

# LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

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  
GALERIES DE LA MADDALENA - GALLERIE DELLA MADDALENA  
PLATEFORME DU PORTAIL – GEOLOGIE, HYDROGEOLOGIE, GEOTECHNIQUE –  
AREA DI IMBOCCO – GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA

RAPPORT GÉOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE, GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DE DÉTAIL -  
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E GEOTECNICA DI DETTAGLIO

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	11/11/2016	Première émission phase PRF-PRV / Prima emissione fase PRF-PRV	G. MANCARI E. ELIA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
A	28/02/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	G. MANCARI E. ELIA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI



CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>A</b>
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	<b>C3B</b>	//	//	<b>26</b>	<b>48</b>	<b>05</b>	<b>10</b>	<b>01</b>
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>ECHELLE / SCALA</b>
-



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet  
est cofinancé par  
l'Union européenne  
(DG-TREN)



Questo progetto  
è cofinanziato  
dall'Unione europea  
(TEN-T)

## SOMMAIRE / INDICE

1. PREMESSA .....	6
2. INTRODUZIONE .....	7
3. CONTESTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO .....	9
3.1 Depositi quaternari.....	10
3.1.1 Depositi detritici di versante .....	10
3.1.2 Depositi fluvio-torrentizi .....	10
3.1.3 Depositi di conoide alluvionale (T. Clarea) .....	10
3.1.4 Depositi detritico – colluviali.....	10
3.1.5 Depositi glaciali .....	11
3.1.6 Depositi antropici.....	11
3.2 Substrato prequaternario .....	11
3.2.1 Caratterizzazione geomeccanica del substrato prequaternario .....	13
4. RISCHI NATURALI.....	15
4.1 Attività di versante - frane .....	15
4.2 Attività fluvio-torrentizia – Torrente Clarea.....	18
5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOMECCANICHE DEI TERRENI E DEL SUBSTRATO ROCCIOSO E CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	22
5.1 Caratterizzazione sismica del suolo.....	23
5.1.1 Zone Stabili .....	25
5.1.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali .....	25
5.1.3 Zone suscettibili di instabilità – aree in frana .....	26
5.1.4 Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione .....	26
5.1.5 Zone suscettibili di instabilità – faglie attive e capaci .....	28
5.1.6 Zone suscettibili di instabilità – cedimenti differenziali.....	29
6. IDROGEOLOGIA.....	30
7. BIBLIOGRAFIA .....	31

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Ubicazione, su immagine Google Earth, del settore di imbocco e del l'area di cantiere della Galleria della Maddalena 2. ....	7
Figura 2 – Stralcio carta geologica rappresentante l'imbocco della Galleria della Maddalena. ....	9
Figura 3 – Stralcio profilo geologico di dettaglio del settore di imbocco della Galleria della Maddalena 2. ....	12
Figura 4 – Proiezione stereografica delle principali famiglie di discontinuità rilevate in fase di scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena relativamente all'ammasso roccioso del primo settore in corrispondenza del settore di imbocco. ....	13
Figura 5 – Panorama dell'imbocco della Val Clarea. ....	15
Figura 6 – Stralcio della Carta geomorfologica e dei dissesti (TAV B2) del PRGC del Comune di Chiomonte .....	16
Figura 7 – Dettaglio del versante in frana. In rosso il coronamento schematico della nicchia principale e di quella secondaria (punto di ripresa: Chiomonte, loc. Custunet). ....	17

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e  
geotecnica di dettaglio

Figura 8: 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](http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis) consultato in ottobre 2017). Il cerchio rosso indica l'area di cantiere dell'imbocco Maddalena 2. .... 19

Figura 9: Stralcio della “Carta della pericolosità da alluvione” della Direttiva 2007/60 CE “Alluvioni”: Considerando il tratto di torrente sul conoide, in azzurro medio le aree con Probabilità di alluvioni “Media” (TR 100/200 – Sponda sinistra) ed in azzurro scuro le aree con Probabilità di alluvioni “Elevata” (TR 20/50 – Sponda destra) ..... 21

Figura 10: Stralcio della “Carta del rischio da alluvione” della Direttiva 2007/60 CE “Alluvioni”: Considerando il tratto di torrente sul conoide, in giallo le aree con scenari di rischio “R1 – Rischio moderato” ..... 21

Figura 11 – Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche nell'area di cantiere della Maddalena le due linee tratteggiate indicano le tracce delle due gallerie (in granata la Galleria della Maddalena 1, in blu la Galleria della Maddalena 2), il contorno tratteggiato rosso il limite del cantiere. .... 22

Figura 12 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione. Sinistra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$ . Destra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ . 27

Figura 13 – Mappe indicanti le accelerazioni in campo libero nel territorio del comune di Chiomonte (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV). .... 28

Figura 14 – Stralcio webgis DISS. Il rettangolo rosso indica l'area di progetto..... 28

Figura 15 - Classificazione delle zone sismogenetiche ZS9 in funzione dell'indice IFS (Indice di Fagliazione Superficiale). .... 29

**LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 1 – Tabelle riassuntive dei principali parametri geomeccanici, derivanti dalle informazioni del cunicolo esplorativo della Maddalena, relativamente all'ammasso roccioso del primo settore in corrispondenza del settore di imbocco..... 14

Tabella 2 – Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici per ciascuna delle unità geotecniche interessate dalle opere in progetto (per degli gneiss si veda anche i parametri indicati in..... 23

Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle categorie di sottosuolo estratta dalle “Norme tecniche per le costruzioni” (D.M. 14 gennaio 2008)..... 24

Tabella 4: Caratterizzazione dei depositi quaternari dal punto di vista idrogeologico. .... 30

## RESUME / RIASSUNTO

La phase actuelle représente la réalisation de nouveau scénario de construction de la liaison ferroviaire cote Italie, selon la prescription 235 de la norme CIPE 19/2015.

