manutenzione delle opere di difesa. Esse, infatti, si presentavano danneggiate o ricoperte da vegetazione o piene di detriti derivanti da eventi passati.

Durante i sopralluoghi in sito, è emersa un'altra problematica significativa legata alle barriere paramassi. È stato rilevato che probabilmente tali barriere non sono state installate secondo gli standard appropriati. Ciò potrebbe compromettere la funzionalità dell'opera.

Si sono notati due casi relativi ad una possibile mal installazione.

Il primo, meno impattante, sia a livello visivo che funzionale, è dato dal fatto che alcuni sistemi di barriere non presentassero le funi correttamente tesate affinché le reti poggiassero sul terreno. In tal caso sarebbe possibile l'arresto momentaneo del masso però la presenza di vuoti al piede consente che il masso per gravità finisca al suolo, transiti attraverso il foro e continui il suo percorso lungo il pendio.

Il secondo esempio di possibile mal installazione, invece, si è notato con la caduta massi dell'agosto 2022, quando la barriera n° 7 ha opportunamente reagito all'impatto, attivando i freni dissipatori installati sulle funi di controvento di monte, non trattenendo, però, l'intero quantitativo del detrito in caduta. La mancata creazione della sacca non è dovuta a fenomeni di lacerazione o per presenza di vuoti al piede, quanto più alla totale assenza (anche per corrosione si potrebbe pensare, ma in questa circostanza se ne sarebbero trovati i resti) dei giunti tra le reti di due unità contigue dello stesso filare. L'assenza di tali componenti ha consentito che, per trattenere i massi, la rete si deformasse e che i lembi laterali che normalmente dovrebbero essere connessi si distanziassero creando un varco in corrispondenza del montante. (fig.103)

In questo varco sono transitati una serie di massi che si sono invece fermati sulla mulattiera. (fig.104)



Figura 103: Esempio di apertura di fessure in prossimità del montante per assenza di giunzioni opportune.[51]

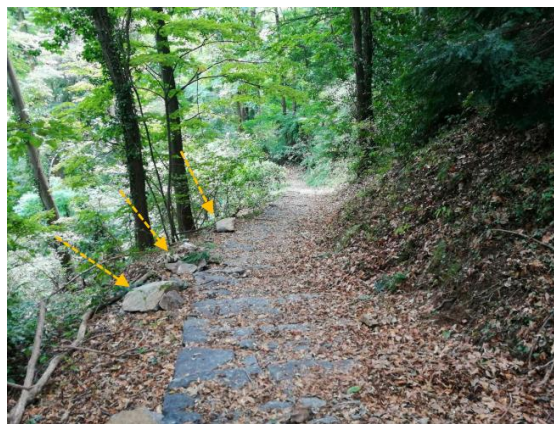


Figura 104: Massi che hanno oltrepassato le barriere e si sono depositati sulla mulattiera.[51]

Da consulenze postume la realizzazione del progetto di ripristino e manutenzione, si ritiene che, nella parte terminale (cioè in corrispondenza del primo e dell'ultimo montante del filare), la giunzione ai montanti, per questo tipo di barriera "a sacco" non sia necessaria poiché renderebbe la struttura troppo rigida. L'aggiunta di morsetti al primo e all'ultimo montante per evitare l'apertura delle fessure in fig. 103 comporterebbe un percorso di carico che tale modello di barriera paramassi non sarebbe in grado di sostenere.

5.3. Il problema dell'estensione areale di alcune opere di difesa

Durante le attività di rilievo, è stato osservato che l'area coperta dalle reti in aderenza risultava troppo ampia e impervia affinché venisse ispezionata nella sua completezza. Ciò ha comportato problemi nella valutazione dello stato di conservazione delle reti in aderenza, in quanto alcuni elementi erano difficilmente raggiungibili a causa della loro posizione.

Inoltre, alcuni fronti presentavano una pendenza così accentuata da richiedere la visione in ferrata.

Normalmente, in casistiche come quella appena descritta ci si riconduce a un lavoro di campionamento, secondo il quale si valutano solo dei campioni relativi all'intera popolazione e se ne valutano le caratteristiche assumendo che le proprietà dei campioni siano rappresentative di tutta la popolazione.

Vi sono differenti tipologie di campionamento, per ogni caso studio esiste un approccio più opportuno di altri.

Le tipologie di campionamento note sono [42]:

- discrezionale. È una modalità di campionamento di tipo non probabilistico, secondo il quale il tecnico sceglie i campioni sulla base del proprio giudizio. È utile quando si è alla ricerca di elementi rari o rarissimi in una popolazione vasta, ma presenta degli svantaggi poiché il tecnico potrebbe non scegliere campioni rappresentativi
- sistematico. È una modalità di campionamento di tipo non probabilistico secondo il quale i dati vengono raccolti in modo regolare. Scelto un punto di partenza casuale, si estrae un campione ogni intervallo fisso (di tempo, di spazio, di aree, di numero di campioni.) per un numero totale di campioni scelto a priori. Il metodo consente di avere un responso sull'intera produzione qualora venga applicato, ad esempio, nelle filiere industriali. Il metodo, inoltre, consente di ridurre il bias dovuto a campioni distorti o non rappresentativi.
- randomico. È una modalità di campionamento di tipo probabilistico secondo il quale ogni elemento della popolazione ha la stessa probabilità di essere scelto come campione. È il metodo più "imparziale" e riduce il rischio di distorsione dei dati dovuto alla "libera" scelta del selezionatore.
- stratificato. È una modalità di campionamento di tipo probabilistico secondo la quale la popolazione viene divisa in classi o sottogruppi omogenei dai quali viene estratto un campione (in modo casuale o sistematico). Questa tecnica consente che il campione sia rappresentativo dell'insieme della popolazione proveniente da ognuna delle classi.
- a grappolo. È una modalità di campionamento secondo il quale vi è la divisione della popolazione in "grappoli". Da tali gruppi, se ne estraggono alcuni in modo randomico dai quali si estraggono, successivamente, gli elementi campione. È utile nel caso di aree geografiche limitate affinché si eviti di campionare ogni unità, riducendo i costi e semplificando il processo.

Nel caso in esame, per quanto concerne le barriere paramassi, non si è ritenuto necessario utilizzare una delle tipologie di campionamento precedenti, poiché il numero di elementi della popolazione era estremamente limitato (9 barriere) e non è stato eccessivamente dispendioso in termini di tempo analizzarli nel complesso. In tale circostanza però, dopo l'attenta analisi delle opere, si è deciso di compilare i modelli per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a filare e non a campata poiché in quel caso sarebbe stato dispendioso. Si è deciso di assumere il

valore peggiore di danneggiamento come rappresentativo dell'intera opera. Chiaramente tale approccio potrebbe portare a una sopravvalutazione del danno.

Tuttavia, si tratta di opere di protezione da un evento ad alto rischio che in passato ha causato la perdita di 14 vite umane. Si è reputato accettabile, pertanto, sovrastimare il grado di danno per garantire un certo livello di sicurezza e per ovviare a eventuali errori di valutazione.

Al contrario, per le reti in aderenza armate e non, essendo l'area che ricoprono le opere troppo estesa perché venisse visionata nella sua interezza, si è ritenuto opportuno procedere con la scelta di una tipologia di campionamento.

A priori, senza conoscere le condizioni al contorno, si pensava fosse più opportuno applicare un campionamento di tipo stratificato. L'area di rete armata (pari a 6000 m²) avrebbe dovuto essere divisa in 6 campioni di 1000 m² l'uno, in cui si valutavano i danni in soli 5 punti per ogni sezione, le cui coordinate sarebbero state estratte casualmente. Per la zona in cui vi è la rete non armata di 1700 m², si sarebbe proseguito con la divisione in due aree uguali in estensione da cui si sarebbero valutate le condizioni in 5 punti per ogni sezione, così come per le reti armate. La divisione in aree sarebbe avvenuta "in verticale" guardando il fronte di modo tale che ogni sezione comprendesse più pannelli, più tipi di giunzioni e tutti i set di funi descritti nel capitolo 3.2.2. (fig.105)

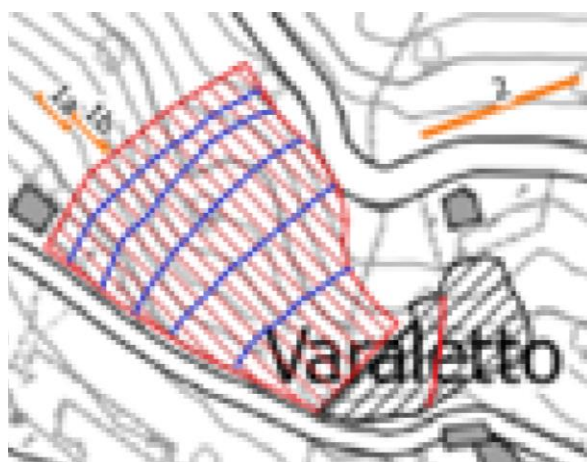


Figura 105: Esempio di primo approccio di campionamento delle aree di reti in aderenza armate (in rosso) e non armate (in nero).

Dopo essere giunti sul sito, si è deciso di modificare l'approccio a causa delle difficoltà riscontrate: alcune zone erano estremamente ripide e coperte di vegetazione, fattori che rendevano pericoloso raggiungerle a piedi in sicurezza. Non si sono trovate zone soggette a corrosione e nemmeno zone interessate da distaccamento di massi, infatti le reti in aderenza sono per lo più installate sul terreno che sulla roccia affiorante. Non si sono trovate reti lacerate, né particolarmente deformate. Gli unici problemi riscontrati erano quelli relativi alla vegetazione.

Si è deciso di dividere le aree sulla base della tipologia di rete installata. Si sono ottenute, quindi, due famiglie di aree alle quali si sono attribuiti i valori reali di danno osservati in campagna. Nel caso i valori di danno rilevati fossero stati troppo positivi, assumendo quindi che non vi fosse danneggiamento alcuno, si è preferito, proprio per la mancanza di sopralluoghi in alcune aree, assumere un valore di danno medio tra il danneggiamento totale e quello nullo.

In sede di progettazione e di computo si è considerata, inoltre, una certa quantità (pari al 10% dell'intero sviluppo areale) di reti armate da sostituire o integrare alle esistenti.

5.4. Presenza di vegetazione

La presenza della vegetazione, nel caso studio di Varallo Sesia, risulta essere la problematica più evidente che colpisce il versante e le opere di difesa. Le piante ad alto fusto e i rampicanti, infatti, crescendo vicino ai montanti delle barriere e attraverso i pannelli di rete dei rafforzamenti corticali, irrigidiscono la struttura limitandone i movimenti e la deformabilità.

Nell'area coperta dalle reti in aderenza, la vegetazione insieme alle elevate pendenze del versante ha impedito la realizzazione di un sopralluogo preciso. La densità della vegetazione riscontrata nella zona oggetto di manutenzione era così elevata da ostacolare l'accesso a determinate aree, rendendo difficoltoso il completamento delle attività di ispezione previste.

L'area più vegetata, in quanto esposta a sud, è quella dove sono installate le reti in aderenza semplici o rinforzate. L'esposizione del terreno in direzione sud è uno dei fattori chiave che influenzano la crescita della vegetazione. Le piante necessitano di una giusta combinazione di luce, temperatura, acqua e sostanze nutritive per crescere, per questo motivo l'esposizione più favorevole è proprio quella rivolta a sud, poiché garantisce un maggior numero di ore di sole durante il giorno rispetto ad altre esposizioni.

È corretto considerare anche che la rimozione della vegetazione potrebbe apportare contributi negativi alla stabilità del pendio. Tuttavia, tali considerazioni non sono applicabili al caso in esame, poiché è popolato da strutture volte alla mitigazione degli eventi di caduta massi che compenserebbero gli effetti negativi dati dalla rimozione della vegetazione.

La gestione dello stato vegetale rappresenta, quindi, un arduo compito per il mantenimento della funzionalità delle opere di difesa, per cui risulta necessaria una pianificazione periodica della manutenzione della vegetazione per garantire la sicurezza dell'area.

Si presenta di seguito il processo più comune a cui viene sottoposta la vegetazione durante il disboscamento. La lavorazione di taglio delle piante richiede, solitamente, la presenza di operai specializzati in manodopera forestale, talvolta anche la presenza di esperti rocciatori, qualora il disbosco avvenga in zone accessibili solo mediante l'arrampicata in fune.

Gli addetti, mediante l'utilizzo di strumenti professionali (motosega, in questo caso), procedono all'abbattimento della vegetazione di grandi dimensioni e al decespugliamento delle specie arbustive. Le piante da rimuovere genericamente sono vitali, ma è possibile che siano rimosse anche piante già morte o precedentemente devitalizzate.

In seguito al taglio piante si lavora il tronco abbattuto rimuovendo i rami dal tronco in un processo detto sramatura.[78]

In seguito, il tronco privato dei rami e del cimale (l'estremità più alta del tronco) viene sezionato in pezzi di piccole o medie dimensioni affinché venga trasportato al deposito (mediante appositi dispositivi di traino detti verricelli) per essere accatastato. Nel caso in cui, invece, il legname sezionato sia di dimensioni eccessive per il trasporto con verricelli, si procede con il sollevamento e il trasporto mediante elicotteri.

Gli scarti delle lavorazioni di decespugliamento e di taglio della vegetazione vengono sottoposti a cippatura, un processo secondo il quale rami e foglie vengono triturati per produrre il cippato, un concime ecologico per il terreno. [79]

La programmazione della rimozione della vegetazione diventa fondamentale nei processi di gestione delle attività di manutenzione delle opere di difesa e dei versanti. L'abbattimento dei tronchi, insieme al disboscamento degli arbusti, impedisce che le piante, di stagione in stagione, si sviluppino raggiungendo dimensioni eccessive. Piante di dimensioni eccessive possono minare la funzionalità delle opere di difesa installate e la stabilità del versante.

La rimozione totale della vegetazione consente, inoltre, una migliore gestione a livello economico della manutenzione, poiché impedendole di raggiungere dimensioni eccessive, anche i costi di rimozione si riducono notevolmente.

6. Procedura speditiva per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a rete e delle reti in aderenza armate e non

Nel presente capitolo si procede ad introdurre, con principi teorici, i due metodi proposti dall'ing. Marchelli, nel 2020 (in applicazione alle barriere paramassi) e nel 2019 (per le reti in aderenza) che sono stati utilizzati per valutare in modo speditivo lo stato di conservazione dei sistemi di difesa installati nel comune di Varallo Sesia (VC).

Quando ci si riferisce al metodo definendolo speditivo, è opportuno sottolineare che non significa né approssimativo né sbrigativo, quanto più che si basa sulle osservazioni partorite durante i rilievi, durante i quali le opere di difesa non possono essere sottoposte a test o a collaudi, ma solamente a ispezioni visive di tipo qualitativo dello stato dell'opera.

