

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIE – GEOLOGIA
TUNNEL DE BASE – TUNNEL DI BASE
GALERIE DE LA MADDALENA – GALLERIA DELLA MADDALENA
SURVEILLANCE GÉOTECHNIQUE DU VERSANT – MONITORAGGIO GEOTECNICO DEL VERSANTE

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena –
Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	29/05/2014	Première diffusion / Prima emissione	G.MANCARI (SEA)	A. DEMATTEIS. V. GRISOGLIO	L.CHANTRON C. OGNIBENE
A	10/06/2014	Reception observations LTF / Recepimento osservazioni LTF	G.MANCARI (SEA)	A. DEMATTEIS. V. GRISOGLIO	L.CHANTRON C. OGNIBENE
B	12/01/2017	Première émission phase PRF-PRV / Prima emissione fase PRF-PRV	G. MANCARI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
C	28/02/2017	Révision suite aux commentaires TELT / Revisione a seguito commenti TELT	G. MANCARI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI



CODE DOC	P	R	V	C	3	B	T	S	3	2	0	4	0	C
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3B	//	//	26	48	97	10	01
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-



SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	7
2. GEOMORFOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO	8
2.1 Frana de La Maddalena	8
3. SISTEMA DI MONITORAGGIO ESISTENTE	12
4. DESCRIZIONE E RISULTANZE DEI SOPRALLUOGHI ESEGUITI.....	16
5. SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI.....	17
5.1 Simulazioni eseguite per la centrale di ventilazione della Maddalena (fase di Progetto Definitivo Approvato).....	17
5.1.1 Simulazione caduta massi senza opere di difesa.....	17
5.1.2 Verifica di caduta massi con barriere paramassi.....	21
5.2 Simulazioni eseguite da Musinet per il cantiere dello svincolo di Chiomonte.....	22
5.2.1 Simulazione su profilo 1	24
5.2.2 Simulazione su profilo 2	25
5.2.3 Simulazione su profilo 3 (distacco basso).....	26
5.2.4 Simulazione su profilo 3 (distacco alto)	26
5.2.5 Altezze di rimbazo	27
5.3 Nuove simulazioni eseguite per il cantiere della Maddalena (fase di PRV)	27
5.4 Conclusioni	32
6. NUOVI SETTORI DA MONITORARE	33
6.1 Monitoraggio blocchi e affioramenti rocciosi	33
6.2 Monitoraggio reti paramassi esistenti.....	39
7. SINTESI DEGLI INTERVENTI DA ADOTTARE	41
8. PROTOCOLLO DI SICUREZZA	42
8.1 Frequenza delle letture.....	42
8.2 Scenari presumibili	42
8.3 Procedure per l'evacuazione e chiusura dell'area	43
9. ALLEGATO 1	44
10. ALLEGATO 2.....	45
11. ALLEGATO 3.....	46

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

<i>Fig. 1 – Vista panoramica dell'area di studio.</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 2 – Dettaglio del versante in frana. In rosso il coronamento schematico della nicchia principale e di quella secondaria (punto di ripresa: Chiomonte, loc. Custunet)</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 3 – Analisi radar-satellitare SqueeSAR™ realizzata da Arpa Piemonte (sito web ARPA Piemonte). “Pragelato” si riferisce al nome del data set e non è un toponimo. Spostamenti in mm/anno.</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 4 – Esempio di masso ciclopico monitorato potenzialmente mobilizzabile.</i>	<i>13</i>

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

<i>Fig. 5 – Misuratore di giunti (rete monitoraggio della Musinet).</i>	14
<i>Fig. 6 – Termometro (rete monitoraggio della Musinet).</i>	14
<i>Fig. 7 – Clinometro (rete monitoraggio della Musinet).</i>	15
<i>Fig. 8 – Estensimetro a basi (rete monitoraggio della Musinet).</i>	15
<i>Figura 9 – Stralcio della carta geomorfologica (elaborato PD2-TS3-0456-0-PA-PLA alla scala 1:10000) con rappresentata la sezione S-S' utilizzata nelle verifiche di rotolamento massi.</i>	18
<i>Figura 10 – Profilo con le traiettorie più probabili con zona di distacco tra 900 m e 1100 m.</i>	19
<i>Figura 11 – Grafico in scala logaritmica dei rimbalzi a quota 682 m circa (Punto A).</i>	20
<i>Figura 12 – Grafico delle velocità a quota 682 m circa (Punto A).</i>	20
<i>Figura 13 – Grafico in scala logaritmica dell'energia cinetica a quota 682 m circa (Punto A).</i>	21
<i>Figura 14 – Profilo con barriera paramassi a 682 m di quota circa.</i>	22
<i>Figura 15 – Distribuzione dell'energia cinetica lungo il profilo per un masso di 1 m3.</i>	22
<i>Fig. 16 – Stralcio della carta geomorfologica con rappresentazione delle sezioni di verifica di rotolamento massi (da PD2-C3A-MUS-0909_A).</i>	24
<i>Fig. 17 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 900 m e 1100 m.</i>	25
<i>Fig. 18 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 950 m e 1200 m.</i>	25
<i>Fig. 19 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 900 m e 950 m.</i>	26
<i>Fig. 20 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 1100 m e 1140 m.</i>	27
<i>Fig. 21 – Parametri del pendio utilizzati.</i>	28
<i>Fig. 22 – Modello Rockfall – sezione A (profilo 1 di Fig. 16)</i>	29
<i>Fig. 23 – Modello rocfall – Sezione A – Traiettorie dei blocchi (1000 blocchi).</i>	29
<i>Fig. 24 – Modello Rockfall – sezione B (profilo 2 di Fig. 16).</i>	30
<i>Fig. 25 – Modello rocfall – Sezione B – Traiettorie dei blocchi (1000 blocchi).</i>	30
<i>Fig. 26 – Modello Rockfall – sezione C (profilo 3 Fig. 16)</i>	31
<i>Fig. 27 – Modello rocfall – Sezione C – Traiettorie dei blocchi (1000 blocchi).</i>	31
<i>Fig. 28 – Esempio di masso ciclopico da monitorare attraverso l'installazione di clinometri.</i>	34
<i>Fig. 29 – Esempio di masso ciclopico da monitorare attraverso l'installazione di clinometri e tiltimetri.</i>	35
<i>Fig. 30 – Esempio di masso ciclopico da monitorare clinometri.</i>	36
<i>Fig. 31 – Esempio di masso ciclopico “piantato” nel terreno da monitorare attraverso l'installazione di clinometri e misuratori di giunti.</i>	37
<i>Fig. 32 – Esempio di masso “appoggiato” da monitorare per mezzo di clinometri.</i>	38
<i>Fig. 33 – Porzione di substrato disarticolato con massi instabili per crollo e ribaltamento, da monitorare attraverso clinometri, fessurimetri e misuratori di giunti.</i>	38
<i>Fig. 34 – Porzione di substrato disarticolato con massi instabili, da monitorare attraverso clinometri, fessurimetri e misuratori di giunti.</i>	39
<i>Fig. 35 – Dettaglio delle barriere paramassi esistenti presenti lungo il versante.</i>	40
<i>Fig. 36 – Esempio di accelerometro triassiale installato sul puntone di sostegno di una barriera paramassi.</i>	41

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

<i>Tabella 1 – Coefficienti di restituzione e angolo di attrito massa – terreno ricavati mediante back-analysys.</i>	<i>18</i>
<i>Tabella 2 – Valori di altezza di rimbalzo, velocità media ed energia calcolati per massi di 1 m3 in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico presente a monte dell'area di cantiere.</i>	<i>27</i>
<i>4) Tabella 3 – Energia massima attesa per i massi in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico (Massa = 2550 kg/m3).</i>	<i>32</i>

RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport analyse et décrit le contexte géomorphologique du versant et la zone du pied du glissement à gros blocs en amont du site du chantier de la Maddalena.

La phase de conception actuelle se configure comme une analyse et conception d'une nouvelle phase de construction de la liaison ferroviaire côté Italie suite à la prescription 235 de la résolution CIPE 19/2015.

Dans le cadre de ce projet en variante (PRV) sont introduits, que prévu dans la phase précédente « Progetto Definitivo Approvato », un certain nombre de d'importants changements dans la configuration des chantiers pour la réalisation de l'ouvrage sur le côté italien.

En particulier, il est prévu l'extension de la zone de chantier de la Maddalena de Chiomonte, actuellement déjà partiellement occupé par le chantier du tunnel exploratoire, en raison du déplacement vers cette zone de l'excavation côté italien du Tunnel de Base et de son chantier prévu à Susa en « Progetto Definitivo Approvato ».

Depuis les observations de terrain sur le versant amont du chantier le ruisseau de monitoring de Musinet apparaît adéquat, et les données disponibles ne montrent pas des mouvements en cours. Cependant une extension du monitoring est proposée aux nouveaux blocs de dimensions cyclopiques individuels sur le site.

La typologie d'instruments à utiliser sera similaire à existante dans le ruisseaux de Musinet.

Est aussi attendus la surveillance des barrières pare-blocs présentes sur le versant avec accéléromètres.

Les simulations montrent que la majorité des blocs se arrêts dans la zone plane au-dessus de la zone du portail.

Sur la base des résultats des simulations sont prévues une série de systèmes de protection soit dans la phase de chantier que en exercice, principalement représentés par

Questo rapporto analizza e descrive il contesto geomorfologico del versante e l'accumulo della frana a megablocchi presente a monte del cantiere della Maddalena.

L'attuale fase progettuale si configura come analisi e progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015.

Nell'ambito di tale progetto in variante (PRV) si introducono, rispetto a quanto previsto nella precedente fase di Progetto Definitivo Approvato, una serie di importanti modifiche nella configurazione dei cantieri per la realizzazione dell'opera sul lato italiano.

In particolare è previsto l'ampliamento dell'area di cantiere alla Maddalena di Chiomonte, attualmente già in parte occupata dal cantiere del Cunicolo esplorativo, per effetto dello spostamento in quest'area dello scavo lato italiano del Tunnel di Base del relativo cantiere previsto in Progetto Definitivo Approvato a Susa.

Dai sopralluoghi effettuati sul versante a monte del cantiere la rete di monitoraggio della Musinet è risultato adeguata, e dai dati a disposizione tale monitoraggio non sembra registrare movimenti in atto. Ciononostante è proposta un estensione del monitoraggio su nuovi blocchi di dimensioni ciclopiche rilevati durante i sopralluoghi.

La tipologia di strumentazione da adottare sarà del tutto simile a quella già installata nella rete di monitoraggio della Musinet.

È inoltre previsto il monitoraggio delle reti paramassi presenti sul versante con dispositivi accelerometrici.

Le simulazioni eseguite evidenziano che la maggioranza dei blocchi si arrestano nel ripiano sovrastante l'area di imbocco.

In base ai risultati delle simulazioni sono state previste una serie di sistemi di

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

barrières et remblais pare-blocs couplé à la surveillance des blocs et des barrières.

Soit dans la phase de chantier que en exercice, dans le cas d'enregistrement de mouvements des blocs contrôlés, sera envoyé un alarme. Du même temps une inspection sur site où les mouvements se sont produits sera effectuée afin d'évaluer l'effectif aléa.

protezione sia nella fase di corso d'opera che nella fase di esercizio, rappresentate principalmente da reti e rilevati paramassi accoppiate al monitoraggio dei blocchi delle reti.

Sia in fase di cantiere che di esercizio, nel caso di registrazione di movimenti dai massi monitorati, sarà emanato specifico allarme. Contestualmente sarà previsto specifico sopralluogo sul sito interessato dai movimenti a seguito del quale sarà valutata l'effettiva presenza di pericolo.

1. Introduzione

Il presente rapporto analizza e descrive l'assetto geomorfologico del versante della Maddalena a monte del omonimo cantiere previsto, in questa fase di Progetto in Variante, per lo scavo del Tunnel di Base.

Nelle pagine che seguono, oltre all'assetto geomorfologico, è data descrizione della presenza lungo il versante di blocchi rocciosi potenzialmente mobilizzabili, dei fenomeni di caduta massi ad essi legati e potenzialmente interferenti sull'area di studio e la messa in opera di un sistema di protezione e monitoraggio ad implementazione di quanto già presente.

I dati presenti nel seguente studio derivano principalmente da sopralluoghi eseguiti in sito sia nell'ambito di questa fase progettuale che durante le precedenti e dalla consultazione dei seguenti documenti:

- Relazione Tecnica Impianto di monitoraggio dei versanti dell'area di Chiomonte - Tronco III - Sito 1
- Studio dal titolo "Indagini sulla stabilità del tratto di versante sinistro della Valle di Susa incombente sul costruendo "viadotto Clarea" eseguito nel 1987 dal Prof. Carraro;
- Studio relativo alla pericolosità per caduta massi PD2-C3A-MUS-0909_A.
- Relazione geologica, geomorfologica e geotecnica relative alle aree di cantiere PRV_C3B_0125.

2. Geomorfologia dell'area di progetto

L'area di progetto si trova in provincia di Torino circa 50 km a Ovest del capoluogo piemontese e più precisamente fa parte della alta Valle di Susa all'interno del territorio del Comune di Chiomonte (TO).

I tratti distintivi della geomorfologia del settore sono definiti dall'incisione glaciale della Val Clarea, più bassa rispetto alla soglia glaciale di Graverè, dalle "Gorge di Susa", dall'area calanchiva che interessa il versante sinistro della val Clarea e dalla frana della Maddalena dove sono stati rinvenuti resti di un insediamento tardoneolitico (Fig. 1).

Il versante in dissesto è caratterizzato da un settore ad elevata acclività, ove è presente una diffusa copertura vegetale.

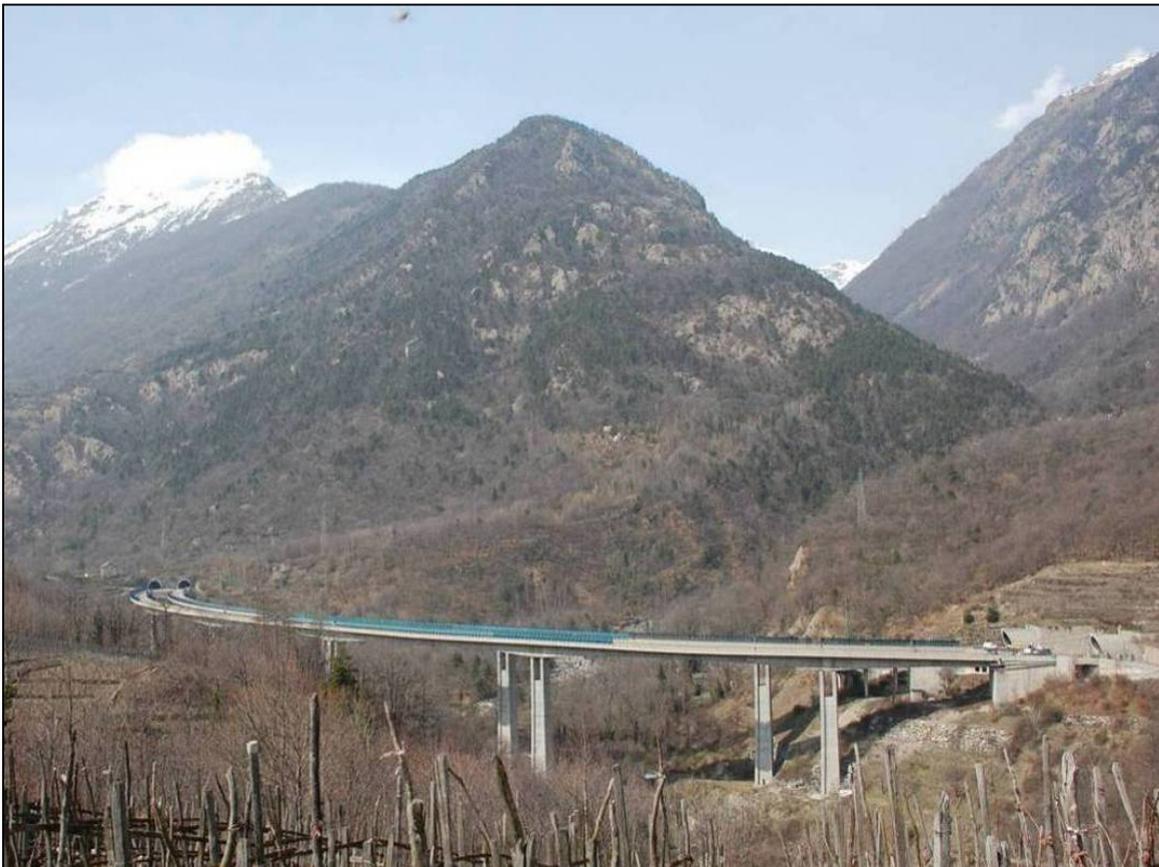


Fig. 1 – Vista panoramica dell'area di studio.