En particulier, cette phase d'étude prévoit la variant de projet avec le déplacement de l'excavation de cote italienne du Tunnel de Base, et des chantiers annexes près de la Maddalena de Chiomonte, dans le même secteur ou aujourd'hui est présent le chantier du tunnel exploratif de la Maddalena, avec la réalisation d'une nouvelle tunnel nommé Galleria de la Maddalena 2.

La zone de portail de Tunnel de la Maddalena 2 et le chantier relatif sont situe au pied du versant de torrente Clarea, en droite hydrographique, just amont de la confluence dans la Dora Riparia, au dessous du viaduc de l'Autoroute A32 «Torino-Bardonecchia».

L'area se caractérise pour la présence de un substratum rocheux métamorphique pre-quadernaire, que cependant ne affleure pas dans la zone. La plaine sur la quelle seront réalisés les ouvrages d'entrée et le chantier sont constitue par une couverture mixte détritico-colluviaux, dépôt alluviaux et dépôt d'origine glacial.

De pointe de vue géomorphologique la zone est compris dans un secteur de pertinence fluviale du Torrente Clarea (conoïde alluviales proche à la confluence avec la Dora Riparia ) et une grande zone de collapse de bloc, positionné a mont de l'entre.

Les roches qui sont présents dans l'area de l'entrée sont typiques de la Zone Piémontaise et du Massif d'Ambin.

Sur la base des données disponible, qui proviennent de l'excavation de tunnel exploratif de la Maddalena, est raisonnable l'hypothèse que le portal sera positionné a l'intérieur des dépôts d'origine glacial et fluvioglacial par une longueur approximatif de 100m au delà des quels sera présent l'amas rocheux , constitué pour les premiers 100 m par cargneules, marbres dolomitiques et schiste carbonatiques et en suite par les

L'attuale fase 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.

In particolare, questa fase di studio prevede la variante in progetto con lo spostamento dello scavo lato italiano del Tunnel di Base, e del relativo cantiere, alla Maddalena di Chiomonte, nel settore ove è attualmente presente il cantiere del cunicolo esplorativo della Maddalena, attraverso la realizzazione di una nuova galleria denominata Galleria della Maddalena 2.

L'area dell'imbocco della Galleria della Maddalena 2 e il relativo sito di cantiere si situano ai piedi del versante in destra idrografica del Torrente Clarea, immediatamente a monte della sua confluenza nella Dora Riparia, al di sotto del viadotto dell'Autostrada A32 "Torino-Bardonecchia". Essa è caratterizzata un substrato roccioso metamorfico pre-quadernario che tuttavia non risulta praticamente affiorante nell'area.

Il pianoro su cui si localizzano le opere di imbocco e il cantiere risulta costituito da una coltre di depositi misti detritico-colluviali, depositi alluvionali e depositi di origine glaciale.

Dal punto di vista geomorfologico l'area si imposta in un settore compreso tra la fascia di pertinenza fluviale del Torrente Clarea (conoide alluvionale in prossimità della confluenza con la Dora Riparia) e una grande zona di accumulo di una frana di crollo, ubicata a monte del sito.

Le rocce presenti nell'area dell'imbocco sono caratterizzate dai litotipi appartenenti alla Zona piemontese e le rocce del Massiccio di Ambin.

Sulla base delle informazioni provenienti dallo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena è ragionevole ipotizzare che l'imbocco sarà ubicato all'interno dei depositi di origine glaciale e fluvioglaciale per circa 100 m di lunghezza oltre il quale si trova l'ammasso roccioso, costituito per i primi

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

<p>lithotypes gneissique du Complexe d'Ambin.</p> <p>Les caractéristiques géomecaniques de substratum rocheux sont variable à partir de discrète jusqu'à optimale.</p> <p>De point de vue des risques naturels, lié à la présence de l'éboulis à gros blocs de la Maddalena, qui se trouve amont de la zone d'entrée, le projet prévoit des ouvrages de protection de la chute des blocs et un réseau d'auscultation géotechnique.</p> <p>Pour les phénomènes liés à la dynamique fluviale la zone de chantier est partie de la conoïde de Torrente Clarea, et sont possible des phénomènes d'exondation dans les secteurs moins proche à l'entrée du tunnel et de la zone de périmètre de chantier.</p> <p>Le PAI, sur le web-site <a href="http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis">http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis</a> classifie la conoïde du Torrente Clarea comme conoïde actif – <i>Ca</i>.</p>	<p>100m circa da carniole, marmi dolomitici e scisti carbonatici e successivamente dai litotipi gneissici del Complexe di Ambin.</p> <p>Le caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso sono variabili da discrete a ottime. Dal punto di vista dei rischi naturali sono possibili fenomeni di caduta massi connessi con la presenza della frana a grossi blocchi della Maddalena, presente a monte dell'area d'imbocco, sono tuttavia previsti interventi di monitoraggio e protezione attraverso reti paramassi in fase di corso d'opera e un vallo paramassi in fase di esercizio.</p> <p>Per quanto riguarda l'attività fluviale, l'area di cantiere interessa parte dell'apparato di conoide alluvionale del Torrente Clarea e possibili fenomeni alluvionali connessi con l'attività del Torrente possono potenzialmente verificarsi nei settori più distali dell'imbocco, nella parte perimetrale del cantiere.</p> <p>Il PAI, consultato sul sito web <a href="http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis">http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis</a>, classifica il conoide del Torrente Clarea come conoide attivo – <i>Ca</i>.</p>
--	---

## 1. Premessa

L'attuale fase 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.

