

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE
SEZIONE TRANSFRONTALIERE PARTE IN TERRITORIO ITALIANO
SECTION TRANSFRONTALIERE PARTIE EN TERRITOIRE ITALIEN**


**LOTTO COSTRUTTIVO 1 /LOT DE CONSTRUCTION 1
CANTIERE OPERATIVO 04C /CHANTIER DE CONSTRUCTION 04C
SVINCOLO DI CHIOMONTE IN FASE DI CANTIERE
ECHANGEUR DE CHIOMONTE DANS LA PHASE DE CHANTIER
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION
CUP C11J05000030001 - CIG 6823295927**

**STUDIO GENERALE GEOLOGICO, GEOTECNICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO
RELAZIONE GEOLOGICA**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/04/2017	Première diffusion / Prima emissione	C.BELTRAMI (-)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)	C.GIOVANNETTI (MUSINET ENG.)
A	30/09/2017	Révision suite aux commentaires TELT/ Revisione a seguito commenti TELT	C.BELTRAMI (-)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)	C.GIOVANNETTI (MUSINET ENG.)
B	29/06/2018	Modifica titolo progetto/ Modifications titre du project	L.PERRONE (MUSINET ENG.)	F.ALPE (MUSINET ENG.)	F.ALPE (MUSINET ENG.)

1	0	4	C	C	1	6	1	6	6	N	V	0	2	0	0	
Cat.Lav. Cat.Trav.	Lotto/Lot		Contratto/Contrat				Opera/Oeuvre			Tratto Tronçon	Parte Partie					

E	R	B	G	E	0	1	1	1	B
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Oggetto Object	Numero documento Numéro de document			Indice Index		



Dott. Geol. Federico ALPE
Albo di Torino
N° 706

SCALA / ÉCHELLE

-

I PROGETTISTI/LES DESIGNERS



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI
Albo di Torino
N° 2736

L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR

IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	6
5.1 Zona piemontese	6
5.3 Massiccio d’Ambin.....	8
5.4 Depositi quaternari.....	8
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE	10
6.1 Geomorfologia dell’area di progetto	12
6.2 Glaciazioni	13
6.3 Frana della Maddalena.....	13
6.4 Caduta Massi	20
6.4.1 Risultanze dei sopralluoghi effettuati e descrizione dei luoghi	20
6.4.2 Aree di potenziale distacco	24
7. SIMULAZIONE NUMERICA DEI PROCESSI DI CADUTA MASSI.....	25
7.1 Metodo numerico.....	26
7.1.1 Parametri del blocco roccioso in caduta	26
7.1.2 Parametri del versante	26
7.2 Equazioni del moto	28
7.2.1 Masso in caduta libera e traiettoria da saltellamento	29
7.2.2 Masso in rotolamento o scivolamento	29
7.3 Analisi con metodi probabilistici - Metodo Montecarlo.....	30
7.4 Risultati delle simulazioni	31
7.4.1 Profilo 1	32
7.4.2 Profilo 2	33
7.4.3 Profilo 3 (distacco basso).....	34
7.4.4 Profilo 3 (distacco alto).....	34
7.5 Conclusioni emerse in sede di Progetto definitivo – cfr. PD2_C3A_MUS_0909A	35
8. APPROFONDIMENTI PROGETTO DEFINITIVO TELT E PROGETTO IN VARIANTE TFLT ESEGUITI A VALLE DELLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLO SVINCOLO DE LA MADDALENA.....	37
9. FORME LEGATE ALL’ATTIVITÀ FLUVIO TORRENTIZIA– PERICOLOSITÀ DI CONOIDE	40
9.1 Assetto idrogeologico dell’area di progetto.....	41

LISTE DES TABLES / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Coefficienti di restituzione e angolo di attrito masso – terreno ricavati mediante back-analysis**Errore. Il segnalibro non è definito.**

Tabella 2 - Energia massima attesa per i massi a quota 682 m s.l.m. (punto A)**Errore. Il segnalibro non è definito.**

1. Introduzione

Il presente rapporto ha come oggetto l'analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del settore di territorio interessato dal Progetto Esecutivo dello Svincolo sulla A32 in località Maddalena a Chiomonte (TO), nelle direzioni da e per Torino.

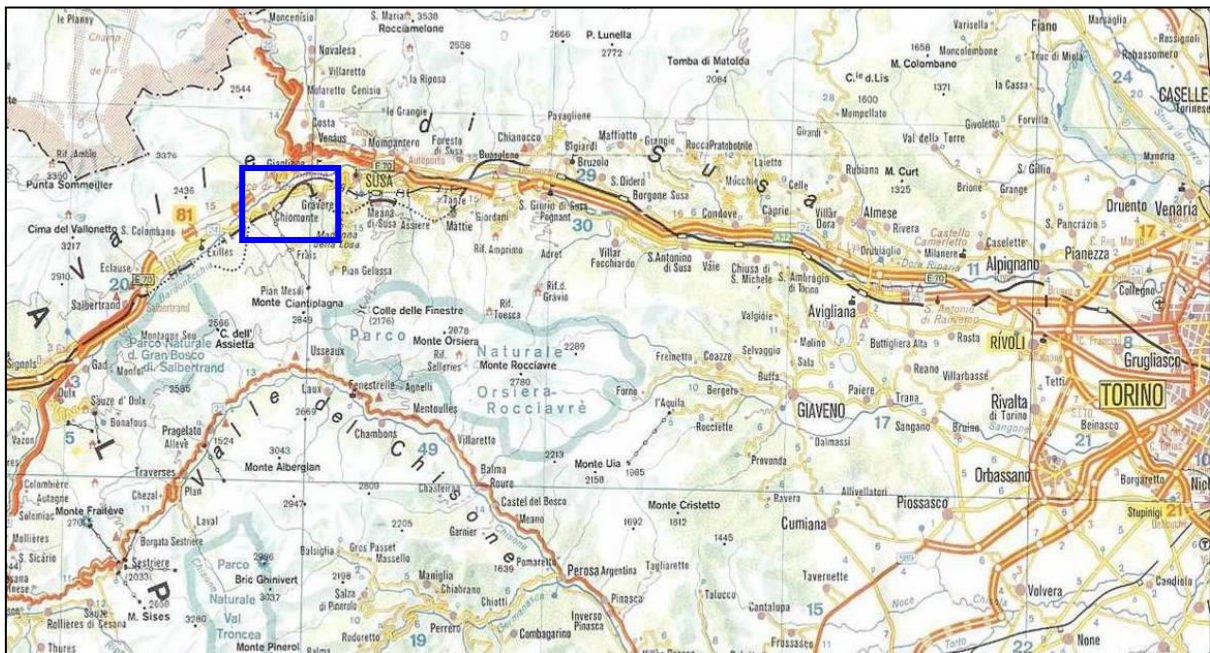
Questo rapporto analizza e descrive il contesto geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico ricostruito durante le seguenti fasi operative:

- ricerca bibliografica di tutti i dati disponibili sulle aree interessate dal progetto, mirata ad acquisire i dati più recenti sull'assetto geodinamico e tettonostratigrafico dell'area indagata;
- rilevamento geologico, geomorfologico;
- analisi fotogeologica in stereoscopia;
- analisi dei risultati delle campagne di indagini geognostiche;
- caratterizzazione idrogeologica dei litotipi affioranti mediante definizione dei complessi idrogeologici;

2. Inquadramento geografico

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).

Lo svincolo in progetto sarà realizzata totalmente in viadotto e occuperà parte dell'area depressa ove è stato realizzato il viadotto sul torrente Clarea dell'esistente autostrada A32 Torino-Bardonecchia.



Inquadramento geografico dell'area di Progetto

3. Documentazione di riferimento

Il Modello Geologico di riferimento descritto nel presente studio si basa principalmente sui dati geologici, geomorfologici e idrogeologici acquisiti mediante indagini e rilevamenti puntuali sul terreno e su dati preesistenti provenienti da studi non finalizzati alla realizzazione dell'infrastruttura in oggetto.

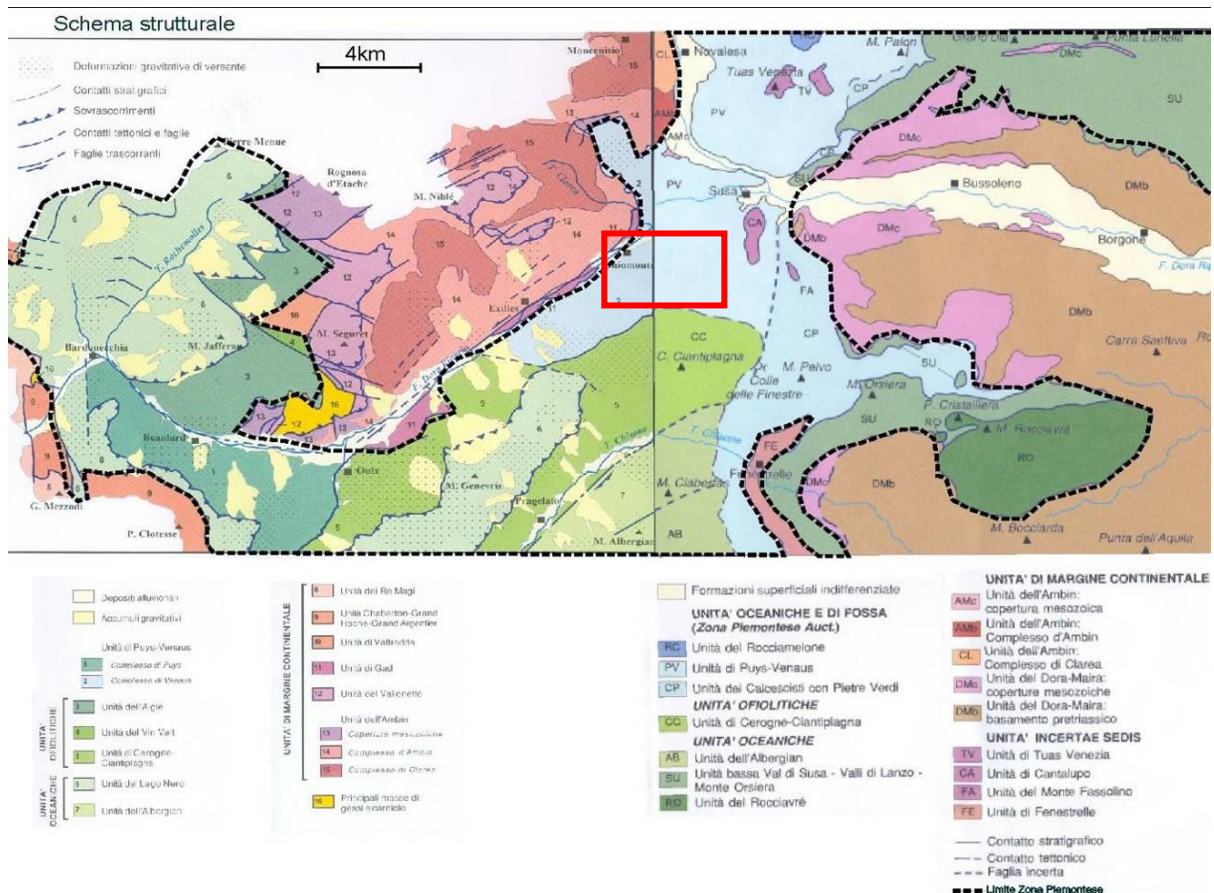
In sintesi, i dati considerati provengono dalle seguenti fonti:

- Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, Foglio 55 Susa & Note illustrative;
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 153 Bardonecchia & Note illustrative;
- Foto aeree volo Regione Piemonte alluvione 2000, in scala 1:14.000 circa, a colori (F153);
- Geoportale ARPA Piemonte (Banca dati Geotecnica);
- Documentazione relativa al Progetto Preliminare dell'interconnessione HVDC Italia-Francia (Relazione geologica e indagini geognostiche);
- Documentazione relativa al Progetto Esecutivo dell'autostrada A32 Torino-Bardonecchia;
- Elaborati del Piano Regolatore Generale Comunale vigente del comune di Chiomonte;
- Risultati delle indagini geognostiche (2011-2012) realizzate nell'area di cantiere e di deposito del sito de La Maddalena;
- Risultati delle indagini geognostiche (2012-2013) realizzate a supporto della progettazione definitiva dello Svincolo de La Maddalena;
- Risultati delle indagini geognostiche (2016) realizzate a supporto della progettazione esecutiva dello Svincolo de La Maddalena;

5. Inquadramento geologico generale

I tracciati delle opere in progetto attraversano un insieme di rocce e sedimenti estremamente vario sia per tipi litologici che caratterizzano le unità geologiche che per il particolare assetto geologico-strutturale. Dal punto di vista geologico, l'area di studio ricade all'interno del dominio Pennidico delle Alpi Occidentali in prossimità del contatto tra le unità tettonometamorfiche della Zona Piemontese e del Massiccio d'Ambin con le relative coperture (Zona Brianzonese).