2.1 Frana de La Maddalena

La frana de "La Maddalena" ha una forma all'incirca triangolare con un'area di circa 3 km² ed è individuata da due scarpate principali di altezza decametrica (Fig. 2). La prima forma una sorta di "V" rovesciata con la punta situata poco sotto la località Cappella Bianca, presso la zona di cresta che separa la Valle Susa dalla Val Clarea. La seconda è posta più in basso (quota media di circa 1150 m) ed ha un andamento più articolato; il ciglio è caratterizzato dalla presenza di megablocchi (sui quali è presente il sistema di monitoraggio della Musinet) (Allegato 1). Il corpo di frana è costituito da un ammasso roccioso disarticolato, affiorante in modo discontinuo lungo la seconda nicchia e presso il piede della frana e da detrito, spesso a grossi blocchi (volume > di 100 m³). Il piede della frana è costituito da un deposito a grossi

blocchi, con volumetrie che raggiungono anche il migliaio di m³, che ricoprono una superficie terrazzata preesistente.

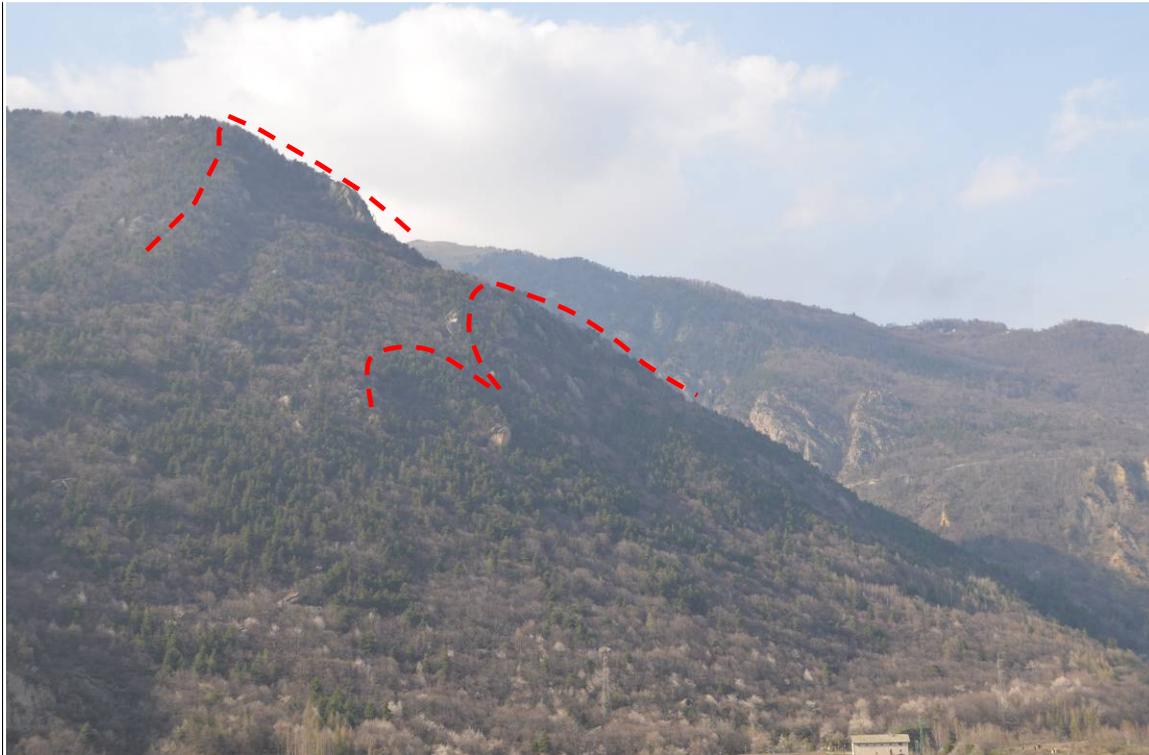


Fig. 2 – Dettaglio del versante in frana. In rosso il coronamento schematico della nicchia principale e di quella secondaria (punto di ripresa: Chiomonte, loc. Custunet)

Nel corpo della frana sono riconoscibili almeno tre giunti principali (*master joint*), immergenti verso N100-110°E ed inclinati di circa 50° e disposti a franapoggio più inclinato del pendio che la suddividono in tre corpi geometricamente sovrapposti il cui grado di fratturazione e disarticolazione diminuisce da quello più alto verso quello più basso. Lo stato di fratturazione dei due corpi più profondi non è molto spinto ed è desunto sulla base di pochi affioramenti, spesso non facilmente accessibili.

Il corpo più alto è costituito da un ammasso roccioso fratturato e disarticolato, spesso con formazione di grossi blocchi e da estesi campi di detrito. Anche l'entità della dislocazione diminuisce dal corpo più alto ai due inferiori. Nel corpo alto l'entità della dislocazione è stimata in circa 40 – 50 m e corrisponde all'ampiezza del trench, con riempimento detritico, profondo una ventina di metri (Carraro, 1987) e lungo 120 m circa, posto a quota 1145 m. L'entità della dislocazione nei corpi rocciosi inferiori è valutata intorno a 10-20 m e corrisponde all'incirca all'altezza delle scarpate in roccia nella zona di nicchia (1150 m).

L'assetto del versante rispetto alla famiglia di discontinuità dominante (*master joint*) è di tipo cataclinale sotto inclinato e quindi il movimento non è cinematicamente possibile in quanto i due corpi rocciosi geometricamente inferiori appaiono confinati al piede. Possibili meccanismi in grado di indurre un movimento sono legati:

- a fenomeni di dissoluzione o di “compattazione” del livello verticalizzato di “carniole” posto alla base del pendio
- al detensionamento post-glaciale
- alla presunta presenza alla base di piani di rottura disposti a franapoggio.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

Fenomeni di dissoluzione si osservano nei pressi della centrale IREN (ex AEM) di Chiomonte e sono evidenziati da una serie di doline con diametro pluridecimetrico. Il livello di carniole è costituito da brecce tettoniche di marmi con locali livelletti gessosi e da rocce carbonatiche vacuolari di origine secondaria, formatesi a seguito della precipitazione di carbonati (travertini).

Fenomeni di fratturazione e movimenti legati al detensionamento post-glaciale sono stati frequentemente ipotizzati in letteratura. Nella fattispecie non si escludono meccanismi più complessi causati dalla maggiore persistenza del ghiacciaio vallivo del Clarea rispetto a quello della val Susa, fenomeno che potrebbe aver causato un detensionamento asimmetrico e sfasato nel tempo. Per quanto riguarda invece la presunta presenza di piani a franapoggio meno inclinati del pendio e quindi in grado di svincolare al piede la massa rocciosa, si evidenzia che nell'area sono note strutture secondarie e poco diffuse con la medesima giacitura.

L'entità della dislocazione dei due corpi inferiori appare congruente con le cause ipotizzate. Questo movimento (primo movimento) è avvenuto lungo le superfici dei giunti orientati NNE-SSW, ha provocato la disarticolazione dell'ammasso roccioso, specie, come già indicato, del corpo geometricamente superiore, a valle della nicchia principale (quota 1350 m circa). Lo stato di disarticolazione, talora molto spinto, ha innescato la formazione di ripetuti fenomeni di caduta massi e sporadiche frane di crollo che hanno formato il detrito di falda, organizzato in blandi conoidi e che hanno formato i depositi a grossi massi appoggiati al terrazzo glaciale su cui sorge il sito archeologico della Maddalena. Un fenomeno di dimensioni volumetriche maggiori (secondo movimento) ha presumibilmente creato la nicchia di frana posta a circa 1150 m.

La presenza di grossi massi in abbondante matrice fine testimonia che il primo episodio gravitativo si è presumibilmente verificato nel momento in cui si stava ultimando la sedimentazione dei depositi glaciali di fondovalle. La presenza di grossi massi con poca o scarsa matrice fine testimonia il secondo episodio gravitativo, molto probabilmente verificatosi antecedentemente al Neolitico medio (dal 4300 a.C.), come testimoniato dai rapporti di sovrapposizione dei livelli archeologici di età neolitica.

A parte questi due episodi principali la normale evoluzione della frana consiste in sporadici fenomeni di caduta massi, testimoniate da corridoi di transito e da segni di impatto, frane di crollo e da processi di origine colluviale. Il protrarsi di tali processi provoca la retrogressione della seconda nicchia di distacco specie quando è impostata in colluvium.

Nell'area archeologica, la natura policronologica dei fenomeni di crollo e, soprattutto di quelli colluviali, è testimoniata dalla presenza di almeno due distinti livelli colluviali: quello inferiore, a grana più fine, ha conservato localmente le tracce della presenza antropica, mentre quello superiore, a grana maggiore e più eterometrico, presenta verso il tetto blocchi di frana e restituisce materiale archeologico rimaneggiato.

Per quanto concerne lo stato di attività della frana, ovvero se attualmente vi sono movimenti, si riportano i risultati della campagna di indagine condotta su copertura regionale tramite tecnologia radar-satellitare SqueeSAR™ realizzata da Arpa Piemonte nell'ambito del Progetto Transfrontaliero Risknat. Essi indicano che la zona del *trench* è affetta da movimenti verticali caratterizzati da velocità di circa 1-2 mm/anno. Nella restante area, maggiormente boscata, la tecnica non individua bersagli e non fornisce risultati.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

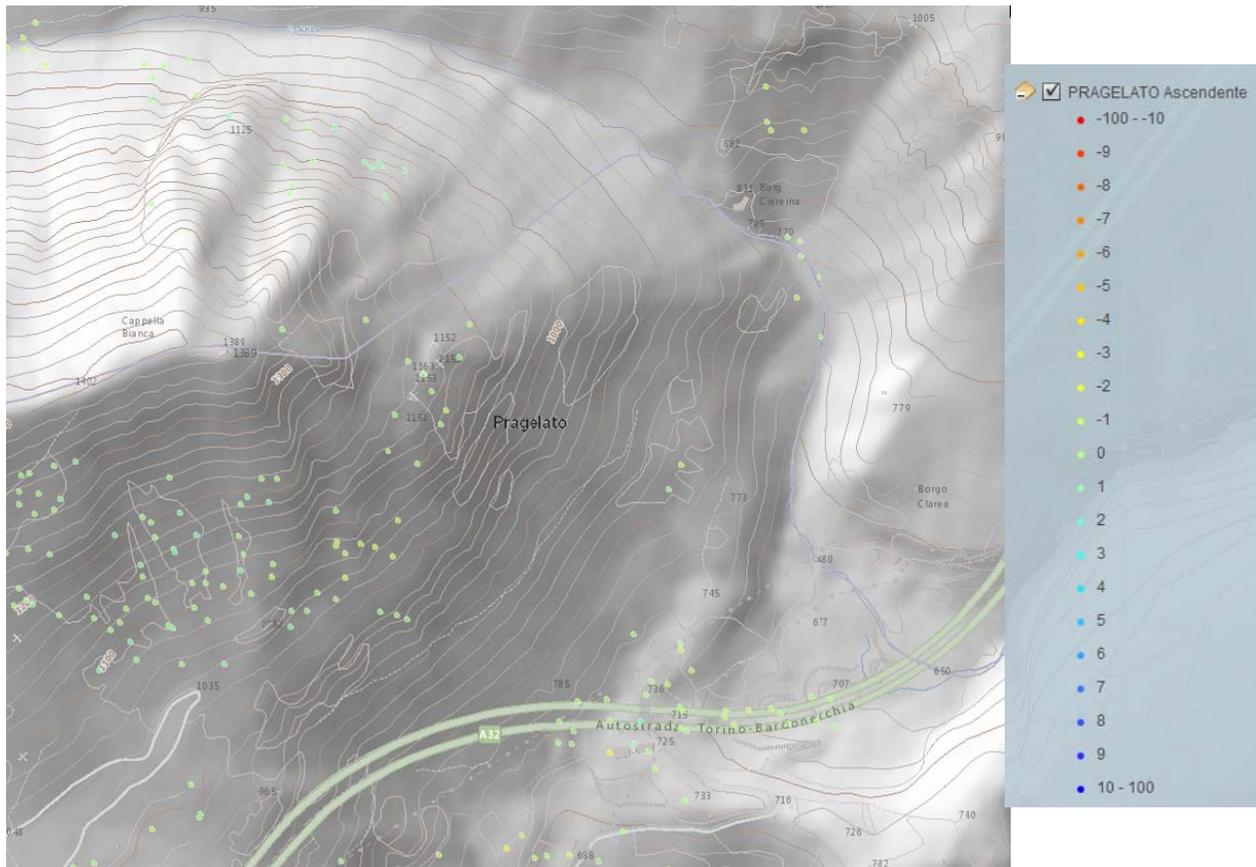


Fig. 3 – Analisi radar-satellitare SqueeSAR™ realizzata da Arpa Piemonte (sito web ARPA Piemonte).
“Prigelato” si riferisce al nome del data set e non è un toponimo. Spostamenti in mm/anno.

Con riferimento alla classificazione proposta da Cruden & Varnes (1995), modificata da Amanti et al., (1996) e ripresa dal progetto IFFI, il fenomeno franoso della Maddalena è caratterizzato da:

- uno stato di attività “attivo”, almeno nella zona del trench, e quiescente nelle rimanenti parti;
- una distribuzione costante, ossia il materiale spostato continua a muoversi e la superficie di rottura non mostra variazioni apprezzabili;
- uno stile di attività complesso, ossia il fenomeno caratterizzato dalla combinazione di due tipi di movimento in sequenza temporale.

I fenomeni di crollo più recenti sono stati ampiamente e dettagliatamente descritti da Carraro (1987) e i principali massi potenzialmente interferenti con le opere autostradali (viadotti Clarea e gallerie Ramat) sono monitorati da Musinet Engineering dal 1997 circa. La zona di arresto principale dei massi e dei blocchi comprende soprattutto la superficie terrazzata. Solo alcuni massi hanno superato il ciglio della scarpata e si sono arrestati lungo il fondo della val Clarea. Per tale motivo sono state realizzate opere passive (rilevati paramassi) per la protezione dell’imbocco della galleria Ramat e delle pile dei due viadotti Clarea.

3. Sistema di monitoraggio esistente

Sul versante della Maddalena è attualmente presente un sistema di monitoraggio dei blocchi rocciosi gestito da Musinet. Gli obiettivi di questo monitoraggio sono di tenere sotto controllo nel tempo eventuali situazioni di riconosciuta o potenziale instabilità e di prevenire con sufficiente margine di sicurezza le condizioni di rischio, sia in termini di tempo sia per quanto riguarda la scelta dei mezzi più idonei di intervento, in modo da garantire il corretto esercizio del tracciato autostradale dell'A32.

Nel complesso l'impianto monitorato dalla Musinet interessa il controllo della stabilità di circa 40 blocchi ciclopici e di 5 affioramenti rocciosi; le reti strumentali di superficie sono composte da apparecchiature di tipo elettrico e da centraline di rilevamento dati dotate di sistema autonomo di alimentazione e trasmissione automatica dei dati.

Lo scopo delle installazioni è di fornire informazioni sulle eventuali variazioni di alcune grandezze (inclinazione di blocchi, apertura di giunti e spostamenti relativi tra elementi instabili) che possano essere considerate rappresentative dell'equilibrio delle zone monitorate e consentano di individuare con sufficiente margine situazioni di particolare rischio.

Attraverso tale rete di strumenti sono monitorati massi ciclopici movimentabili per:

- crollo da ammassi rocciosi disarticolati e fratturati
- movimenti relativi dei blocchi mobilizzabili come ad esempio scalzamento al piede di massi appoggiati

Nello specifico la strumentazione Musinet è così composta:

- 40 misuratori di giunti per il controllo della variazione lineare della distanza tra due punti incernierati al trasduttore di spostamento (Fig. 5);
- 30 clinometri atti alla verifica della deviazione angolare di elementi solidali al sensore (Fig. 7);
- 5 estensimetri a basi il cui impiego permette il controllo dei fenomeni di detensionamento che può interessare le porzioni superficiali di placche lapidee strapiombanti parzialmente collegate al substrato (Fig. 8);
- 10 termometri (Fig. 6).

Per un maggior dettaglio si rimanda anche all'Allegato 1.

Stando alle informazioni di Musinet non risultano attualmente in corso movimenti, in particolare i dati del monitoraggio hanno confermato quanto già indicato in passato circa l'assenza di fenomenologie disestive in atto in grado di coinvolgere i massi e le porzioni rocciose oggetto di controllo.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 4 – Esempio di masso ciclopico monitorato potenzialmente mobilizzabile.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 5 – Misuratore di giunti (rete monitoraggio della Musinet).



Fig. 6 – Termometro (rete monitoraggio della Musinet).

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 7 – Clinometro (rete monitoraggio della Musinet).



Fig. 8 – Estensimetro a basi (rete monitoraggio della Musinet).

4. Descrizione e risultanze dei sopralluoghi eseguiti

Come precedentemente accennato, nel corso della primavera del 2014 a seguito delle richieste di integrazione fatte dalla Regione Piemonte al progetto definitivo progetto di fase Progetto Definitivo Approvato e successivamente in questa fase progettuale nell'estate del 2016, sono stati eseguiti una serie di sopralluoghi che hanno interessato sia la parte alta del versante nel settore in cui sono riconoscibili le nicchie di distacco del fenomeno gravitativo, sia la parte bassa del versante, meno acclive della precedente, ove sono anche presenti un serie di barriere paramassi.