In particolare, la variante sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto alla cantierizzazione proposta in fase di Progetto Definitivo Approvato, coinvolgendo aree non interessate in precedenza dalle fasi di costruzione del progetto.

Nell'ambito dell'ottemperanza della prescrizione n. 235 del CIPE, la variante in progetto prevede lo spostamento dello scavo lato italiano del Tunnel di Base, e del relativo cantiere, alla Maddalena di Chiomonte, nel settore ove è attualmente presente il cantiere del cunicolo esplorativo della Maddalena, attraverso la realizzazione di una nuova galleria denominata Galleria della Maddalena 2.

Nelle pagine che seguono vengono descritti i caratteri distintivi dal punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico del settore di imbocco della suddetta nuova galleria.

## 2. Introduzione

L'area di imbocco della Galleria della Maddalena 2 e il relativo sito di cantiere si situano ai piedi del versante in destra idrografica del Torrente Clarea, immediatamente a monte della sua confluenza nella Dora Riparia, al di sotto del viadotto dell'Autostrada A32 "Torino-Bardonecchia" (Figura 1). L'area di cantiere si sviluppa al centro di un'ampia depressione morfologica modellata a conca entro depositi quaternari prevalentemente di origine fluviale, glaciale e fluvioglaciale.

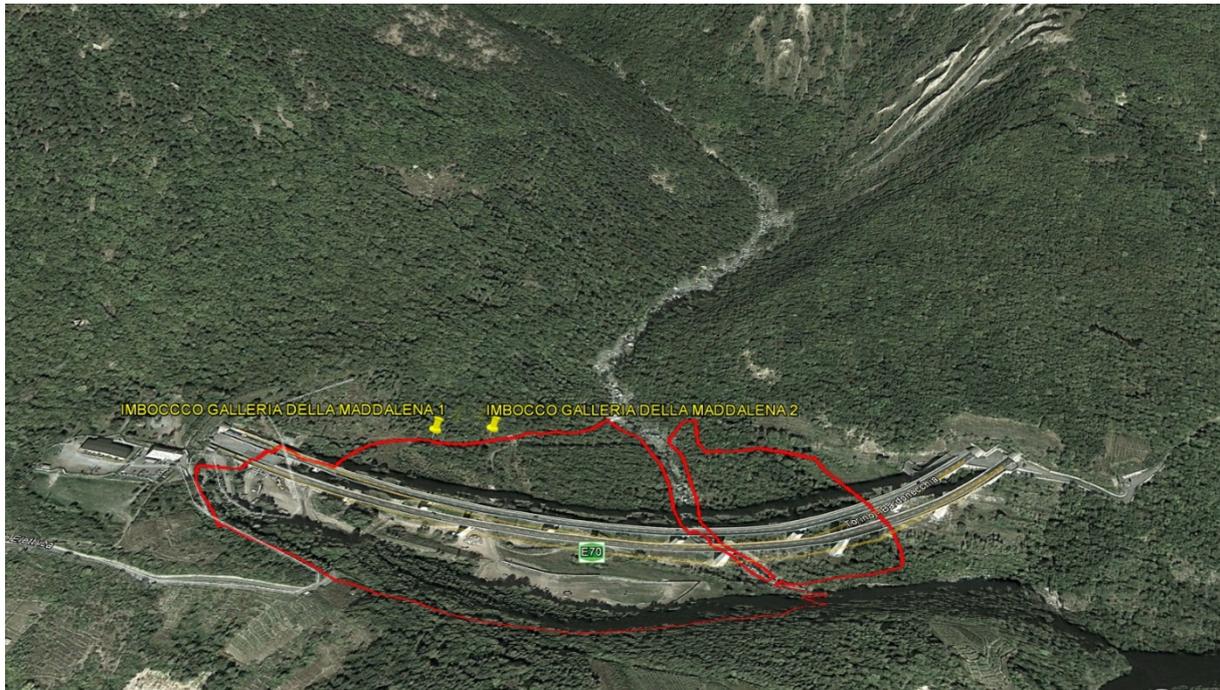


Figura 1 – Ubicazione, su immagine Google Earth, del settore di imbocco e dell'area di cantiere della Galleria della Maddalena 2.

La seguente relazione descrive il Modello Geologico, Geomorfologico, Idrogeologico e Geotecnico della zona dell'imbocco della Galleria della Maddalena 2, dalla quale partirà lo scavo del lato italiano del Tunnel di Base che procederà, una volta arrivato alla quota di progetto del tunnel, verso l'imbocco di Susa.

Il settore di studio è in buona parte indagato da precedenti indagini realizzate per l'imbocco del cunicolo esplorativo della Maddalena (denominato anche Galleria della Maddalena 1), ubicato poche decine di metri più a ovest, alle quali si aggiungono tutta una serie di indagini di tipo diretto e indiretto eseguite più estesamente nell'area del previsto cantiere (si veda anche elaborati PRV C3B TSE3 0019 e PRV C3B TSE3 0144).

Tuttavia, dal punto di vista geologico e geomeccanico, le maggiori informazioni derivano dai dati di scavo del cunicolo esplorativo (attualmente in corso).

Il modello geologico-geotecnico e sismico è invece definito sulla base dei dati provenienti dalle indagini dirette e indirette realizzate nell'intorno dell'imbocco del cunicolo esplorativo e in generale nell'area di cantiere, eseguite sia per lo stesso cunicolo esplorativo che afferenti ad altri progetti.