Le principali formazioni affioranti sono descritte nei capitoli seguenti.



Schema strutturale raffigurante i rapporti geometrici della Zona Piemontese con il massiccio d'Ambin (Polino et alii, 2002, mod.; Carraro et alii, 1999, mod.). In rosso è evidenziata l'area di progetto

5.1 Zona piemontese

La Zona o Unità Piemontese comprende porzioni di crosta oceanica (ofioliti) e coperture metasedimentarie (calcescisti) riferibili all'antico bacino oceanico piemontese, coinvolto nella subduzione e successiva collisione responsabili della genesi della catena alpina.

I litotipi appartenenti a tale Unità si trovano in posizione strutturalmente superiore rispetto alle Unità di basamento Pennidico qui rappresentate dal Massiccio d'Ambin.

La sequenza litostratigrafica del settore della Valle di Susa comprende unità oceaniche di fossa (Zona Piemontese auct., costituita dall'unità di Puy-Venaus e dall'Unità dei

Calcescisti con Pietre Verdi) e unità ofiolitiche (unità Bassa Val di Susa - Valli di Lanzo - Monte Orsiera). Al loro interno sono distinti:

- calcescisti con associati livelli marmorei e subordinate intercalazioni di gneiss albitico - cloritici, micascisti e paragneiss;
- marmi micacei, marmi dolomitici e metadolomie con associati livelli sporadici di carnirole;
- micascisti a granato, micascisti filladici grigio scuri e paragneiss;
- gneiss albitici e gneiss leucocratici, talora con porfiroblasti di K-feldspato (Gneiss di Charbonnel auct.);
- metabasiti: gneiss prasinitici, prasiniti, prasiniti listate, scisti anfibolici, cloritoscisti e metagabbri;
- serpentiniti e serpentinoscisti con locali livelli di cloritoscisti.

Nell'area in esame la Zona piemontese è costituita essenzialmente dall'unità di calcescisti continentali, unità di Puys-Venaus, caratterizzata dall'assenza di ofioliti e dall'associazione tra calcescisti e micascisti feldspatici e/o gneiss quarzitici tipo "Gneiss di Charbonnel" (Lorenzoni, 1965).

Le fondazioni dell'ipotesi progettuale 4bis non dovrebbero intercettare il substrato roccioso; infatti sulla base dei dati disponibili solo i sondaggi S91 e S92 (campagna indagini LTF 2011) realizzati nell'area di deposito del sito de La Maddalena, hanno incontrato il substrato roccioso ma a partire da circa 65 metri di profondità.

Al momento attuale, a causa dell'assenza di dati ed indagini specifiche nel settore, non è possibile escludere che il substrato roccioso, affiorante sui versanti delle gorge del Fiume Dora, non venga intercettato dallo scavo delle fondazioni delle pile (BP1, BP2, BP3) ubicate lungo il versante della dorsale che separa la val Clarea dalla Gorge di Susa. Solamente la realizzazione di sondaggi integrativi potrà permettere di definire con maggior precisione il quadro geologico-geotecnico del settore.

5.3 Massiccio d'Ambin

Il Massiccio d'Ambin affiora diffusamente sul versante sinistro della media e alta Val di Susa al di sotto delle unità oceaniche appartenenti alla Zona Piemontese; è formato da uno zoccolo di meta-sedimenti polimetamorfici denominato Serie (o Gruppo) di Clarea e da un involuppo meta-sedimentario, cui è generalmente attribuita un'età tardo-paleozoica, denominato Serie (o Gruppo) d'Ambin (Michel, 1956, 1957; Fregolent & Lorenzoni, 1960; Lorenzoni, 1965; Gay 1964, 1970, 1972, 1973). Le due serie sono in contatto stratigrafico, sebbene esso coincida con un piano di taglio (Ganne et al., 1999).

In posizione corticale sono preservati lembi di una copertura mesozoica costituita da:

- una serie inferiore autoctona comprendente quarziti (Permo - Eotrias), micascisti, scisti calcarei, calcari a carniole (Trias inferiore e medio);
- una serie superiore parautoctona, comprendente calcari e carniole (Trias - Lias), in contatto tettonico con i Calcescisti dell'unità Piemontese e con le formazioni sottostanti.

La serie di Clarea è costituita da micascisti a granato e glaucofane, a grana fine, di colore grigio scuro, con rare intercalazioni di metabasiti anfibolitiche.

La soprastante successione della Serie di Ambin comprende micascisti, quarzomicascisti, metaconglomerati e paragneiss, derivanti in parte dallo smantellamento del basamento costituito dalla Serie di Clarea e ricoperti a loro volta da una sequenza di copertura calcareo – dolomitica (Gay, 1964).

Nella serie di Ambin sono stati inoltre riconosciuti dei litotipi definiti "leptiniti alcaline" (Gay, 1964) o "ortogneiss aplitici" (Pognante et al., 1984), affioranti allo sbocco della Val Clarea e inglobanti piccoli corpi di metagabbri; a queste rocce è stata assegnata un'età tardo-paleozoica. I metagabbri, più antichi degli ortogneiss, sarebbero stati inglobati in questi ultimi durante la messa in posto delle rocce intrusive.

I litotipi appartenenti al Massiccio d'Ambin non dovrebbero essere incontrati durante la realizzazione delle opere in progetto.

5.4 Depositi quaternari

La sequenza stratigrafica si chiude con una serie potente di depositi di età quaternaria, che costituiscono i terreni di appoggio delle fondazioni dell'ipotesi progettuale in studio; tali depositi possono essere raggruppati principalmente in tre grandi tipologie:

- 1) Depositi glaciali e fluvio-glaciali;
- 2) Depositi alluvionali;
- 3) Depositi gravitativi.

Di seguito si descrivono le caratteristiche di ciascuna tipologia di deposito:

1. Depositi glaciali e fluvio-glaciali: all'interno di tali depositi è possibile distinguere:

- depositi glaciali di ablazione caratterizzati dalla presenza di ciottoli e blocchi eterometrici e poligenici, immersi in una matrice fine, di tipo sabbioso-limoso;
- depositi fluvio-glaciali; si tratta di depositi grossolani costituiti da ghiaia con ciottoli a struttura clast-supported in matrice sabbiosa o sabbioso-limoso;
- depositi glaciali di fondo: si tratta di depositi più fini di tipo limoso-sabbioso, caratterizzati da una tessitura generalmente di tipo matrix-supported, con scarsi ciottoli;

2. Depositi alluvionali: all'interno di tali depositi è possibile distinguere:

- depositi di fondovalle; all'interno dei sedimenti alluvionali di fondovalle si possono distinguere una litofacies ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa prevalente, costituita da ghiaie e ghiaie ciottolose in scarsa matrice sabbioso-ghiaiosa (clast-supported), una litofacies prevalentemente sabbioso-limosa con subordinata ghiaia e ciottoli ed una facies limoso-sabbiosa subordinata che dà vita a livelli discontinui di potenza metrica all'interno delle facies più grossolane.
 - depositi torrentizi dei tributari minori; si tratta di depositi recenti costituiti prevalentemente da ciottoli e blocchi eterometrici con scarsa o nulla matrice ghiaioso-sabbiosa, presenti con modesto spessore lungo le aste dei tributari minori;
 - depositi di conoide; tali depositi sono particolarmente sviluppati allo sbocco nel fondovalle dei rii principali e originano dei potenti accumuli costituiti da materiali che presentano caratteristiche granulometriche e tessiture comparabili con quelle dei depositi fluviali di fondovalle, ma che sono caratterizzati da maggiori vuoti interstiziali, un grado di classazione inferiore, ed un minor coefficiente di arrotondamento dei blocchi.
3. Depositi gravitativi: all'interno di tali depositi è possibile distinguere:
- I depositi di origine mista comprendono i depositi per debris flow, di origine torrentizia e di valanga; sono costituiti da litofacies molto variabili tra le quali prevale generalmente un diamicton a matrice sabbiosa con intercalazioni di sabbie ghiaiose.
 - Gli accumuli gravitativi costituiscono depositi caratterizzati dalla presenza di clasti e massi angolosi, eterometrici, con tessitura da open work a partially open work, privi di qualsiasi classazione granulometrica. Corrispondono geneticamente ai fenomeni classificati come crolli (falls), comprendono gli accumuli delle frane per colamento (earth/mud flows) e derivano dalla mobilizzazione prevalentemente della coltre detritico-colluviale o della porzione più superficiale del substrato alterato e/o disgregato.
 - I detriti di falda rappresentano il prodotto del processo di disgregazione meccanica termica e crioclastica del substrato. Sono costituiti da ghiaie clast - supported ad elementi generalmente spigolosi, localmente con tessitura open - work e scarsa matrice, talora sono presenti blocchi di grandi dimensioni. La natura dei clasti rispecchia strettamente quella delle unità litostratigrafiche locali.

La coltre eluvio-colluviale, affiora molto estesamente e rappresenta il prodotto della degradazione superficiale di formazioni del substrato particolarmente alterabili. Si tratta di prodotti matrix - supported, a prevalente matrice argilloso - limosa, nella quale sono immersi clasti angolosi derivanti dalla rielaborazione di formazioni superficiali. Gli spessori sono estremamente variabili (da decimetrico a pluri-metrico).

6. Inquadramento geomorfologico regionale

L'attuale morfologia della Val Susa è il risultato di un complesso modellamento operato da diversi agenti morfogenetici che si sono susseguiti a partire dal Pliocene, anche se solo a partire dal Pleistocene medio si hanno testimonianze geologiche e geomorfologiche. Si riconoscono forme e depositi associate al modellamento glaciale i cui relitti sono conservati prevalentemente alla fronte e ai lati dell'originaria massa glaciale, la cui distribuzione consente di ricostruire le fasi principali di espansione e di ritiro del ghiacciaio vallivo. Dopo l'ultimo ritiro, la morfologia glaciale è stata rimodellata ad opera dei processi di dinamica fluviale della Dora Riparia, fluviale torrentizia dei bacini laterali e dei processi gravitativi di versante.

Successivamente alla costruzione dell'Anfiteatro di Rivoli - Avigliana, di cui si ha traccia a partire dal Pleistocene medio, il deterioramento climatico avviatosi alla fine del Pleistocene inferiore ha infatti determinato il passaggio da condizioni di tipo caldo-umido a un periodo caratterizzato da forti contrasti climatici: a fasi "interglaciali", caratterizzate da un clima umido-temperato simile a quello attuale, si sono alternati periodi "glaciali" sensibilmente più freddi.

Dopo la fase di massima espansione dell'ultima glaciazione (Pleistocene sup., Last Glacial Maximum - LGM) nella valle principale persisteva ancora il ghiacciaio della Val Cenischia, trasformando la media Val di Susa in valle sospesa ("gradino di Gravera").

I depositi più antichi sono rappresentati dall'Allogruppo di Bennale che forma lembi di depositi caratterizzati da un forte rimodellamento ed ubicati in una fascia altimetrica più o meno elevata, funzione della posizione rispetto allo sbocco vallivo. Tali depositi, che costituiscono la cerchia più esterna attualmente conservata, sono riferibili al Pleistocene medio (Unità di La Cassa). Nella parte superiore del Pleistocene medio ha luogo una nuova espansione glaciale. L'avanzata della fronte glaciale verso Sud ha comportato radicali variazioni nell'andamento del corso del T. Sangone il cui deflusso, originariamente impostato lungo la depressione dei Laghi di Avigliana, è stato sospinto a ridosso del rilievo del M. Pietraborga dando luogo al solco epigenetico che corrisponde alla "stretta" di Trana.

Le fasi successive (Allogruppo del Moncenisio) sono testimoniate da depositi distribuiti su fasce altimetriche progressivamente più basse; tra queste la più alta e più antica è attribuibile, in base alla sua correlabilità altimetrica con le cerchie maggiori dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli - Avigliana (Alloformazione di Frassinere), e le successive ai diversi stadi di ritiro attribuibile al Pleistocene superiore (Alloformazione di Magnoletto e Alloformazione di Venaus).

Nella parte inferiore del Pleistocene superiore, a seguito di un nuovo deterioramento climatico successivo all'interglaciale eemiano, nell'arco alpino prende avvio una nuova glaciazione: nella Valle di Susa l'avanzamento della fronte glaciale comporta la costruzione delle cerchie intermedie dell'Anfiteatro di Rivoli - Avigliana, dei corrispondenti depositi fluvio-glaciali e di quelli fluvio-lacustri. La riavanzata della fronte glaciale verso Sud ha nuovamente sospinto il T. Sangone comportando un ulteriore approfondimento della "stretta" di Trana.