Più in dettaglio, in riferimento alle tipologie di movimentazione dei massi (per crollo e per scalzamento al piede) i sopralluoghi hanno permesso di evidenziare che:

1) lungo la nicchia superiore non si notano particolari situazioni dissettive eccetto una nicchia di crollo con probabile tendenza retrogressiva;

2) tra la prima e la seconda nicchia si osserva la presenza di un accumulo detritico a megablocchi che appare stabile;

3) massi e blocchi ciclopici potenzialmente movimentabili per fenomeni di crollo sono localizzati in corrispondenza della seconda nicchia. I massi a maggiore criticità sono già monitorati con una serie di strumenti cablati a centraline di registrazione (Allegato 1). In tale zona sono stati osservati alcuni settori con massi instabili in quanto visibilmente ruotati e dislocati dalla loro posizione originaria (Fig. 33) e tracce di passaggio di massi.

4) a valle della seconda nicchia i massi ciclopici sono appoggiati su depositi detritici a pezzatura più fine e quindi potenzialmente movimentabili per scalzamento al piede.

5) ancora più a valle all'incirca in corrispondenza di reti paramassi non sono state osservate particolari situazioni critiche. Tali reti paramassi, poste in più ordini disposti a quinconce, sono state posizionate negli anni '90 a protezione del sito archeologico della Maddalena. Il sopralluogo ha evidenziato la presenza di almeno 8 ordini di barriere paramassi. Si tratta di barriere con pannelli di rete in fune di acciaio (maglia 20x20 cm) sostenute da montanti (profilati a "doppia T", 240x240 mm), con interasse di circa 8 m ed altezza di circa 6-7 m ancorati al terreno con quattro barre ($\phi = 32$ mm), funi di trattenuta munite di freni, funi di controvento e ancoraggi di fondazione. Tali barriere sono posizionate lungo il versante tra circa 800 e 900 m di quota. Non è stato possibile reperire le schede tecniche delle barriere riportanti la loro capacità di assorbimento di energia; sulla base delle caratteristiche osservate durante i rilievi di terreno quest'ultima potrebbe essere stimata tra 2000 e 3000 kJ.

6) a monte dell'imbocco delle gallerie "Ramats" dell'Autostrada A32 è presente un vallo paramassi in terre rinforzate (altezza di circa 4-6) sul quale è stata posizionata una barriera in rete paramassi con un'altezza di circa 3 m. I massi ciclopici presenti nel ripiano retrostante il vallo hanno le volumetrie comprese tra circa 8 e 2619 m³ (Carraro, 1987) con le classi seguenti di frequenza:

- volumi inferiori ai 100 m³: circa il 40%;
- volumi tra 100 e 200 m³: circa il 17%;
- volumi tra 200 e 300 m³: circa il 17%;
- volumi superiori a 300 m³: circa il 26%;

7) immediatamente a monte dell'imbocco del cunicolo esplorativo della Maddalena, attualmente in fase di scavo, è stata realizzata una barriera paramassi.

5. Simulazioni di caduta massi

Per caduta massi s'intende il fenomeno di distacco e di successivo movimento verso valle di blocchi che mettono in gioco un'energia cinetica assorbibile dalle normali opere di difesa di tipo passivo - barriere e terrapieni paramassi, ecc.

La simulazione numerica del fenomeno di caduta massi ha lo scopo di permettere la costruzione di un modello che consente di prevedere il comportamento cinematico di singoli blocchi rocciosi distaccatisi dal versante.

Nel modello il moto è supposto bidimensionale lungo il piano x e z e con il pendio discretizzato in una serie di segmenti retti. Il masso è supposto puntiforme, considerando solo il moto del suo baricentro.

Nel corso della precedente fase progettuale di Progetto Definitivo Approvato e nell'attuale fase di PRV sono state eseguite una serie di simulazioni di caduta massi per la determinazione delle energie di impatto, delle distanze di arresto e delle altezze di rimbalzo dei potenziali blocchi rocciosi mobilizzabili lungo il versante a monte del cantiere della Maddalena.

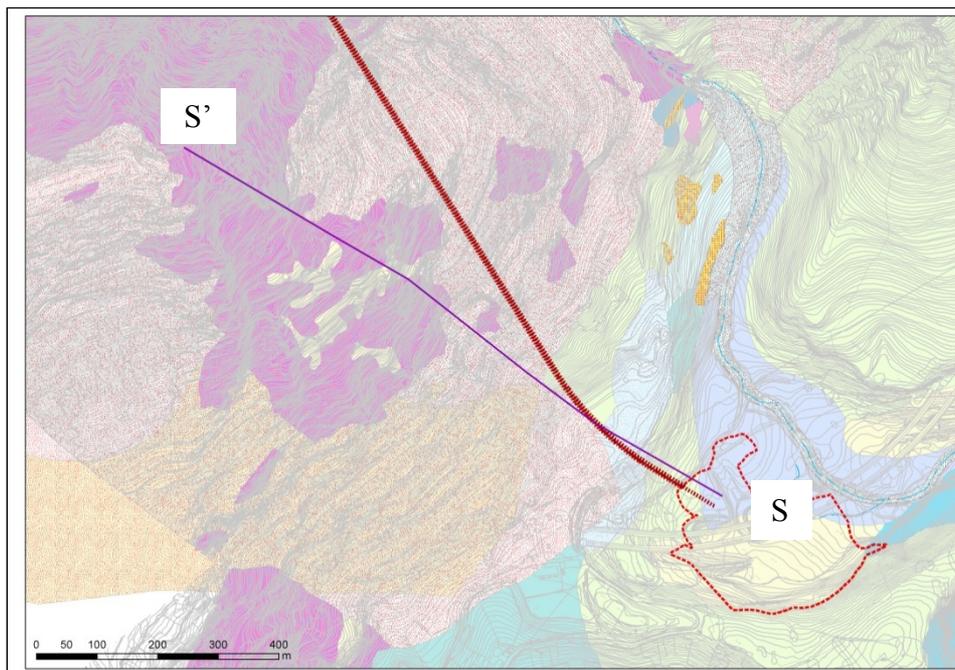
Di seguito vengono presentate le diverse simulazioni eseguite.

5.1 Simulazioni eseguite per la centrale di ventilazione della Maddalena (fase di Progetto Definitivo Approvato)

5.1.1 Simulazione caduta massi senza opere di difesa

Come precedentemente descritto, la cubatura dei massi presenti al piede del versante è compresa fra 8 e 2619 m³; i valori più frequenti sono < 100 m³ (40%), tra 100 e 200 m³ (17%), e tra 200 e 300 m³ (17%). Il restante 26% è superiore a 300 m³.

Nella precedente fase di Progetto Definitivo Approvato, al fine di quantificare la pericolosità legata a fenomeni di crollo e rotolamento massi, è stata condotta una simulazione numerica di caduta massi mediante il software Masco v.2 lungo la sezione S-S' (Figura 9), avendo precedentemente determinato le aree di potenziale distacco. Queste sono state individuate a partire da quota 900 m fino a quota 1100 m circa, settore lungo la sezione in cui affiora il substrato cristallino.



Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

Figura 9 – Stralcio della carta geomorfologica (elaborato PD2-TS3-0456-0-PA-PLA alla scala 1:10000) con rappresentata la sezione S-S' utilizzata nelle verifiche di rotolamento massi.

Nel modello il moto è stato supposto bidimensionale lungo il piano x e z, e il pendio è discretizzato in una serie di segmenti retti. Ai fini della simulazione, nonostante le cubature dei massi osservate e precedentemente menzionate, è stato assunto un volume pari a 1 m^3 , come richiesto dal software utilizzato, con peso specifico di 28 kN/m^3 e puntiforme (*lumped-mass*), considerando solo il moto del suo baricentro.

Sono state considerate le azioni sismiche ($\sigma_h=0,032$; $\sigma_v=0,016$), mentre non sono stati supposti fenomeni di frantumazione dei blocchi (a favore di sicurezza). Seguendo un approccio cautelativo si è scelto di attribuire una velocità iniziale non nulla ma bensì pari a $0,5 \text{ m/s}$.

I parametri che definiscono l'interazione tra il blocco roccioso e il versante sono descritti dal coefficiente di restituzione (E) e dall'angolo d'attrito massa-versante (ϕ). I coefficienti sono principalmente funzione della litologia, della copertura vegetale del versante e delle asperità del terreno in relazione alle dimensioni del masso.

Il coefficiente di restituzione (E) è definito come il rapporto fra la velocità prima e dopo l'impatto del masso con il terreno (V_1 / V_0 dove V_1 è la velocità dopo l'urto, V_0 prima dell'urto).

L'angolo d'attrito massa-versante descrive la perdita d'energia cinetica nei tratti di pendio in cui il masso si muove rotolando o scivolando.

Il modello ha permesso di ricavare E e Phi eseguendo una calibrazione in *back analysis*; tali parametri sono risultati confrontabili con i valori dei medesimi parametri provenienti da dati di letteratura. Si riporta di seguito una sintesi dei parametri utilizzati nelle simulazioni eseguite nella fase di Progetto Definitivo Approvato (Tabella 1).

Tipo substrato	Coefficiente di restituzione E (-)	Angolo d'attrito massa-versante Phi (°)
roccia affiorante integra	0.85	22
copertura detritica con vegetazione folta	0.6	29

Tabella 1 – Coefficienti di restituzione e angolo di attrito massa – terreno ricavati mediante back-analysis.

Al fine di valutare condizioni differenti di crollo i parametri E (coeff. di restituzione), ϕ (angolo d'attrito massa-versante), e V (volume in caduta) sono stati definiti su base probabilistica (metodo di Montecarlo).

Le simulazioni sono state effettuate lungo il Profilo A-A' (Figura 9; Figura 10). Si riassumono di seguito i parametri di input del modello:

- litologia
 - zona di distacco: affioramenti rocciosi mediamente fratturati, densità 28 kN/m^3 ;
 - zona inferiore: depositi di versante ricoperti da fitta vegetazione arbustiva.
- volume dei blocchi: 1 m^3 ;
- quota zona di distacco: da 900 m a 1100 m;
- numero simulazioni: 500.

Le simulazioni hanno permesso di individuare il punto lungo la sezione in corrispondenza del quale è opportuno prevedere l'installazione di opere di difesa dei manufatti. In questo caso è stato individuato il punto A a monte delle opere (Figura 10).

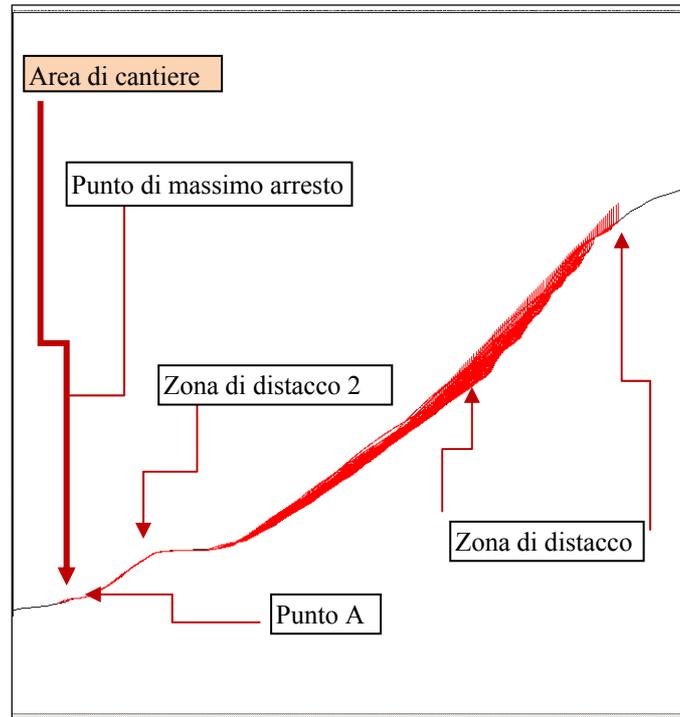


Figura 10 – Profilo con le traiettorie più probabili con zona di distacco tra 900 m e 1100 m.

Le altezze di passaggio dei blocchi nel punto A (682 m circa) sono inferiori a 3,4 m. Tale valore scaturisce applicando la relazione seguente:

$$Hr = e^{qr} - qA$$

Dove :

Hr = altezza rimbalzi espressa in m

Qr = quota assoluta massima del rimbalzo nel punto A espressa in logaritmo naturale (6,53 in Figura 11)

qA = quota del punto A espressa in m slm (682 m).

Le velocità osservate a questa quota sono comprese tra 13 e i 3 m/s, con un valore medio di 9,36 m/s (Figura 12).

Le energie nel punto A sono inferiori a 640 kJ, essendo l'energia massima definita dall'equazione:

$$Emax = e^{Ec}$$

Dove:

Emax= massima energia nel punto A espressa in kJ

Ec= energia cinetica massima attesa nel punto A espressa in logaritmo naturale (6,5 in Figura 13)

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

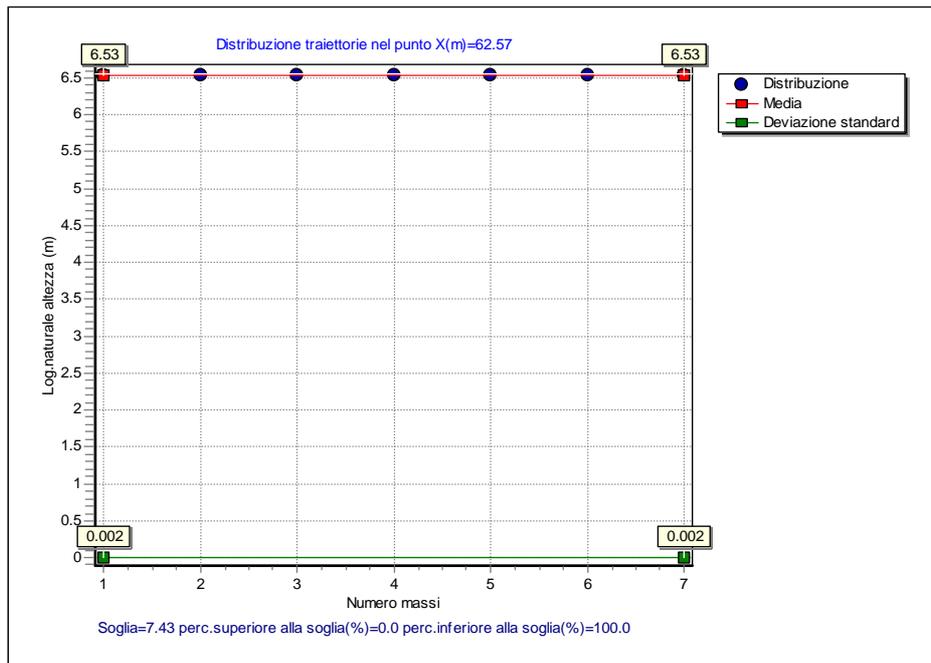


Figura 11 – Grafico in scala logaritmica dei rimbalzi a quota 682 m circa (Punto A).

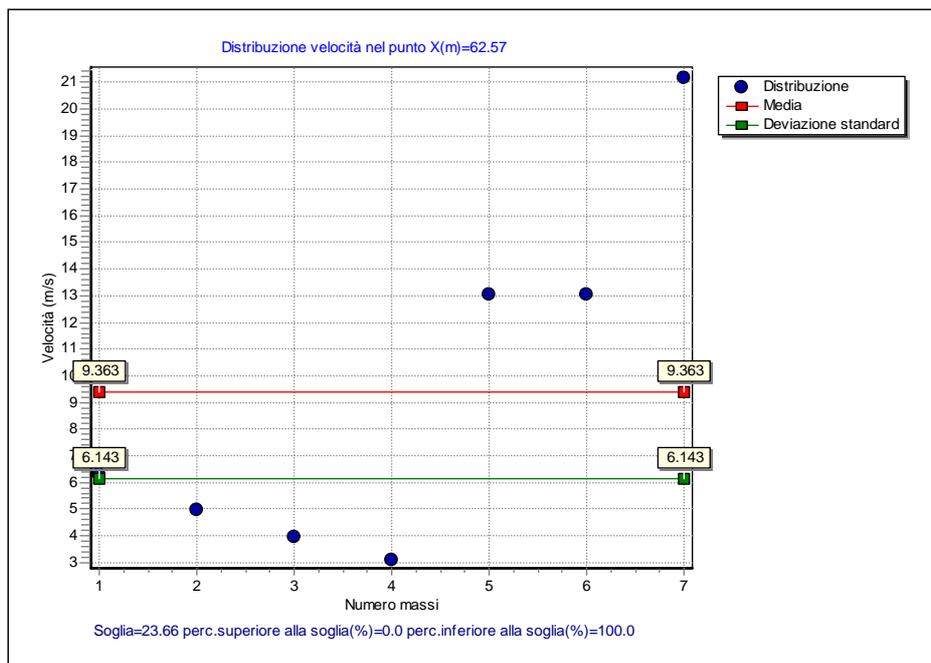


Figura 12 – Grafico delle velocità a quota 682 m circa (Punto A).