Sono stati studiati tutti i possibili danni di ogni componente, considerando diversi aspetti: l'invecchiamento, la corrosione, l'usura, gli agenti atmosferici, l'interazione con i detriti, la vegetazione, gli animali e le persone, gli impatti ed è stata valutata l'influenza dei danni di ogni componente sull'efficienza globale del sistema (Marchelli M., 2020). Il metodo quindi, in base ai risultati di campagna, è in grado di fornire l'estensione del danneggiamento dell'opera e il livello di conservazione, consigliando l'urgenza dell'intervento di ripristino o manutenzione del sistema difensivo.

I due metodi sono tra loro simili, in verità quello applicabile alle barriere paramassi altro non è che quello utilizzato per le reti in aderenza ma per componenti differenti, pertanto le considerazioni che verranno esposte per il metodo Marchelli et al. 2020 varranno identicamente per il metodo Marchelli et al. 2019.

6.1. Metodo Marchelli et al. 2020 per le barriere paramassi

Il metodo si basa sulla valutazione dello stato di danno per le diverse componenti di una barriera paramassi, raccolte in tab.11:

Tabella 11: Componenti di cui si valuta il danneggiamento per le barriere paramassi.

Componente principale:	Elementi costituenti il componente principale:
Rete principale	Rete ed elementi di connessione tra i pannelli di rete
Rete secondaria	Rete ed elementi di connessione tra i pannelli di rete
Montanti	Montanti, relative fondazioni e elementi di connessione tra i montanti e la rete
Fune longitudinali superiori	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete e i montanti, eventuali sistemi di dissipazione energetica
Funi longitudinali inferiori	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete e i montanti, eventuali sistemi di dissipazione energetica
Funi di controvento laterale	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete e i montanti, eventuali sistemi di dissipazione energetica
Funi di controvento di monte	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete e i montanti, eventuali sistemi di dissipazione energetica
Funi di controvento di valle	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete e i montanti, eventuali sistemi di dissipazione energetica
Altre funi (verticali, di trasmissione etc..)	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete e i montanti, eventuali sistemi di dissipazione energetica

Per ognuno di questi elementi costituenti il sistema di difesa il metodo propone i potenziali danneggiamenti e la relativa classe di importanza. (tab.12)

Tabella 12: Danneggiamenti e classi d'importanza per barriere paramassi

Rete principale	Presenza di vuoti al piede della barriera	Classe di importanza
-----------------	---	----------------------

	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	C3
	Presenze di detriti nella rete	C3
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	C2
	Lacerazioni nella rete	C1
	Deformazioni	C3
	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	C2
	Rottura di giunzioni reti - funi	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
Rete secondaria	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	C1
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C2
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	C1
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	C1
	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)	C3
Funi longitudinali superiori	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C2
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C3
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	C2

	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	C1
	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
Funi longitudinali inferiori	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C1
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C3
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	C2
	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	C1
	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
Funi di controvento laterale	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C1
	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	C3
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	C2

	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C2
	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	C1
	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
Funi di controvento di monte	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C1
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C3
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	C2
	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C3
	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	C1
	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
Funi di controvento di valle	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C1
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C3

	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	C2
	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo dle rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	C1
	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3
Altre funi (fune al piede del montante)	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C1
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C3
	Presenza di rotture/sfilamenti/deformazioni permanenti/ammaloramento/corrosione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	C2
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	C1
	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C3

A ogni tipo di danno viene attribuita una classe di importanza da C1 (poco importante) a C3 (molto importante) per due motivi specifici:

- il primo poiché i singoli meccanismi di deterioramento agiscono sull'efficienza del sistema in modo differente, in base sia all'elemento danneggiato che al tipo di danno. Si veda come, ad esempio, la lacerazione della rete secondaria, il cui compito è principalmente di

trattenere la parte di detrito più fine, non abbia la stessa importanza (sull'efficienza globale del sistema) della lacerazione della rete primaria che deve trattenere tutto il detrito.

- in secondo luogo, la classe d'importanza imposta dal metodo si può considerare una sorta di garanzia in termini di sicurezza nei confronti del fruitore del metodo che deve soggettivamente attribuire un livello di danno da **d0** (nessun danno) a **d2** (danno intenso). L'introduzione della classe di importanza pertanto permettere di limitare gli effetti della sensibilità dell'operatore addetto alla valutazione dello stato dell'opera. L'errore nell'attribuzione del valore di danno può non essere solo causato da inesperienza dell'operatore, ma anche dal metodo con cui il danno stesso viene valutato; ad esempio se il valore si attribuisce alle condizioni globali del filare di barriera paramassi o a una sola campata.

Talvolta l'operatore non è in grado di visionare opportunamente tutta l'opera a causa della morfologia del terreno o per la presenza di vegetazione particolarmente folta. In tal caso il tecnico deve decidere se attribuire il valore di danno di solo ciò che vede, assumendo il rischio di sottostimare il grado di conservazione dell'opera o se attribuire il valore peggiore di danno proprio in vista di tale impossibilità, correndo il rischio, in questa circostanza, di sovrastimare l'entità del danno.

Il metodo è di tipo bi-matriciale. Per ogni elemento costituente l'opera, nota la classe d'importanza e il grado di danno attribuito in campagna di rilievo, lo stesso fornisce in output:

- Il punteggio relativo allo stato di danneggiamento **P_i** (tab.13);
- Il punteggio relativo al livello di conservazione **A_i** (tab.14).

Tabella 13: Matrice di associazione dei punteggi P_i per la definizione dello stato di conservazione dell'opera in funzione del livello di danno e della classe di importanza di ciascun potenziale danno.

	C1	C2	C3
d0	P _i = 0	P _i = 0	P _i = 0
d1	P _i = 1	P _i = 2	P _i = 3
d2	P _i = 2	P _i = 3	P _i = 5

Tabella 14: Matrice di associazione del livello di conservazione A in funzione del livello di danno e della classe d'importanza di ciascun potenziale danno.

	C1	C2	C3
d0	A0	A0	A0
d1	A0	A0	A1
d2	A0	A1	A2

Riferendosi alla prima matrice, per ogni tipologia di danno di ogni componente della barriera, dipendentemente dal grado di danno osservato in sito, attraverso la procedura precedentemente descritta, si ottiene un valore P_i .

Tutti i valori P_i ottenuti vengono successivamente sommati ottenendo $P_{i,tot}$:

$$P_{i,tot} = \sum P_i$$

Il valore massimo P_{max} si ottiene sommando tutti i valori di $P_{i,max}$, assumendo però che a ogni danno potenziale per ogni componente sia attribuito il valore massimo **d2**.

Per la classe di importanza **C1**, $P_{i,max}$ assume il valore di 2, per la classe **C2** $P_{i,max}$ assume il valore di 3 e per la classe **C3**, $P_{i,max}$ assume il valore di 5.

Per componenti non previsti in progetto, ma presenti nel tabulato del metodo, il valore di $P_{i,max}$ si assume nullo, così che elementi non esistenti allo stato di progetto e allo stato di fatto non influenzino l'indice riferito allo stato di conservazione.

$$P_{max} = \sum P_{i,max}$$

Confrontando i valori di $P_{i,tot}$ e di P_{max} si ottiene pertanto P_{TOT} , indicazione qualitativa in percentuale del numero di danneggiamenti dell'intera opera. Maggiore è il punteggio, maggiore sarà la probabilità che più elementi dell'opera siano in stato di degrado.

$$P_{TOT} = \frac{P_{i,tot}}{P_{max}}$$

In base al valore ottenuto, il metodo fornisce in risposta l'estensione del danno. (tab.15)

Tabella 15: Estensione del danno in base al valore percentuale di P_{TOT} .

P_{tot} (%)		Estensione del danno
0	10	Bassa
11	25	Moderata
26	50	Media
51	75	Medio-alta
76	100	Alta

Per ottenere, invece, il livello di conservazione A_i per ogni tipologia di danno che può affliggere ogni componente della struttura di difesa, si utilizza la matrice in tab.16.

Nota la classe di importanza e il valore di danno, si trova il rispettivo valore di A_i che può variare tra **A0**, **A1** e **A2**.

Lo stato di conservazione dell'opera complessiva A_{TOT} sarà dato dal peggiore livello di conservazione A_i ottenuto nell'intera analisi.

Si otterrà pertanto un valore globale pari a:

- **A0** per il quale il metodo non consiglia nessun tipo di intervento;

- **A1** per il quale il metodo riconosce una perdita parziale della funzionalità e ritiene opportuno un intervento;
- **A2** per il quale, secondo il metodo, l'intervento (o la sostituzione) è da considerarsi immediato in quanto la funzionalità dell'opera è ritenuta del tutto compromessa.

Il metodo chiaramente non è in grado di fornire in risposta quale tipologia di intervento andrebbe attuato al fine di ripristinare l'efficienza del sistema.

6.2. Metodo Marchelli et al. 2019 per le reti in aderenza

Il metodo si basa sulla valutazione dello stato di danno per le diverse componenti di una rete in aderenza, riportate in tab.16:

Tabella 16: Componenti di cui si valuta il danneggiamento per le reti in aderenza.

Componente principale:	Elementi costituenti il componente principale:
Rete principale	Rete ed elementi di connessione tra i pannelli di rete
Fune di sostegno sommitale	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete
Fune di sostegno al piede	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete
Fune di sostegno di rinforzo	Fune, relativi ancoraggi, elementi di giunzione delle funi stesse ed elementi di connessione con la rete
Giunzioni	Giunzioni di connessione tra pannelli di rete, tra funi sommitali e pannelli, tra fune al piede e pannelli, tra funi intermedie e reti.

Per ognuno di questi elementi costituenti il sistema di difesa il metodo propone i potenziali danneggiamenti e la relativa classe di importanza per reti in aderenza non armate e armate. (tab. 17-18)

Tabella 17: Danneggiamenti e classi d'importanza per reti in aderenza non armate.

a) Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante all'interno di un campo definito da 4 chiodi	C3
	Presenza di detriti e sterpaglie nella rete	C1
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	C1
	Lacerazioni nella rete	C3
	Deformazioni e/o spancamenti della rete	C3

	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete	C1
B) Fune di sostegno sommitale	Fune mancante	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2
	Ancoraggio mancante	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3
e) Fune di sostegno al piede	Fune mancante	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2
	Ancoraggio mancante	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1

	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3
f) Fune di sostegno di rinforzo	Fune mancante	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2
	Ancoraggio mancante	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3
g) Connessioni tra pannelli	Elementi mancanti	C3
	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	C2
h) Connessioni tra fune sommitale e pannelli	Elementi mancanti	C2
	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	C1
i) Connessioni tra fune al piede e pannelli	Elementi mancanti	C2
	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	C1
	Elementi mancanti	C2

I) Connessioni tra funi intermedie e pannelli	Presenza di zone corrosive o danni alle giunzioni	C1
---	---	----

Tabella 18: Danneggiamenti e classi d'importanza per reti in aderenza armate.

a) Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante all'interno di un campo definito da 4 chiodi	C3
	Presenza di detriti e sterpaglie nella rete	C1
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	C1
	Lacerazioni nella rete	C3
	Deformazioni e/o spancamenti della rete	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete	C1
B) Fune di sostegno sommitale	Fune mancante	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2
	Ancoraggio mancante	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1

	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3
e) Fune di sostegno al piede	Fune mancante	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2
	Ancoraggio mancante	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3
f) Fune di sostegno di rinforzo	Fune mancante	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2
	Ancoraggio mancante	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1

	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3
g) Connessioni tra pannelli	Elementi mancanti	C3
	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	C2
h) Connessioni tra fune sommitale e pannelli	Elementi mancanti	C2
	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	C1
i) Connessioni tra fune al piede e pannelli	Elementi mancanti	C2
	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	C1

Il metodo è di tipo bi-matriciale, per ogni elemento costituente l'opera, nota la classe d'importanza e il grado di danno attribuito in campagna di rilievo, lo stesso fornisce in output:

- il punteggio relativo allo stato di danneggiamento P_i ;
- il punteggio relativo al livello di conservazione A_i .

Tabella 19: Matrice di associazione dei punteggi P_i per la definizione dello stato di conservazione dell'opera in funzione del livello di danno e della classe di importanza di ciascun potenziale danno.

	C1	C2	C3
d0	$P_i = 0$	$P_i = 0$	$P_i = 0$
d1	$P_i = 1$	$P_i = 2$	$P_i = 3$
d2	$P_i = 2$	$P_i = 3$	$P_i = 5$

Tabella 20: Matrice di associazione del livello di conservazione A in funzione del livello di danno e della classe d'importanza di ciascun potenziale danno.

	C1	C2	C3
d0	A0	A0	A0
d1	A0	A0	A1
d2	A0	A1	A2

Analogamente a quanto riportato precedentemente per le barriere paramassi, riferendosi alla prima matrice, per ogni tipologia di danno di ogni componente della barriera, dipendentemente dal grado di danno osservato in sito, attraverso la procedura precedentemente descritta, si ottiene un valore P_i .

Tutti i valori P_i ottenuti vengono successivamente sommati ottenendo $P_{i,tot}$:

$$P_{i,tot} = \sum P_i$$

Il valore massimo P_{max} si ottiene sommando tutti i valori di $P_{i,max}$, assumendo però che a ogni danno potenziale per ogni componente sia attribuito il valore massimo **d2**.

Per la classe di importanza **C1**, $P_{i,max}$ assume il valore di 2, per la classe **C2** $P_{i,max}$ assume il valore di 3 e per la classe **C3**, $P_{i,max}$ assume il valore di 5.

Per componenti non previsti in progetto, ma presenti nel tabulato del metodo, il valore di $P_{i,max}$ si assume nullo, così che elementi non esistenti allo stato di progetto e allo stato di fatto non influenzino l'indice riferito allo stato di conservazione.

$$P_{max} = \sum P_{i,max}$$

Confrontando i valori di $P_{i,tot}$ e di P_{max} si ottiene pertanto P_{TOT} , indicazione qualitativa in percentuale del numero di danneggiamenti dell'intera opera. Maggiore è il punteggio, maggiore sarà la probabilità che più elementi dell'opera siano in stato di degrado.

$$P_{TOT} = \frac{P_{i,tot}}{P_{max}}$$

In base al valore ottenuto, il metodo fornisce in risposta l'estensione del danno. (tab. 21)

Tabella 21: Estensione del danno in base al valore percentuale di P_{TOT} .

P_{tot} (%)		Estensione del danno
0	10	Bassa
11	25	Moderata
26	50	Media
51	75	Medio-alta
76	100	Alta

Per ottenere, invece, il livello di conservazione A_i per ogni tipologia di danno che può affliggere ogni componente della struttura di difesa, si utilizza la matrice in tab.16.

Nota la classe di importanza e il valore di danno, si trova il rispettivo valore di A_i che può variare tra **A0**, **A1** e **A2**.

Lo stato di conservazione dell'opera complessiva A_{TOT} sarà dato dal peggiore livello di conservazione A_i ottenuto nell'intera analisi.

Si otterrà pertanto un valore globale pari a:

- **A0** per il quale il metodo non consiglia nessun tipo di intervento;
- **A1** per il quale il metodo riconosce una perdita parziale della funzionalità e ritiene opportuno un intervento;
- **A2** per il quale, secondo il metodo, l'intervento (o la sostituzione) è da considerarsi immediato in quanto la funzionalità dell'opera è ritenuta del tutto compromessa.