Nella parte terminale del Pleistocene superiore, il ghiacciaio della Dora Riparia è interessato da altre tre fasi di espansione alle quali è connessa la formazione di altrettante cerchie. La sequenza cataglaciale è stata accompagnata e seguita dalla nascita di alcuni bacini lacustri: i dati relativi a sondaggi e pozzi per acqua attestano infatti che nel fondovalle principale sono esistite diverse configurazioni di un esteso lago proglaciale, ora colmato, le cui uniche tracce rilevabili in superficie sono conservate ai margini dell'incisione della Dora Riparia in forma di lembi di superfici terrazzate localizzate sul versante destro tra Avigliana e Alpi gnano.

In corrispondenza della depressione di Avigliana le tracce di questi antichi bacini lacustri corrispondono alla torbiera di Trana e alla Palude dei Mareschi; il Lago Grande e il Lago Piccolo rappresentano invece gli unici bacini lacustri postglaciali sopravvissuti fino ad oggi, sebbene anch'essi risultino in lento ma graduale colmamento.

Contemporaneamente all'ultima fase di ritiro lo sbarramento costituito dalle cerchie frontali formatesi durante l'LGM ha determinato la formazione di un esteso bacino lacustre. L'areale di distribuzione dei depositi di interrimento di questo bacino, attualmente quasi completamente sepolti dai depositi alluvionali postglaciali, è compresa tra Sant'Antonino e Avigliana. Presso Villardora, le analisi polliniche, effettuate nella parte alta della successione di colmamento, causata dalla Dora e dai suoi affluenti laterali, hanno consentito di riconoscere un intervallo di tempo compreso tra la fine del Pleistocene superiore e l'Olocene medio.

Indagini di sismica ad alta risoluzione effettuate nel tratto terminale della Valle di Susa indicherebbero la presenza dei sedimenti "Villafranchiano" Auct. (rappresentati dall'Unità di La Cassa come riportato nel Foglio Torino Ovest della Carta Geologica d'Italia 1:50'000) anche al di sotto del complesso lacustre post-glaciale localizzato nel settore interno dell'anfiteatro. L'alta energia dei versanti provocata dall'esarazione e dal ritiro delle masse glaciali (rilascio di stress da deglaciazione), le caratteristiche lito - strutturali e geomeccaniche e i legami fra deformazioni gravitative ed evoluzione geodinamica sono le principali cause predisponenti delle numerose frane che coinvolgono estese porzioni di versanti. Per alcune frane è possibile ipotizzare come causa predisponente la presenza di forti riduzioni di volume dell'ammasso roccioso in profondità a seguito di generalizzati processi di dissoluzione di rocce carbonatiche e solfatiche.

Tali frane, il cui riconoscimento è basato sulla presenza di forme tipiche, sono denominate "Deformazioni Gravitative Profonde di Versante" (DGPV) ed hanno un peso determinante nella morfogenesi dei versanti.

Altri processi morfogenetici, attualmente in formazione ossia tuttora in rapporto diretto con l'agente (corso d'acqua, ghiacciaio, nicchie di distacco, ecc.) dal quale hanno preso origine, sono arealmente diffusi e rappresentati dai depositi fluviali, che formano in superficie i fondovalle delle Valli di Susa e Cenischia, da depositi di origine mista, dai detriti di falda e dalla coltre eluvio - colluviale.

All'interno dei depositi alluvionali di fondovalle si possono distinguere due litofacies: una ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa, e l'altra limoso-sabbiosa. La litofacies grossolana, che trova una distribuzione più generalizzata, è costituita da ghiaie e ghiaie ciottolose sabbioso-ghiaiose clast-supported, mal stratificate, passanti a sabbie ghiaiose con stratificazione planare. La litofacies limoso-sabbiosa è costituita da limi sabbiosi localmente con livelli torbosi verso l'alto, debolmente stratificati, con uno spessore medio di qualche metro. Essi costituiscono tipicamente il letto attuale di piena dei corsi d'acqua, le superfici suborizzontali di fondovalle fiancheggianti i corsi d'acqua, corrispondenti alle aree di potenziale esondazione, ed i conoidi allo sbocco dei bacini tributari.

I depositi di origine mista comprendono i depositi di debris flow, di origine torrentizia e di valanga: negli areali più rappresentativi i corpi da questi costituiti tendono a mascherare i depositi glaciali o gli accumuli gravitativi completamente formati. Sono costituiti da litofacies molto variabili tra le quali prevale generalmente un diamicton a matrice sabbiosa con intercalazioni di sabbie ghiaiose.

Gli accumuli gravitativi costituiscono depositi caratterizzati dalla presenza di clasti e massi angolosi, eterometrici, con tessitura da open work a partially open work, privi di qualsiasi classazione granulometria che corrispondono geneticamente ai fenomeni classificati come

crolli. Inoltre comprendono gli accumuli delle frane per colamento (earth/mud flows) e derivano dalla mobilitazione prevalentemente della coltre detritico-colluviale o della porzione più superficiale del substrato alterato e/o disgregato.

I detriti di falda costituiscono estesi areali di distribuzione e rappresentano il prodotto del processo di disgregazione meccanica termo e crio - clastica. Sono costituiti da ghiaie ad elementi generalmente spigolosi clast - supported, localmente con tessitura open - work e scarsa matrice, talora a elementi di grandi dimensioni. La natura dei clasti rispecchia strettamente quella delle unità tettonostratigrafiche locali.

La coltre eluvio - colluviale, affiora molto estesamente e rappresenta il prodotto della degradazione superficiale di formazioni del substrato particolarmente alterabili. Si tratta di prodotti matrix - supported, a prevalente matrice argilloso - limosa nerastra, nella quale sono immersi clasti angolosi (del tutto subordinatamente arrotondati, derivati dalla rielaborazione di formazioni superficiali) di calcescisti, dei litotipi ad essi associati e della copertura. Gli spessori sono estremamente variabili (da decimetrico a metrico).

6.1 Geomorfologia dell'area di progetto

I tratti distintivi della geomorfologia del settore sono definiti dall'incisione glaciale della Val Clarea, più bassa rispetto alla soglia glaciale di Gravera, 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 (foto sottostante; Panoramica dell'imbocco della val Clarea).

I principali tratti distintivi della geomorfologia del settore sono riportati nella Carta geologica-geomorfologica di progetto.



6.2 Glaciazioni

Durante le pulsazioni glaciali descritte e riconosciute in valle Susa, in val Clarea era sicuramente presente un ghiacciaio vallivo che è probabilmente sopravvissuto alla fase di ritiro del ghiacciaio segusino, i cui resti sono attualmente testimoniati dai ghiacciai dell'Agnello e del Muttet. La persistenza della massa glaciale del ghiacciaio del Clarea rispetto a quello segusino è testimoniato dalla presenza di depositi a quote più basse rispetto alla soglia di Gravere.

Allo sbocco della val Clarea sono state riconosciute le tracce di tre distinte pulsazioni glaciali (Bertone et al., 1987) che sulla base dei loro rapporti con le fasi glaciali individuate in Valle Susa e in Val Cenischia, possono essere considerate oloceniche in quanto interrompono la continuità dell'unità di Seigneur e dell'Alloformazione di Chiomonte (Foglio Bardonecchia) affioranti più ad Ovest in loc. Maddalena alle quali è stata attribuita un'età pleistocenica superiore – olocenica e che rappresentano i prodotti di riempimento da un paleoalveo della Dora Riparia, intersecato successivamente dalle Gorge di Susa.

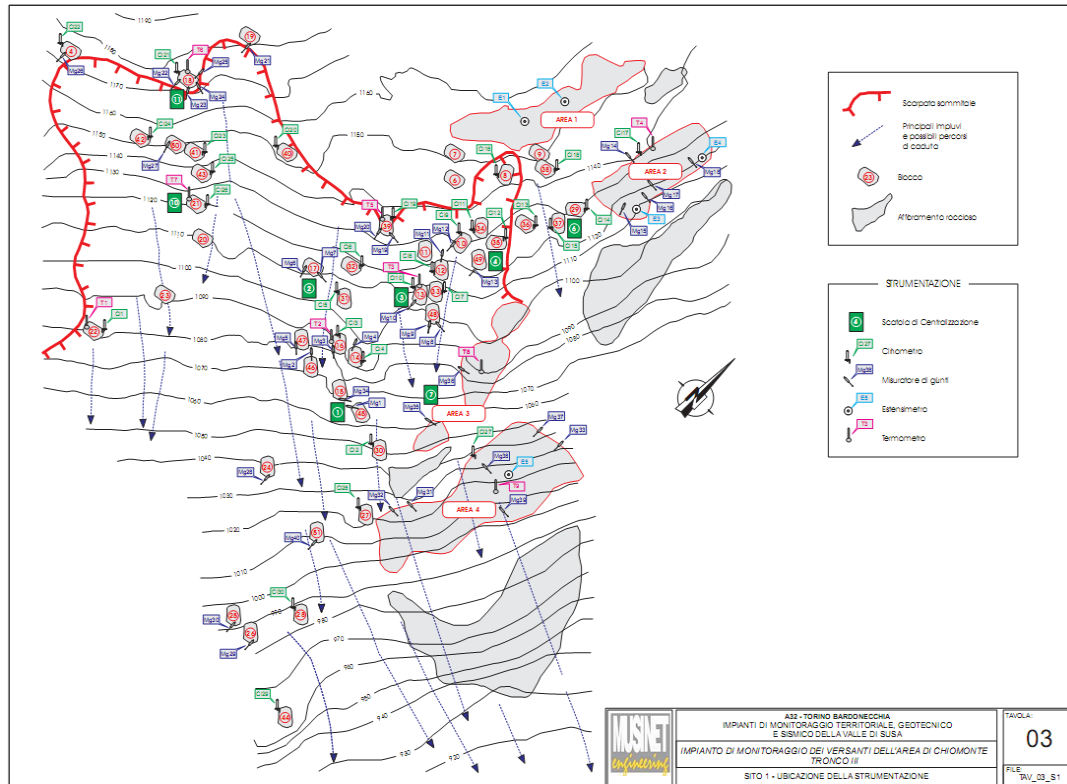
La pulsazione più antica è documentata da ingenti masse di depositi glaciali ben visibili sul versante sinistro della Valle Clarea (Pian delle Rovine), sui quali è attualmente impostato un evidente processo di erosione di tipo calanchivo, e dai depositi che formano il rilievo arcuato che delimita l'ansa della Dora presso lo sbocco della valle Clarea.

La seconda espansione è testimoniata da depositi fluvioglaciali posti allo sbocco vallivo che costituiscono estesi lembi terrazzati conservati sia in sinistra che in destra idrografica. La posizione della massa glaciale doveva essere più arretrata rispetto alla precedente. Il lembo di destra forma il terrazzo su cui è situato il sito archeologico.

L'ultima espansione è documentata da depositi presso l'abitato di Clarea. La loro deposizione è avvenuta all'interno della precedente valle glaciale scavata dal ghiacciaio nei depositi abbandonati nella precedente espansione e testimonia che è stata di entità più modesta rispetto alle precedenti. La presenza di tali depositi ha verosimilmente provocato, in sponda destra idrografica, la formazione di un piccolo bacino lacustre nel quale è avvenuta una sedimentazione a granulometria fine e con una spiccata stratificazione.

6.3 Frana della Maddalena

La frana de "La Maddalena" ha una forma all'incirca triangolare con un'area di circa 3 km² ed è individuabile da due scarpate principali di altezza decametrica. 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 un sistema di monitoraggio. Il corpo di frana è costituito da un ammasso roccioso disarticolato, presente 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.



Ubicazione dei massi monitorati e tipologia della strumentazione



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.

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 breccie 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 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.