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

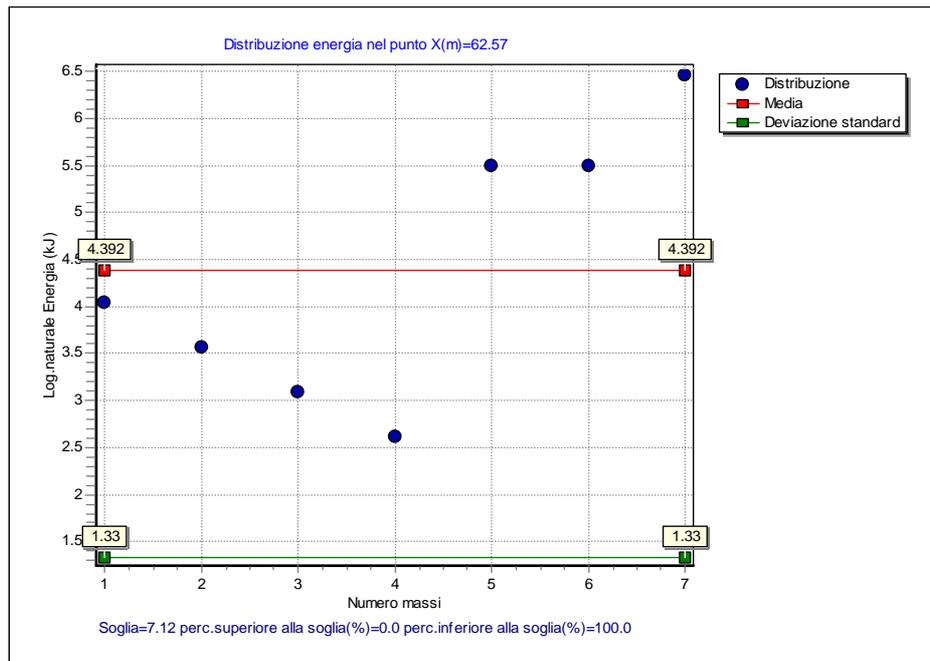


Figura 13 – Grafico in scala logaritmica dell'energia cinetica a quota 682 m circa (Punto A).

Le simulazioni indicano che una percentuale ridotta di massi staccati dalla parte più alta del versante potrebbe raggiungere l'area di cantiere.

Sulla base delle simulazioni condotte si evidenzia che a tergo dell'area dell'imbocco (quota 682 m s.l.m.) per un blocco di volume unitario (1 m^3) l'energia massima è di circa 640 kJ, e le altezze massime sono di circa 3,4 m. Si specifica che in tale punto arrivano 7 massi su 500.

Le simulazioni sono state eseguite anche individuando come area di distacco la scarpata presente nel deposito glaciale costituente il terrazzo a monte del cantiere (zona di distacco 2 in Figura 10). I risultati indicano che su 500 massi circa 420 raggiungono la quota 682 m s.l.m. con un'energia massima inferiore a 500 kJ per un blocco di volume unitario (1 m^3).

5.1.2 Verifica di caduta massi con barriere paramassi

In corrispondenza del punto A (quota 682 m), per un blocco di volume unitario (1 m^3) l'energia massima è di circa 640 kJ e le altezze massime sono di circa 3,4 m. Si specifica che in tale punto arrivano 7 massi su 500. Una barriera paramassi con altezza di 4-5 m ed energia assorbibile di 1000 kJ è sufficiente ad arrestare i massi di dimensioni di circa 1 m^3 (Figura 14; Figura 15).

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

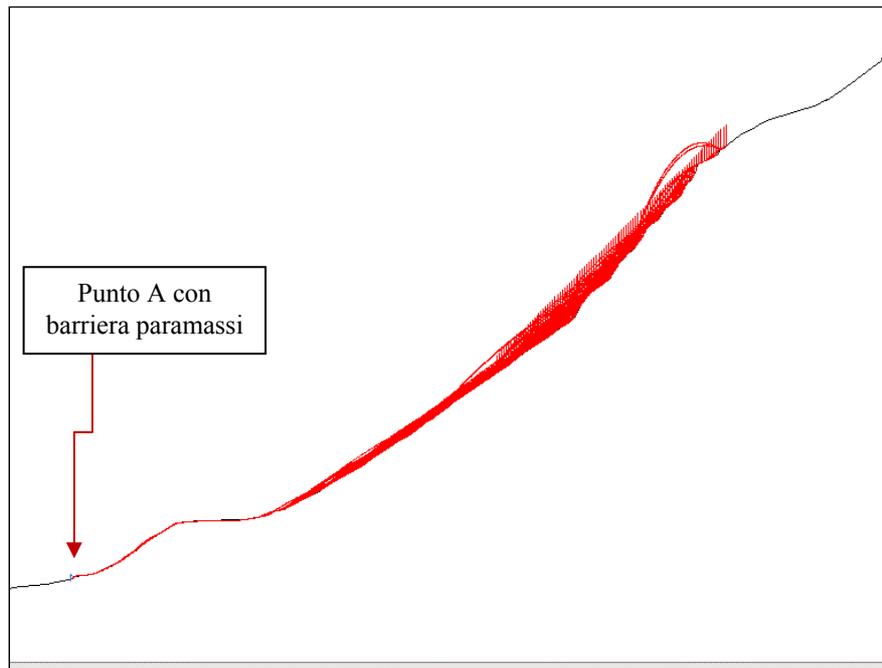


Figura 14 – Profilo con barriera paramassi a 682 m di quota circa.

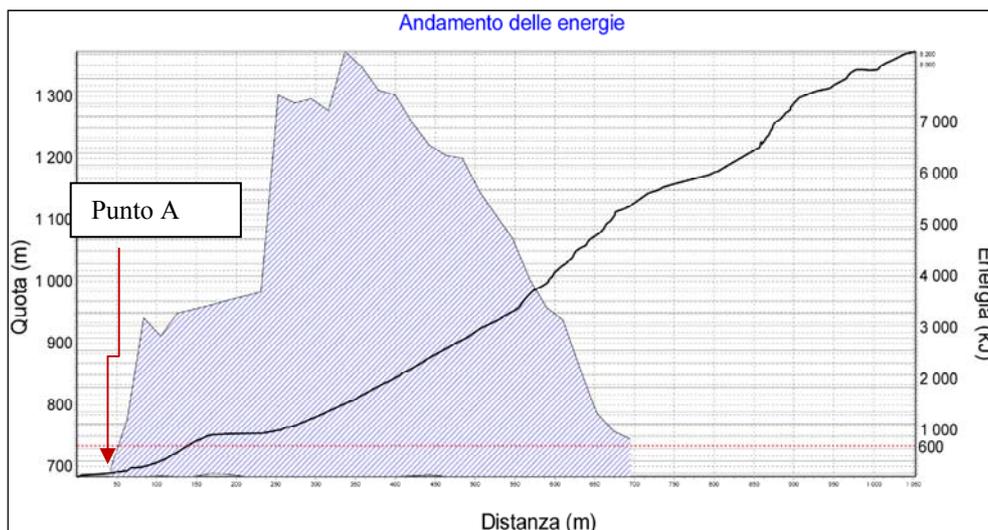


Figura 15 – Distribuzione dell'energia cinetica lungo il profilo per un masso di 1 m³.

Sulla base delle simulazioni condotte si evidenzia che a tergo dell'area dell'imbocco (quota 682 m s.l.m.) per un blocco di volume unitario (1 m³) l'energia massima è di circa 640 KJ e le altezze massime sono di circa 3,4 m.

5.2 Simulazioni eseguite da Musinet per il cantiere dello svincolo di Chiomonte

Le simulazioni numeriche di caduta massi di seguito descritte fanno riferimento a quelle eseguite da Musinet nello studio del 2014 (PD2-C3A-MUS-0909_A) per il progetto definitivo dello Svincolo de La Maddalena sulla A32 e propedeutico al futuro cantiere operante per la realizzazione dello svincolo stesso.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

Nello studio eseguito da Musinet sono state effettuate 1000 simulazioni, eseguendo i calcoli a favore di sicurezza senza tener conto della presenza dei differenti ordini di barriere paramassi osservati lungo il versante.

I parametri che definiscono il rimbalzo e il rotolamento del masso lungo il pendio sono stati stimati mediante una simulazione di back-analysis tenendo conto che:

- sono state ipotizzate traiettorie abbastanza tese per evitare rimbalzi a campana di altezza eccessivamente elevata,
- i rari indizi di impatti sui tronchi degli alberi sono posti alla base dei tronchi e testimoniano moti di rotolamento prevalente con locali rimbalzi di altezza pari a 1-2 metri,
- per la valutazione del coefficiente di rotolamento non sono stati considerati i massi ciclopici presenti lungo il versante, specie nella parte alta e bassa del versante. Questa assunzione, a favore di sicurezza, provoca una distanza di arresto maggiore in quanto il moto dei blocchi non è influenzato dagli impatti con i massi ciclopici. Tale cautela vale soprattutto per i massi di piccola dimensione.
- I punti di distacco sono posti ad una altezza di circa 10-20 m rispetto alla topografia. Ciò comporta, cautelativamente, che i blocchi raggiungono il pendio con una considerevole energia che intende simulare il distacco di massi dalla sommità della nicchia secondaria.

I parametri utilizzati per il blocco roccioso in caudata libera sono stati:

- Volume del masso: unitario, pari a 1 m^3 ;
- Peso di volume apparente del blocco: 28 kN/m^3 .

Lo studio del fenomeno di caduta massi è stato condotto lungo tre sezioni significative simulando numericamente 1000 cadute per ognuna e facendo variare in modo statistico le caratteristiche del pendio e dei coefficienti di restituzione.

Lo studio ha permesso di individuare:

- la massima distanza percorribile dal masso distaccato;
- la traiettoria più favorevole per la realizzazione delle opere di difesa;
- la massima energia d'impatto che dovrà essere dissipata dalla singola opera di difesa.

A tal fine il problema è stato analizzato in due fasi distinte:

Fase di rilievo in campagna dei dati relativi a distacchi avvenuti in passato e rilievo geomeccanico delle pareti rocciose, al fine di individuare i cinematismi e le volumetrie potenzialmente coinvolte;

Fase di simulazione numerica delle traiettorie e dei punti di arresto dei distacchi prevedibili lungo tre sezioni bidimensionali, utilizzando il programma MASCO 2.2 (Program Geo), al fine di verificare l'efficacia e l'efficienza delle opere passive (*Fig. 16*).

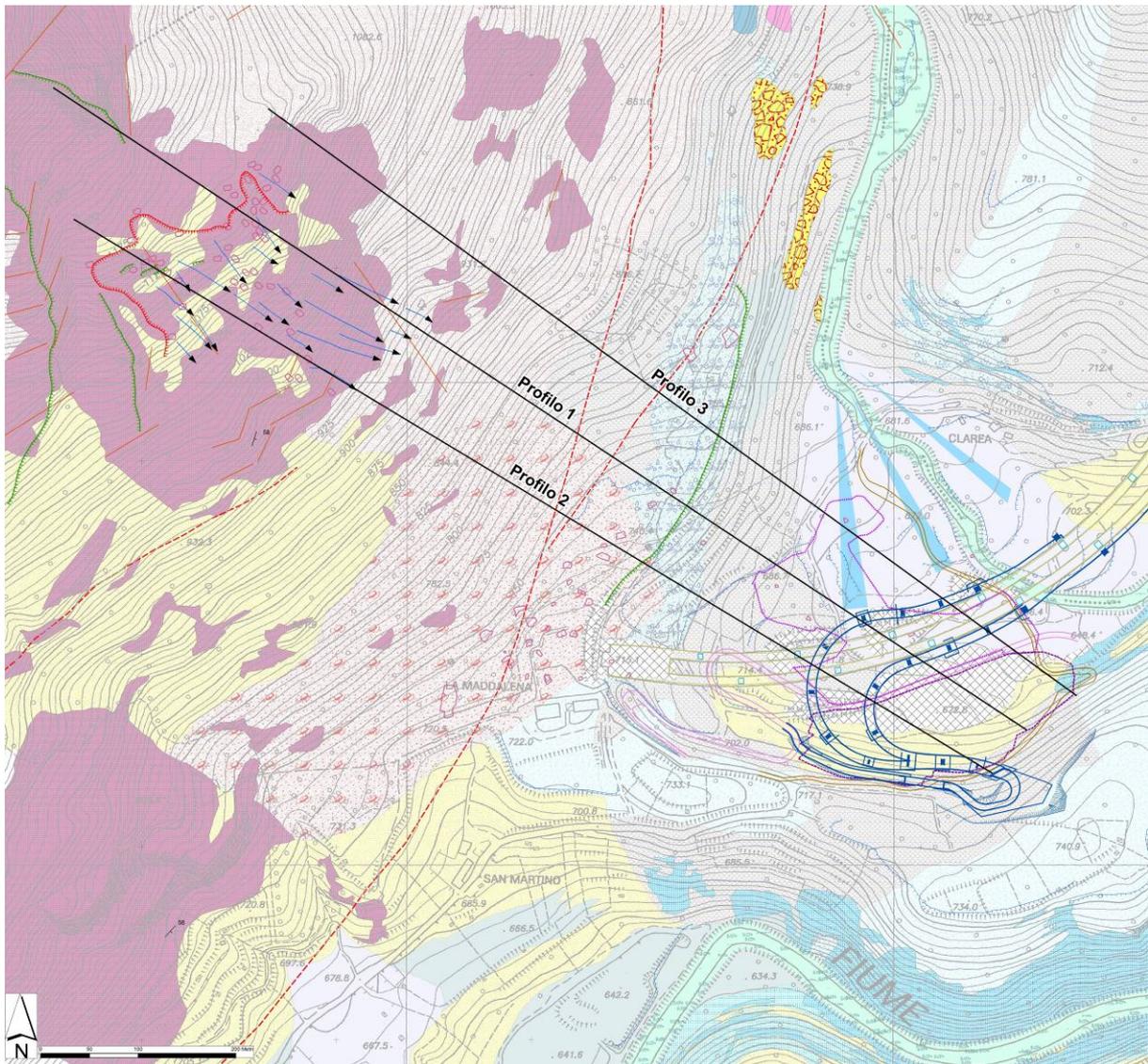


Fig. 16 – Stralcio della carta geomorfologica con rappresentazione delle sezioni di verifica di rotolamento massi (da PD2-C3A-MUS-0909_A).

5.2.1 Simulazione su profilo 1

I risultati della simulazione sono riportati nella *Figura 10*. I risultati sono comparabili con quelli della precedente simulazione. In corrispondenza delle reti paramassi a protezione della zona archeologica i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di rimbalzo di circa 5-6 m con energie unitarie elevate, tra 200 e 5000 kJ.

Alla base del pendio i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di rimbalzo di circa 1-1.5 m con energie unitarie tra 100 e 3500 kJ.

La massima distanza di arresto (raggiunta da 1 masso su 1000) è posta all'incirca sul ciglio del ripiano posto alla base del pendio.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

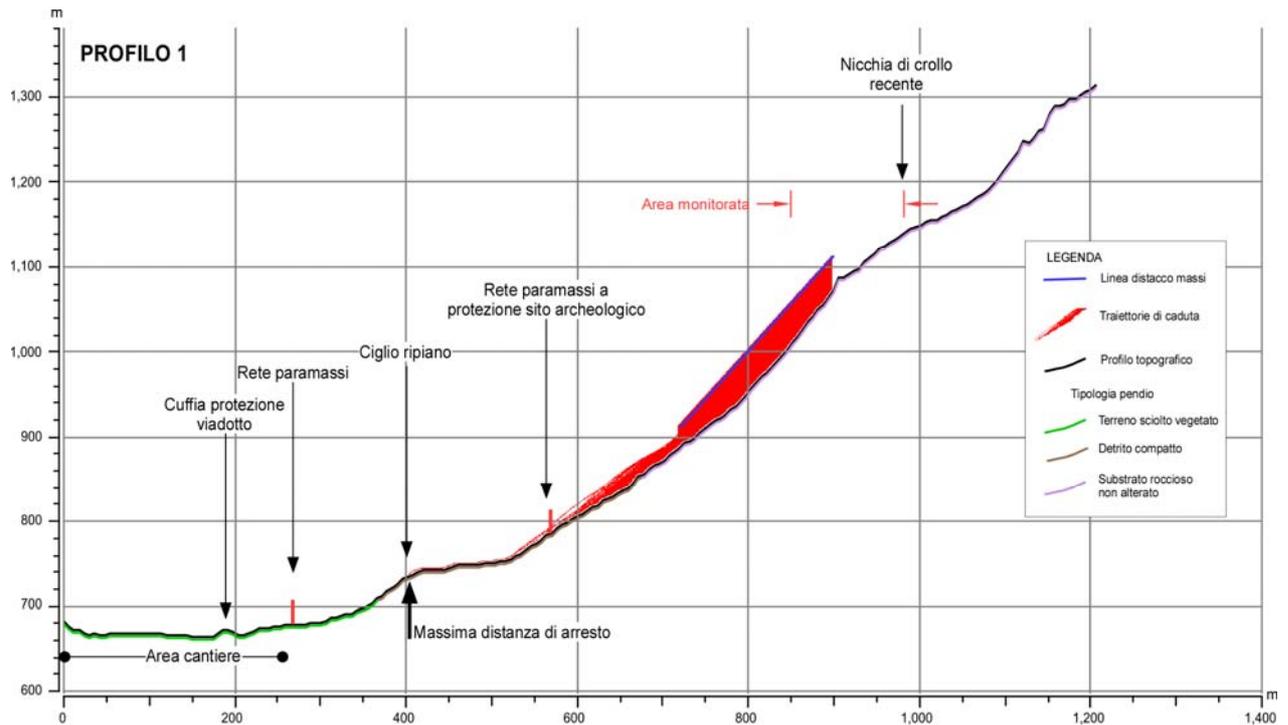


Fig. 17 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 900 m e 1100 m.