Il metodo chiaramente non è in grado di fornire in risposta quale tipologia di intervento andrebbe attuato al fine di ripristinare l'efficienza del sistema.

6.3. Metodo automatizzato per l'applicazione degli approcci Marchelli et al.

Una volta ottenuti i dati di campagna in merito al livello di danno, si è ritenuto opportuno implementare un foglio di calcolo che consentisse di inserire i valori di danno (da 0 a 2) rilevati in campagna e in output fornisse direttamente i valori dell'indice di danneggiamento P_{TOT} e del livello di conservazione A_i globali per ogni filare di barriera paramassi in studio.

Il modello è stato implementato sul software Excel, del pacchetto Office, e si reputa un mezzo efficiente per diversi motivi:

L'applicazione manuale del metodo Marchelli et al. 2020 (ma anche 2019) è stata considerata piuttosto dispendiosa per il caso oggetto di studio poiché comprende l'analisi di 9 filari di barriere paramassi e 7700 m2 di reti in aderenza e può indurre in errore poiché per ogni dato di campagna bisogna attribuire la corretta classe di importanza, il relativo livello di conservazione e il relativo valore dell'indice di danneggiamento parziale e massimo.

Un altro errore si può commettere nelle somme degli indici di danneggiamento parziali e massimi con conseguente errata valutazione dell'indice di danneggiamento globale P_{TOT} , senza contare, inoltre, l'impossibilità di avere un confronto sulla correttezza dell'applicazione del metodo.

In ragione delle precedenti osservazioni, non solo il modello Excel è applicabile a qualsiasi caso studio riducendo pertanto il tempo computazionale del metodo, ma è anche stato validato inserendo come dati di campagna i valori di rilievi antecedenti di cui si conosceva il risultato corretto dell'analisi.

Nell'estremità superiore del foglio Excel vi è la possibilità di inserire alcuni dati per una migliore identificazione e inquadramento geografico del sistema come:

- la localizzazione del cantiere;
- il modello della barriera;
- il numero di montanti costituenti il sistema di difesa;
- l'altezza media dei montanti;
- il numero totale di campate;
- la lunghezza complessiva del sistema di difesa;
- eventuale denominazione GPS del primo e dell'ultimo montante della barriera.

Leggendo il foglio in colonne partendo da sinistra, nella prima colonna si trovano elencate tutte le componenti costituenti la barriera paramassi e le relative tipologie di danno a cui possono essere sottoposte. È inoltre possibile inserire note per ogni tipologia di danno potenziale, per meglio spiegare la scelta del grado di danno. (fig.106)

Componente	Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione	Livello di conservazione	P _i	P _{max,classe}
a) Rete principale	1 Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	0	5
	2 Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	1	C3	A1	1	3	5
	3 Presenze di detriti nella rete	1	C2	A0	0	2	3
	4 Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	0	2	2
	5 Lacerazioni nella rete	-	0	0	0	0	0
	6 Deformazioni	0	C2	A0	0	0	3
	7 Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	1	C3	A1	1	3	5
	8 Rottura di giunzioni reti - funi	2	C3	A2	2	5	5
	9 Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	2	C1	A0	0	2	2
MODELLO RETE 8 RETE 7 RETE 6 RETE 5 RETE 4 RETE 3 (+)							

Figura 106: Interfaccia del modello Excel per la procedura speditiva per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a rete.

Nella terza colonna denominata Danno [d] si inseriscono i dati di campagna relativi al grado di danno (di reti e barriere) visionate in sito. Il modello assume che per:

- valore di danno inserito pari a 0: l'elemento danneggiabile è stato installato e non è caratterizzato da deterioramento.
- valore di danno inserito pari a 1: L'elemento danneggiabile è stato installato ed è caratterizzato da un lieve deterioramento;
- valore di danno inserito pari a 2: L'elemento danneggiabile è stato installato ed è assente o totalmente danneggiato.
- valore di danno inserito pari a "-": L'elemento danneggiabile non è stato rilevato, pertanto è opportuno che non venga considerato nella valutazione della P_i e tantomeno della P_{max} .

Infatti, se nella terza colonna si inserisce il valore "-", il foglio grazie a una serie di cicli "IF" annulla la classe di importanza, il livello di conservazione, il valore di P_i , di P_{max} di modo tale che, nonostante siano considerati nella somma parziale e massima, non diano apporto a causa del valore nullo a loro attribuito.

Nella colonna relativa alla classe di importanza, le celle risultano essere fissate, pertanto le classi di importanza non possono variare per la tipologia di potenziale danneggiamento, tranne per il caso in cui si attribuisce il valore "-" al danno.

Attraverso una funzione "IF", noto il valore di danno e la classe di importanza il foglio attribuisce l'opportuna sigla del livello di conservazione e nella colonna immediatamente successiva riporta il valore numerico della sigla, di modo tale che tutti i valori numerici presenti nella colonna (dallo 0 al 2) possano essere confrontati e possa essere estratto il valore massimo, corrispondente al numero nella sigla del livello di conservazione globale del sistema A_{Tot} , grazie al quale il modello è in grado di consigliare la priorità e l'ingenza dell'intervento di ripristino o manutenzione.

Dopo aver inserito i dati di campagna, nota la classe di importanza, il modello attribuisce al potenziale danno il corretto P_i e P_{max} .

In seguito tutti i valori di P_i vengono sommati mediante l'uso della funzione "SOMMA" e lo stesso procedimento viene applicato a tutti i P_{max} . I due valori ottenuti vengono successivamente rapportati per trovare il P_{TOT} .

Infine, una volta noti P_{TOT} e A_{TOT} , in output è possibile leggere l'entità dell'estensione del danno in base al valore percentuale di P_{TOT} , la velocità di intervento e l'entità della perdita di funzionalità in base al valore di A_{TOT} .

2									
		Pmax, tot	179						
		Ppz, tot	76						
		Ptot	42.46						
		A,tot	A2						
		Il metodo consiglia:	intervento immediato, perdita totale della funzionalità, possibile necessità di sostituzione						
		Estensione del danno:	media						

Figura 107: Esempio di output del foglio Excel per barriera paramassi.

Per quanto riguarda le reti in aderenza armate e non, il foglio Excel utilizzato (i cui risultati verranno riportati nel capitolo 7) si basa sullo stesso principio di funzionamento del foglio per le barriere paramassi, la sola differenza sta nelle componenti e nella tipologia di danno potenziale, per questo motivo non ne è riportata l'implementazione.

7. Valutazione dello stato di salute delle opere censite

Come già anticipato, non si hanno a disposizione documenti che attestino le capacità prestazionali, il modello, il produttore o il dimensionamento di barriere e reti installate, si procede pertanto alla descrizione visiva delle opere censite.

Le barriere paramassi sono di tipologia flessibile, la struttura di sostegno è costituita da profilati in acciaio, la cui copertura alla corrosione è costituita da una vernice di colore verde acceso. La struttura di intercettazione presenta due tipologie di rete, quella primaria è una rete ad anelli concatenati, la secondaria è una semplice rete a doppia torsione, molto simile a quelle installate sul versante della frana del 1994. I montanti sono semi-incastriati al piede, questo vincolo non perfetto consente che il profilato abbia una parziale rotazione sul proprio sistema di fondazione. Le funi costituenti il sistema di collegamento sono a trefoli. Non si hanno particolari informazioni in merito al sistema di ancoraggio delle funi al suolo. Le fondazioni dei montanti sono plinti in cemento armato.

In merito alle reti in aderenza, dai sopralluoghi si è potuto notare che vi è un'area di circa 6000 m² coperta da reti in aderenza armate e un'area di circa 1700 m² in cui sono state installate reti in aderenza non armate. Per entrambi i sistemi la rete è a doppia torsione di diametro nominale di 2.7 / 3 mm. Anche in questo caso le funi sono costituite da trefoli, non si hanno informazioni specifiche in merito ai sistemi di ancoraggio, se non che nell'estremità superiore i chiodi vengono sostituiti da ancoraggi a staffoni. Nell'estremità a valle, alle reti non armate si combina la presenza di un tappeto anti-erosivo di tipo sintetico colore grigio scuro.

Per evitare di appesantire l'elaborato di tesi, le tabelle di applicazione del metodo per ogni opera censita sono disponibili negli "Allegati", si riporta nel seguito una sintesi dei risultati ottenuti. L'ubicazione di tutte le opere censite è visualizzabile in fig.8.

Iniziando dall'analisi della barriera 1a in fig.108, si sono ottenuti i risultati in tab. 22.



Figura 108: Posizione barriera paramassi 1a. [44]

Tabella 22: Indici relativi alla barriera paramassi n°1a

Barriera paramassi n°1a

$P_{\max, \text{tot}}$	161
$P_{i, \text{tot}}$	41
P_{TOT}	25.5%
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta media.

Per la barriera 1b in fig.109, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 23.



Figura 109: Posizionamento barriera paramassi 1b

Tabella 23: Indici relativi alla barriera paramassi n°1b.

Barriera paramassi n°1b	
$P_{\max, \text{tot}}$	161
$P_{i, \text{tot}}$	38
P_{TOT}	23.6%
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 2 in fig.110, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 24

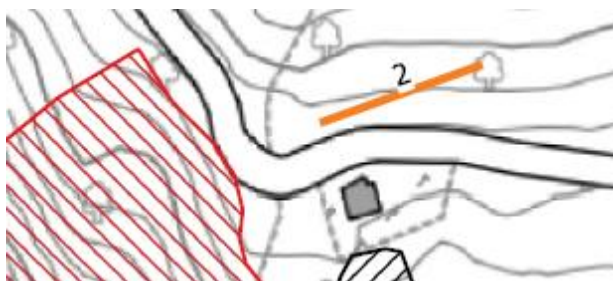


Figura 110: Posizionamento barriera paramassi 2. [44]

Questa barriera risulta danneggiata dalla presenza di foltissima vegetazione arbustiva, rampicante, ad alto e basso fusto. Inoltre, si rileva essere stata impattata da materiale lapideo proveniente da una frana da crollo, efficacemente contenuto dalle reti deformate “a sacca”. Il suolo che ricopriva i plinti è stato eroso verosimilmente da fenomeni di dilavamento superficiale, il sistema di fondazione risulta esposto e lievemente ammalorato.

Tabella 24: Indici relativi alla barriera paramassi n°2.

Barriera paramassi n°2	
$P_{\max, \text{tot}}$	206
$P_{i, \text{tot}}$	22
P_{TOT}	10.7%
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.
L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 3 in fig.111, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 25.

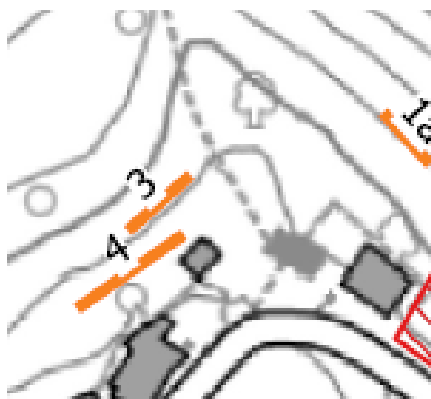


Figura 111: Posizionamento barriera paramassi 3. [44]

Il sistema risulta compromesso dalla presenza di materiale vegetale arbustivo.

Tabella 25: Indici relativi alla barriera paramassi n°3

Barriera paramassi n°3	
$P_{\max, \text{tot}}$	161
$P_{i, \text{tot}}$	38
P_{TOT}	23.6 %
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 4 in fig.112, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 26.

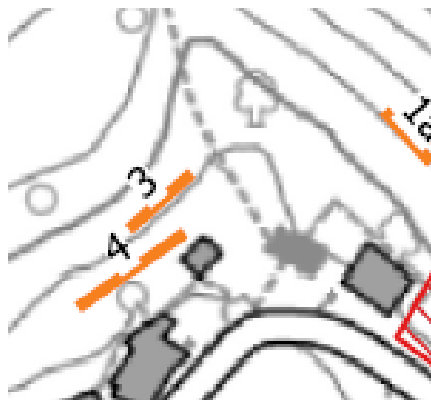


Figura 112: Posizionamento barriera paramassi 4. [44]

La barriera 4, in base al risultato dell'analisi, risulta essere la meno danneggiata, seppur anche in tale circostanza sia presente una minima infestazione arbustiva. La barriera si trova a valle della strada carrabile che, attraversando il versante est della rupe, porta al Sacro Monte. Tale opera era stata installata in quella posizione a protezione delle abitazioni situate più a valle quando ancora la strada non era stata costruita.

Tabella 26: Indici relativi alla barriera paramassi n°4

Barriera paramassi n°4	
$P_{\max, \text{tot}}$	161
$P_{i, \text{tot}}$	19
P_{TOT}	11.8 %
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 5 in fig.113, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 27.

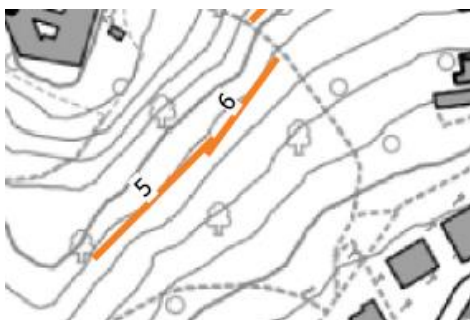


Figura 113: Posizionamento barriera paramassi 5. [44]

Il sistema risulta compromesso dalla presenza di materiale vegetale arbustivo.

Tabella 27: Indici relativi alla barriera paramassi n°5

Barriera paramassi n°5	
$P_{\max, \text{tot}}$	176
$P_{i, \text{tot}}$	36
P_{TOT}	20.45 %
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 6 in fig.114, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 28.

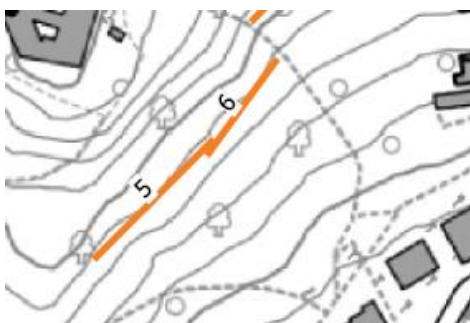


Figura 114: Posizionamento barriera paramassi 6. [44]

La barriera numero 6 è caratterizzata dalla presenza, nella prima campata di monte, di un blocco di circa 1.3 m³ che la mantiene in tensione costante. Inoltre, il sistema risulta compromesso dalla presenza di materiale vegetale arbustivo.

Tabella 28: Indici relativi alla barriera paramassi n°6

Barriera paramassi n°6	
$P_{\max, \text{tot}}$	171
$P_{i, \text{tot}}$	35
P_{TOT}	20.47 %
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.
L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 7 in fig.115, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 29.