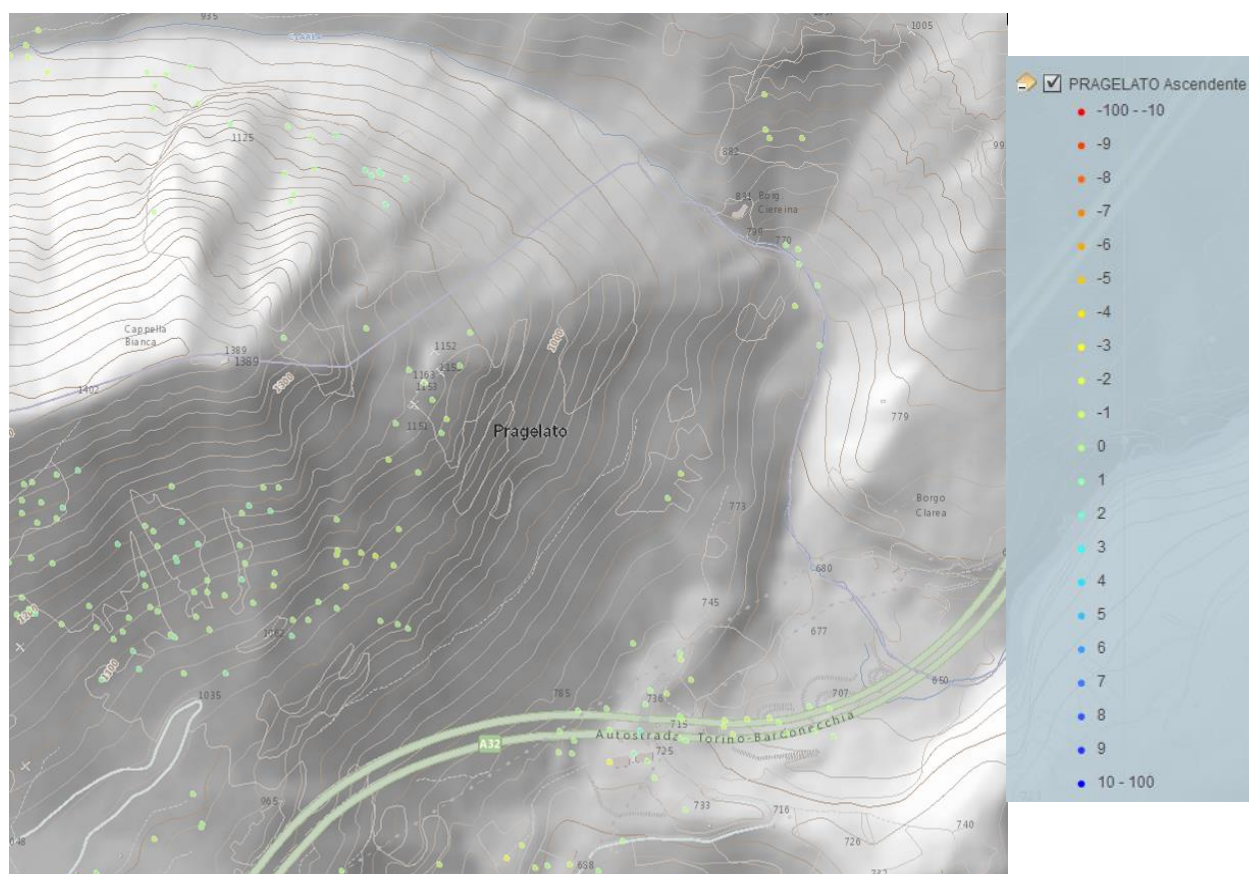
La presenza di grossi massi in abbondante matrice fine testimonia che il primo episodio gravitativo si è presumibilmente verificato nel momento in cui si stava ultimando la sedimentazione dei depositi glaciali di fondovalle. La presenza di grossi massi con poca o scarsa matrice fine testimonia il secondo 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 parte 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.



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.

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.

Nel complesso l’impianto, che controlla la stabilità di circa 40 blocchi ciclopici e di 5 affioramenti rocciosi, è costituito da 40 misuratori di giunti (per il controllo della variazione lineare della distanza tra due punti incernierati al trasduttore di spostamento), 30 clinometri (atti alla verifica della deviazione angolare di elementi solidali al sensore), 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) e 10 termometri.

Sono monitorati massi ciclopici movimentabili per:

- crollo da ammassi rocciosi disarticolate e fratturati
- per scalzamento al piede di massi appoggiati su depositi detritici

Il monitoraggio, protrattosi a partire dagli anni ‘90, evidenzia l’assenza di movimenti.



Esempio di massi potenzialmente instabili per fenomeni di crollo.



Esempio di masso ciclopico “appoggiato al terreno”.

6.4 Caduta Massi

A seguito delle richieste di integrazione effettuate dalla Regione Piemonte (allegato 1 alla nota prot.3727/DB 12.06, punto 13 in particolare) è stata realizzata una ulteriore campagna di rilievi di terreno mirata all'approfondimento dell'ubicazione e caratterizzazione delle aree di potenziale distacco.

6.4.1 Risultanze dei sopralluoghi effettuati e descrizione dei luoghi

In riferimento alle tipologie di movimentazione dei massi (per crollo e per scalzamento al piede) il sopralluogo di terreno ha evidenziato che:

1) lungo la nicchia superiore non si notano particolari situazioni dissestive 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 tilmetri e con fessurimetri. In tale zona sono stati osservati alcuni settori con massi instabili in quanto visibilmente ruotati e dislocati dalla loro posizione originaria e tracce di passaggio di massi.

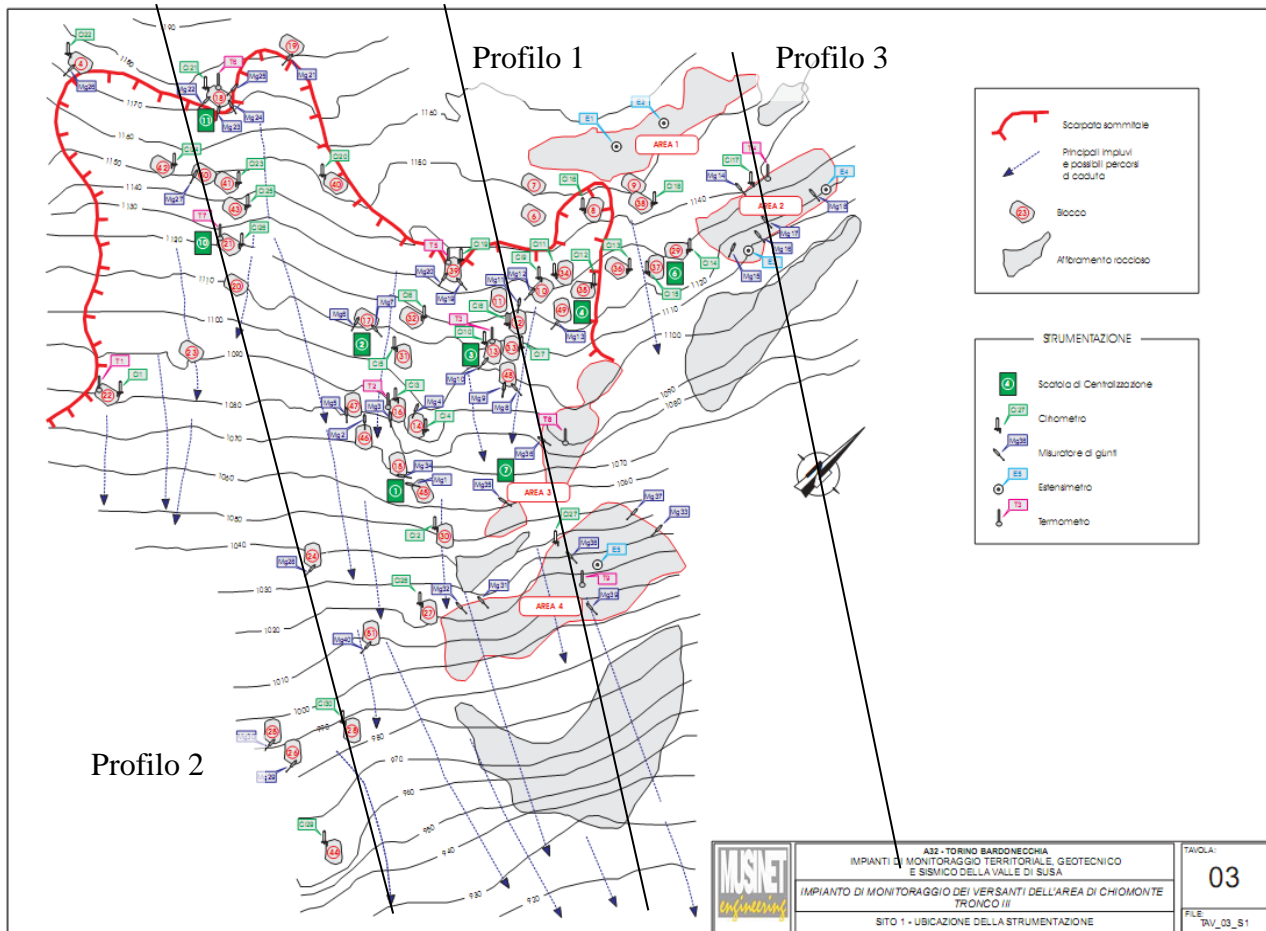
4) a valle della seconda nicchia i massi ciclopici sono appoggiati su depositi detritici a pezzatura più fine e quindi potenzialmente movimentabili per scalzamento al piede.

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 tunnel della Maddalena, attualmente in fase di scavo, è stata realizzata una barriera di reti paramassi.



Ubicazione dei massi monitorati e tipologia della strumentazione. Sono indicati i profili utilizzati per la simulazione numerica di caduta massi.



Porzione di substrato disarticolato con massi instabili per crollo e ribaltamento.



Tracce di passaggio di caduta massi: albero spezzato (A) all'altezza di circa 1 m.

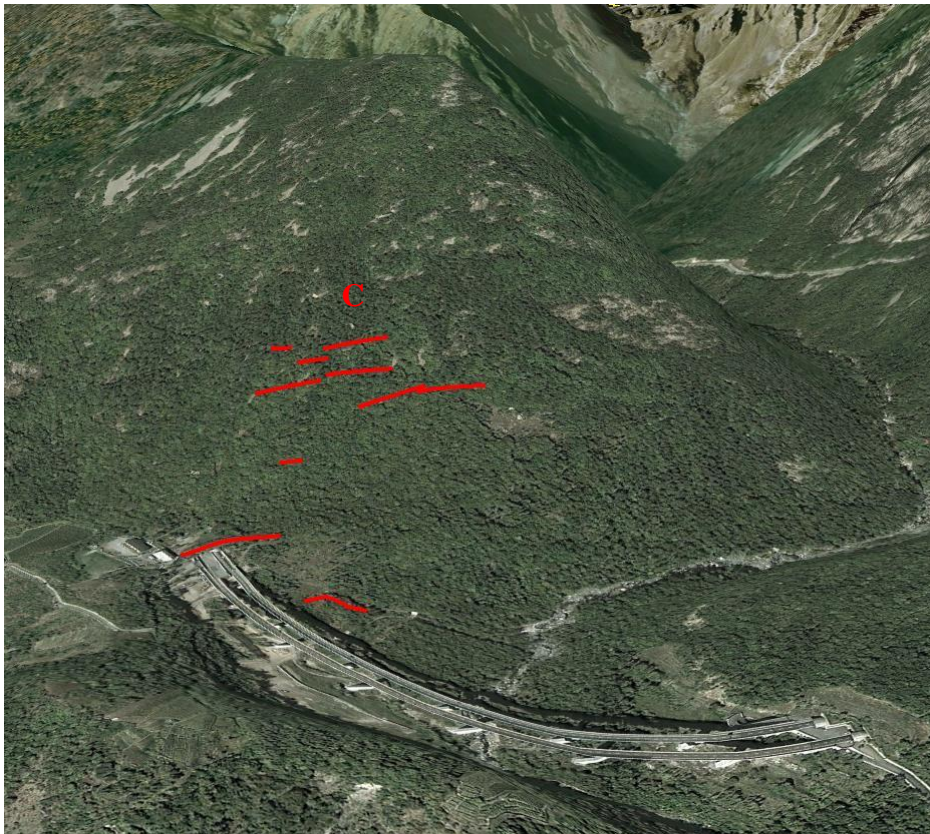


immagine del versante in oggetto tratta da Google Earth con rappresentazione schematica (in rosso) delle barriere paramassi osservate durante i sopralluoghi.



Dettaglio delle barriere paramassi presenti lungo il versante





Barriere in reti paramassi presenti a monte dell'imbocco della galleria del cunicolo della Maddalena.

6.4.2 Aree di potenziale distacco

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 principalmente da gneiss aplitici appartenenti al Massiccio d'Ambin. I rilevamenti di terreno hanno evidenziato che i massi ciclopici presenti lungo la seconda nicchia hanno volumetrie comparabili con quelle valutate da Carraro (1987) presso il piede (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Tale osservazione è congruente con lo scarso grado di fratturazione dei massi e permette di ipotizzare che durante il processo di caduta, non vi siano particolari processi di rottura.



Massi ciclopici presenti nel ripiano retrostante il vallo paramassi.