5.2.2 Simulazione su profilo 2

I risultati della simulazione sono riportati nella Fig. 18. Alla base del pendio i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di circa 1.5-2 m con energie unitarie tra 100 e 4000 kJ.

La massima distanza di arresto (raggiunta da 1 masso su 1000) è posta all'incirca nella parte mediana del ripiano posto alla base del pendio.

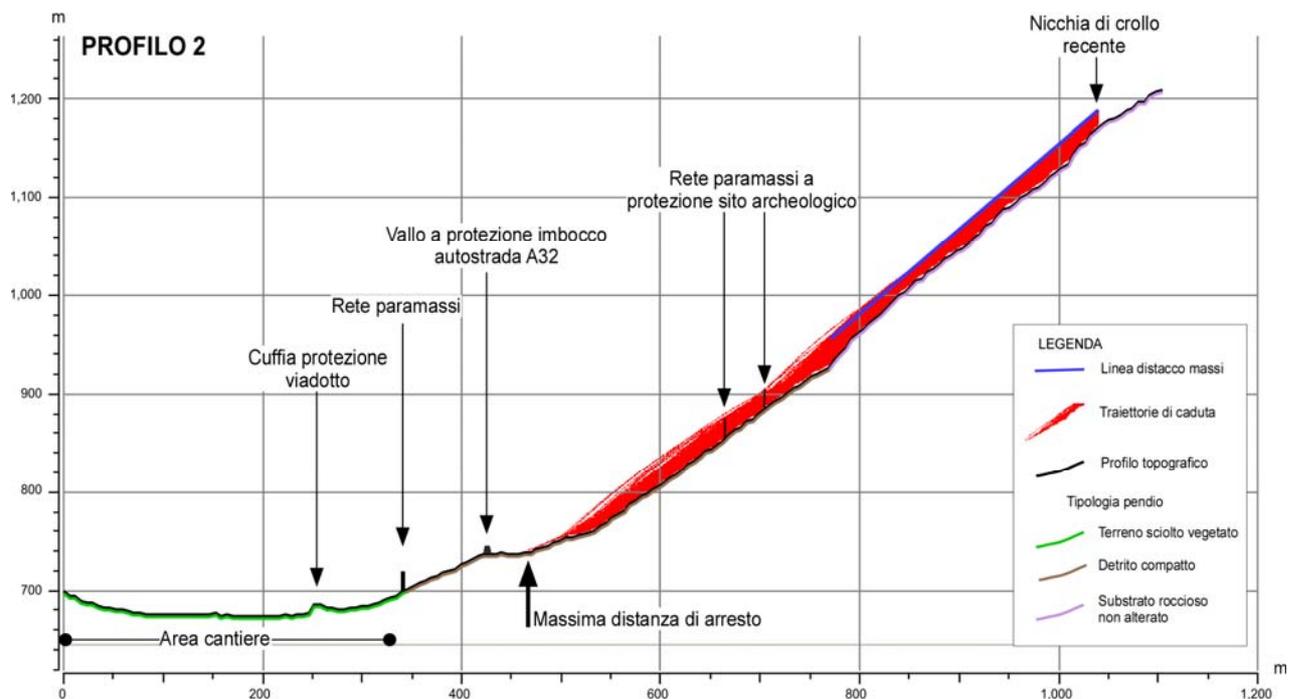


Fig. 18 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 950 m e 1200 m.

5.2.3 Simulazione su profilo 3 (distacco basso)

I risultati della simulazione sono riportati nella Fig. 19. In corrispondenza delle reti paramassi a protezione della zona archeologica i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di rimbalzo di circa 8-9 m con energie unitarie massima di 3500 kJ.

Alla base del pendio i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di rimbalzo di circa 2-2,5 m con energie unitarie massime 2000 kJ.

La massima distanza di arresto (raggiunta da 4 massi su 1000) è posta all'incirca nella parte iniziale del ripiano posto alla base del pendio.

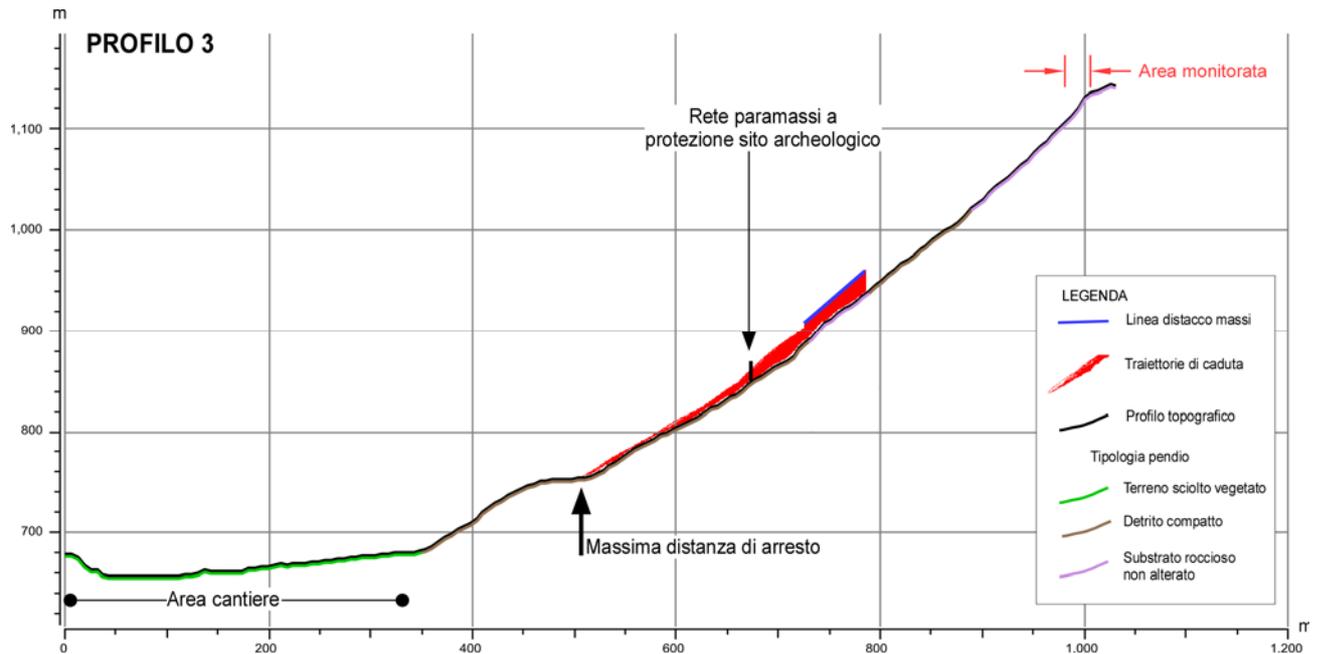


Fig. 19 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 900 m e 950 m.

5.2.4 Simulazione su profilo 3 (distacco alto)

I risultati della simulazione sono riportati nella Fig. 20. In corrispondenza delle reti paramassi a protezione della zona archeologica i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di rimbalzo di circa 15-20 m con energie unitarie massime di circa 8000 kJ. Tali valori potrebbero essere sovrastimati poiché le simulazioni numeriche forniscono velocità molto elevate, in quanto il modello non considera in modo accurato le asperità del pendio che sono più elevate di quelle ipotizzate. Nei tratti in cui sono presenti ampi tratti di substrato, tale effetto risulta amplificato in quanto il coefficiente di attrito al rotolamento masso – roccia proposto dalla letteratura è generalmente basso.

Alla base del pendio i massi sono caratterizzati da un'altezza massima di rimbalzo di circa 2-2,5 m con energie unitarie massime 5000 kJ.

La massima distanza di arresto (raggiunta da 2 massi su 1000) è posta all'incirca presso il ciglio del ripiano posto alla base del pendio.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

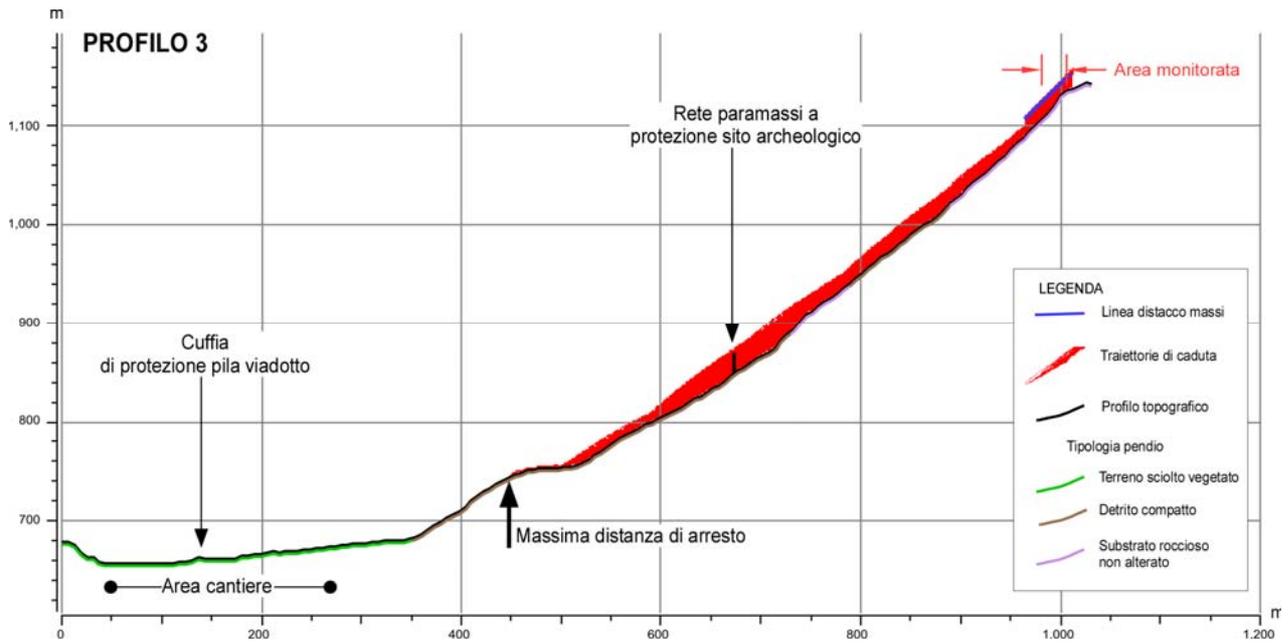


Fig. 20 – Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 1100 m e 1140 m.

5.2.5 Altezze di rimbalzo

Nella tabella seguente sono sintetizzate le altezze di rimbalzo calcolate per i 3 profili analizzati:

Profilo	Progressiva (m)	Altezza di rimbalzo (m)	Velocità media (m/sec)	Energia (kJ)
1	420	6	24	800
2	425	Punto non raggiunto dai massi		
3	475	6	15	500

Tabella 2 – Valori di altezza di rimbalzo, velocità media ed energia calcolati per massi di 1 m³ in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico presente a monte dell'area di cantiere.

5.3 Nuove simulazioni eseguite per il cantiere della Maddalena (fase di PRV)

Nell'attuale fase progettuale, in considerazione dello studio dello spostamento dello scavo del Tunnel di Base alla Maddalena, sono stati estesi gli studi ed eseguite ulteriori simulazioni di caduta massi; contestualmente sono anche state proposte soluzioni sia in fase di esercizio (come già previsto nel progetto di Progetto Definitivo Approvato) che in fase di corso d'opera.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

Le nuove simulazioni condotte in questa fase, eseguite su volumetrie di circa 1 m^3 , evidenziano come i potenziali distacchi dalla parte più alta del versante tendono a fermarsi sul ripiano più basso al di sopra dell'area di cantiere, in accordo con quanto definito già in fase di Progetto Definitivo Approvato. Al contrario, anche in questo caso come già evidenziato dalle simulazioni eseguite in fase di Progetto Definitivo Approvato, i massi presenti nel deposito glaciale costituente il terrazzo a monte del cantiere, in assenza di interventi, potrebbero potenzialmente raggiungere l'area dello stesso. Dai rilievi nell'area e nel corso dei primi scavi realizzati per l'installazione del cantiere della galleria geognostica della Maddalena sono stati riscontrati nel deposito blocchi di dimensioni fino a circa 15 m^3 .

Pertanto, sebbene la maggioranza delle simulazioni mettono evidenza il fatto che la maggioranza dei blocchi instabili, in caso di distacco, si arrestino sul ripiano a tergo dell'area di imbocco, la possibilità che alcuni di questi arrivino ad interessare l'area di imbocco non può essere del tutto esclusa, soprattutto nel caso dei massi si movimentino blocchi con elevate volumetrie.

Di seguito vengono riportate le nuove simulazioni eseguite, per la traccia delle tre sezioni di studio si rimanda a quelle presenti in *Fig. 16*.

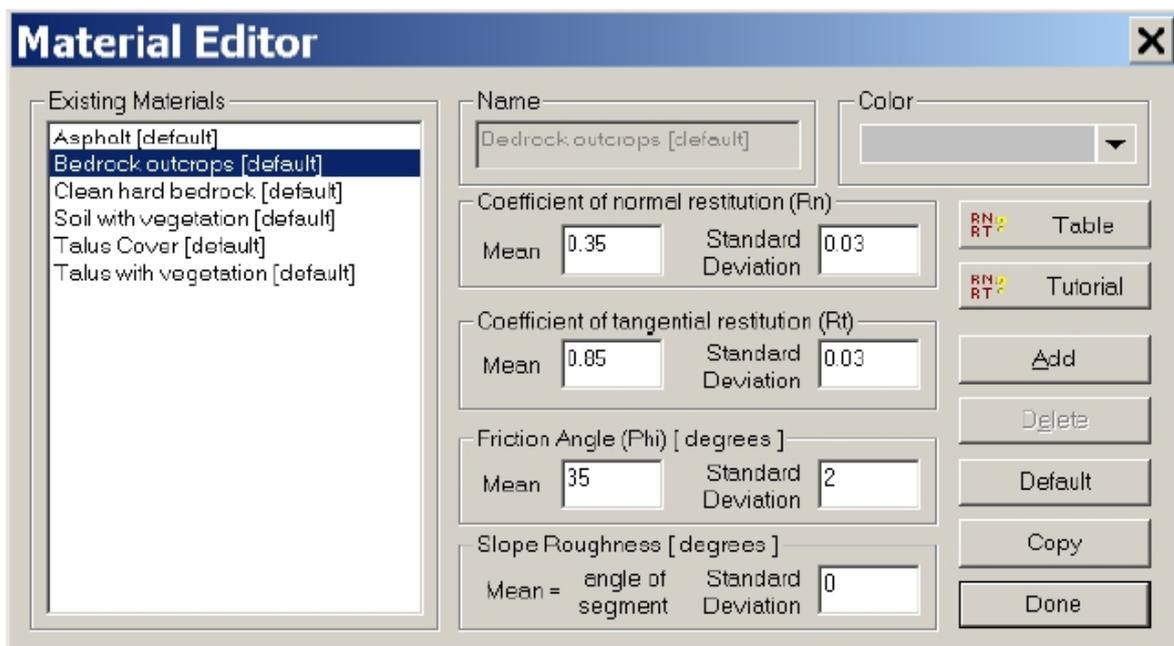


Fig. 21 – Parametri del pendio utilizzati.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

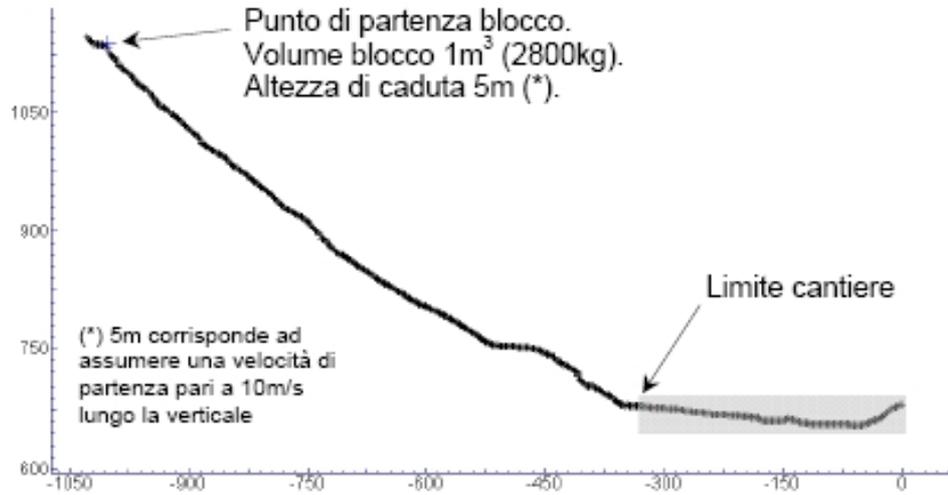


Fig. 22 –Modello Rockfall – sezione A (profilo 1 di Fig. 16)