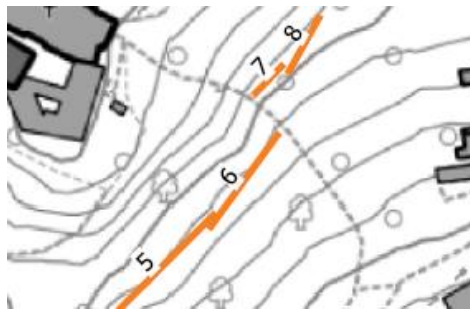


Figura 115: Posizionamento barriera paramassi 7. [44]

La barriera è moderatamente danneggiata dalla presenza di materiale lapideo contenuto dalle reti principale e secondaria. Sono presenti in media densità piante ad alto fusto, di diametro elevato, a contatto con le strutture. Si sono rilevate inoltre alcune specie vegetali che si sono sviluppate ancorandosi alla struttura di intercettazione primaria o che si sono infilate all'interno delle cavità dei dissipatori. Sono assenti gli elementi di giunzione (grilli) che dovrebbero solidarizzare due pannelli di rete contigui, pertanto si sono rilevati varchi in corrispondenza dei montanti.

Tabella 29: Indici relativi alla barriera paramassi n°7

Barriera paramassi n°7	
$P_{\max, \text{tot}}$	166
$P_{i, \text{tot}}$	22
P_{TOT}	13.25 %
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità.
L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la barriera 8 in fig.116, si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 34.

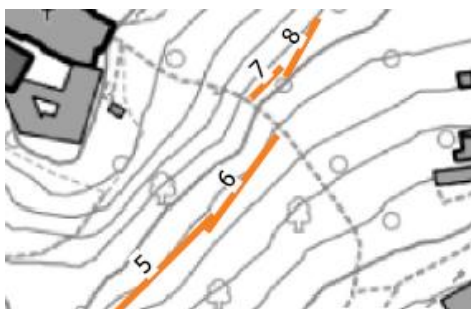


Figura 116: Posizionamento barriera paramassi 8. [44]

La barriera appare moderatamente compromessa in due campate in seguito all'evento di caduta massi dell'agosto 2022, anche se nelle restanti campate è comunque trattenuto materiale lapideo. Le strutture di intercettazione primaria e secondaria non appaiono lacerate dall'impatto.

Gli anelli della rete primaria e i sistemi di dissipazione mostrano deformazione plastica, indice della dissipazione dell'energia avvenuta dopo l'impatto dei massi. Inoltre si sono sviluppate verifiche balistiche che dimostrano che le altezze al 95-esimo percentile non superano l'altezza della barriera attuale.

Le verifiche balistiche sono state eseguite mediante il software Rocfall della catena Rocscience che ha consentito di riprodurre l'evento di caduta massi dell'agosto 2022. La geometria del pendio si è ottenuta dal software Qgis, le rispettive coordinate sono riportate in tab.30.

Tabella 30: Coordinate del pendio.

Vertici	x	y
1	0	583.125
2	6	583
3	7.5	577.611
4	10.4957	573
5	15	566.163
6	24.9915	561.85
7	31.2394	553.389
8	37.4872	546.325

Verosimilmente si è considerato il pendio come composto da due differenti materiali, alla zona compresa tra i vertici 1 e 5 si sono attribuite le proprietà della roccia affiorante. (tab. 31)

Tabella 31: Proprietà della roccia affiorante.

R_n	0.4
R_t	0.9
φ [°]	30

La restante area, invece, si è considerata come composta da detrito vegetato, le cui proprietà sono raccolte in tab. 32.

Tabella 32: Proprietà del detrito abbondante vegetato.

R_n	0.29
R_t	0.81
φ [°]	33

I massi sono considerati come dioriti, aventi densità media pari a 2800 kg/m^3 . Le simulazioni sono state eseguite assumendo che blocchi di:

- 1 m^3 ;
- 2 m^3 ;
- 5 m^3 ;

iniziassero la loro caduta a partire dalla nicchia puntuale di distacco corrispondente al vertice n°3 di tab. 30.

Si è posizionata una barriera paramassi alta 3.5 m, di 500 kJ alle coordinate ($x = 30$; $y = 555$) e assumendo nulle le seguenti grandezze:

- velocità orizzontale del masso al distaccamento;
- velocità verticale del masso al distaccamento;
- velocità rotazionale del masso al distaccamento;
- rotazione iniziale del masso;

si è fatta iniziare la simulazione dell'evento di caduta massi. Si riportano nelle fig. 117-118-119 gli schemi ottenuti dal software.

La barriera si è ipotizzata essere di 500 kJ essendo a conoscenza delle tecniche progettuali degli anni '90, in cui il modello standard che veniva installato possedeva proprio tali proprietà in termini prestazionali.

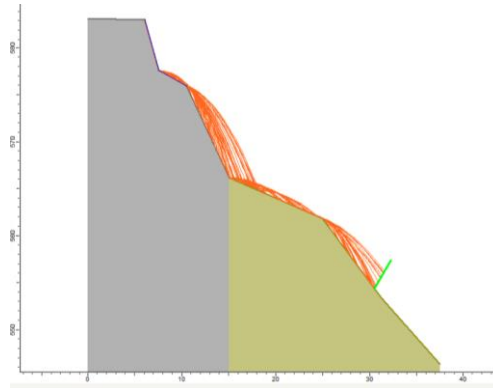


Figura 117: Schematizzazione del pendio su Rocfall con massi di 1 m^3 . [72]

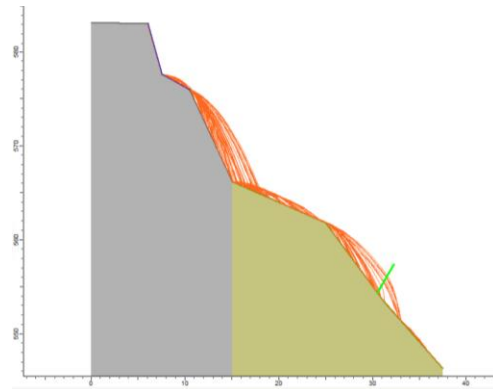


Figura 118: Schematizzazione del pendio su Rocfall con massi di 2 m^3 . [72]

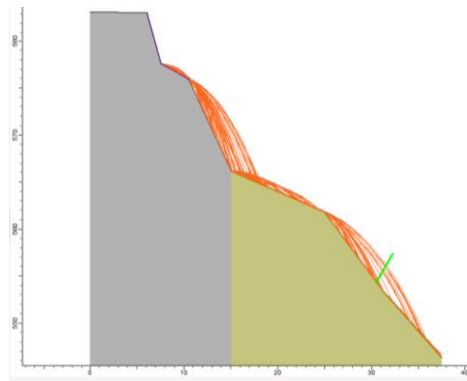


Figura 119: Schematizzazione del pendio su Rocfall con massi di 5 m^3 . [72]

Si sono ottenuti gli andamenti dell'energia cinetica totale in prossimità dell'installazione della barriera per i tre differenti volumi. (fig. 120 – 121 – 122)

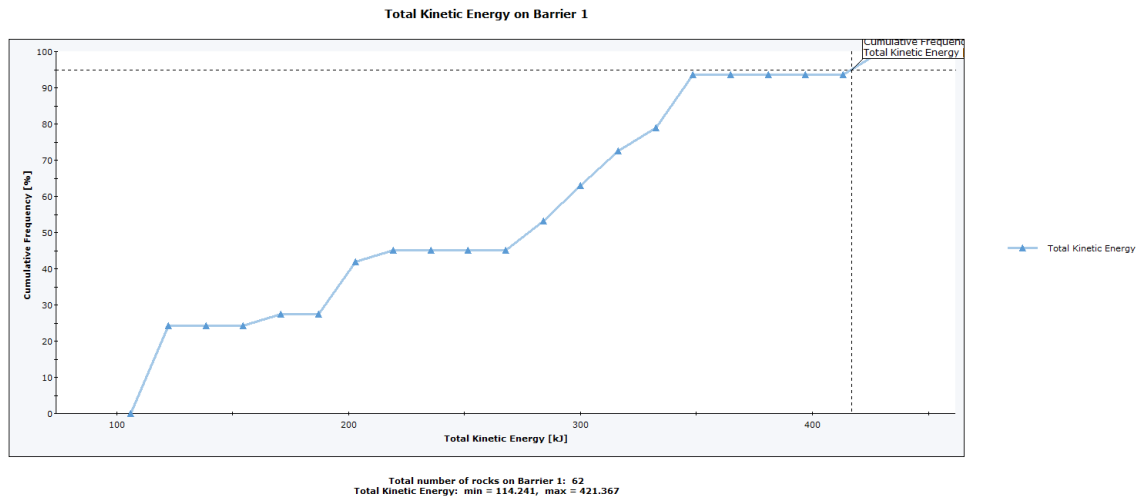


Figura 120: Grafico dell'energia cinetica di massi di 1 m³ sulla barriera. [72]

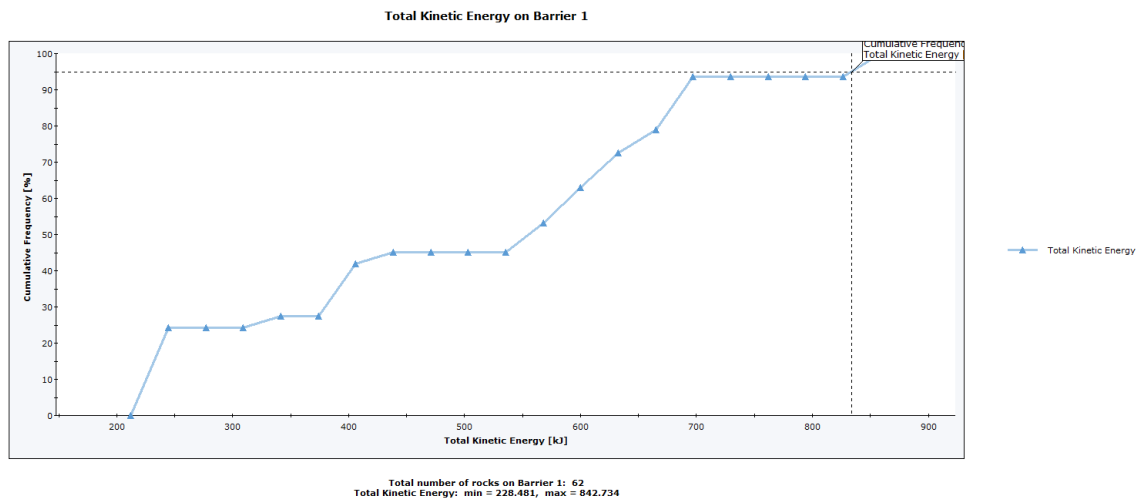


Figura 121: Grafico dell'energia cinetica di massi di 2 m³ sulla barriera. [72]

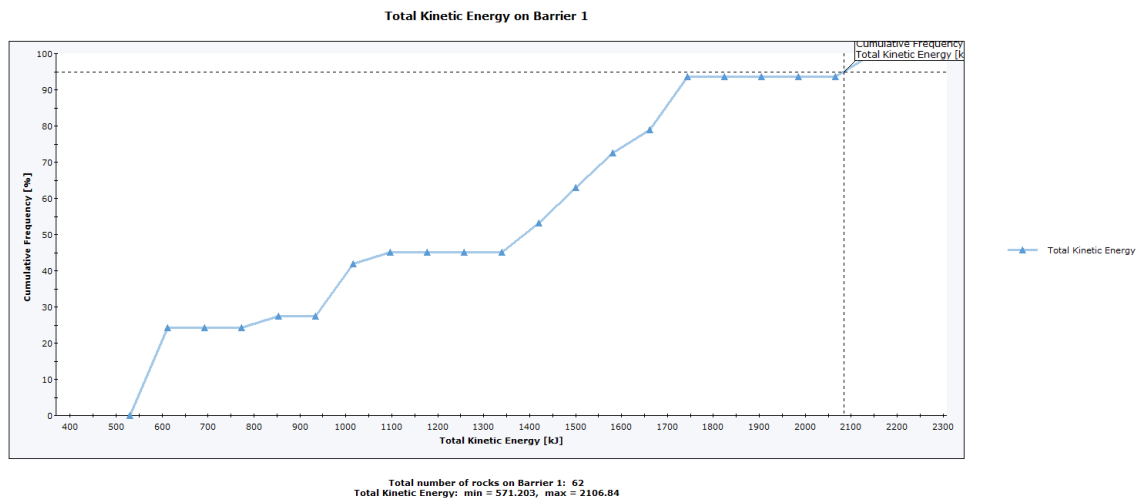


Figura 122: Grafico dell'energia cinetica di massi di 5 m³ sulla barriera. [72]

I valori di energia cinetica corrispondenti al 95-esimo percentile, per le tre casistiche, sono riportati in tab. 33.

Tabella 33: Energia cinetica al 95-esimo percentile per i tre volumi.

Volume [m ³]	Energia cinetica [kJ]
1	417
2	838
5	2087

Dai risultati ottenuti dalle simulazioni si può notare che la barriera di 500 kJ sia sotto-dimensionata per eventi di volume maggiore di 1 m³. Non conoscendo il modello delle barriere installate (e di conseguenza l'energia cinetica che possono sopportare) non è possibile, però, esprimere tale assunzione come assolutamente vera per il caso studio.

La barriera 8, pertanto, è presumibilmente sotto-dimensionata.

Tabella 34: Indici relativi alla barriera paramassi n°8

Barriera paramassi n°8	
P _{max,tot}	156
P _{i,tot}	44
P _{TOT}	28.21 %
A _{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato in quanto risulta una perdita totale della funzionalità. L'estensione globale del danno risulta media.

La localizzazione della rete in aderenza di tipo semplice è rappresentata in fig.123.

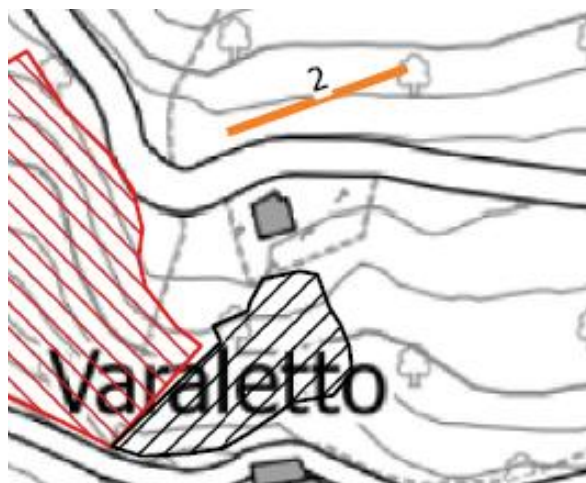


Figura 123: Posizionamento rete in aderenza semplice. [44]

La rete a cortina appare compromessa dalla presenza della vegetazione di tipo arbustivo ed arboreo.

Non si sono rilevati distaccamenti di dimensioni rilevanti, pertanto la rete non è in tensione e non presenta spancamenti. È presente del detrito ma di modestissime dimensioni, costituito prevalentemente da graniglia di piccola pezzatura e rami. Le attività di ripristino su tale area di versante hanno portato alla luce che la rete che si pensava fosse semplice, in verità risulta anch'essa armata. Si considerano comunque validi i risultati ottenuti dall'analisi. (tab.35)

La rete, sull'altro lato del versante, presenta zone in cui è stato installato del rivestimento anti-erosivo ancora in ottime condizioni.

Tabella 35: Indici relativi alla rete alta non armata.