7. Simulazione numerica dei processi di caduta massi

Le simulazioni numeriche di caduta massi effettuate nel presente approfondimento differiscono rispetto a quella presente nel documento PD2-C3A-MUS-0902-A-AP-NOT per i seguenti aspetti:

- 1) È stata utilizzata come base topografica di partenza un rilievo molto dettagliato con isoipse ogni 2 m, prodotto per la fase di progettazione definitiva dello svincolo di Chiomonte, dal quale sono stati ricavati i profili topografici delle sezioni di simulazione. Queste ultime interessano il versante in oggetto per tutta la sua lunghezza e attraversano l'area sub-pianeggiante dei cantieri sino al cambio di pendenza rappresentato dallo spartiacque tra il torrente Clarea e la Dora Riparia. Per la simulazione realizzata in fase di progettazione definitiva era stata invece utilizzata la Carta Tecnica Provinciale in scala 1:5.000. L'utilizzo di una base topografica più dettagliata ha permesso di ricavare delle sezioni di simulazione lungo il versante caratterizzate da un profilo topografico molto vicino al profilo reale, permettendo di tener conto nei calcoli anche dei cambiamenti di pendenza meno significativi. La topografia più accurata modifica in modo sensibile i risultati in quanto il modello è molto sensibile ai cambiamenti di pendenza.
- 2) Sono state effettuate 1000 simulazione anziché 500 per rendere statisticamente più robusti i risultati.
- 3) Lo studio inoltre è stato realizzato, a favore di sicurezza, senza tener conto della presenza dei differenti ordini di barriere paramassi osservati lungo il versante.

- 4) 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:
 - a. sono state ipotizzate traiettorie abbastanza tese per evitare rimbalzi a campana di altezza eccessivamente elevata,
 - b. 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,
 - c. 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.
- 5) 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.

7.1 Metodo numerico

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 presenza di giunti di una certa persistenza, la loro intersezione ed orientazione secondo la direzione del versante, nonché i considerevoli valori delle aperture (nella maggior parte dei casi si tratta di fratture beanti) che caratterizzano i sistemi principali, possono isolare porzioni rocciose instabili, o in equilibrio precario, potenzialmente mobilizzabili secondo movimenti di scivolamento planare e ribaltamento e di scalzamento al piede.

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.

Il modello richiede la determinazione di parametri caratterizzanti il blocco in caduta e il versante.

7.1.1 Parametri del blocco roccioso in caduta

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

7.1.2 Parametri del versante

Ad ogni singolo tratto di pendio sono associati i parametri necessari per il calcolo dell'interazione massa-versante.

a) Coefficiente di restituzione (E)

È definito come il rapporto fra la velocità prima e dopo ($V1 / V0$ dove $V1$ è la velocità dopo l'urto, $V0$ prima dell'urto) l'impatto del masso con il terreno; tale coefficiente risulta:

- uguale a zero nel caso di un urto completamente anelastico (tutta l'energia cinetica del blocco impattante viene dissipata sotto forma di calore e la velocità del masso dopo l'urto è uguale a zero);
- uguale a uno nel caso di urto completamente elastico (tutta l'energia cinetica viene conservata ed il masso avrà una velocità dopo l'impatto uguale a quella precedente l'urto, cioè $V1=V0$);
- compreso fra 0 e 1 nel caso di urto parzialmente elastico (parte dell'energia cinetica viene conservata e parte dissipata sotto forma di calore; la velocità del masso sarà data da $V1= E \cdot V0$);

Il valore di E è legato principalmente alla litologia ed alla morfologia del versante. Diversi Autori hanno proposto valori medi da applicare a diverse tipologie di pendio. Tali valori sono sempre a controllare mediante *back-analysis* in quanto fortemente dipendenti dal sito di validazione e dall'applicativo utilizzato.

I valori utilizzati derivano da quelli proposti da Broili (1979) e Mazzalai, Vuillermin, (1995):

Tipo substrato	E
apice di conoide detritico	0,05 - 0,10
bosco con sottobosco sviluppato, prato	0,05 - 0,15
copertura detritica con vegetazione folta	0,10 - 0,15
copertura detritica con vegetazione rada	0,20 - 0,30
detrito eluviale di spessore ridotto	0,30 - 0,40
strutture rigide e strade	0,40 - 0,60
roccia affiorante fratturata	0,60 - 0,70
roccia affiorante integra	0,75 - 0,85

b) Angolo d'attrito masso-versante (φ)

Nei tratti di pendio in cui il masso si muove rotolando o scivolando, l'energia cinetica viene dissipata attraverso l'attrito che si sviluppa fra blocco e versante. Tali forze di attrito sono introdotte nel calcolo attraverso il parametro angolo d'attrito masso-versante. Nel caso di un blocco che rotola, φ generalmente possiede valori compresi fra 20° e 40° , con i valori inferiori corrispondenti ai tratti di pendio in roccia privi di scabrosità.

Cocco (1991) propone di considerare per la stima dell'angolo d'attrito terra-masso in fase di rotolamento tre componenti distinte legate rispettivamente alla natura del terreno, alla copertura vegetale e alle asperità del terreno in relazione alle dimensioni del masso. Ogni componente fornisce un contributo, dalla cui somma si ottiene l'angolo d'attrito totale.

I valori dei parametri parziali sono riportati nelle seguenti tabelle:

Natura del terreno	Contributo parziale ($^\circ$)
--------------------	----------------------------------

Roccia nuda	19,5
Detrito	21,0
Alluvioni	26,5
Morena	26,5

Copertura vegetale	Contributo parziale (°)
Terreno nudo	0,0
Prato	3,0
Arbusti	3,5
Frutteto	6,0
Bosco ceduo	4,5
Bosco d'alto fusto	8,5

Asperità del terreno	Contributo parziale (°)
Nessuna	0
Piccola	3
Media	7
Elevata	11

Il modello permette di ricavare E e Φ eseguendo una calibrazione in *back-analysis*; tali parametri sono risultati confrontabili con i valori dei medesimi parametri provenienti da dati di letteratura. I parametri utilizzati nelle simulazioni sono proposti dall'applicativo e sono riportati nella *Tabella 1*.

Tipo substrato	Coefficiente di restituzione E (-)	Angolo d'attrito masso-versante Φ (°)
Roccia affiorante integra	0.85	22
Detrito compatto con vegetazione (ceduo)	0.60	29
Terreno sciolto con vegetazione	0.20	39

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

7.2 Equazioni del moto

Trascurando la resistenza dell'aria, le forze che condizionano il moto del masso in movimento lungo il versante sono la forza di gravità e l'attrito masso-pendio.

Vengono distinti nella simulazione numerica i tratti di versante in cui il moto avviene per caduta libera da quelli in cui avviene per rotolamento o scivolamento. I calcoli vengono eseguiti sulla base delle equazioni proposte da Piteau e Clayton (1977) e da Bassato et al. (1985).

7.2.1 *Masso in caduta libera e traiettoria da saltellamento*

Questo tipo di moto è dominante in pendii con inclinazione superiore ai 45° (Ritchie, 1963).

Il masso inizialmente si muove senza mantenere il contatto con il pendio. La velocità finale di caduta del masso, cioè quella posseduta immediatamente prima dell'impatto con il terreno, secondo le equazioni della meccanica, è data da:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot d};$$

con

$g = 9.807 \text{ m/s}^2$ accelerazione di gravità

d = distanza percorsa in aria dal masso

In seguito all'urto con il terreno il blocco viene proiettato in avanti con una velocità data da:

$$V = \sqrt{(V_i \cdot \sin\beta)^2 \cdot E + (V_i \cdot \cos\beta)^2 \cdot (E \cdot 0.3^{\log E})}$$

con

V_i = velocità d'impatto

β = angolo d'incidenza della traiettoria del masso rispetto al versante;

E = coefficiente di restituzione dell'energia

Per quanto riguarda la determinazione dell'angolo di proiezione del blocco nel rimbalzo dopo l'impatto (angolo θ), l'esperienza dimostra che non è da ritenersi valida l'assunzione, spesso usata nelle simulazioni numeriche, che sia uguale all'angolo d'incidenza. Nella simulazione tale angolo è considerato come parametro variabile in maniera del tutto casuale fra l'orizzontale e la superficie topografica qualunque sia l'angolo d'incidenza (Paronuzzi, 1989) in quanto influenzati dalla presenza di piccole asperità od ostacoli nel terreno.

7.2.2 *Masso in rotolamento o scivolamento*

Questo tipo di moto è dominante in pendii con inclinazione inferiore ai 45° (Ritchie, 1963).

Il blocco, nel caso di rotolamento, si muove con un moto di rototraslazione lungo il pendio, attraverso una serie di piccoli rimbalzi o, nel caso di scivolamento, con un moto di traslazione pura, mantenendo il contatto con la superficie del pendio lungo una faccia, generalmente la più estesa arealmente.

La velocità finale del masso al termine del tratto di pendio considerato può essere valutata attraverso la relazione:

$$V = \sqrt{V_i^2 + (10/7) \cdot g \cdot s \cdot (\text{tg } \alpha - \text{tg } \varphi)}$$

nel caso di moto per rotolamento, o con la formula:

$$V = \sqrt{V_i^2 + 2 \cdot g \cdot s \cdot (\text{sen } \alpha - \text{tg } \varphi \cdot \text{cos } \alpha)}$$

nel caso di moto per scivolamento,

con

- V_i = velocità iniziale lungo il tratto di pendio considerato;
 s = distanza percorsa dal masso lungo il tratto;
 α = inclinazione del pendio;
 φ = angolo d'attrito terra-masso.

Il passaggio da un moto di rotolamento ad uno di scivolamento, nel caso di un masso approssimato da un ellissoide triassiale, avviene quando è verificata la relazione:

$$E < \Delta H \cdot g \cdot m;$$

dove:

- ΔH = differenza fra il semiasse maggiore a e quello minore c ($a-c$);
 g = accelerazione di gravità;
 m = massa del blocco;
 $E = 0,5 \cdot m \cdot V^2 + 0,5 \cdot I \cdot \omega^2$, energia totale posseduta dal masso;
 V = velocità del blocco;
 I = momento d'inerzia del blocco, uguale a $(2/5) mR^2$ per un masso sferico;
 ω = velocità angolare del blocco (velocità di rotazione del masso).

Nel caso di un blocco sferico $\Delta H = 0$, per cui il moto avverrà in pratica solo per rotolamento.

7.3 Analisi con metodi probabilistici - Metodo Montecarlo.

L'incertezza insita nella scelta delle grandezze da introdurre nella simulazione di caduta massi, ed in particolare nei parametri E (coef. di restituzione), φ (angolo d'attrito masso-versante), e V (volume del masso in caduta) consiglia un approccio di tipo probabilistico al problema.

Il metodo probabilistico generalmente utilizzato è quello Montecarlo.

Il metodo Montecarlo si basa sulla generazione di numeri casuali, scelti in determinati intervalli, che godano nel complesso di proprietà statistiche. Fra le varie applicazioni possibili di tali metodi, vi è quella detta "del campionamento" che consiste nel dedurre proprietà generali di un insieme grande, studiandone solo un sottoinsieme casuale, giudicato rappresentativo dell'insieme stesso. E' evidente che maggiori saranno le dimensioni del campione *random*, più rappresentative potranno essere considerate le proprietà dedotte.

Nel caso di applicazione del metodo alla simulazione di caduta massi, la procedura da seguire è la seguente:

- si genera la distribuzione delle variabili aleatorie E (coef. di restituzione), φ e V misurate in situ o stimate, supponendo che sia di tipo gaussiano (cioè rappresentate da una curva a campana, con il valore centrale corrispondente al valore medio);
- attraverso un generatore di numeri casuali, si crea una serie, estesa quanto si vuole, di valori numerici compresi fra 0 e 1;

- si associa ad ogni valore numerico casuale della serie un valore di E , φ e V , rispettando la curva di distribuzione delle probabilità di queste grandezze (facendo cioè in modo che la frequenza con cui un certo parametro viene chiamato nel calcolo sia uguale alla sua probabilità ricavata dalla curva gaussiana di probabilità del parametro stesso); in questo modo si trasforma la serie di numeri casuali generati nel punto precedente in una serie di valori di E , φ e V ;
- si esegue la simulazione per ogni terna di valori E , φ e V .

L'andamento delle traiettorie di caduta collegata ad ogni terna di E , φ e V consente di valutare l'influenza della dispersione dei valori di questi parametri sui percorsi di caduta.

Lo scarto quadratico assunto per il parametro E è di 0,1 mentre quello utilizzato per il parametro φ è stato di 2. Al volume non è stato applicato il metodo Montecarlo (scarto quadratico pari a zero).

7.4 Risultati delle simulazioni

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.