Per quanto riguarda gli elementi geologici e geomorfologici di superficie essi derivano dalla consultazione della seguente documentazione:

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

- geoportale del sito dell'arpa Piemonte (<http://webgis.arpa.piemonte.it>);
- cartografia Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Autorità di Bacino Fiume Po (<http://www.adbpo.it>).
- Carta geologica e geomorfologica del Progetto Esecutivo del Cunicolo esplorativo della Maddalena (LTF – 2013).

Altre indagini, necessarie per una più precisa caratterizzazione geomeccanica e sismica dell'area e per aumentare l'affidabilità del modello geologico-geotecnico, saranno realizzate nella fase progettuale successiva (progetto esecutivo), la loro descrizione di dettaglio è presente negli elaborati del programma delle indagini (PRV C3B TSE3 0107 e PRV C3B TSE3 0108).

Infine, si aggiungono anche una serie di rilievi e osservazioni di terreno eseguiti, in fase di Progetto Definitivo Approvato, per rispondere alle osservazioni della Regione Piemonte nel settore di versante interessato dalla frana della Maddalena (rif. lettera prot. n. CTVA-2014-0812 del 06/03/2014).

Gli elementi geologici descritti in questa relazione sono rappresentati negli elaborati grafici seguenti:

Titolo	scala	codice elaborato
Carta geologico-geomorfologica di dettaglio	1:2000	PRV_C3B_7231_26-48-05_30-01
Profilo geologico di dettaglio	1:1000	PRV_C3B_7234_26-48-05_40-01
Sezione trasversale	1:2000	PRV_C3B_7235_26-48-05_40-02



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 testimoniata dalla presenza di depositi a quote più basse rispetto alla soglia di Gravera.

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.

Per quanto riguarda l'attività torrentizia, l'ubicazione dell'area interessa parte dell'apparato di conoide alluvionale del Torrente Clarea. Il PAI classifica il conoide del Torrente Clarea come conoide attivo – Ca.

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.

Il versante a monte dell'area di cantiere è caratterizzato da ampi settori potenzialmente soggetti a crolli in roccia connessi alla presenza di un fenomeno gravitativo complesso di grandi dimensioni, denominato "Frana della Maddalena".

### **3.1 Depositi quaternari**

#### **3.1.1 Depositi detritici di versante**

A monte dell'area di imbocco il versante è caratterizzato dalla presenza di un ampio accumulo detritico a megablocchi costituenti il corpo di accumulo di un'antica frana di crollo. I blocchi sono per lo più monogenici (gneiss) di dimensioni variabili da metrici a ciclopici con volumetrie che possono raggiungere anche i 1000 m<sup>3</sup>.

#### **3.1.2 Depositi fluvio-torrentizi**

I depositi fluvio-torrentizi sono stati suddivisi in:

- depositi torrentizi del torrente Clarea: 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 alluvionali antichi: tali depositi formano un lembo lungo il versante destro del torrente Clarea tra le quote 710 e 750 m s.l.m.; essi sono caratterizzati da una litofacies prevalentemente sabbioso-limosa con subordinata ghiaia e ciottoli ed una facies limoso-sabbiosa subordinata.

#### **3.1.3 Depositi di conoide alluvionale (T. Clarea)**

Tali depositi sono costituiti da depositi misti di limi sabbiosi e sabbie limose con ghiaia, ghiaie con ciottoli, sabbie ghiaiose e livelli di ciottoli in matrice limoso-sabbiosa. All'interno si rinvencono locali blocchi e trovanti lapidei derivanti dall'erosione del substrato roccioso. Tale unità occupa prevalentemente la porzione settentrionale dell'area di cantiere, più distante dall'imbocco, vicino all'attuale corso del Torrente Clarea.

#### **3.1.4 Depositi detritico – colluviali**

Trattasi di depositi detritici sciolti costituiti in prevalenza da sabbia medio fine limosa con ghiaia eterometrica da subarrotondata ad angolare e limi sabbiosi. Possono contenere del

materiale antropico. Nell'ambito dell'area studiata affiorano estesamente, occupando la porzione centro-meridionale dell'area con spessori variabili (da decimetrico a pluri-metrico).

### **3.1.5 Depositi glaciali**

I depositi glaciali comprendono un'ampia gamma di depositi, tra cui: depositi glaciali di ablazione, caratterizzati dalla presenza di ciottoli e blocchi eterometrici e poligenici, immersi in una matrice fine, di tipo sabbioso-limoso; depositi glaciali di fondo, più fini dei precedenti, di tipo limoso-sabbioso, caratterizzati da una tessitura generalmente di tipo matrix-supported, con scarsi ciottoli; e depositi fluvio-glaciali; ovvero depositi grossolani costituiti da ghiaia con ciottoli a struttura clast-supported in matrice sabbiosa o sabbioso-limoso.

Generalmente tale unità giace in appoggio diretto sul basamento ed occupa ampie porzioni dell'area in studio; in particolare è stata rinvenuta nei primi metri di scavo dell'imbocco del cunicolo esplorativo e con molta probabilità tali depositi saranno anche presenti all'imbocco della futura galleria di Maddalena 2 e verosimilmente interesseranno i primi 120 m di galleria.

### **3.1.6 Depositi antropici**

Tali depositi costituiscono i rilevati realizzati per la protezione delle pile dell'autostrada A32 e quelli attribuibili al piazzale dell'attuale cantiere del cunicolo esplorativo.

## **3.2 Substrato prequaternario**

L'area in esame è caratterizzata dal settore di contatto tra i litotipi appartenenti alla Zona piemontese e le rocce del Massiccio di Ambin. La prima, affiorante maggiore a sud-est, 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 quarziti tipo "Gneiss di Charbonnel" (Lorenzoni, 1965).