Rete alta non armata	
$P_{\max, \text{tot}}$	105
$P_{i, \text{tot}}$	16
P_{TOT}	15.23 %
A_{TOT}	A1

Il metodo reputa che l'intervento sia necessario al ripristino poiché è rilevata una perdita della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta moderata.

Per la rete in aderenza di tipo armato in fig.124 si sono ottenuti i risultati raccolti in tab. 36.

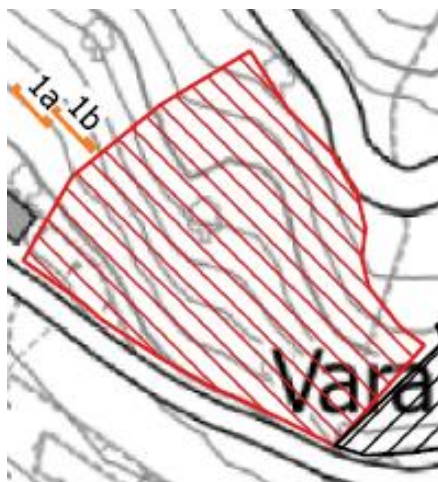


Figura 124: Posizionamento rete in aderenza armata. [44]

Il rafforzamento corticale appare compromesso dall'ingente presenza di vegetazione di tipo arbustivo ed arboreo che impedisce in alcuni tratti l'ispezione visiva dell'opera allo stato dell'arte.

Tabella 36: Indici relativi alla rete centrale armata.

Rete centrale armata	
$P_{\max, \text{tot}}$	123
$P_{i, \text{tot}}$	35
P_{TOT}	28.45 %
A_{TOT}	A2

Il metodo consiglia un intervento immediato poiché risulta una perdita totale della funzionalità.

L'estensione globale del danno risulta media.

7.1. Osservazioni sui risultati ottenuti

I risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di letteratura alle opere di difesa censite nel sito di studio hanno evidenziato che tutti i sistemi indistintamente, nonostante siano soggetti a diverse tipologie di danneggiamento e a diverse estensioni globali di danno, dovrebbero essere soggetti ad attività di ripristino o a sostituzione immediati poichè è predetta una perdita totale della loro funzionalità.

L'indice di estensione del danno, in tali condizioni, potrebbe essere utilizzato per stimare l'entità economica dei finanziamenti da riservare a ogni singola barriera, note le modalità di danneggiamento e le attività atte al ripristino.

Occorre rilevare che il metodo usato è probabilmente molto cautelativo rispetto a quanto in uso al momento dell'installazione delle opere di difesa, basandosi sulle normative vigenti, sicuramente più a favore di sicurezza delle linee guida di progetto utilizzate all'epoca.

8. Progetto di recupero e manutenzione

In questo capitolo, saranno esposte le attività pianificate con lo studio Tecnoesia per il progetto di ripristino e manutenzione delle opere analizzate nel Cap.7. Gli interventi descritti sono stati realizzati nella primavera del 2023, più precisamente tra i mesi di marzo e maggio.

Particolarmente interessante è, inoltre, la possibile introduzione di un dispositivo innovativo che, installato sulle opere di difesa, consente di rilevare un evento di caduta di massi, emettendo un allarme che può essere collegato a un sistema di allerta.

L'introduzione di questo strumento potrebbe contribuire alla riduzione dell'esposizione di mezzi e persone ai pericoli dovuti alla caduta di massi e avrebbe un risvolto positivo anche in merito alla frequenza di monitoraggio delle opere di difesa.

Nonostante l'efficacia del sistema di allarme, è comunque opportuno il mantenimento di una frequenza minima annuale di ispezioni per il monitoraggio delle opere poichè possono essere danneggiate anche da corrosione e vegetazione, i cui effetti non sono misurabili dal dispositivo.

In sintesi, l'introduzione di questo sistema alleggerirebbe le procedure di controllo, a favore di una minore esposizione e maggiore sicurezza dell'area esposta alla caduta massi. Risulterebbe utile, quindi, sia in termini di prevenzione dal rischio che di monitoraggio.

8.1. Descrizione degli interventi

In merito alle barriere paramassi, si è deciso di predisporre lo svuotamento di tutte le campate interessate dai crolli avvenuti e, nel caso le strutture di intercettazione fossero danneggiate o deformate permanentemente, il ripristino di tali componenti.

Nello specifico, sarebbe opportuno sostituire interamente la barriera n°8 poiché è possibilmente sotto-dimensionata.

Nelle attività di manutenzione delle barriere si è inserita anche la rimozione del materiale vegetale che interferisce con il normale funzionamento delle strutture di intercettazione.

Per le reti in aderenza armate e non, si è predisposto un taglio totale “a raso” su tutta la superficie di intervento, nonostante durante i sopralluoghi si fosse notato che la vegetazione diminuiva notevolmente all’aumentare dell’altitudine.

La presenza di materiale vegetale potrebbe aver compromesso l’analisi visiva, pertanto, nel computo delle attività si è considerato un 10 % in più sull’area delle reti da mantenere come “bonus” qualora si scoprissero danneggiate in seguito alla migliore visione dovuta al disboscamento in progetto. Si è prevista anche l’installazione di alcune nuove chiodature nei settori più compromessi.

Si riassumono le attività previste [71] visualizzabili in fig. 125:

- Pareti Bonda del Cucco (in azzurro in fig. 125): pulizia e taglio della vegetazione sia arbustiva che arborea, asportazione del materiale di risulta, taglio a misura e messa in sicurezza se utilizzabile, cippatura se non utilizzabile ed asporto, pulizia delle opere esistenti, riparazione e/o sostituzione elementi rotti o danneggiati a coprire un’area di circa 4000 m² (in sede esecutiva sono risultati 5500 m²). Posa di 420 m² di rete metallica armata a contatto in aree non ancora protette, solidarizzazione di porzioni lapidee instabili, previsti n. 10 chiodi da 3 ml ciascuno;
- Zona Belvedere (in rosso in fig. 125): pulizia e taglio della vegetazione allignante su tomo in terra rinforzata di lunghezza 100 ml per un’altezza di 4 m per una superficie di circa 900 m², cippatura materiale di risulta e suo asporto;
- Manutenzione e pulizia dalla vegetazione delle esistenti barriere paramassi (in verde in fig. 125) a monte Strada Comunale Madonna del Cucco e del Riale, comprendente taglio sia di arbusti che di alberi, nella fascia a cavallo delle opere, il materiale di risulta se utilizzabile verrà tagliato a misura e accatastato in sicurezza, se non utilizzabile sarà sottoposto a cippatura. Pulizia del materiale lapideo trattenuto dalla barriera e sua messa in sicurezza.
- Video ispezione (tratto in blu in fig. 125) della condotta scolmatore che dal Sacro Monte scarica nel rio Riale.

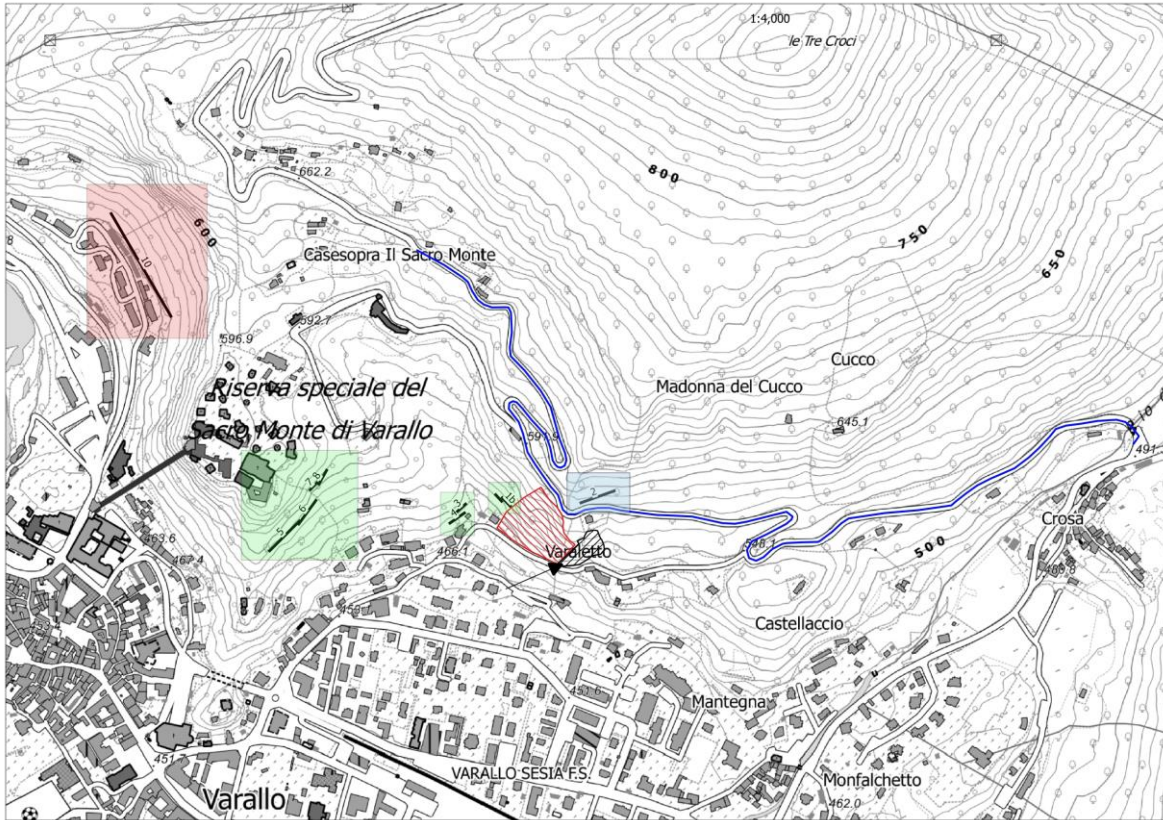


Figura 125: Mappa delle attività previste da progetto di ripristino e manutenzione. [72]

Si riportano di seguito alcune immagini delle attività realizzate (fig. da 126 a 131).



Figura 126: Rimozione totale della vegetazione nell'area adiacente le reti in aderenza. [72]



Figura 127: Rimozione e accatastamento di vegetazione ad alto fusto in corrispondenza di muretti a secco. [72]



Figura 128: Installazione di nuove reti in aderenza armate. [72]

Le reti in aderenza armate in fig. 128 sono state posate sui muretti a secco in equilibrio precario, venuti a giorno con la rimozione “a raso” della vegetazione.

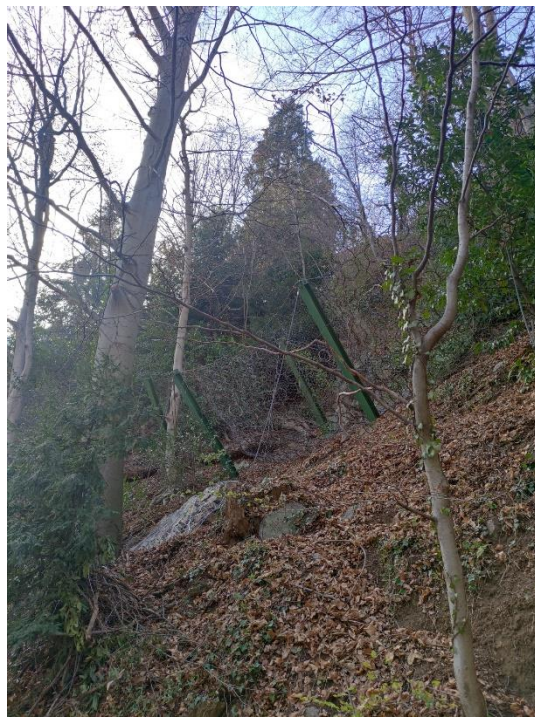


Figura 129: Rimozione vegetazione in prossimità delle barriere e svuotamento dal detrito.



Figura 130: Aggiunta di morsetti, prima assenti, tra pannelli di rete della barriera n°7.

I morsetti in fig. 130 sono recentemente stati sostituiti da grilli.



Figura 131: Accatastamento del detrito rimosso dalle barriere ricoperto da reti in aderenza armate.

8.2. Sistemi di allertamento

Nel caso di situazioni ad alto rischio di caduta massi, dove potrebbe avvenire una significativa perdita di beni, si potrebbe considerare l'installazione di un sistema di rilevamento di caduta massi sulle opere di difesa. Tali dispositivi sarebbero in grado di mandare segnali di allarme per consentire l'immediata chiusura al traffico dei tratti di infrastruttura che potrebbero essere interessati dal dissesto. L'impatto dei massi potrebbe causare danni ai mezzi percorrenti e danni economici all'infrastruttura stessa, con conseguente riduzione della funzionalità strategica e logistica. L'installazione di tali dispositivi sarebbe, quindi, in grado di ridurre il rischio legato al fenomeno di caduta massi.

Esistono dispositivi che possono essere installati sia sulle barriere paramassi sia sulle reti in aderenza, sono costituiti da dischi (in giallo in fig. 132) di una speciale lega metallica, dotati di otto sensori elettromeccanici (in rosso in fig. 132), che consentono di monitorare gli impatti in otto posizioni diverse della struttura. La distribuzione dei sensori su una scala più ampia consente di avere un riscontro non puntuale, ma areale, della localizzazione degli impatti. Tale idea riduce la probabilità che un contatto accidentale di fauna e flora con il sistema di difesa venga confuso per caduta massi e inneschi, immotivatamente, il sistema di allarme e la chiusura delle infrastrutture adiacenti. Nelle reti in aderenza i dispositivi solitamente vengono installati in corrispondenza di un ancoraggio (fig.133).

Il sistema di allertamento è esterno all'opera di difesa, per cui la sua installazione non ne compromette la funzionalità, né le prestazioni.

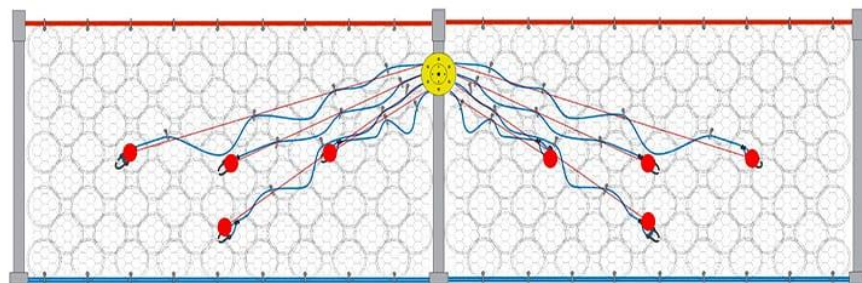


Figura 132: Barriere paramassi e sistemi di allertamento. [73]

Il dispositivo è realizzato in una specifica lega metallica che lo rende operativo in qualsiasi condizione ambientale, è infatti in grado di resistere a temperature comprese tra -40°C e +60°C. Le dimensioni ridotte (30 cm x 8 kg) lo rendono facilmente trasportabile, per l'installazione non è necessaria la presenza di tecnici specializzati e il sistema non necessita di specifiche operazioni di calibrazione affinché sia operativo.