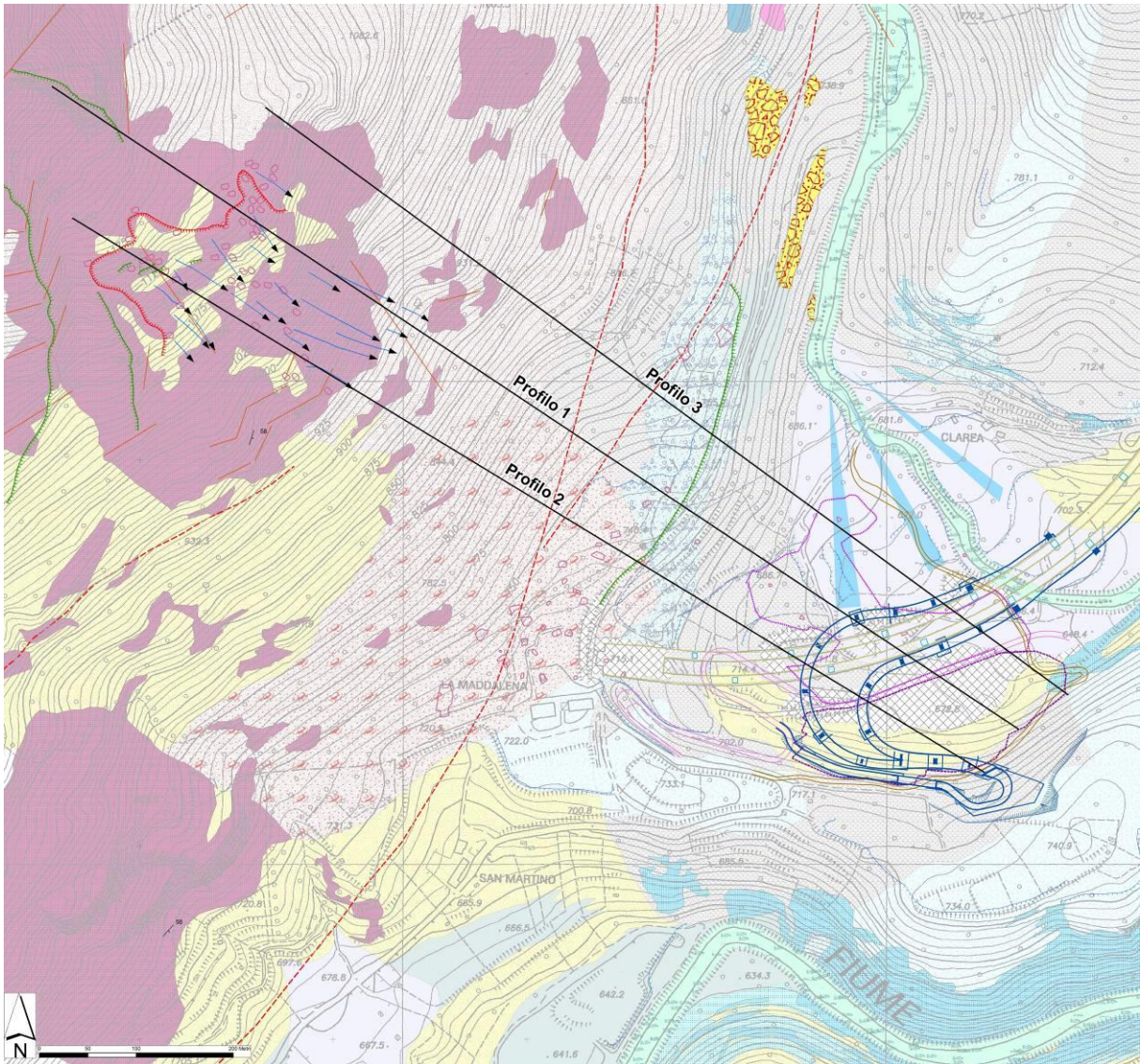
Lo studio permette di individuare:

- 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.



Stralcio della carta geomorfologica con rappresentazione delle sezioni di verifica di rotolamento massi.

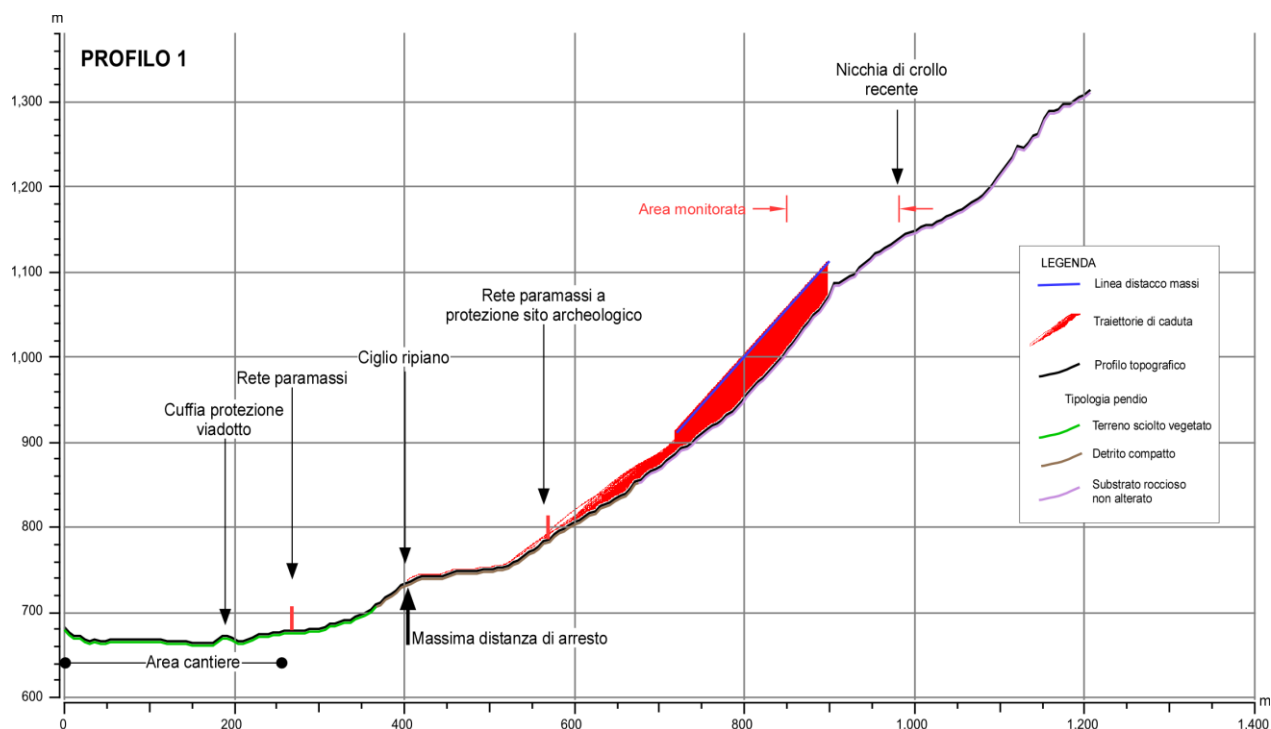
7.4.1 Profilo 1

La simulazione è stata condotta lungo la precedente sezione SS' (PD2-C3A-MUS-0902-A-AP-NOT) che è stata estesa verso valle comprendendo anche l'area di cantiere.

I risultati della simulazione sono riportati nella figura seguente. 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.

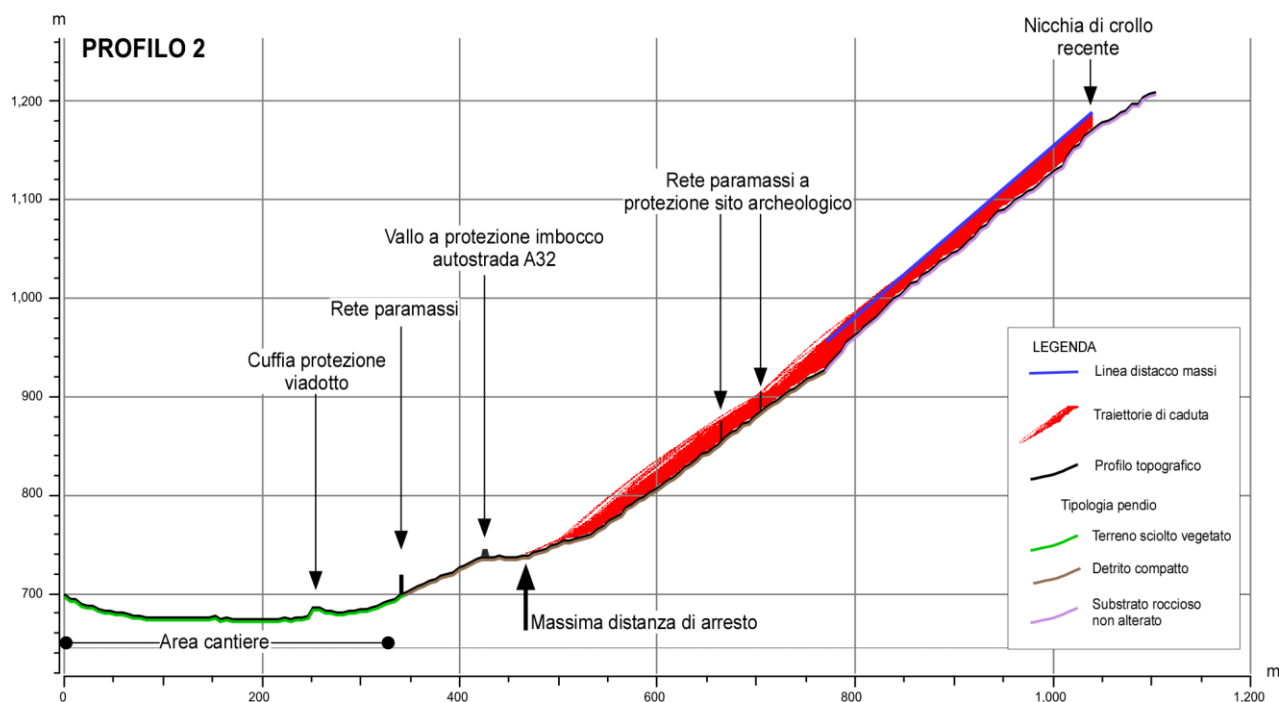


Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 900 m e 1100 m.

7.4.2 Profilo 2

I risultati della simulazione sono riportati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 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.



Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra

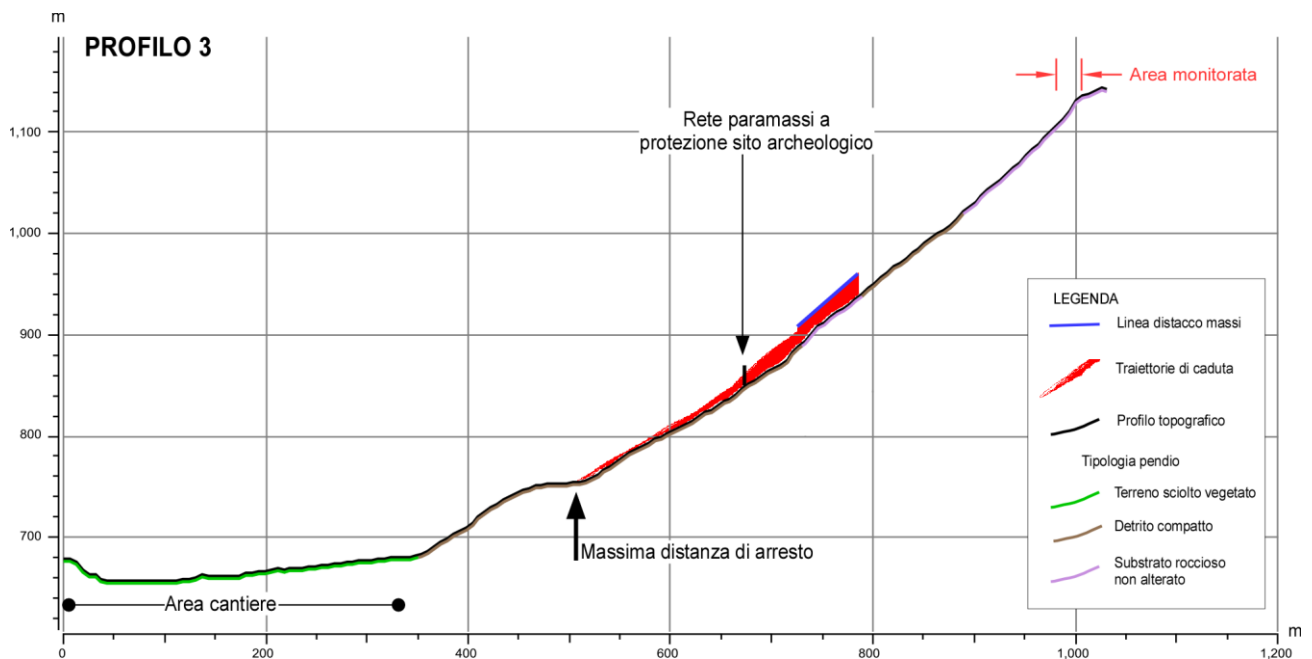
950 m e 1200 m.

7.4.3 Profilo 3 (distacco basso)

I risultati della simulazione sono riportati nella figura seguente. 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.