Il Massiccio d'Ambin si compone di un basamento cristallino, costituito da due complessi polimetamorfici distinti e sovrapposti (Serie di Clarea e Complesso di Ambin) e dalla copertura mesozoica, conservata in lembi.

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 del Complesso 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).

Inoltre, lungo il versante a quota 700 m circa sono presenti affioramenti di breccie tettoniche carbonatiche (Carniole auct.), che indicano il contatto tettonico tra la Zona piemontese e il massiccio d'Ambin).

Come precedentemente accennato nell'area dell'imbocco il substrato non affiora, pertanto le informazioni di tipo geologico-strutturale e geomeccanico derivano quasi esplosivamente dai dati di scavo della prima parte del cunicolo esplorativo della Maddalena, informazioni che hanno permesso di elaborare il profilo di dettaglio dell'imbocco della Galleria della Maddalena 2 (Figura 3).

Sulla base di tali informazioni, lungo il tracciato della Galleria della Maddalena 2, è possibile ubicare, con buona approssimazione, a circa pk 0+120 il contatto tra i depositi quaternari e il substrato roccioso.

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

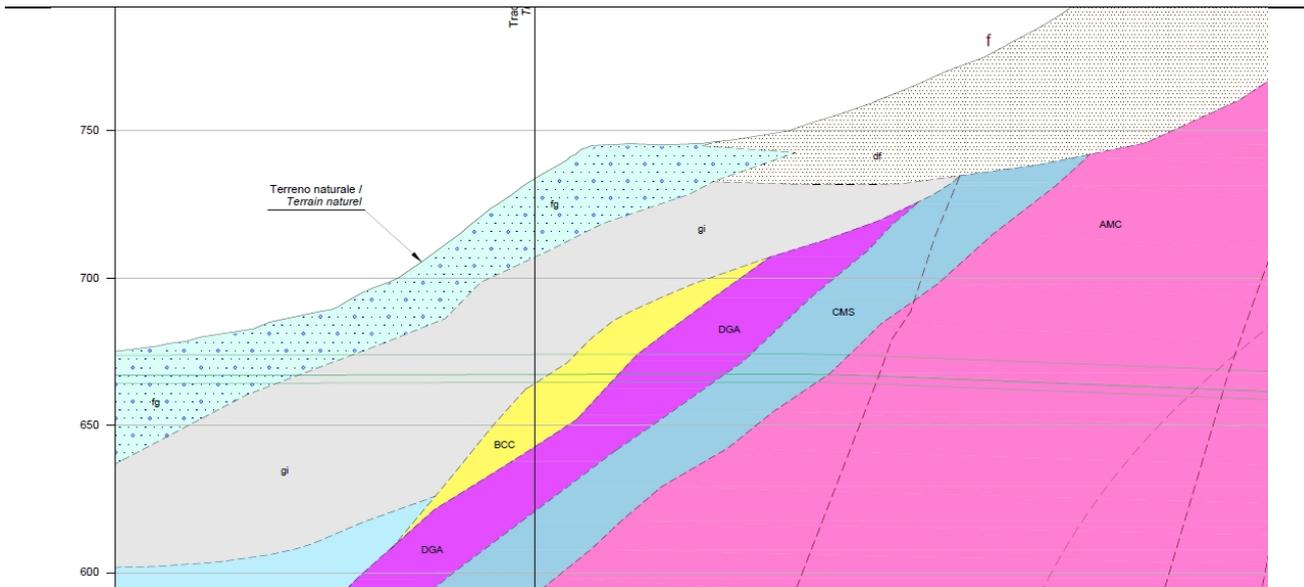


Figura 3 – Stralcio profilo geologico di dettaglio del settore di imbocco della Galleria della Maddalena 2.

Dal punto di vista strutturale l'ammasso roccioso prossimo all'imbocco è caratterizzato da una sequenza di unità litologiche e strutturali separate da contatti che in linea generale immergono verso SE, ovvero contro la direzione di scavo del cunicolo. L'involuppo generale della scistosità principale risulta circa parallelo all'andamento di questi contatti.

E' verosimile, sulla scorta delle informazioni provenienti dal cunicolo esplorativo, che al contatto tra i depositi quaternari e i litotipi del Complesso di Ambin sia interposta una fascia potente un centinaio di metri nella quale sono pizzicati i litotipi afferenti alle carniole/brecce carbonatiche, ai marmi dolomitici e scisti-miscisti grigio scuri (Figura 3).

Successivamente, verosimilmente a circa pk 0+220, si passa i litotipi appartenenti al Complesso di Ambin, costituiti da gneiss leucocratici a tessitura da massiccia a scistosa, compatti e con foliazione generalmente mal definita. La scistosità principale, quando presente, dovrebbe mantenere un'immersione generale opposta alla direzione di avanzamento e leggermente immergente verso il paramento sinistro della galleria. Da un punto di vista geomeccanico questi litotipi presentano buone caratteristiche.

Da un punto di vista tettonico i litotipi sviluppano strutture plicative da chiuse ad isoclinali e sono dislocati da strutture fragili minori tardive con angoli da medi ad alti, prevalentemente distensive, che tagliano il massiccio secondo direzioni N60E.

Nella figura seguente sono riportate le proiezioni stereografiche delle principali famiglie di discontinuità rilevate in fase di scavo nel cunicolo esplorativo della Maddalena.