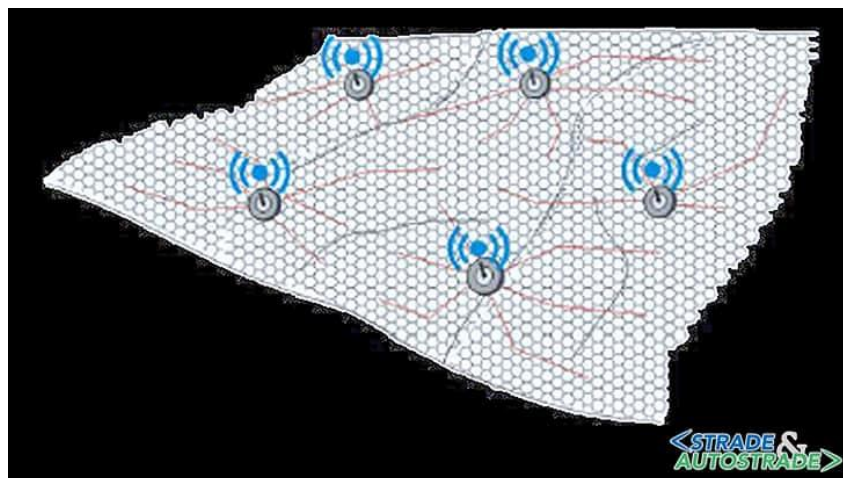


Figura 133: Reti in aderenza e sistemi di allertamento. [73]

Sia l'installazione che il funzionamento sono molto semplici, il sistema centrale rileva ogni qual volta a uno o più degli otto sensori venga applicata una forza di trazione ed è in grado di inviare il segnale solo quando il limite (imposto a priori) di deformazione della struttura viene superato con l'impatto. E' possibile, quindi, stabilire dei limiti di deformazione dell'opera oltre i quali vengono inviati i segnali di allarme. Il sistema di attivazione può essere impostato sui livelli di energia MEL o SEL o personalizzati per esigenze specifiche. [80] I segnali, per essere inviati, non necessitano di copertura, la trasmissione avviene infatti mediante IoT, sistemi GPRS, UMTS o via satellite.

Il sistema è in grado di rilevare, con tempi di risposta minori di 5 secondi [80], il contatto tra i massi provenienti da differenti direzioni e il sistema di difesa. Il sistema di allertamento è alimentato con un sistema di batterie interno che garantisce un'autonomia di diversi anni, non necessita, quindi, di reti di alimentazione esterna, motivo per il quale risulta essere un dispositivo funzionale per le aree montuose o di difficile accesso dove solitamente sono installate le opere di difesa.

Qualora il sistema non rilevi impatti, lo stato di funzionalità del sistema è rilevato quotidianamente ed è visualizzabile su un'apposita applicazione di supporto per telefoni cellulari [80].

I dati ottenuti dal dispositivo vengono, inoltre, raccolti nei server per la consultazione e gestione, il sistema, inoltre, è anche in grado di attivare sirene, semafori o pannelli d'allarme per segnalare il pericolo. [73]

Questi sistemi esistono in commercio in diverse varianti e non sono utili solo perché in grado di allertare la popolazione del pericolo imminente, ma anche perché contribuiscono alla stesura di un registro cronologico degli eventi di crollo, utile per la stima della ricorrenza temporale degli eventi. Questo consentirebbe anche un'ottimizzazione dei sopralluoghi che potrebbero essere pianificati soprattutto in seguito ai messaggi di allarme inviati dal sistema.

9. Conclusioni

Le attività svolte con l'azienda Tecnoesia srl, insieme alla ricerca bibliografica, sono state illuminanti per lo sviluppo del tema trattato. Il lavoro di tesi, nella sua dualità pratico-teorica, ha contribuito sia ad arricchire il bagaglio delle esperienze lavorative della candidata, sia ad ampliarne le conoscenze pregresse. Per mezzo delle considerazioni riportate nell'elaborato, si è cercato di dimostrare quanto sia importante l'aspetto tecnico, oltre che all'aspetto prettamente teorico della progettazione e della gestione delle opere di difesa contro la caduta massi.

Le ispezioni hanno consentito di avere un riscontro visivo delle modalità di danneggiamento delle strutture e delle conseguenze degli ammaloramenti. Il lavoro di tesi ha dato la possibilità di contestualizzare tutte le conoscenze (acquisite durante i corsi universitari) in un ambiente reale, con tutte le difficoltà e le problematiche riscontrabili. È possibile considerarlo, quindi, come un primo approccio al contesto lavorativo, in quanto la scelta del corretto metodo per la manutenzione è dipesa fortemente dall'inserimento dell'opera paramassi in un ambiente costituente un vincolo alla perfetta riuscita del progetto di ripristino.

L'utilizzo di alcuni approcci da letteratura (Marchelli 2019; Marchelli 2020) ha consentito di ridurre la probabilità di commettere errori di valutazione. La combinazione tra le osservazioni sul campo e l'applicazione dei metodi matriciali ha consentito di confrontare il risultato pratico con quello standardizzato, evitando di attribuire lotti di finanziamento ad attività che non avrebbero migliorato notevolmente la funzionalità dei sistemi installati.

La creazione di un modello automatizzato sul software Excel non ha solamente velocizzato le procedure di valutazione del danno, ma, essendo dipendente dai soli dati ottenuti durante i sopralluoghi, consente di essere utilizzato anche durante le attività di ispezione comodamente su un qualsiasi dispositivo come: telefono cellulare, tablet o computer portatile.

L'implementazione dei dati in tempo reale consente di avere un responso immediato dello stato dei luoghi e un confronto visivo con le opere ispezionate. La possibilità di avere un riscontro istantaneo e standardizzato sullo stato di conservazione delle opere consente di avere un'idea in merito ai gradi di danno che si sono attribuiti, qualora si avesse avuto il dubbio che gli stessi fossero eccessivamente cautelativi o sottostimassero l'effettivo ammaloramento.

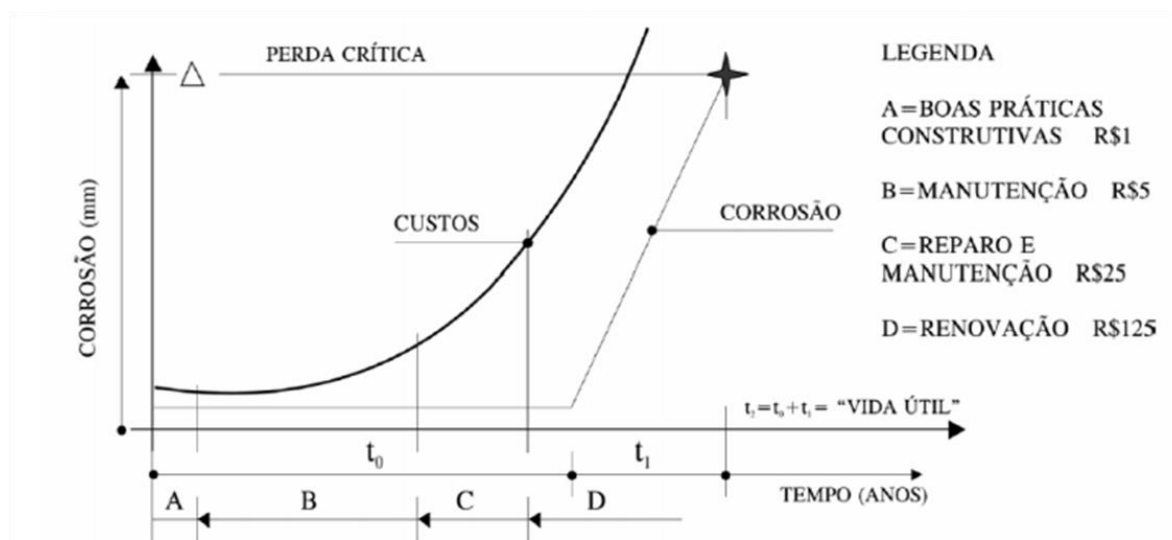
Durante la stesura dei primi capitoli, in particolare quello in cui si discutono le varie modalità di progettazione delle reti in aderenza, si è portata alla luce una problematica abbastanza vincolante:

l'assenza di un approccio standardizzato per la valutazione dei carichi agenti e delle forze resistenti. Per ridurre l'insorgenza di errori di pre-dimensionamento e di progettazione dei carichi, si potrebbero effettuare altri test in vera grandezza sulle reti, che consentano di arrivare a una convergenza in termini di grandezze da progettare. Gli esiti dei test in vera grandezza, per quanto costosi, sono utili anche per la determinazione delle modalità di degrado e per comprendere dove si concentrino le aree vulnerabili delle strutture. Una volta scoperto l'anello debole della catena è, pertanto, possibile agire per aumentare l'efficienza delle intere opere. L'esecuzione delle prove sui sistemi di difesa contro la caduta massi, con la variazione di alcuni parametri e in ambienti quanto più vicini a quello finale di installazione, potrebbe essere determinante anche per la scoperta di nuove modalità di danneggiamento, in cui si valuta come la combinazione di diverse forze agenti (impatti/contatti con il masso, ambiente degradante etc..) possa influire sulle modalità di danneggiamento.

D'altro canto, l'introduzione delle opere di ingegneria naturalistica potrebbe essere una valida alternativa (o combinazione) alle tradizionali opere paramassi per due motivazioni principali:

la messa a dimora delle piante ha un impatto ambientale ridotto rispetto all'installazione delle strutture tradizionali e contribuisce, mediante la fotosintesi clorofilliana propria della vegetazione, alla riduzione del quantitativo di anidride carbonica nell'atmosfera, in favore dell'ossigeno. Potrebbe, quindi, essere una tecnica più applicabile proprio per ovviare alle problematiche dei tempi odierni in merito all'inquinamento ambientale e al tentativo dell'inversione del trend che governa i cambiamenti climatici.

La manutenzione (o la sua assenza), di cui si è ampiamente parlato, ha avuto quindi un ruolo fondamentale sia nell'elaborazione del progetto (per l'appunto di manutenzione) sia nelle condizioni dello stato dei luoghi in cui versava il pendio. È importante che vengano organizzate ispezioni quanto più frequenti possibile, di modo tale che sia possibile richiedere lotti di finanziamento all'avvenire del danneggiamento. Si ricordi, inoltre, come le attività di manutenzione "una tantum" o eseguite solo a fine vita nominale dell'opera risultano essere più costose e meno funzionali di opere costantemente mantenute.



Sarebbe, quindi, da evitare la manutenzione sistematica solo in prossimità della fine della vita nominale delle opere. Sarebbe opportuno testare e confrontare la durabilità dei sistemi, in seguito a piccole manutenzioni costanti e a grandi e localizzate attività di ripristino, per settare delle regolamentazioni standard in merito alla frequenza delle ispezioni alle opere di difesa.

Invece di rendere funzionali opere che presentano, al massimo, un altro decennio di anni di vita, qualora il bene a perdersi fosse costituito da vite umane, sarebbe più opportuno sostituirle totalmente oppure, nel caso la prima opzione non fosse applicabile per mancanza di fondi, dotarle di sistemi, come quelli citati nel Cap.8, in grado di segnalare l'avvenimento di un evento di caduta massi.

Come già spiegato, essendo il rischio una combinazione di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, si potrebbe considerare l'opzione di agire sulla mitigazione del rischio, non agendo solamente sulla pericolosità dell'evento, quanto più sull'esposizione. Si potrebbe approfittare delle odierne

tecniche di trasmissione dati, facendo in modo che l'allarme giunga anche ai telefoni cellulari, un ottimo mezzo di comunicazione considerando che sono posseduti dalla maggior parte della popolazione. Le persone in prossimità dell'area soggetta a caduta massi potrebbero, quindi, allontanarsi o, nel più comune caso in cui le strutture sono a protezione di infrastrutture viarie, arrestare il veicolo con cui si stanno spostando, mettendosi in sicurezza.

Questa teoria ammetterebbe la possibilità che l'evento avvenga e si propaghi, inficiando la durabilità di edifici e infrastrutture presenti, che andrebbero, in seguito, ripristinati. Per questo motivo, si ritiene opportuno combinare i sistemi di allarme a opere di difesa mantenute efficienti, al fine di evitare sia perdite umane che di beni comuni.

Lo sfruttamento dei mezzi di comunicazione più comuni, abbinati all'installazione di sirene sonore e semafori in grado di arrestare il traffico sulle infrastrutture in caso di caduta massi, potrebbe rivelarsi, quindi, una tattica preziosa per la salvaguardia della vita umana.

Si è giunti a tali assunzioni nella totale assenza di valutazioni di tipo economico e nell'ipotesi che l'acquisto e l'installazione di un sistema di allertamento costi meno della sostituzione totale di un sistema di difesa. Qualora, invece, non fosse così si potrebbe considerare l'ipotesi in cui gli allarmi siano applicati a sole opere di difesa poste a protezione di strutture di tipo strategico, per cui la chiusura per il ripristino sarebbe impattante in termini socio-economici.

Viste alcune difficoltà nel reperire materiali in merito al tipo e alla quantità di opere installate sul versante oggetto di studi, un'altra tattica ottimale per la gestione delle opere sarebbe la creazione di un database [70], magari a scala provinciale, in cui si registrano tutte le opere di difesa attualmente installate sul territorio. Si potrebbe partire dai documenti depositati nei comuni e si potrebbe aggiornare qualora, come nel caso studio, durante i sopralluoghi si scoprissero nuove opere non registrate negli archivi.

In tale database potrebbero, inoltre, essere inseriti gli esiti dell'applicazione di un unico approccio (opportunamente scelto) per la valutazione dello stato di conservazione delle opere, di modo tale da avere un'idea dello stato di salute delle opere sul territorio, per sapere dove concentrare i fondi qualora arrivassero dei lotti di finanziamento. L'attribuzione dei gradi di danno, nel caso si scegliesse di utilizzare un metodo matriciale (Marchelli et al., 2019; Marchelli et al., 2020), dovrà essere eseguita da tecnici specializzati e formati sull'approccio scelto, di modo tale che la valutazione risulti basata sugli stessi criteri in tutto il territorio. Tale proposta può essere una delle numerose strategie che potranno essere applicate nei prossimi decenni per una migliore gestione delle opere esistenti.

Ringraziamenti

Per la prontezza, la costante disponibilità e la condivisione delle vostre conoscenze, prof. Ing. Barbero e dr. Napoli, vi ringrazio.

Ringrazio anche lo studio Tecnoesia, in particolare Giovanni e Chiara, grazie per la disponibilità, per la gentilezza, per aver sempre ritenuto valido il mio punto di vista e per essere stati sempre pronti a darmi consigli utili.

Proseguirei ringraziando i miei genitori Elisabetta e Eugenio, fondamenta della mia esistenza, senza di voi non sarei qui, in tutti i sensi. Vi sono grata per la fiducia che avete riposto in me. Grazie per aver attutito con la vostra presenza e la vostra saggezza il mio impatto col mondo, consentendomi di elevarmi con i piedi ben saldi a terra.

Ai miei nonni Marcellina, Maria Luisa e Mario, pilastri instancabili del mio essere, grazie per ogni volta in cui vi siete fatti carico dei miei problemi come se fossero stati vostri, non avrei saputo come fare senza di voi e infatti ora che una di voi non c'è più non so ancora come fare.