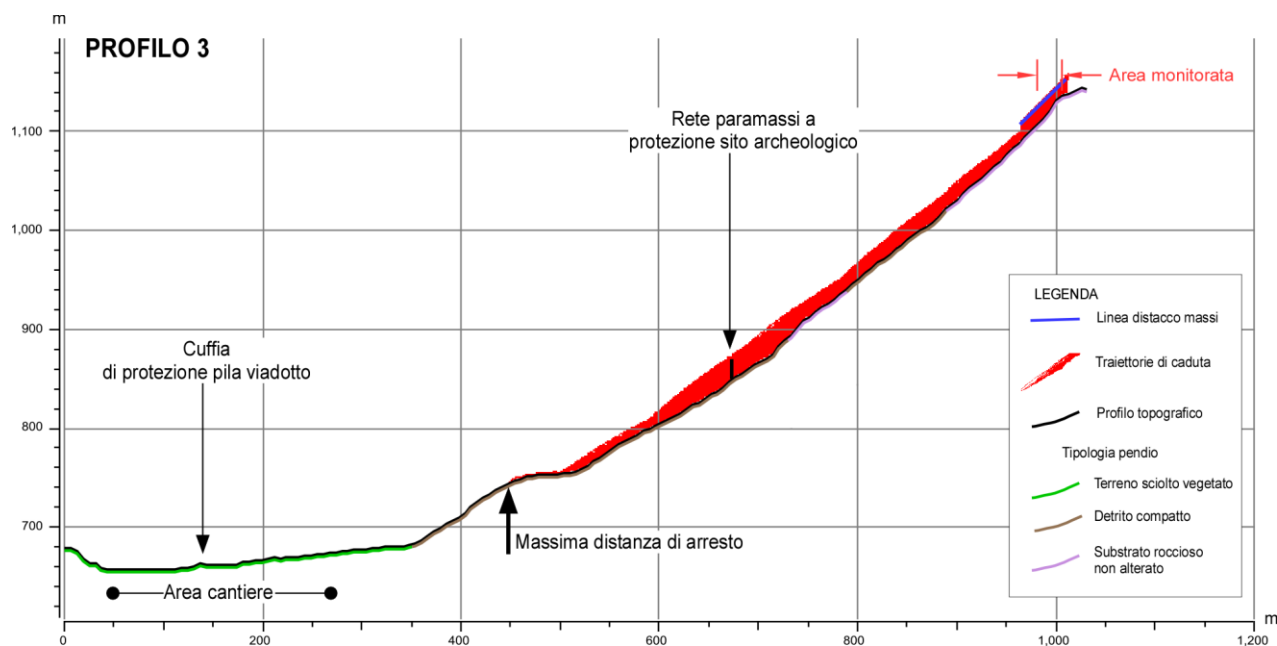
Profilo della sezione di calcolo con le traiettorie più probabili considerando una zona di distacco collocata tra 900 m e 950 m.

7.4.4 Profilo 3 (distacco alto)

I risultati della simulazione sono riportati nella figura seguente. 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 per le considerazioni riportate nelle conclusioni.

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.



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

7.5 Conclusioni emerse in sede di Progetto definitivo – cfr. PD2_C3A_MUS_0909A

Le analisi realizzate e descritte nei capitoli precedenti permettono 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. Tale risultato appare comunque cautelativo 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. Con coefficienti di rotolamento più elevati i massi non raggiungono la base del pendio e la frequenza di distribuzione dei punti di arresto è anomala, poco rispondente alla distribuzione reale.

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) Si conferma che in considerazione delle dimensioni dei blocchi potenzialmente instabili e delle energie attese in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), la tipologia di intervento passivo ritenuta più idonea è la realizzazione di un terrapieno paramassi.

4) In considerazione delle altezze di rimbalzo calcolate, per il dimensionamento di interventi passivi a protezione delle aree di cantiere si consiglia la realizzazione di un terrapieno paramassi di altezza pari ad almeno 7 m. Occorre sottolineare tuttavia che l'altezza del rilevato deve essere almeno superiore all'altezza di rimbalzo più il diametro del masso di progetto.

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

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

Le simulazioni sopradescritte realizzate per blocchi di dimensioni pari a 1m³ 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 (capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**); le energie valutate per blocchi fino a 300 m³ sono riassunte nella tabella successiva:

<i>Dimensioni del masso (m³) v = 24 m/s</i>	<i>Energia attesa (kJ)</i>
1	800
50	37.000
100	73.000
200	145.000
300	220.000

Energia massima attesa per i massi in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico (Massa = 2550 kg/m³).

5) Sulla base delle considerazioni sopra esposte pertanto si conferma che quanto previsto dal progetto definitivo del futuro svincolo di Chiomonte (PD2_C3A_MUS_1167_A) per la protezione delle pile dello svincolo è compatibile, sia in termini di dimensionamento che di ubicazione, con i risultati del presente studio ed in accordo con le richieste del CIPE per la progettazione di tale opera.

6) Per quanto riguarda la valutazione delle condizioni di pericolosità dell'area tenendo conto di tutte le opere previste nel loro insieme, il progetto definitivo della nuova linea Torino-Lione prevede già la realizzazione di un vallo paramassi a monte dell'imbocco del tunnel de La Maddalena (PD2_C3A_3843_A), le cui caratteristiche tipologiche (altezza minima 6 m) risultano compatibili con i risultati delle simulazioni di caduta massi realizzate. **Tuttavia, affinché tale intervento di difesa possa essere funzionale alla protezione dell'area di progetto anche in fase di cantiere, sarebbe necessario anticipare la sua realizzazione.**

7) La realizzazione di entrambe le opere di difesa previste dai progetti dello Svincolo di Chiomonte e della nuova linea Torino-Lione ottemperano pertanto alla necessità di ridurre le condizioni di pericolosità e rischio dell'area in modo complessivo.

8) L'opera di difesa passiva prevista dal progetto definitivo della nuova linea Torino-Lione, come alternativa di posizionamento, potrebbe essere posta in corrispondenza del ciglio del ripiano morfologico a prosecuzione del paramassi esistente costruito a protezione degli imbocchi delle gallerie "Ramats" dell'autostrada A32, in quanto è il punto in cui le energie dei massi e l'altezza delle traiettorie sono risultate minori. Tale posizione inoltre, date le caratteristiche morfologiche dell'area e le

presumibili migliori condizioni di accesso, potrebbe permettere una più agevole realizzazione dell'opera stessa. Tuttavia, affinché tale intervento di difesa possa essere funzionale alla protezione dell'area di progetto anche in fase di cantiere, sarebbe necessario anticipare la sua realizzazione.

9) Si segnala che le opere di difesa non possono trattenere eventuali impatti di massi ciclopici (volume fino a oltre 2000 m³ presenti nella parte alta del versante) per i quali non è possibile realizzare interventi risolutivi.

8. Approfondimenti progetto definitivo TELT e Progetto in variante TELT eseguiti a valle della progettazione definitiva dello svincolo de La Maddalena

Nella fase di sviluppo del presente progetto esecutivo, gli approfondimenti dello studio sopra citato non sono stati più compresi nell'incarico dato a Musinet, bensì TELT dovendo adempiere ad una serie di prescrizioni, ovvero:

- “Approfondimenti per osservazioni Regione Piemonte – Osservazione n. 14 lett. prot. CTVA-2014-0812 del 06/03/2014)
- ”Approfondimenti per osservazioni Regione Piemonte – Rif. Osservazione n. 13 – lettera CTVA-2014-0812 del 06/03/2014)
- Ottemperanza alla prescrizione n. 235 della delibera CIPE 19/2015

ha sviluppato il progetto definitivo degli interventi complessivamente impattanti a ridosso della frana, a monte dell'area dello svincolo, di propria competenza nell'ambito della realizzazione del “Tunnel della Maddalena”.

Nello specifico, si richiamano i contenuti dei seguenti elaborati:

- Nuova Linea Torino – Lione – Parte comune Italo-francese

Revisione del Progetto definitivo (Anno 2014)

- Approfondimenti progettuali - galleria de La Maddalena – Monitoraggio geotecnico – Relazione Piano Monitoraggio versante Maddalena (PD2_C3B_TS3_2040_A)

Progetto in Variante – Progetto definitivo (Anno 2017)

- Geologia tunnel di base galleria de La Maddalena – Monitoraggio geotecnico del versante (cfr. PRV_C3B_TS3_2040_C)
- Geologia – Costruzione – Cantieri lato Italia – Elaborati generali – Relazione geologico tecnica (cfr. PRV_C3B_TS3_0125_F)

Dall'esame dei contenuti dei documenti sopra citati, si evince che

- Nella “Relazione piano di monitoraggio versante Maddalena” del giugno 2014:
 - vengono descritte le attività che Musinet esegue per conto di SITAF all'interno del sito di frana;
 - con l'occasione, la Scrivente, in qualità di Progettista del PE dello Svincolo e di Soggetto titolare dell'incarico di monitoraggiosi sottolinea che **le letture degli strumenti al momento presenti non consentono l'attivazione di alcun sistema di allerta**; le letture sono infatti registrate e disponibili in apposito Sito “Musinet / SITAF”,

vengono consultate dal Personale incaricato e, laddove presenti anomalie, vengono condotti dei sopralluoghi specifici in funzione delle restanti attività che vedono coinvolti i Tecnici di che trattasi (talvolta il sopralluogo è differito nel tempo, di qualche giorno);

- si precisa che non risulta necessario, sempre a giudizio del Progettista di TELT, intensificare ulteriormente il controllo dei blocchi già monitorati, fatta salva l'estensione delle verifiche ad ulteriori settori, generalmente disarticolati, dai quali potrebbero potenzialmente staccarsi delle porzioni rocciose e/o blocchi (sono individuati ulteriori 22 massi da strumentare);
 - si dichiara che dovrà essere redatto uno specifico “Protocollo di Sicurezza” per minimizzare i rischi di eventuali processi di caduta massi
- Nella “Relazione piano di monitoraggio versante Maddalena” - Agg. del febbraio 2017 e nella “Relazione geologica tecnica del marzo 2017:

- vengono introdotte nuove simulazioni, in considerazione dello studio dello spostamento dello scavo del Tunnel di Base alla Maddalena, che
 - hanno comportato l'introduzione di soluzioni nuove ed ulteriori, sia in fase di esercizio, sia in fase di corso d'opera (esecuzione dei lavori / cantierizzazione)
 - 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 nel PD approvato); inoltre si precisa che i massi presenti nel deposito glaciale costituente il terrazzo a monte del cantiere, in assenza di interventi, potrebbero potenzialmente raggiungere l'area dello stesso (sono stati riscontrati blocchi fino a 15 m³)
 - fanno ritenere l'impossibilità di escludere che alcuni massi presenti nel suddetto deposito, arrivino ad interessare l'area di imbocco
 - portano all'implementazione delle conclusioni, osservando che lungo le barriere paramassi poste a monte del versante non sono stati osservati massi intercettati

Vengono quindi

- confermati / integrati i blocchi e affioramenti rocciosi per i quali sarà necessario installare una nuova rete di monitoraggio che registri le variazioni nel tempo dei parametri che influiscono sullo stato di equilibrio
 - richieste la messa in opera di un ulteriore sistema di monitoraggio sulle barriere paramassi presenti sul versante
 - prescritte le installazioni di strumentazioni su elementi strutturali con dispositivi “sentinella” in grado di segnalare eventuali urti e di rilevare le condizioni residue di funzionalità delle barriere a seguito di tali eventi
- portano alla conclusione di dover mettere in atto appositi interventi di mitigazione del rischio, differiti nei due scenari temporali, ovvero:
 - nella fase di corso d'opera con:

- la messa in opera di barriere paramassi ad elevata resistenza (min. 5,5 m) distribuite lungo quasi tutto lo sviluppo del cantiere a ridosso del versante (circa 100 m), nei settori ove non sono già in opera gli interventi nel cantiere del Cunicolo esplorativo de La Maddalena
- la realizzazione di un rilevato paramassi per il tratto limitato al settore degli imbocchi (h 5,0 m e largh. 2,5 m)
- puntuali interventi di messa in sicurezza sul versante volti a rimuovere (disgaggi) o stabilizzare massi potenzialmente instabili (ancoraggi / reti in aderenza)
- messa in opera di sistema di monitoraggio per registrare eventuali movimenti di blocchi più instabili ed eventuali impatti sulle reti; tale monitoraggio, dovrà essere integrato mediante un sistema di allarme e definizione di soglie di attenzione e di allarme a garanzia delle maestranze
- nella fase di esercizio con:
 - la realizzazione di opere di difesa passiva per mezzo di un rilevato paramassi di lunghezza pari a 230 m ed un'altezza minima di 8,0-9,0 m
 - eventuale monitoraggio periodico del versante e dei massi con rete di monitoraggio simile all'attuale
- si definisce l'esigenza di dover emettere un "Protocollo di sicurezza", per il quale si anticipa, a carattere esemplificativo ma non esaustivo, che
 - la frequenza delle letture di monitoraggio nella fase di cantiere sarà pari a 4/6 ore, mentre nella fase di esercizio sarà di 12 ore
 - per quanto riguarda le reti, stante il posizionamento di sensori accelerometrici, la strumentazione non necessiterà di una specifica frequenza di lettura, bensì segnalerà in continuo un potenziale azionamento
- Si conclude rimandando allo specifico "Piano di Sicurezza e Coordinamento" del cantiere TELT l'individuazione dei rischi e dell'analisi delle misure preventive e protettive.