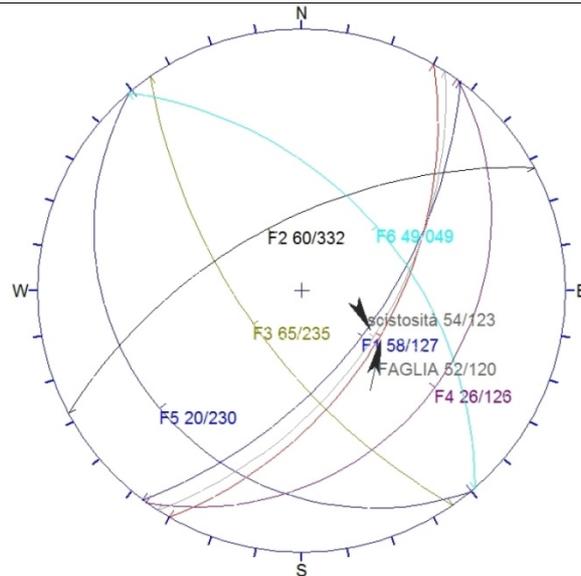


Figura 4 – Proiezione stereografica delle principali famiglie di discontinuità rilevate in fase di scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena relativamente all'ammasso roccioso del primo settore in corrispondenza del settore di imbocco.

### 3.2.1 Caratterizzazione geomeccanica del substrato prequaternario

Per la caratterizzazione geomeccanica del substrato sono state utilizzate le informazioni provenienti dal ritorno di esperienza del cunicolo esplorativo della Maddalena.

Le caratteristiche complessive dell'ammasso roccioso in questo primo settore, prossimo all'imbocco, sono da discrete a ottima.

In particolare i litotipi al contatto con il Complesso di Ambin, costituiti sia dalle breccie tettoniche, che dai marmi dolomitici e dagli scisti, questi ultimi due verosimilmente appartenenti rispettivamente all'unità del Gad e alle coperture mesozoiche dell'Ambin, rientrano in generale nella classe III di Bieniawsky.

I litotipi gneissici del Complesso di Ambin presentano invece una II classe prevalente e subordinatamente una I classe. Anche i valori dell'indice GSI negli gneiss aplitici dell'Ambin sono elevati e risultano compresi tra 70 e 85.

Non si escludono, tuttavia, valori anche più bassi soprattutto in corrispondenza delle carniole che in generale possono presentare una certa variabilità nelle loro caratteristiche geomeccaniche e lungo fasce più fratturate, comunque di modesta estensione.

Nella tabella seguente sono riportati i principali parametri geomeccanici relativamente la prima parte di ammasso roccioso ricavati dalle informazioni del cunicolo esplorativo della Maddalena, gli stessi sono con buona approssimazione estrapolabili anche per il primo tratto in corrispondenza dell'imbocco della Galleria della Maddalena 2.

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

		RMR	GSI	$\sigma_{ci}$ (MPa)	Ei (MPa)
AMMASSO COMPATTO	Media	78,41	80,63	161,59	55548
	Deviazione standard	9,48	8,08	36,1	8471
	Minimo	64	70	93	46226
	Massimo	98	98	219	70846
AMMASSO FRATTURATO	Media	57,57	59	129,86	-
	Deviazione standard	4,04	3,37	23,32	-
	Minimo	52	54	106	-
	Massimo	63	63	110	-

		mb	$\sigma_{cm}$ (MPa)	E (GPa)	Erm (GPa)
AMMASSO COMPATTO	Massimo	11,2	196	158,5	70,1
	Minimo	4,1	17,5	30,5	33,8
AMMASSO FRATTURATO	Massimo	1,9	13,9	21,1	-
	Minimo	1,35	8	12,5	-

Tabella 1 – Tabelle riassuntive dei principali parametri geomeccanici, derivanti dalle informazioni del cunicolo esplorativo della Maddalena, relativamente all'ammasso roccioso del primo settore in corrispondenza del settore di imbocco.

## 4. Rischi naturali

Dal punto di vista dei rischi naturali gli elementi che potenzialmente possono costituire un rischio sulla sicurezza del settore di imbocco della Galleria della Maddalena 2, oltre che sulla restante area del cantiere, sono essenzialmente di due tipi:

1. rischi legati a fenomeni franosi
2. rischi legati alla dinamica fluviale del conoide del torrente Clarea

### 4.1 Attività di versante - frane

Relativamente ai rischi legati a fenomeni franosi sul settore di versante, come già accennato in precedenza, a monte del futuro imbocco della Maddalena è largamente riconosciuta la presenza di un'area di accumulo di frana a blocchi ciclopici e un substrato roccioso parzialmente disarticolato.

Il versante in oggetto è inoltre caratterizzato da un settore a elevata acclività, ove è presente una diffusa copertura vegetale.



Figura 5 – Panorama dell'imbocco della Val Clarea.

La frana della Maddalena ha una forma all'incirca triangolare con un'area di circa 3 km<sup>2</sup> ed individuabile da due scarpate di altezza decametrica che formano una "V" rovesciata con la punta situata poco sotto Cappella Bianca, presso la zona di cresta che separa la Valle Susa dalla Val Clarea, da un ammasso roccioso disarticolato posto in posizione centrale che localmente passa a detrito a grossi blocchi e da una zona basale costituita da grossi blocchi, con volumetrie che raggiungono anche il migliaio di m<sup>3</sup>, e che ricoprono una superficie terrazzata preesistente.

La forma a "V" è evidenziata da scarpate in roccia di altezza decametrica, che si sono impostate in corrispondenza di giunti regionali (master joint) immergenti verso N100-110°E ed inclinati di circa 50°, disposti a franapoggio più inclinato del pendio. 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

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

rocciosi più bassi 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.