A mia sorella Elena, acciaio del mio calcestruzzo, grazie per essere sempre stata quella forte delle due, quella che si piega quando io, invece, comincio già a mostrare le crepe. Sei la mia eterna compagna e confidente, siamo complici aderenti pur mantenendo le nostre proprietà, ti stimo immensamente.

Ai miei amici di Torino, trasparenti finestre su un mondo nuovo, grazie per ogni singolo momento trascorso insieme, anche per quelli di cui magari non abbiamo più memoria (chi vuole intendere, intenda...). Avete fatto entrare la luce dove c'era il buio della paura, mi avete accompagnata in un percorso nuovo certi che io non mi smarrissi, non sottovalutate mai il valore che io vi attribuisco nel mio cuore. Grazie per avermi aiutata a scoprire chi sono davvero, lasciando a Prato Sesia chi gli altri volevano che io fossi. Non avete idea di quanto io abbia imparato dalla vostra amicizia.

Ai miei amici della valle, solida copertura dalle intemperie della vita, grazie perché siete con me da che io abbia memoria, nel bene e nel male. Siete il posto sicuro dove andare a rifugiarmi quando capita che io non mi riconosca più. Resi complici dalle esperienze condivise, vi reputo il caposaldo della mia adolescenza, non ho un ricordo che non sia con voi.

E per ultimo, perché che si dica di tutto ma non che io non sia una donna di parola, un grazie speciale va AL Davidino, detto anche Cinci, membro della compagnia di amici precedentemente citati di cui è necessaria una menzione d'onore. Grazie perché sei stato il mio esempio di perseveranza, quando mi viene voglia di mollare penso a te che ci provi sempre e anche se non riesci, non molli mai!

Riferimenti bibliografici e sitografici

1. https://help.geostru.eu/georock2d/it/barriere_paramassi.htm
Data di consultazione: 07/11/2022
2. Norme ETAG027, Guida per il benessere tecnico europeo di SISTEMI DI PROTEZIONE PARAMASSI, Edizione 2008 – 02 – 01, European Organisation for Technical Approvals.
3. <https://core.ac.uk/download/pdf/76533117.pdf>
Data di consultazione: 10/11/22
4. <https://www.hydrogeo.net/prodotti/paramassi/barriere-paramassi/barriera-paramassi-rmc-200a-2000-kj/#:~:text=Le%20barriere%20paramassi%20sono%20tipicamente,energia%20e%20ancora%20di%20fondazione.>
Data di consultazione: 23/11/22
5. <https://www.archiexpo.it/prod/geobruagg-ag/product-67543-1610869.html>
Data di consultazione: 24/11/22
6. <https://www.valsesianotizie.it/2014/11/05/leggi-notizia/argomenti/cronaca-9/articolo/20-anni-fa-la-tragedia-di-varallo-dove-persero-la-vita-14-persone.html>
Data di consultazione: 12/12/2022
7. Relazione geologica del progetto definitivo/esecutivo “Ripristino funzionalità ed estensione delle opere di difesa attiva realizzate a seguito della frana del novembre 1994”, 2022.
A cura di: Dott. Geol. Cavagnino Giovanni e Dott. Geol. Minella Chiara
8. Dispense del corso “Slope Stability and Landslide Risk Mitigation”
A.A. 2021-2022
A cura di: Prof. Ing. Pirulli Marina
9. <https://www.gomeeting.eu/all-courses/studio-del-fenomeno-della-caduta-massi-lungo-versanti-costoni-rocciosi-suscettibili-di-movimenti-franosi-02-geostru-18-5-crediti-cfp/>
A cura di: Ing. Gabriele Petrocelli
Data di consultazione: 26/03/23
10. https://www.geologimarche.it/wp-content/uploads/2015/04/Fanti_Appignano1.pdf
Data di consultazione: 26/03/23
11. <https://www.meteopresila.it/frane-classificazione-dei-movimenti-franosi/>
Data di consultazione: 26/03/23
12. <https://www.bianchinimontaggiadali.com/prodotti/barriere-paramassi.html>
Data di consultazione: 28/03/23
13. <http://www.geoprotection.com/it/barriere-paramassi-serie-ri-.html>
Data di consultazione: 28/03/23
14. https://rockfalldefence.typepad.com/rockfall_defence/2008/11/brake-element-foto-gallery---galleria-fotografica-freni-barriere-paramassi.html
Data di consultazione: 28/03/23
15. http://www.softing.it/files/Art_6_Nolian_Barriere-paramassi.pdf
Data di consultazione: 28/03/23
16. <https://www.novatek.it/approfondimento-plinti/>
Data di consultazione: 28/03/23
17. https://www.researchgate.net/figure/Typical-Section-of-Permanent-Rock-Bolt_fig2_285057452

Data di consultazione: 28/03/23

18. http://www.samerspa.com/SAMER/micropali_esempi_calcolo.html

Data di consultazione: 28/03/23

19. Ferraiolo F., Giacchetti G., "Rivestimenti corticali: alcune considerazioni sull'applicazione delle reti di protezione in parete rocciosa". 2004, In Proceedings of the Conference Bonifica dei versanti rocciosi per la protezione del territorio, Trento (Italy), 11-12 March 2004, Associazione Georisorse e Ambiente, Turin, pp. 147-176.

20. Lecce A., Tesi magistrale "Studio delle problematiche di caduta massi su una strada ad alta percorrenza e della durabilità delle opera di protezione". A.A. 2018-2019

21. <https://www.geoprodotti.eu/campo-applicazione/consolidamento-semplce-pareti-in-roccia/>

Data di consultazione: 30/03/23

22. Raviglione M., "Rivestimenti e rafforzamenti corticali con rete a doppia torsione, problematiche e metodologie d'approccio". Documento interno, Borghi Azio.

23. Bego A., Picchioni S., Tesi magistrale "Approcci negli spostamenti per la stabilizzazione di pendii con sistemi corticali". A.A. 2017-2018

<http://hdl.handle.net/10589/144594>

Data di consultazione: 20/04/23

24. Dispense del corso "Meccanica delle rocce"

A.A. 2020-2021

A cura di Prof. Ing. Scavia Claudio e Prof.ssa Ing. Barbero Monica

25. Dispense del corso "Analysis and design of geotechnical structures and earthworks"

A.A. 2021-2022

A cura di Prof.ssa Ing. Barbero Monica

26. "Linee guida per la certificazione di idoneità tecnica all'impiego e l'utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione", Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Servizio Tecnico Centrale.

27. <https://www.investgabions.it/prodotti-infrastrutturali/geocompositi-metallici/>

Data di consultazione: 22/04/23

28. <https://www.abagenzie.it/sistemi-preventivi-rete-tecco/>

Data di consultazione: 22/04/23

29. <https://www.maccaferri.com/it/prodotti/pannelli-in-fune-di-acciaio/>

Data di consultazione: 22/04/23

30. <http://www.geoprotection.com/it/sistemi.html>

Data di consultazione: 22/04/23

31. <https://www.hydrogeo.net/prodotti/paramassi/funi-e-accessori/>

Data di consultazione: 22/04/23

32. "Relazione di calcolo, rafforzamento corticale" a cura di arch. Cianchetti Gianni, documento interno azienda Consolidamenti&Dissesti srl.

33. Marchelli M., Peila D., De Biagi V., "A quick assessment procedure to evaluate the degree of conservation of rockfall drapery meshes", 2019, GEAM.

34. Marchelli M., "Una procedura speditiva per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a rete", 2020, GEAM.

35. UNI/TR 11211-5, "Opere di difesa dalla caduta massi – Parte 5: Ispezione, Monitoraggio, Manutenzione e ruolo dei Gestori", Maggio 2019.

Gentilmente acquistato e fornito per la redazione del presente elaborato e del progetto dallo Studio Associato di Geologia TECNOSESIA.

36. <https://www.aboutplants.eu/notizie/coltivazione/consolidamento-dei-pendii-il-ruolo-della-vegetazione>
Data di consultazione: 10/05/23
37. https://m4.ti.ch/fileadmin/DT/temi/forestali/boschi_foreste/documenti/IP_1_peso_alberi_ema_massi_v2.pdf
Data di consultazione: 10/05/23
38. Epis T., Tesi di dottorato, "Valutazione del rinforzo radicale del suolo operato dalle radici delle principali specie forestali della Lombardia". A.A. 2009-2010
39. <http://ilgustodellannatura-blog.blogspot.com/2018/01/come-scegliere-lesposizione-di-un.html>
Data di consultazione: 10/05/23
40. Leoni A., Tesi di laurea, "Il contributo radicale alla stabilità dei pendii: stato delle ricerche", A.A. 2008-2009
41. <https://resoilfoundation.org/news/frane-voragini-aree-piu-colpite/>
Data di consultazione: 10/05/23
42. Dispense del corso "Costruzione di strade, ferrovie ed aeroporti"
A.A. 2020-2021
A cura di Prof. Ing. Orazio Baglieri
43. <https://www.hydrogeo.net/prodotti/paramassi/barriere-paramassi/barriera-paramassi-rmc-200a-2000-kj/#:~:text=Le%20barriere%20paramassi%20sono%20tipicamente,energia%20e%20ancora%20di%20fond>
Data di consultazione: 11/11/22
44. Immagine gentilmente fornita da dott.ssa Chiara Minella.
45. <https://hdl.handle.net/11583/2549741>
Data di consultazione: 03/06/23
46. Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008.
47. <https://www.istitutoagrariosartor.edu.it/wp-content/uploads/2019/05/Ingegneria-naturalistica-per-scuole-secondarie.pdf>
Data di consultazione: 03/06/23
48. <http://www.upkeepthealps.eu/wp-content/uploads/2020/02/10-IN-progettare.pdf>
Data di consultazione: 03/06/23
49. <https://forestefauna.provincia.tn.it/layout/set/print/news/Rockthealps-boschi-di-protezione-da-caduta-massi>
Data di consultazione: 04/06/23
50. Analisi storica opere esistenti del progetto definitivo/esecutivo "Ripristino funzionalità ed estensione delle opere di difesa attiva realizzate a seguito della frana del novembre 1994", 2022.
A cura di: Dott. Geol. Cavagnino Giovanni e Dott. Geol. Minella Chiara
51. Immagine gentilmente fornita da dott. Giovanni Cavagnino.
52. Analisi opere esistenti secondo procedura "Marchelli M., 2020 – DIATI" del progetto definitivo/esecutivo "Ripristino funzionalità ed estensione delle opere di difesa attiva realizzate a seguito della frana del novembre 1994", 2022.
A cura di: Dott. Geol. Cavagnino Giovanni e Dott. Geol. Minella Chiara

In collaborazione con: dott.ssa Ugazio Erica

53. <https://www.altalex.com/documents/altalexpedia/2017/09/18/danneggiamento>
54. Paronuzzi P., Coccolo A., "Impatto di blocchi contro barriere paramassi su versanti naturali (Friuli), 1994, Geologia tecnica e ambientale.
55. Sanchez M. A., Caviezel A., "Full scale testing of rockfall nets in real terrain", 2020, WSL Berichte.
56. Giani G., "Analisi dei metodi di verifica dell'efficienza di reti di protezione contro la caduta di massi", 2006, Rivista Italiana di Geotecnica.
57. <https://www.arrampicate.it/il-difficile-lavoro-del-chiodo-e-del-chiodatore>
Data di consultazione: 07/06/23
58. Di Fonzo G., Ramondini M., "Comportamento in esercizio di chiodi installati in terreni piroclastici", Incontro annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2011 – IARG 2011, Torino, 04-06 luglio 2011.
59. <https://www.studiosciuriti.it/gerarchia-delle-resistenze>
Data di consultazione: 07/06/23
60. Spadari M. et al., "Experimental Testing of rockfall Barriers Designed for the Low Range of Impact Energy", 2013, Rock Mechanics and Rock Engineering.
61. Dimasi C. et al., "Controllo delle barriere paramassi a rete per la loro gestione manutenzione", 2015, GEAM.
62. Peila D. et al., "Full-scale testing of draped nets for rock fall protection", 2009, Canadian Geotechnical Journal.
63. Mazurek P., "A Comprehensive Review of Steel Wire rope Degradation Mechanisms and Recent Damage Detection Methods", 2023, Sustainability.
64. Luciani A. et al., "Studio numerico dell'influenza dell'ammaloramento delle barriere paramassi", 2016, GEAM.
65. Guillemin P., "Maintenance des ouvrages de protection contre les eboulements rocheux", 2010, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingenieur JNGG2010.
66. Immagine gentilmente fornita da dott. Geol. Giovanni Cavagnino.
67. Dispense del corso "Tecnologia dei materiali da costruzione"
A.A. 2020-2021
A cura di prof. Maizza Giovanni
68. https://online.scuola.zanichelli.it/scopriamolachimica-files/Approfondimenti/Zanichelli_Bagatti_Scopriamo_Cap08_A_Corrosione.pdf
Data di consultazione: 09/06/23
69. Piano di manutenzione del progetto definitivo/esecutivo "Ripristino funzionalità ed estensione delle opere di difesa attiva realizzate a seguito della frana del novembre 1994", 2022.
A cura di: Dott. Geol. Cavagnino Giovanni e Dott. Geol. Minella Chiara
70. Strada C. et al., "Proposal for expeditious inspection sheets that can also be carried out with a drone for rockfall protection works", 2022, GEAM.
71. Prime indicazioni finalizzate alla tutela della salute e sicurezza dei luoghi di lavoro del progetto definitivo/esecutivo "Ripristino funzionalità ed estensione delle opere di difesa attiva realizzate a seguito della frana del novembre 1994", 2022.
A cura di: Dott. Geol. Cavagnino Giovanni e Dott. Geol. Minella Chiara
72. Immagini gentilmente fornite da dott.ssa Chiara Minella

73. <https://www.stradeeautostrade.it/ambiente-e-territorio/hallomac-innovativi-sistemi-di-allertamento-contro-la-caduta-massi/>
Data di consultazione: 13/06/23
74. http://www.quadernodiepidemiologia.it/epi/campion/met_cam.htm
Data di consultazione: 16/06/23
75. <http://materialsandmaterialais.blogspot.com/2013/03/para-pensar-nos-custos-da-manutencao-e.html>
Data di consultazione: 19/06/23
76. <https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/che-cos---il-rischio-/#:~:text=E%20%3D%20Esposizione%20o%20Valore%20esposto,vite%20umane%20o%20gli%20insediamenti.>
Data di consultazione: 22/06/23
77. <https://www.oleomac.it/it-it/idee-verdi/sramatura-troncatura-e-depezzatura/>
Data di consultazione: 24/06/23
78. <https://www.passioneverde.com/cosa-si-intende-per-cippatura/>
Data di consultazione: 24/06/23
79. Analisi prezzi del progetto definitivo/esecutivo “Ripristino funzionalità ed estensione delle opere di difesa attiva realizzate a seguito della frana del novembre 1994”, 2022.
A cura di: Dott. Geol. Cavagnino Giovanni e Dott. Geol. Minella Chiara
80. <https://www.hydrogeo.net/prodotti/paramassi/hellomac-sistema-di-allerta-precoce-per-caduta-massi/>
Data di consultazione 02/07/23
81. Berlinghieri M. e Pandolfi O., “Remote monitoring of natural slopes: Combining use of terrestrial Laser Scanning and Innovative rockfall alert system”, 2021, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 833 012153.