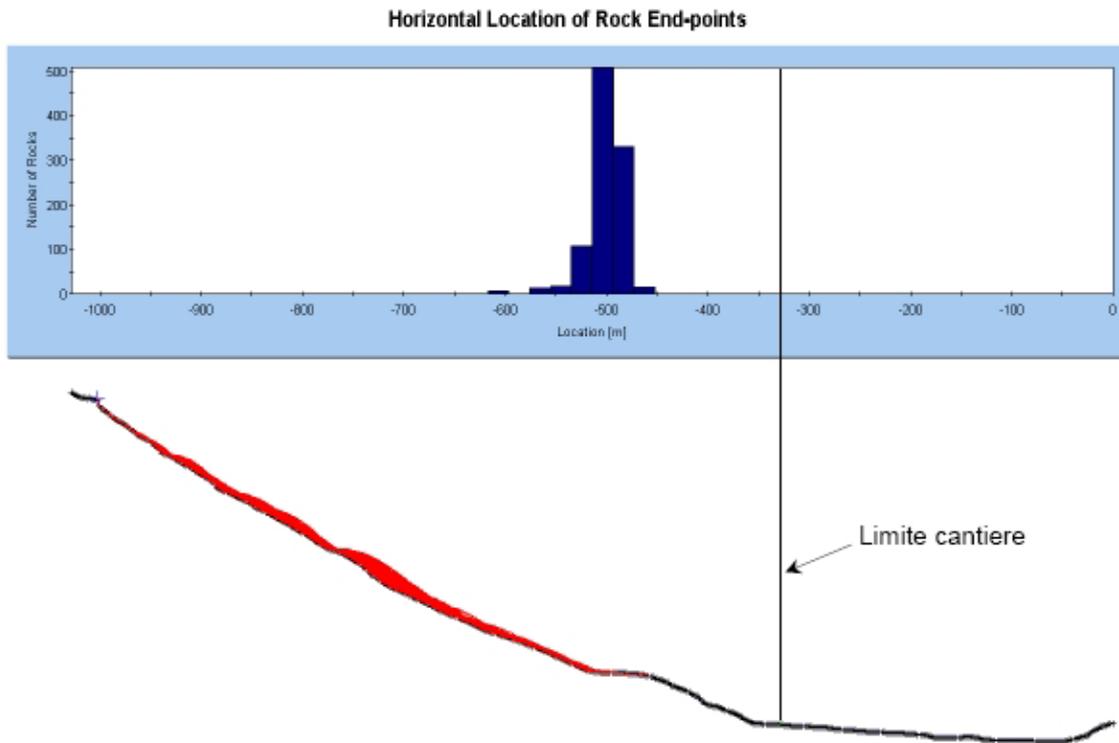


Fig. 23 –Modello rocfall – Sezione A – Traiettorie dei blocchi (1000 blocchi).

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 24 – Modello Rockfall – sezione B (profilo 2 di Fig. 16).

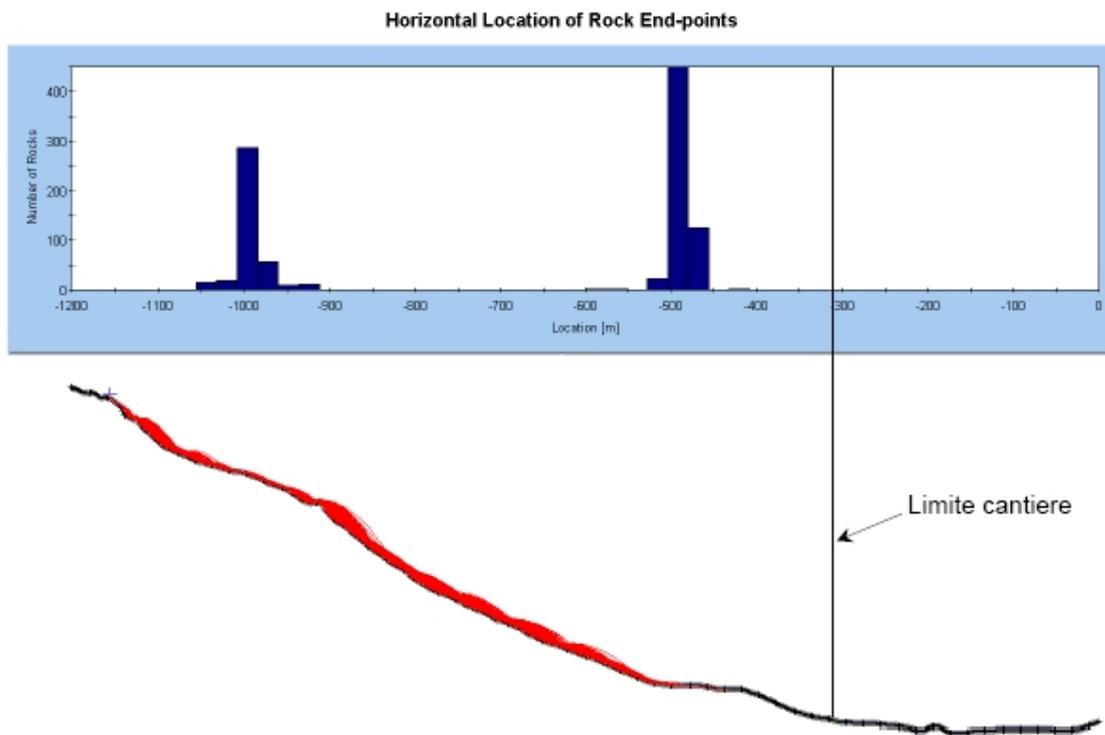


Fig. 25 – Modello rocfall – Sezione B – Traiettorie dei blocchi (1000 blocchi).

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena

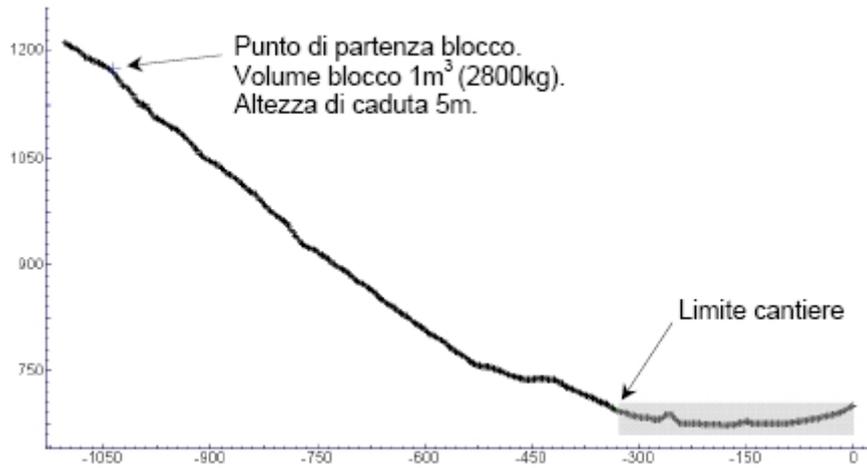


Fig. 26 – Modello Rockfall – sezione C (profilo 3 Fig. 16)

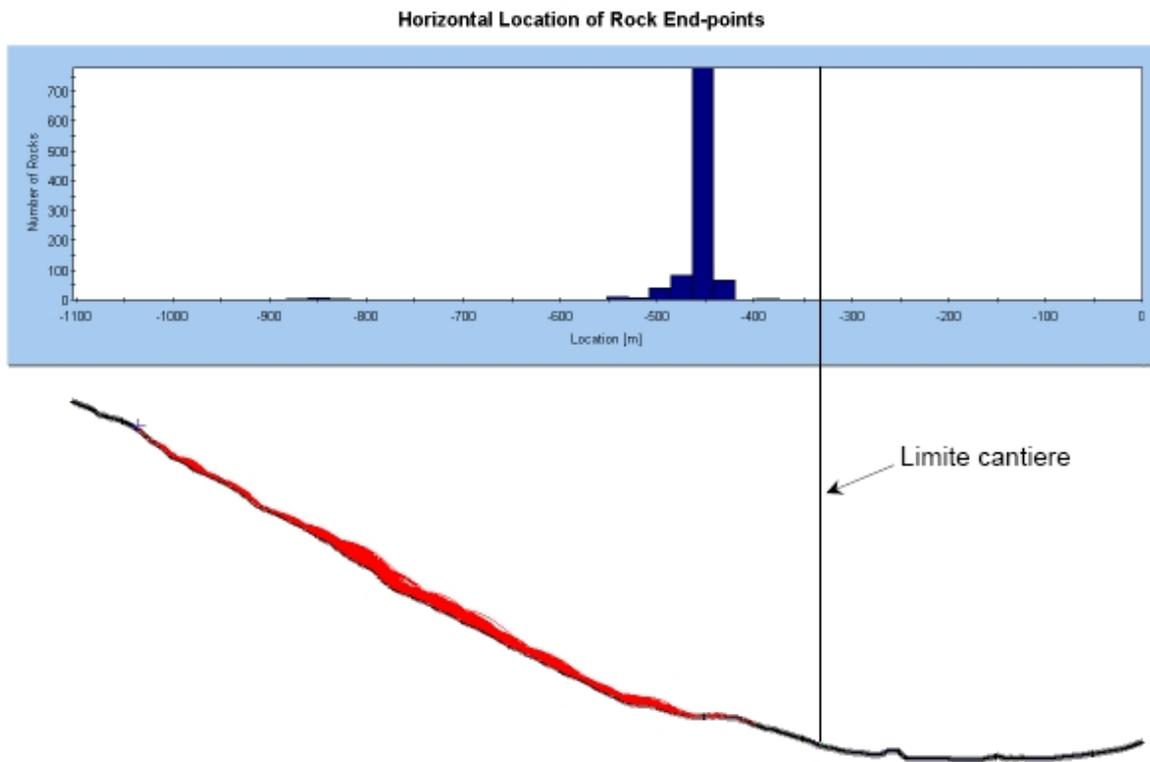


Fig. 27 – Modello rocfall – Sezione C – Traiettorie dei blocchi (1000 blocchi).

Le analisi di rotolamento blocchi lungo il pendio per le sezioni trasversali A÷C evidenziano come nessuno dei 1000 blocchi generati raggiunga l'area di cantiere. Per quanto concerne i parametri assegnati al pendio roccioso – con riferimento a quanto riportato nel manuale di Rocfall – sono stati assunti i valori considerati rappresentativi per un bedrock outcrops with hard surface, large boulders. Di seguito sono sintetizzati per comodità:

- $R_n=0.35\pm 0.03$ (coefficiente di restituzione normale);
- $R_t=0.85\pm 0.03$ (coefficiente di restituzione tangenziale)

In considerazione della presenza di fitta vegetazione lungo il pendio, che comporterebbe una riduzione di tali coefficienti ($R_n \leq 0.3$ e $R_t \leq 0.8$), è ragionevolmente ritenere i valori sopra riportati adeguati.

5.4 Conclusioni

Quanto descritto nei capitoli precedenti permette di giungere alle considerazioni seguenti:

- 1) I risultati delle simulazioni effettuate dimostrano, in accordo con gli indizi raccolti sul terreno, che pochi massi raggiungono il ripiano a monte delle aree di cantiere e retrostante il terrapieno paramassi esistente a protezione dell'autostrada.
- 2) Lungo le barriere paramassi poste nel versante tra 800 e 900 m non sono stati osservati massi intercettati. Ciò significa che i fenomeni di caduta massi non sono frequenti. L'ipotesi che i massi siano caratterizzati da traiettorie più alte delle barriere paramassi (alte circa 6-7 m) è contraddetta dalla mancanza di indizi di impatti alla sommità delle piante di alto fusto e dai frequenti indizi di impatti alla base dei fusti.
- 3) Le simulazioni sopradescritte realizzate per blocchi di dimensioni pari a 1 m^3 sono state utilizzate come dato di partenza per valutare le energie possedute da blocchi di dimensioni differenti, dal momento che la cubatura dei massi è molto variabile; le energie valutate per blocchi fino a 300 m^3 sono riassunte nella tabella successiva:

<i>Dimensioni del masso (m^3) $v = 24\text{ m/s}$</i>	<i>Energia attesa (kJ)</i>
1	800
50	37.000
100	73.000
200	145.000
300	220.000

4) *Tabella 3 – Energia massima attesa per i massi in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico (Massa = 2550 kg/m^3).*

- 5) Si segnala che le opere di difesa non possono trattenere eventuali impatti di massi ciclopici (volume fino a oltre 2000 m^3 presenti nella parte alta del versante) per i quali non è possibile realizzare interventi risolutivi.
- 6) Il sistema di monitoraggio esistente della Musinet è, sulla base delle verifiche di terreno, adeguatamente dimensionato e di buon livello, nonché sufficiente a monitorare gli attuali blocchi già strumentati.
- 7) Fenomeni di rimobilizzazione dei blocchi ciclopici sembrerebbero allo stato attuale poco probabili, anche in accordo con i risultati del monitoraggio della Musinet che non segnala movimenti in atto. Ciò nonostante sono stati comunque individuati ulteriori blocchi di dimensioni ciclopiche (n. 22), attualmente non monitorati, che si è deciso di inserire in una nuova rete di monitoraggio simile per tipologia a quella già realizzata e in capo alla Musinet (cfr. capitolo 6).

6. Nuovi settori da monitorare

6.1 Monitoraggio blocchi e affioramenti rocciosi

Dalle evidenze di terreno è possibile affermare che i settori ove sono presenti blocchi potenzialmente instabili e/o rimobilizzabili, per i quali è necessario estendere il sistema di monitoraggio sono quelli in corrispondenza della seconda nicchia di distacco e immediatamente a valle di essa.

Tali settori da monitorare coincidono con le zone di potenziale distacco per le quali sono state eseguiti le simulazioni di caduta massi (cfr. capitolo 5).

In particolare le aree di potenziale distacco sono state individuate lungo la porzione di versante compresa tra quota 900 m fino a quota 1150 m circa, nel settore in cui affiora il substrato cristallino, costituito da gneiss leucocratici appartenenti al Massiccio d'Ambin. I rilevamenti di terreno hanno evidenziato che i massi ciclopici presenti lungo la seconda nicchia hanno volumetrie comparabili (oltre 2000 m³) con quelle valutate da Carraro (1987) presso il piede. Tale osservazione è congruente con lo scarso grado di fratturazione dei massi e permette di ipotizzare che durante il processo di caduta i blocchi non siano sottoposti a processi di rottura che ne diminuiscano le dimensioni.

Come già accennato i massi mobilizzabili presenti in questi due settori sono già in gran parte monitorati dal sistema della Musinet, messo in opera ai tempi per il monitoraggio a supporto dell'Autostrada A32. Durante il sopralluogo del 2014 tale sistema di monitoraggio è stato oggetto di verifica visiva constatandone il buon livello e la buona efficacia.

Partendo da questo presupposto non risulta necessario intensificare ulteriormente il controllo dei blocchi già monitorati; tuttavia in alcuni settori è invece possibile estendere lo stesso, utilizzando le stesse tipologie di strumenti, allo scopo di monitorare altri blocchi potenzialmente movimentabili riconosciuti durante il sopralluogo stesso (Allegato 2 e Elaborato PRV_TS3_C3B_2041_26-48-97_30-01).

Oltre al monitoraggio di massi isolati in taluni settori sarà necessario monitorare porzioni di affioramenti in posto generalmente disarticolati (Fig. 33 e Fig. 34) in taluni casi costituenti il ciglio di scarpate dalle quali potrebbero potenzialmente staccarsi porzioni rocciose e/o blocchi di notevoli dimensioni. Per tali settori si suggerisce ad esempio l'installazione di misuratori di giunti o estensimetri per tenere sotto controllo il grado di apertura delle fratture.

Come per l'esistente rete di monitoraggio della Musinet, anche la nuova rete dovrà essere progettata con lo scopo di monitorare gli elementi potenzialmente instabili tramite l'utilizzo di strumentazione geotecnica che registri le variazioni nel tempo dei parametri che influiscono sullo stato di equilibrio. In particolare dovranno essere monitorati:

- i movimenti relativi dei blocchi rimobilizzabili;
- gli spostamenti differenziali delle porzioni rocciose strapiombanti.

Il controllo delle grandezze avverrà attraverso sensori in grado di registrare:

- la variazione della distanza tra due punti distinti (misuratori di giunti / estensimetri)
- la variazione di inclinazione dell'elemento al quale sono solidali (clinometri).