Le cause di innesco del fenomeno sono da ricercarsi in fenomeni di dissoluzione o di “compattazione” del livello verticalizzato di “carniole” posto alla base del pendio, nel detensionamento post-glaciale, e/o nella presunta presenza alla base di piani di rottura disposti a franapoggio.

La presenza di massi di dimensioni metrico-decаметrica all’interno dei depositi glaciali presenti del terrazzo al piede della frana e a monte dell’area di cantiere è interpretata come legata alla prima fase evolutiva della Frana della Maddalena, avvenuta contemporaneamente alla deposizione dei depositi glaciali.

La normale evoluzione della frana consiste in continui fenomeni di caduta massi, testimoniati da corridoi di transito e da segni di impatto, frane di crollo e da processi di origine colluviale.

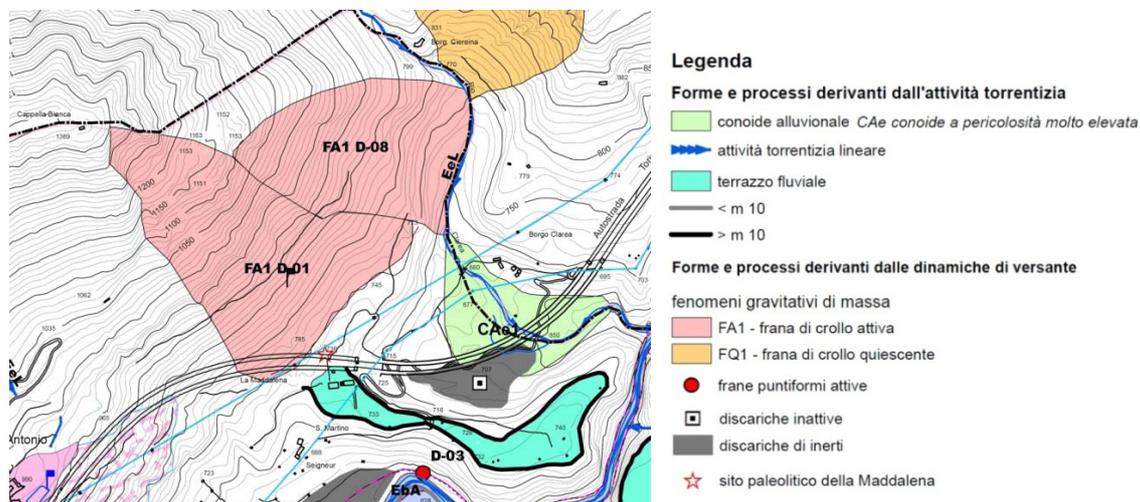


Figura 6 – Stralcio della Carta geomorfologica e dei dissesti (TAV B2) del PRGC del Comune di Chiomonte

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 potenziante 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 Ramats, delle pile dei due viadotti Clarea. Barriere paramassi ad

alto assorbimento di energia sono inoltre presenti lungo il versante a protezione del sito archeologico della Maddalena e nuove barriere paramassi sono state messe in opera a protezione dell'attuale cantiere del cunicolo esplorativo della Maddalena.



Figura 7 – Dettaglio del versante in frana. In rosso il coronamento schematico della nicchia principale e di quella secondaria (punto di ripresa: Chiomonte, loc. Custunet).

Tali elementi implicano la possibilità di potenziali crolli di massi di dimensioni considerevoli, e quindi la necessità di individuare soluzioni per la messa in sicurezza dell'area del cantiere. Nelle precedenti fasi progettuali la stabilità di tali blocchi è stata analizzata attraverso simulazioni numeriche di caduta massi, che hanno fornito gli elementi per proporre interventi di mitigazione del rischio. In questa fase, 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 in considerazione di un'area di cantiere più estesa; contestualmente sono anche state proposte soluzioni sia in fase di esercizio (come già previsto nel Progetto Definitivo Approvato) che in fase di corso d'opera (si vedano anche gli elaborati PRV C3B TSE3 2040 e PRV C3B TSE3 2041).

Le nuove simulazioni condotte in questa fase, eseguite su volumetrie di circa  $1 \text{ m}^3$ , 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. Al contrario, 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 dai nei primi scavi realizzati per l'installazione del cantiere della galleria esplorativa della Maddalena risulta che nel deposito sono presenti blocchi di dimensioni fino a circa  $15 \text{ m}^3$ .

Pertanto, sebbene la maggioranza delle simulazioni mettano 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.

A tal proposito, 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, distribuite lungo tutto lo sviluppo del cantiere a ridosso del versante (intervento attualmente già adottato nel cantiere della galleria geognostica della Maddalena), puntuali interventi di messa in sicurezza sul versante tipo la rimozione (disgaggio) o stabilizzazione (ad es. con ancoraggi o reti aderenti) dei massi individuati, contestuale messa in opera di un sistema di monitoraggio con lo scopo di registrare eventuali movimenti dei blocchi più instabili 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 (es. rilevato paramassi) 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.*

#### 4.2 Attività fluvio-torrentizia – Torrente Clarea

I rischi collegati alla dinamica fluviale sono legati al conoide attivo del torrente Clarea. I depositi legati al conoide alluvionale sono costituiti da depositi misti di limi sabbiosi e sabbie limose con ghiaia, ghiaie con ciottoli, sabbie ghiaiose e livelli di ciottoli in matrice limoso-sabbiosa. All'interno si rinvencono locali blocchi e trovanti lapidei derivanti dall'erosione del substrato roccioso. Tale unità occupa prevalentemente la porzione settentrionale dell'area di cantiere più vicina all'attuale corso del Torrente Clarea.