Allegati

Barriera paramassi n°1a

Tabella 37: Metodo Marchelli 2020 su barriera 1a.

Componente	Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax, classe
a) Rete principale	1 Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2 Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3 Presenze di detriti nella rete	2	C2	A1	3	3
	4 Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	2	2
	5 Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6 Deformazioni	1	C2	A0	2	3
	7 Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8 Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5
	9 Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	0	C1	A0	0	2

		rivestimento anticorrosivo					
b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	2	C2	A1	3	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5
	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo	0	C2	A0	0	3

		permanente, fratturati o estratti)					
d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0

	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti	-	0	0	0	0

		nell'area di scorrimento dei freni					
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di controvento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	1	C3	A1	3	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3

	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	2	C2	A1	3	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5

	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
h) Funi di contro	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5

ento di valle	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazi oni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/da nneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/cor rosione/assenza degli elementi di giunzione fune- ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0

	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
i) Altre funi (funi al piede del montante)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture/sfilamenti/deformazioni permanenti/ammaloramento/corrosione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0

	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
--	---	---	---	---	---	---	---

Barriera paramassi n°1b

Tabella 38: Metodo Marchelli 2020 su barriera 1b.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax, classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3	Presenze di detriti nella rete	1	C2	A0	2	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	2	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	0	C2	A0	0	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5
	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2

b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	2	C2	A1	3	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5
	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3

d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo	-	0	0	0	0

		del rivestimento anticorrosivo					
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0

	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di controvento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	1	C3	A1	3	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2

	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	2	C2	A1	3	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di	0	C3	A0	0	5

		giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggi amento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
h) Funi di controv ento di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C1	A0	0	2
5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

i) Altre funi (funi al piede del montante)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture/sfilamenti/deformazioni permanenti/ammaloramento/corrosione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

Barriera paramassi n°2

Tabella 39: Metodo Marchelli 2020 su barriera 2.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax, classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3	Presenze di detriti nella rete	1	C2	A0	2	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	2	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	0	C2	A0	0	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	0	C3	A0	0	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5
	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2

b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	1	C1	A0	1	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5
	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3

d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	1	C2	A0	2	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	1	C2	A0	2	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo	0	C1	A0	0	2

		del rivestimento anticorrosivo					
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	1	C2	A0	2	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5

	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
f) Funi di controvento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2

	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	0	C2	A0	0	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di	0	C3	A0	0	5

		giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	1	C2	A0	2	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggi amento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
h) Funi di controv ento di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	0	C2	A0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

i) Altre funi (fune al piede del montante)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture/sfilamenti/deformazioni permanenti/ammaloramento/corrosione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

Barriera paramassi n°3

Tabella 40: Metodo Marchelli 2020 su barriera 3.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax, classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3	Presenze di detriti nella rete	1	C2	A0	2	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	2	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	0	C2	A0	0	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5
	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2

b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	2	C2	A1	3	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5
	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3

d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo	-	0	0	0	0

		del rivestimento anticorrosivo					
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0

	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di controvento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	1	C3	A1	3	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2

	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	2	C2	A1	3	3
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di	0	C3	A0	0	5

		giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggi amento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
h) Funi di controv ento di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo	-	0	0	0	0

		del rivestimento anticorrosivo					
i) Altre funi (funi al piede del montante)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture/sfilamenti/deformazioni permanenti/ammaloramento/corrosione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0

	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
--	---	---	---	---	---	---	---

Barriera paramassi n°4

Tabella 41: Metodo Marchelli 2020 su barriera 4.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax,classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	0	C3	A0	0	5
	3	Presenze di detriti nella rete	0	C2	A0	0	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	1	C1	A0	1	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	1	C2	A0	2	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5

	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	0	C2	A0	0	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	1	C1	A0	1	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	1	C1	A0	1	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5

	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3
d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	0	C1	A0	0	2

		rivestimento anticorrosivo					
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0

	4	Ammaloramento/ danneggiamento/ distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di contro vento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento	-	0	0	0	0

		significativo del rivestimento anticorrosivo					
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	1	C3	A1	3	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti	0	C2	A0	0	3

		nell'area di scorrimento dei freni					
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	1	C1	A0	1	2
h) Funi di controvento di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi	0	C1	A0	0	2

		di giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
i) Altre funi (fune al piede del montan te)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture/sfilamenti /deformazioni permanenti/amm aloramento/corro sione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/ corrosione/assenz a degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

Barriera paramassi n° 5

Tabella 42: Metodo Marchelli 2020 su barriera 5.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax,classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	2	C3	A2	5	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3	Presenze di detriti nella rete	2	C2	A1	3	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	2	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	2	C2	A1	3	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5

	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	0	C1	A0	0	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5

	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3
d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	0	C1	A0	0	2

		rivestimento anticorrosivo					
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5

	4	Ammaloramento/ danneggiamento/ distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di contro vento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento	-	0	0	0	0

		significativo del rivestimento anticorrosivo					
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti	2	C2	A1	3	3

		nell'area di scorrimento dei freni					
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
h) Funi di controvento di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi	0	C1	A0	0	2

		di giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
i) Altre funi (fune al piede del montan te)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture/sfilamenti /deformazioni permanenti/amm aloramento/corro sione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/ corrosione/assenz a degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

Barriera paramassi n°6

Tabella 43: Metodo Marchelli 2020 su barriera 6.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax,classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3	Presenze di detriti nella rete	2	C2	A1	3	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	2	C1	A0	2	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	2	C2	A1	3	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	0	C3	A0	0	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	0	C3	A0	0	5

	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	0	C2	A0	0	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	1	C1	A0	1	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	2	C1	A0	2	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	1	C3	A1	3	5

	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3
d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	0	C1	A0	0	2

		rivestimento anticorrosivo					
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0

	4	Ammaloramento/ danneggiamento/ distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di contro vento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	1	C2	A0	2	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento	-	0	0	0	0

		significativo del rivestimento anticorrosivo					
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	1	C2	A0	2	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti	1	C2	A0	2	3

		nell'area di scorrimento dei freni					
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
h) Funi di controllo di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi	0	C1	A0	0	2

		di giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
i) Altre funi (fune al piede del montan te)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture/sfilamenti /deformazioni permanenti/amm aloramento/corro sione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/ corrosione/assenz a degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	0	C2	A0	0	3
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2

Barriera paramassi n°7

Tabella 44: Metodo Marchelli 2020 su barriera 7.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax,classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	1	C3	A1	3	5
	3	Presenze di detriti nella rete	2	C2	A1	3	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	1	C1	A0	1	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	1	C2	A0	2	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	-	0	0	0	0

	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	1	C1	A0	1	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	0	C1	A0	0	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	0	C3	A0	0	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5

	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3
d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	0	C1	A0	0	2

		rivestimento anticorrosivo					
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0

	4	Ammaloramento/ danneggiamento/ distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di contro vento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento	-	0	0	0	0

		significativo del rivestimento anticorrosivo					
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti	0	C2	A0	0	3

		nell'area di scorrimento dei freni					
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
h) Funi di controllo di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi	0	C1	A0	0	2

		di giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
i) Altre funi (fune al piede del montan te)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture/sfilamenti /deformazioni permanenti/amm aloramento/corro sione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/ corrosione/assenz a degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	0	C2	A0	0	3
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	0	C3	A0	0	5
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2

Barriera paramassi n°8

Tabella 45: Metodo Marchelli 2020 su barriera 8.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax,classe
a) Rete principale	1	Presenza di vuoti al piede della barriera	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino le capacità deformative della rete	2	C3	A2	5	5
	3	Presenze di detriti nella rete	2	C2	A1	3	3
	4	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	1	C1	A0	1	2
	5	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	6	Deformazioni	2	C2	A1	3	3
	7	Danneggiamento/Corrosione/Mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	2	C3	A2	5	5
	8	Rottura di giunzioni reti - funi	-	0	0	0	0

	9	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
b) Rete secondaria	1	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	2	C2	A1	3	3
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	1	C1	A0	1	2
c) Montanti	1	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	2	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	0	C1	A0	0	2
	3	Danneggiamento della cerniera di base	2	C3	A2	5	5
	4	Deformazione importante e/o rottura del montante	0	C3	A0	0	5

	5	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	0	C2	A0	0	3
d) Funi longitudinali superiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	0	C3	A0	0	5
	4	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del	0	C1	A0	0	2

		rivestimento anticorrosivo					
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
e) Funi longitudinali inferiori	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	2	C3	A2	5	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	-	0	0	0	0
	3	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa	-	0	0	0	0

	4	Ammaloramento/ danneggiamento/ distacco/assenza di ancoraggio o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	-	0	0	0	0
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
f) Funi di contro vento laterale	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C2	A0	0	3
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento	-	0	0	0	0

		significativo del rivestimento anticorrosivo					
g) Funi di controvento di monte	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	2	C2	A1	3	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti	0	C2	A0	0	3

		nell'area di scorrimento dei freni					
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	2	C3	A2	5	5
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
h) Funi di controvento di valle	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in moso anomalo (anche una sola)	1	C2	A0	2	3
	3	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/deformazioni permanenti/rotture dell'ancoraggio	0	C3	A0	0	5
	4	Presenza di ammaloramento/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio. Danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi	0	C1	A0	0	2

		di giunzione fune- ancoraggio					
	5	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	0	C1	A0	0	2
	6	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	7	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	8	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0
i) Altre funi (fune al piede del montan te)	1	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	0	C3	A0	0	5
	2	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	0	C2	A0	0	3

	3	Presenza di rotture/sfilamenti /deformazioni permanenti/amm aloramento/corro sione dell'ancoraggio o della testa o danneggiamento/ corrosione/assenz a degli elementi di giunzione fune - ancoraggio	0	C1	A0	0	2
	4	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	0	C1	A0	0	2
	5	Freni: presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento dei freni	-	0	0	0	0
	6	Freni: deformazioni permanenti o scorrimenti	-	0	0	0	0
	7	Freni: presenza di zone arrugginite/danne ggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	-	0	0	0	0

Rete in aderenza non armata

Tabella 46: Metodo Marchelli 2019 su rete alta non armata.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax, classe
a) Rete	1	Il detrito forma un accumulo rilevante all'interno di un campo definito da 4 chiodi	1	C3	A1	3	5
	2	Presenza di detriti e sterpaglie nella rete	1	C1	A0	1	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	2	C1	A0	1	2
	4	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	5	Deformazioni e/o spancamenti della rete	1	C3	A1	3	5
	6	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete	0	C1	A0	0	2
	1	Fune mancante		C3	A0	0	5

B) Fune di sostegno sommitale	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamenti o significativo della fune		C2	A0	0	3
	3	Ancoraggio mancante		C3	A0	0	5
	4	Elementi mancanti nelle giunzioni		C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi		C1	A0	0	2
	6	Danneggiamenti o della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra		C2	A0	0	3
	7	Sfilamento degli ancoraggi		C3	A0	0	5
e) Fune di sostegno al piede	1	Fune mancante	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamenti o significativo della fune	1	C2	A0	2	3
	3	Ancoraggio mancante	0	C3	A0	0	5
	4	Elementi mancanti nelle giunzioni	0	C3	A0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	0	C1	A0	0	2

	6	Danneggiament o della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	0	C2	A0	0	3
	7	Sfilamento degli ancoraggi	0	C3	A0	0	5
f) Fune di sostegno di rinforzo	1	Fune mancante	-	0	0	0	0
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiament o significativo della fune	-	0	0	0	0
	3	Ancoraggio mancante	-	0	0	0	0
	4	Elementi mancanti nelle giunzioni	-	C3	0	0	5
	5	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	-	0	0	0	0
	6	Danneggiament o della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	-	0	0	0	0
	7	Sfilamento degli ancoraggi	-	0	0	0	0
g)Connession i tra pannelli	1	Elementi mancanti	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	0	C2	A0	0	3

g)Connessioni tra fune sommitale e pannelli	1	Elementi mancanti	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone corrosive a o danni alle giunzioni	0	C1	A0	0	2
g)Connessioni tra fune al piede e pannelli	1	Elementi mancanti	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone corrosive a o danni alle giunzioni	1	C1	A0	1	2
g)Connessioni tra fune intermedie e pannelli	1	Elementi mancanti	0	C2	A0	0	3
	2	Presenza di zone corrosive a o danni alle giunzioni	1	C1	A0	1	2

Rete in aderenza armata

Tabella 47: Metodo Marchelli 2019 su rete armata.

Componente		Potenziale danneggiamento	Danno [d]	Classe di importanza	Livello di conservazione [A]	Pi	Pmax, classe
a) Rete	1	Il detrito forma un accumulo rilevante all'interno di un campo definito da 4 chiodi	1	C3	A1	3	5
	2	Presenza di detriti e sterpaglie nella rete	1	C1	A0	1	2
	3	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	2	C1	A0	1	2
	4	Lacerazioni nella rete	0	C3	A0	0	5
	5	Deformazioni e/o spancamenti della rete	1	C3	A1	3	5
	6	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete	0	C1	A0	0	2
	1	Fune mancante	0	C3	A0	0	5

B) Fune di sostegno sommitale	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamenti o significativo della fune	0	C2	A0	0	3
	3	Ancoraggio mancante	0	C3	A0	0	5
	4	Elementi mancanti nelle giunzioni	2	C3	A2	5	5
	5	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	0	C1	A0	0	2
	6	Danneggiamenti o della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	0	C2	A0	0	3
	7	Sfilamento degli ancoraggi	0	C3	A0	0	5
e) Fune di sostegno al piede	1	Fune mancante	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamenti o significativo della fune	1	C2	A0	2	3
	3	Ancoraggio mancante	0	C3	A0	0	5
	4	Elementi mancanti nelle giunzioni	2	C3	A2	5	5
	5	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	1	C1	A0	1	2

	6	Danneggiament o della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	0	C2	A0	0	3
	7	Sfilamento degli ancoraggi	0	C3	A0	0	5
f) Fune di sostegno di rinforzo	1	Fune mancante	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiament o significativo della fune	1	C2	A0	2	3
	3	Ancoraggio mancante	0	C3	A0	0	5
	4	Elementi mancanti nelle giunzioni	2	C3	A2	5	5
	5	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	2	C1	A0	2	2
	6	Danneggiament o della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	0	C2	A0	0	3
	7	Sfilamento degli ancoraggi	0	C3	A0	0	5
g)Connessio ni tra pannelli	1	Elementi mancanti	0	C3	A0	0	5
	2	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	0	C2	A0	0	3

g)Connessioni tra fune sommitale e pannelli	1	Elementi mancanti	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	0	C1	A0	0	2
g)Connessioni tra fune al piede e pannelli	1	Elementi mancanti	1	C2	A0	2	3
	2	Presenza di zone corrose a o danni alle giunzioni	1	C1	A0	1	2