La rete dovrà essere completa di sistema di lettura e trasmissione automatica dei dati.

Di seguito sono presentati alcuni esempi di blocchi rocciosi per i quali i sopralluoghi hanno suggerito l'installazione della nuova rete di monitoraggio.

Si rimanda all'Allegato 2 per il catalogo completo dei blocchi.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 28 –Esempio di masso ciclopico da monitorare attraverso l'installazione di clinometri.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 29 –Esempio di masso ciclopico da monitorare attraverso l'installazione di clinometri e tiltimetri.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 30 –Esempio di masso ciclopico da monitorare clinometri.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 31 –Esempio di masso ciclopico “piantato” nel terreno da monitorare attraverso l’installazione di clinometri e misuratori di giunti.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 32 – Esempio di masso “appoggiato” da monitorare per mezzo di clinometri.



Fig. 33 – Porzione di substrato disarticolato con massi instabili per crollo e ribaltamento, da monitorare attraverso clinometri, fessurimetri e misuratori di giunti.

Rapport plan de surveillance du versant Maddalena / Relazione piano monitoraggio versante Maddalena



Fig. 34 –Porzione di substrato disarticolato con massi instabili, da monitorare attraverso clinometri, fessurimetri e misuratori di giunti.

6.2 Monitoraggio reti paramassi esistenti

Come già accennato in precedenza, lungo il versante tra circa 800 e 900 m di quota sono presenti una serie di reti paramassi poste in più ordini e disposti a quinconce, posizionate negli anni '90 a protezione del sito archeologico della Maddalena.



Fig. 35 – Dettaglio delle barriere paramassi esistenti presenti lungo il versante.

Contestualmente ai dispositivi di monitoraggio sui blocchi e sugli ammassi rocciosi, anche sulle reti paramassi presenti sul versante dovrà essere prevista la messa in opera di un sistema di monitoraggio (si veda anche elaborato PRV_C3B_2041_26-48-97_30-01). In particolare, allo scopo di verificare l'eventuale attivazione delle barriere paramassi a monte del cantiere, si prevede di strumentare gli elementi strutturali delle barriere con specifici strumenti "sentinella" in grado di segnalare eventuali urti dovuti al rotolamento di blocchi rocciosi intercettati dalle protezioni passive e di rilevare le condizioni residue di funzionalità delle barriere a seguito di tali eventi.

A tal fine si prevede l'installazione di sensori accelerometrici triassiali (si veda scheda in Allegato 3) applicati sui puntoni delle barriere (con passo lineare di circa 15-20m) in grado di rilevare eventi dinamici con accelerazioni superiori a determinate soglie pre-impostate (almeno fino a 10g) e di misurare in continuo l'inclinazione dei puntoni secondo due assi ortogonali allo scopo di tenere sotto controllo la configurazione geometrica delle barriere a seguito del loro azionamento.

I sensori accelerometrici potranno essere di tipo cablato o wireless (questi ultimi preferibili al fine di evitare la posa di conduttori elettrici lungo il pendio).

Le eventuali segnalazioni saranno registrate da un'apposita centralina, che potrà essere ubicata in cantiere, attraverso la quale sarà possibile far scattare un apposito sistema di allarme.



Fig. 36 – Esempio di accelerometro triassiale installato sul puntone di sostegno di una barriera paramassi.

7. Sintesi degli interventi da adottare

Gli elementi descritti nei capitoli precedenti implicano la possibilità, seppur remota, di potenziali crolli di massi di dimensioni considerevoli, e quindi la necessità di individuare soluzioni per la messa in sicurezza dell'area del cantiere.

Sulla scorta dei dati e delle simulazioni eseguite, le soluzioni che si propone di mettere in opera prevedono i seguenti interventi di mitigazione del rischio nei due diversi scenari:

1. *Fase di corso d'opera*: prevedere, in considerazione della temporaneità di tale fase, la messa in opera di:
 - una serie di barriere paramassi a elevata resistenza (altezza minima di 5,5 m), distribuite lungo quasi tutto lo sviluppo del cantiere a ridosso del versante (circa 100 m lineari), nei settori ove non sono già in opera gli interventi nel cantiere del Cunicolo esplorativo della Maddalena;
 - messa in opera di un rilevato paramassi per il tratto limitato al settore degli imbocchi, avente una altezza pari a circa 5 m e larghezza in testa di circa 2,5 m;
 - puntuali interventi di messa in sicurezza sul versante tipo la rimozione (disgaggio) o stabilizzazione (ad es. con ancoraggi o reti aderenti) dei massi individuati;
 - messa in opera di un sistema di monitoraggio con lo scopo di registrare eventuali movimenti dei blocchi più instabili e di eventuali impatti sulle reti paramassi già presenti sul versante, il monitoraggio sarà integrato in un sistema di allarme, con

la definizione di soglie di attenzione e di allarme, a garanzia della sicurezza delle maestranze.

2. Fase di esercizio:

- realizzazione di opere di difesa passive per mezzo di un rilevato paramassi di lunghezza pari a circa 230m ed una altezza di circa 9m (minima 8 m) ubicato a monte della futura area che ospiterà la centrale di ventilazione a protezione della stessa per arrestare i massi di medie-grandi dimensioni;
- eventuale monitoraggio periodico del versante e dei massi instabili con rete di monitoraggio simile a quella attualmente adottata da SITAF per il settore a protezione dell'autostrada A32 e contestuale monitoraggio delle reti paramassi presenti sul versante.

Per una descrizione di dettaglio del sistema di monitoraggio si rimanda all'elaborato PRV_C3B_2041_26-48-97_30-01; per i dettagli delle opere di protezione per la fase di corso d'opera agli elaborati PRV_C3A_3843_26-48-30_30-02 e PRV_C3A_3844_26-48-30_30-03; per le opere di protezione relative alla fase di esercizio agli elaborati PRV_C3A_3854_26-48-35_30-03 e PRV_C3A_3855_26-48-35_40-02.

8. Protocollo di sicurezza

8.1 Frequenza delle letture

Come già anticipato la rete di monitoraggio dovrà essere completa di sistema di lettura e trasmissione automatica dei dati.

La frequenza di monitoraggio sui blocchi rocciosi dovrà avvenire ad intervalli regolari, nelle condizioni di normalità almeno ogni 4-6 ore durante la fase di cantiere e 12 ore nella fase di esercizio, con la possibilità di essere comunque variata in qualsiasi momento direttamente dal centro di gestione, in funzione della mutazione delle condizioni di rischio.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle reti paramassi presenti sul versante, i cui monitoraggio è previsto attraverso sensori accelerometrici, la strumentazione non necessiterà di una specifica frequenza di lettura ma sarà in grado di segnalare in continuo e in tempo reale un potenziale azionamento.

8.2 Scenari presumibili

Lo scenario di riferimento considera il distacco e/o mobilitazione di blocchi di dimensioni ciclopiche. Viste le volumetrie in gioco i sistemi di protezione passivi, come le barriere paramassi presenti lungo il versante, non sono in grado di trattenere blocchi di tali dimensioni (anche > 2000 mc).

Pur essendo verosimile che un eventuale caduta di tali elementi rocciosi si arresti lungo l'area pianeggiante al piede del versante, non si può tuttavia completamente escludere che alcuni blocchi possano anche arrivare ad invadere il piazzale dell'imbocco del tunnel e l'area ove è prevista la centrale di ventilazione.

Sulla base di questo scenario non è possibile suddividere la zona del piazzale in aree a diverso grado di criticità.

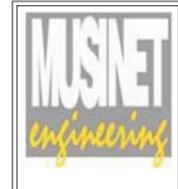
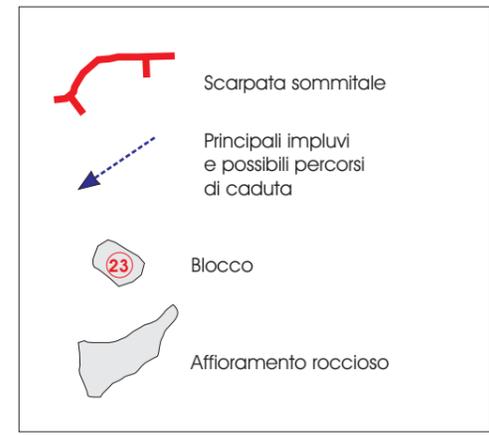
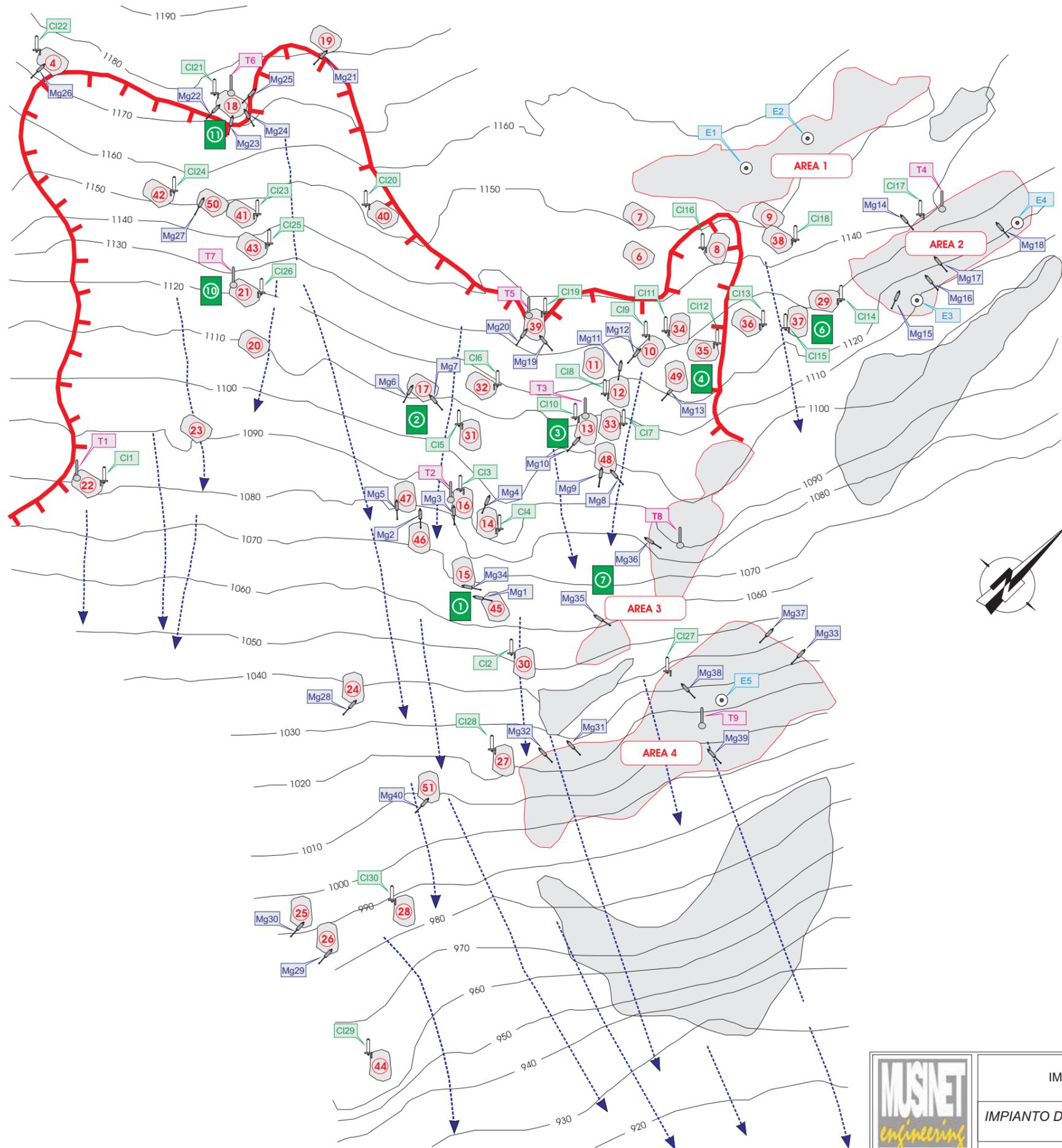
Per questo motivo sia in fase di cantiere che di esercizio, nel caso di registrazione di movimenti da parte della rete di monitoraggio, sarà emanato specifico allarme per le maestranze durante la fase di cantiere e verso l'ente di gestione della centrale di ventilazione nella fase di esercizio con eventuale evacuazione immediata verso i punti raccolta (posti in posizione sicura). Il rientro dell'emergenza dovrà essere effettuata a seguito di uno specifico

sopralluogo sul sito interessato dai movimenti e solo a seguito di questo sarà valutata l'effettiva presenza di pericolo stabilendo pertanto se far rientrare l'allerta.

8.3 Procedure per l'evacuazione e chiusura dell'area

Infine, nello specifico piano di coordinamento della sicurezza devono essere inclusi i rischi di caduta massi e prese tutte le possibili iniziative per far conoscere ai lavoratori presenti nel sito i rischi e le procedure di evacuazione e le relative norme comportamentali per favorire l'evacuazione in sicurezza dell'area di cantiere. Dovranno essere individuati ed evidenziati i punti di raccolta dei lavoratori e le vie di fuga.

9. Allegato 1



A32 - TORINO BARDONECCHIA
 IMPIANTI DI MONITORAGGIO TERRITORIALE, GEOTECNICO
 E SISMICO DELLA VALLE DI SUSÀ
 IMPIANTO DI MONITORAGGIO DEI VERSANTI DELL'AREA DI CHIOMONTE
 TRONCO III
 SITO 1 - UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

TAVOLA:
03
 FILE:
 TAV_03_S1

10. Allegato 2

Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341171.69	4999645.9

Codice massa
M1

Tipologia strumentazione prevista
misuratore di giunti
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341238.87	4999699.04