Una volta definiti tali aspetti e realizzati gli interventi di cui sopra, il tutto verrà recepito nel PSC del presente PE, fermo restando che l'esecuzione di tutto ciò dovrà essere inderogabilmente completato prima dell'avvio dei lavori di costruzione del nuovo svincolo de La Maddalena.

Tutto quanto sopra esposto, ha carattere assolutamente prescrittivo e, quindi, si ritiene doveroso mettere in atto prima dell'avvio dei lavori di cui al presente progetto, una delle seguenti procedure di sicurezza:

a) realizzazione del vallo a protezione dell'area di cantiere e implementazione della strumentazione di monitoraggio, secondo le modalità previste nel PRV TELT, relativamente alle aree direttamente interessate dall'evento franoso.

b) **analisi delle condizioni di stabilità del versante, studi balistici di caduta massi, analisi del rischio e successiva progettazione e realizzazione delle opere mitigative da ultimarsi prima dell'avvio dei lavori, relativamente alle aree direttamente interessate dall'evento franoso.**

9. Forme legate all'attività fluvio torrentizia– pericolosità di conoide

Le opere in progetto interessano parte dell'apparato di conoide alluvionale del Torrente Clarea. Questo aspetto rappresenta un elemento di criticità, in quanto le opere ricadenti nell'area di conoide potrebbero essere interessate da trasporto in massa connesso all'occorrenza di colate detritiche in occasione di fenomeni pluviometrici intensi. Il PAI, consultato sul sito web http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis nel mese di ottobre 2012, classifica il conoide del Torrente Clarea come conoide attivo – Ca.

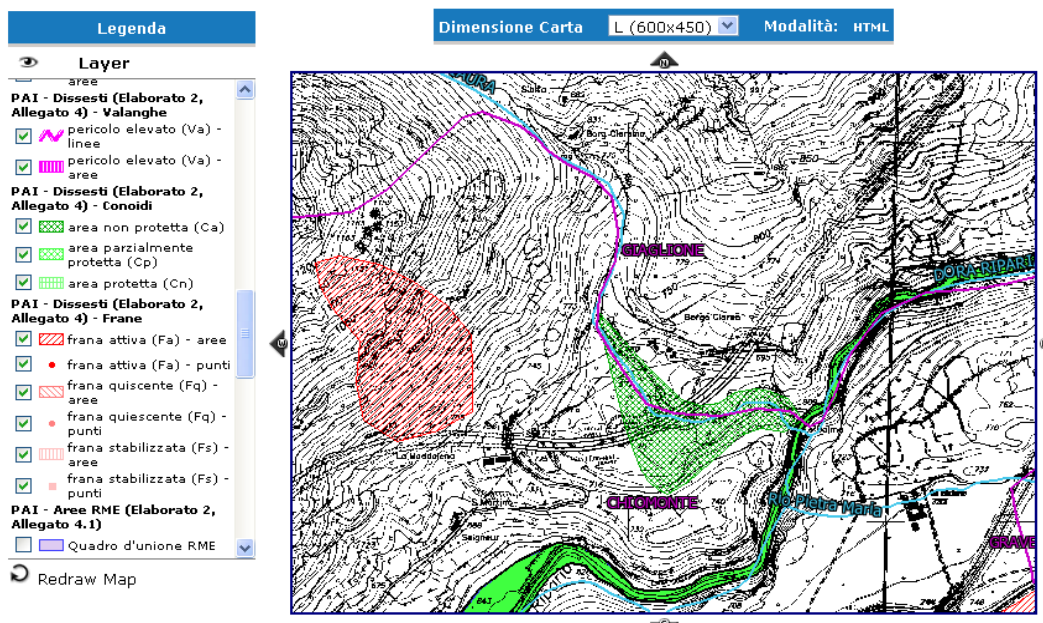


Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale

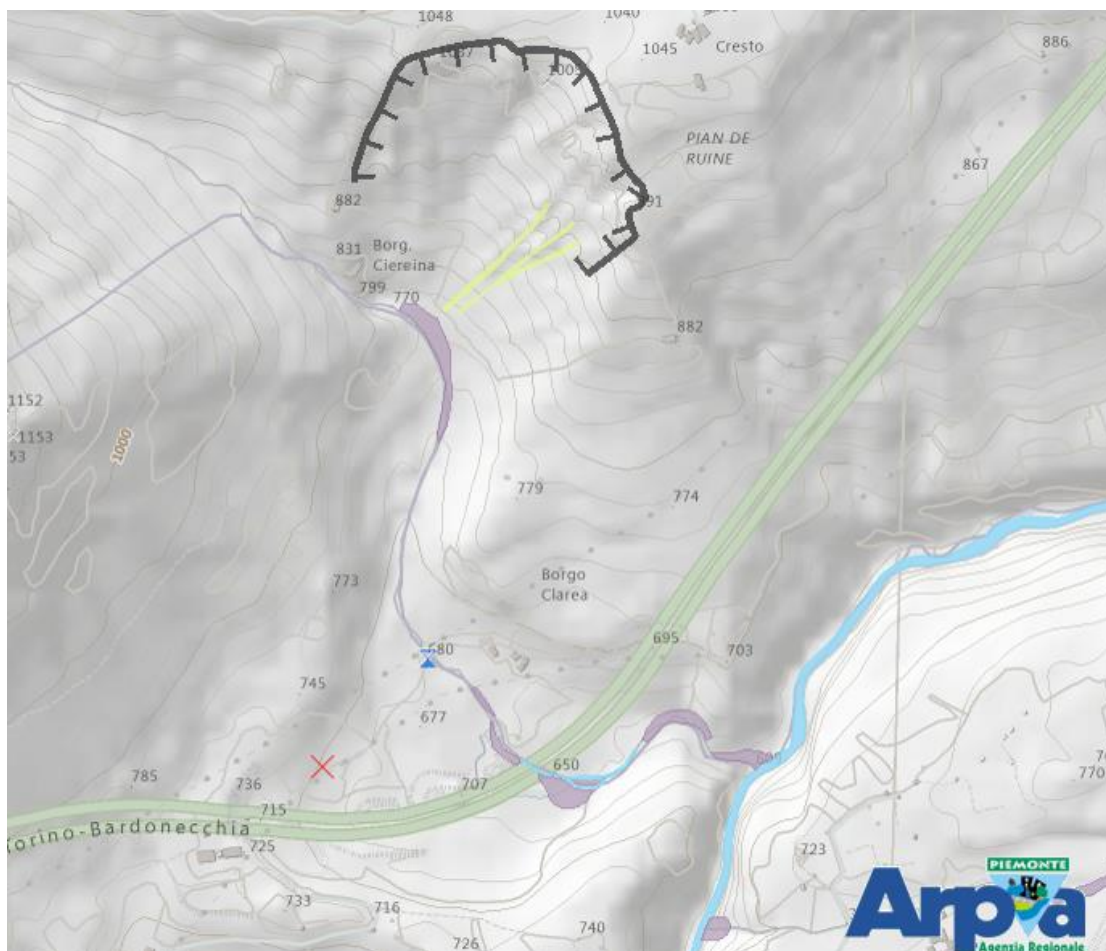
« Esci dall'area WebGIS e torna al portale informativo »

AtlanteDeiPiani



Stralcio carta dei dissesti e pericolosità geomorfologica del PAI: in verde retinato il conoide attivo non protetto del Torrente Clarea Ca, in verde la fascia fluviale A della Dora Riparia; in rosso rigato la frana attiva della Maddalena Fa (Fonte: sito web http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis consultato in settembre 2012)

Il torrente Clarea è stato caratterizzato nel corso dell'evento alluvionale del 2000 da localizzati fenomeni di trasporto e deposizione di materiale grossolano lungo l'asta torrentizia e da colamenti della coltre superficiale a valle di una scarpata antropica rappresentata nella figura successiva.



Stralcio carta dell'evento alluvionale del 2000 e 2008: in viola aree interessate da deposizione grossolana (evento 2000); la linea nera indica una scarpata antropica; in giallo colamenti della coltre superficiale (evento 2000); triangolo blu ponte danneggiato Borgo Clarea (evento 2008) (Fonte: sito web http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis consultato in dicembre 2012)

Nel corso dell'evento alluvionale del 2008 il ponte sul torrente Clarea nella frazione Borgo Clarea è stato gravemente danneggiato a seguito dell'occlusione da parte di materiale vegetale. Il corso d'acqua in questo tratto risulta mediamente inciso presentando delle scarpate di 2-3 m di altezza.

Sebbene l'alveo del torrente Clarea sia ben inciso nel suo tratto terminale (da quota 660 m s.l.m. circa fino alla confluenza con il fiume Dora Riparia), al fine di mitigare il rischio di trasporto e deposizione di materiale torrentizio grossolano, peraltro già verificatosi durante l'evento del 2000, sulla base anche dei risultati delle verifiche idrauliche in corso di realizzazione, **deve essere coordinato nel cantiere il rischio connesso a possibili eventi alluvionali**, fermo restando che nel dimensionamento delle opere direttamente interferenti con l'alveo, si è tenuto conto delle portate del corso d'acqua cui si fa riferimento.

9.1 Assetto idrogeologico dell'area di progetto

Di seguito è illustrata la schematizzazione delle unità affioranti in complessi idrogeologici e il modello idrogeologico di riferimento deducibile sulla base delle caratteristiche litologiche dedotte dalle stratigrafie dei sondaggi disponibili, sulla base dei

risultati delle prove di permeabilità realizzate durante le differenti campagne indagini e sulla base dell'interpretazione dei dati piezometrici. La distribuzione dei differenti complessi idrogeologici riconosciuti è riportata nella Carta Idrogeologica. Nell'area di studio si possono distinguere nel sottosuolo due principali unità idrogeologiche, distinguibili per la loro omogeneità di costituzione, corrispondenti alle due principali unità litotecniche potenzialmente presenti, distinte e descritte in dettaglio nel capitolo 4.

Dal basso verso l'alto sono distinguibili le seguenti unità idrogeologiche:

- basamento roccioso (costituito dai calcescisti della Zona Piemontese);
- depositi quaternari (depositi glaciali e fluvio-glaciali, depositi alluvionali, depositi gravitativi);

I depositi quaternari (capitolo 5.4) che rappresentano i terreni di imposta delle fondazioni delle rampe di svincolo, affiorano con continuità lungo tutto il corridoio di progetto e presentano una potenza di almeno 65 m in corrispondenza dei sondaggi S91 e S92 che sulla base dei dati attualmente disponibili sono gli unici ad avere incontrato il basamento roccioso. Tale unità è costituita da depositi di origine continentale rappresentati da prevalenti ghiaie e sabbie, con ridotto contenuto in limo ed argilla, e da sabbie limose con ghiaia, caratterizzate da permeabilità da media a elevata. Quest'unità è sede dell'acquifero libero superficiale. Le informazioni relative alla permeabilità dei terreni sono state ricavate dalle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio realizzati nel 2011-2012 per il Progetto del Tunnel della Maddalena e dalle prove di permeabilità realizzate nei sondaggi eseguiti a supporto della progettazione definitiva ed esecutiva dello svincolo di Chiomonte. Le prove di permeabilità attualmente disponibili forniscono dei valori del coefficiente di permeabilità variabili tra $1E-07$ nei terreni limosi (grado di permeabilità basso) ed un valore di permeabilità medio dell'ordine di circa $7E-04$ m/sec per i terreni ghiaiosi e sabbioso ghiaiosi (indicativo di un grado di permeabilità medio-alto).

La posizione della falda nei depositi quaternari è stata dedotta sulla base dei dati piezometrici disponibili ed oscilla tra circa 11 e 27 metri di profondità rispetto al piano di campagna. Sulla base di tali dati la soggiacenza media risulta circa 18 metri, corrispondente ad una quota media di circa 659 m s.l.m.

Per quanto riguarda i calcescisti del basamento roccioso, non abbiamo attualmente dati in merito al loro grado di permeabilità o se possano essere sede di una falda acquifera. È tuttavia ipotizzabile una permeabilità per fratturazione variabile da bassa a media nelle zone a fratturazione più intensa (indicativamente tra $1E-08$ e $1E-06$ m/sec).