Codice masso
M2

Tipologia strumentazione prevista
misuratore di giunti
clinometro

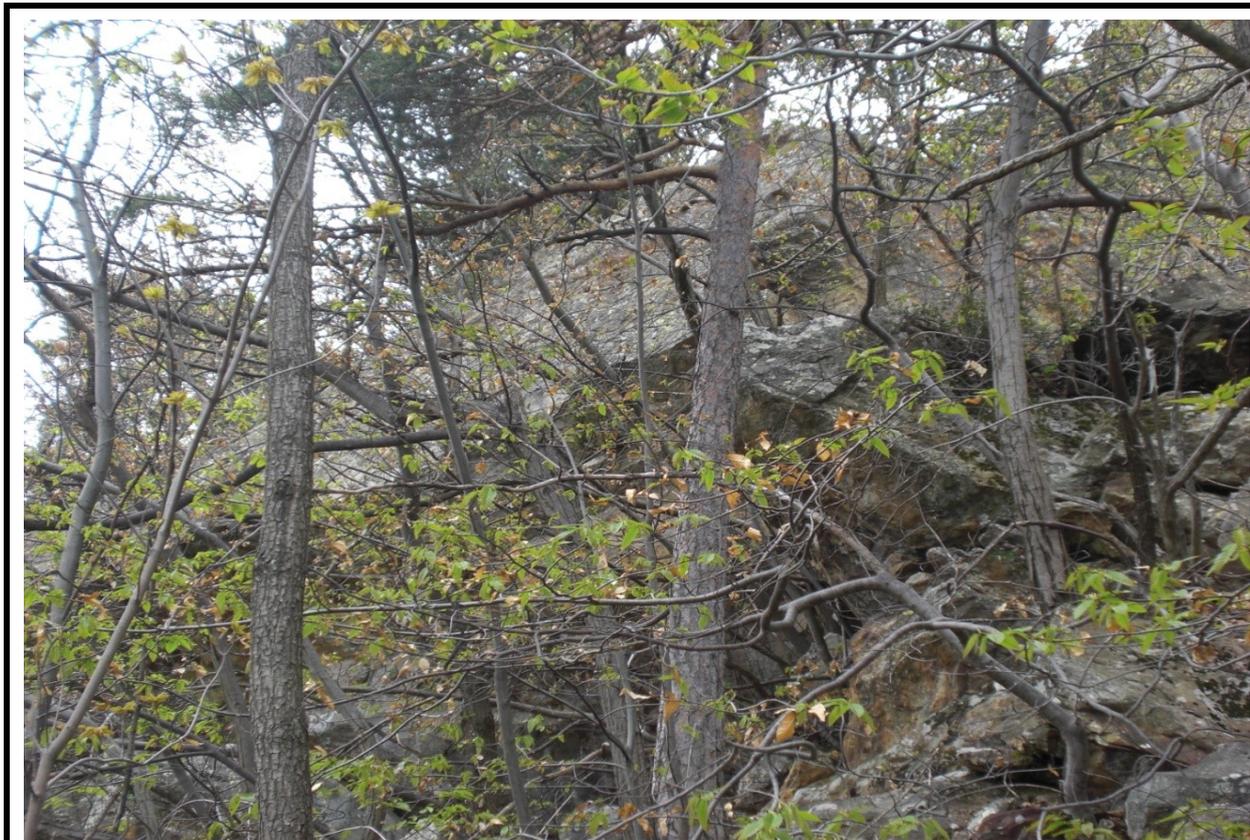


Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341254.13	4999783.91

Codice massa
M3

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341246.85	4999760.08

Codice masso
M4

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341282.93	4999796.31

Codice masso
M5

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti
estensimetro

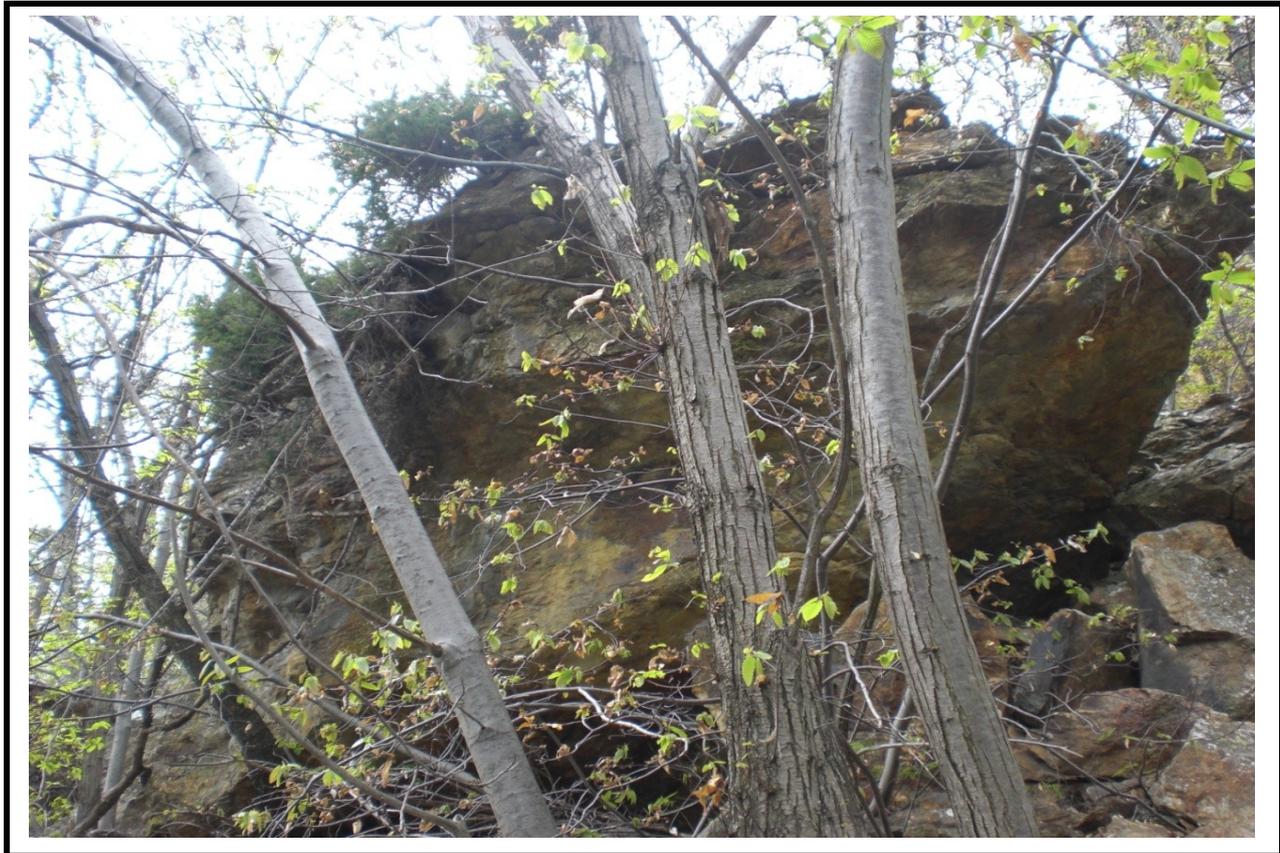


Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341293.68	4999805.04

Codice masso
M6

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341325.65	4999831.04

Codice masso
M7

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341356.35	4999781.24

Codice masso
M8

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti
estensimetro

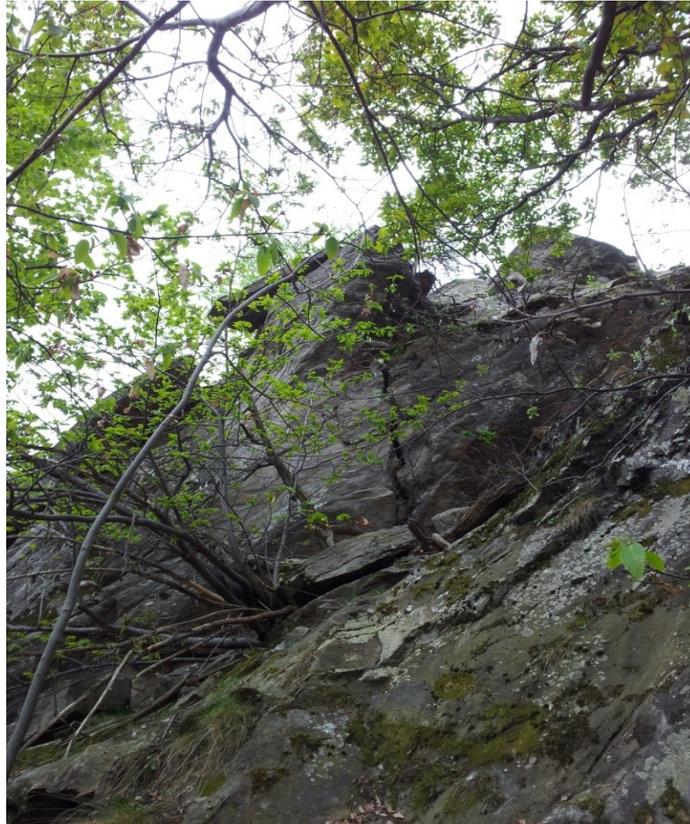


Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341386.32	4999765.16

Codice masso
M9

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341156.32	4999569.48

Codice masso
M10

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341256.44	4999636.90

Codice masso
M11

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341189.93	4999604.54

Codice masso
M12

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti
estensimetro

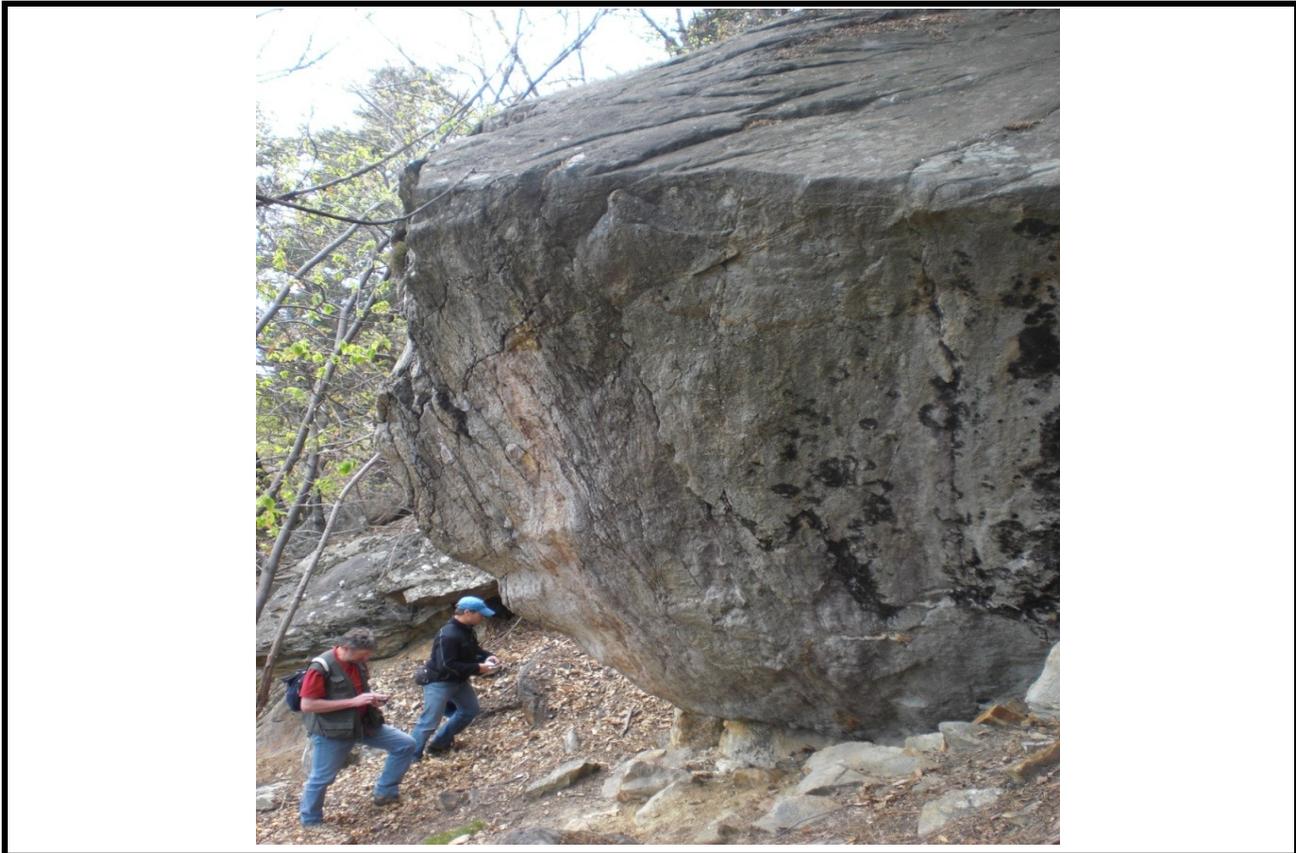


Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341178.18	4999597.28

Codice masso
M13

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341156.00	4999569.00

Codice masso
M14

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341166.37	4999559.11

Codice masso
M15

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti

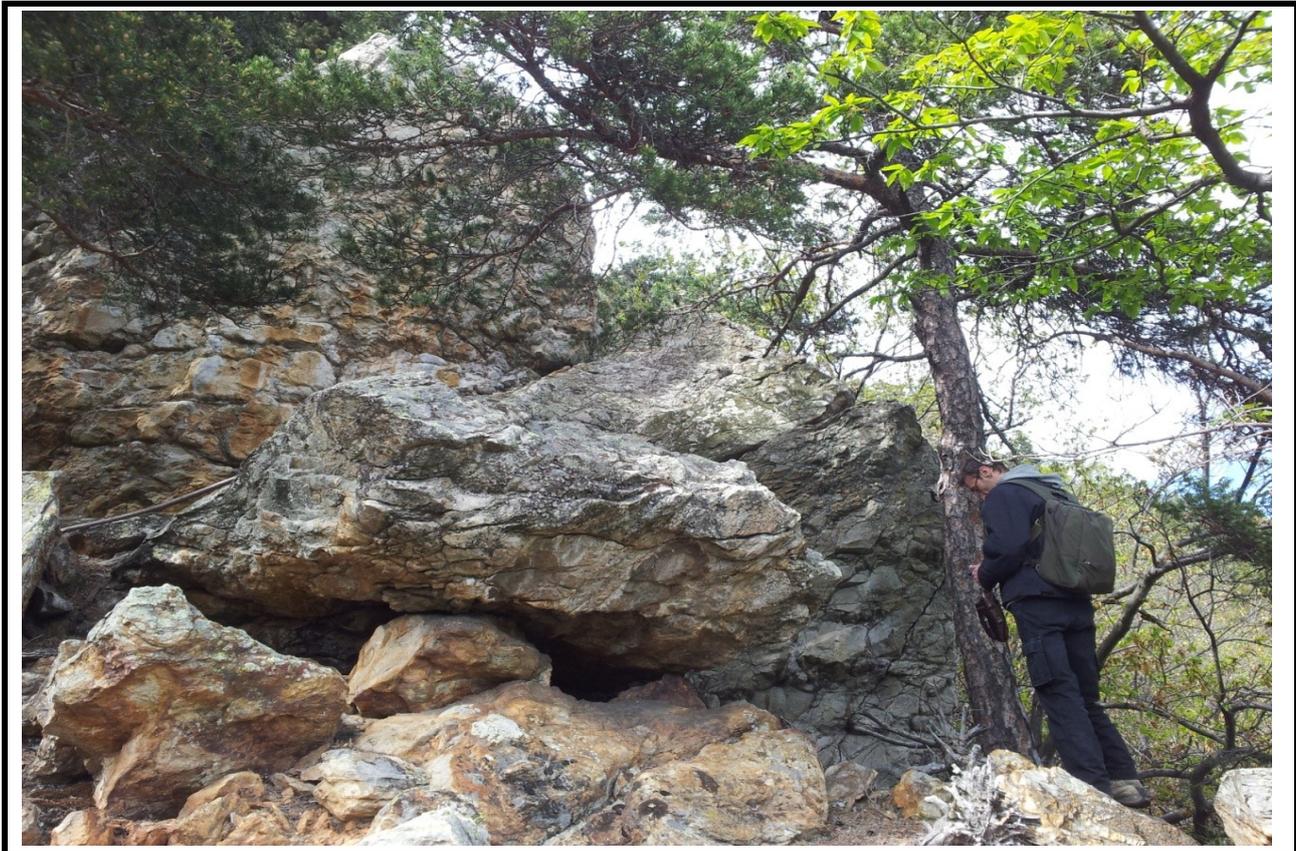


Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341194.87	4999512.61

Codice masso
M16

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341193.26	4999498.42

Codice masso
M17

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341193.27	4999473.51

Codice masso
M18

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341248.16	4999535.40

Codice masso
M19

Tipologia strumentazione prevista
clinometro



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341383.68	4999659.51

Codice masso
M20

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341423.25	4999709.32

Codice masso
M21

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti



Scheda monografica dei massi da monitorare

Coordinate (UTM WGS84)	
E	N
341408.73	4999739.58

Codice masso
M22

Tipologia strumentazione prevista
clinometro
misuratore di giunti
estensimetro



11. Allegato 3

Specifiche Tecniche

Alimentazione	Batteria interna al Litio interna da 7,7Ah (Tipo C)
Autonomia	5 anni (tipica, misure ogni 30 minuti)
Grandezze Acquisite (4 canali)	<ul style="list-style-type: none">• Accelerazione su tre assi• Inclinazione Biassiale• Temperatura
Intervallo di Campionamento	Selezionabile da 1 minuto a 7 giorni *
Temperatura di Impiego	Operativa: -30°C ÷ +60°C Stoccaggio: -40°C ÷ +70°C
Frequenza Radio	ISM 868MHz
Portata Radio in Aria Libera	300m on sight
Grado di Protezione	IP65
Dimensioni	120 x 90 x 50mm
Peso	350g
Materiale Contenitore	ABS
Fissaggio	Su quattro punti



Wireless Smart Datalogger

Datalogger per accelerazione triassiale, inclinazione biassiale e temperatura.

Concepito espressamente per il monitoraggio continuo di strutture per la difesa e la protezione idro-geologica quali barriere paramassi e fermande, opere paravalanghe e di difesa spondale.

In condizioni statiche, il datalogger invia alla base station l'inclinazione sui due assi e la temperatura ambiente, secondo l'intervallo di campionamento impostato.

In caso di evento dinamico (ad esempio dovuto all'urto conseguente ad un fenomeno franoso sull'opera di protezione), se il valore di accelerazione rilevato supera la soglia imposta, il datalogger invia istantaneamente l'allarme alla base station la quale attiva un relay. Identico comportamento si ha nel caso in cui l'inclinazione superi la soglia impostata ma la segnalazione di allarme viene trasmessa contestualmente alla misura campionata.

Il modulo radio basato sul protocollo WINE garantisce un'ottima portata radio e bassissimi consumi della batteria.

Dispone di una memoria tampone interna che registra le ultime 64.000 misure per canale, anche se fuori rete.

Tramite il software di configurazione si può selezionare l'intervallo di campionamento e attivare fino a due soglie per canale.

Si interfaccia con le seguenti basestations:

- MWDG-GSM
- WDG-GSM
- WLI-DL-GSM

Se necessario si può aumentare la portata radio impiegando fino a un massimo di 32 routers WR11 (massimo 16 per ramo) tra il datalogger e la base station.

Accelerazione

Tipo Sensore	Triassiale - Tecnologia MEMS
Range di misura	± 16g
Risoluzione	4mg
Allarmi	Impostazione soglia comune ai tre assi da remoto e/o in loco

Inclinazione

Tipo Sensore	Biassiale - Tecnologia MEMS
Range di Misura	± 180°
Risoluzione	<1°
Allarmi	Impostazione soglia comune su entrambi gli assi da remoto e/o in loco
Regolazione Zero	Da remoto via GSM e/o in loco

Temperatura

Tipo Sensore	NTC 10K
Range di misura	-30°C .. +60°C
Precisione di misura	± 0,2°C a 25°C
Risoluzione misura	0,01°C

* L'intervallo minimo dipende dal numero di WSD configurati in rete.
Esempio: 1 WSD: 1 minuto, 10 WSD: 10 minuti, 20 WSD: 20 minuti

Le caratteristiche possono essere soggette a variazione senza alcun preavviso.

WB0375 Rev.04