L'ubicazione dell'area di cantiere interessa parte dell'apparato di conoide alluvionale del Torrente Clarea. Il PAI, consultato sul sito web [http://www.adbpo.it/maplab\\_projects/webgis](http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis) nel mese di ottobre 2012, classifica il conoide del Torrente Clarea come conoide attivo – *Ca* (Figura 8).



## Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale

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

AtlanteDeiPiani

### Legenda

#### Layer

##### PAI - Dissesti (Elaborato 2, Allegato 4) - Valanghe

pericolo elevato (Va) - linee

pericolo elevato (Va) - aree

##### PAI - Dissesti (Elaborato 2, Allegato 4) - Conoidi

area non protetta (Ca)

area parzialmente protetta (Cp)

area protetta (Cn)

##### PAI - Dissesti (Elaborato 2, Allegato 4) - Frane

frana attiva (Fa) - aree

frana attiva (Fa) - punti

frana quiescente (Fq) - aree

frana quiescente (Fq) - punti

frana stabilizzata (Fs) - aree

frana stabilizzata (Fs) - punti

##### PAI - Aree RME (Elaborato 2, Allegato 4.1)

Quadro d'unione RME

Redraw Map

Dimensione Carta

L (600x450)

Modalità: HTML

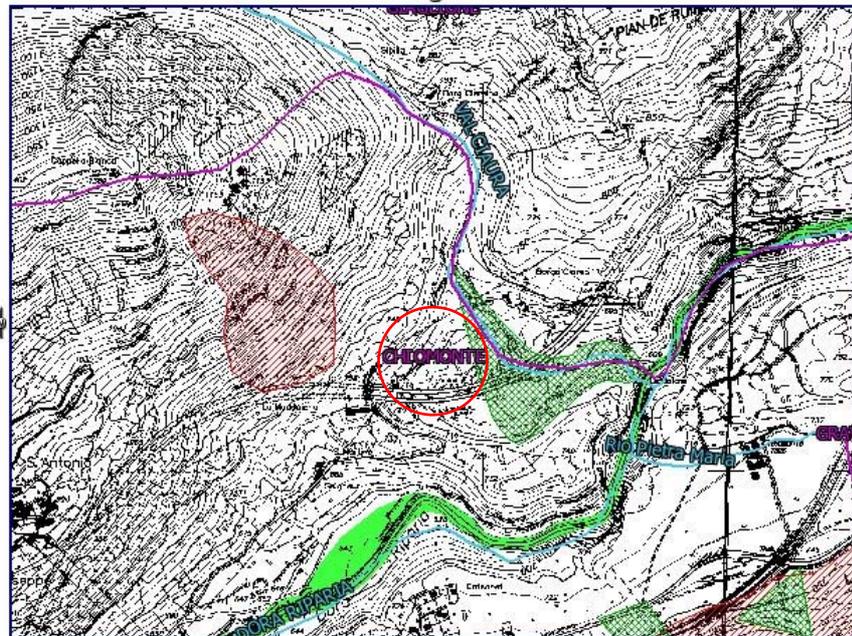


Figura 8: Stralcio carta dei dissesti e pericolosità geomorfologica del PAI: in verde retinato il conoide attivo non protetto del Torrente Clarea Ca, in verde la fascia fluviale A della Dora Riparia; in rosso rigato la frana attiva della Maddalena Fa (Fonte: sito web [http://www.adbpo.it/maplab\\_projects/webgis](http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis) consultato in ottobre 2017). Il cerchio rosso indica l'area di cantiere dell'imbocco Maddalena 2.

Il torrente Clarea è stato caratterizzato nel corso dell'evento alluvionale del 2000 e del 2008 da localizzati fenomeni di trasporto e deposizione di materiale grossolano lungo l'asta torrentizia e da colamenti della coltre superficiale lungo i versanti.

Nella configurazione di progetto di Progetto Definitivo Approvato, dove il cantiere di Maddalena risultava distante dalle sponde del torrente, l'analisi dell'interferenza con il rio si configurava come verifica della protezione spondale delle pile dell'attuale viadotto e dello svincolo di Chiomonte in progetto.

Dallo studio idraulico condotto nel 2013 (rif. PD2-C3A-MUS-0850) risulta infatti che il deflusso idrico del torrente Clarea, in considerazione della posizione delle pile ed associato alle quote dell'impalcato, non risulta influenzato dalle opere in progetto e risulta confinato nell'alveo attuale.

Dal punto di vista complessivo del comportamento del corso d'acqua sul conoide appare critica la presenza del ponte esistente su Strada delle Gallie, ubicato a quota 680m s.l.m. circa.

Come già avvenuto nel 2008, anche nel corso di piene poco più che ordinarie il ponte è soggetto a rischi di ostruzione, connessi principalmente al trasporto di ramaglie e tronchi caduti in alveo operato dalla corrente che contribuiscono al deposito del materiale lapideo ed alla conseguente formazione dello sbarramento.

Quanto sopra, associato alla pericolosità del conoide attivo del torrente Clarea, impone la programmazione e realizzazione di interventi di pulizia del canale attivo e in generale la

**Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio**

pulizia periodica dell'alveo del Clarea in corrispondenza e a monte del ponte per un tratto di circa 400 m (da quota 700 m a quota 760 m s.l.m.), da effettuarsi al termine di ogni evento di piena.

Con l'adozione della "Variante Maddalena" di cui in Premessa, il sedime del cantiere di Maddalena previsto in Progetto Definitivo Approvato risulta insufficiente ai fini della realizzabilità delle opere; l'area viene pertanto ampliata prevedendo l'occupazione anche di una porzione di conoide presente in sponda sinistra.

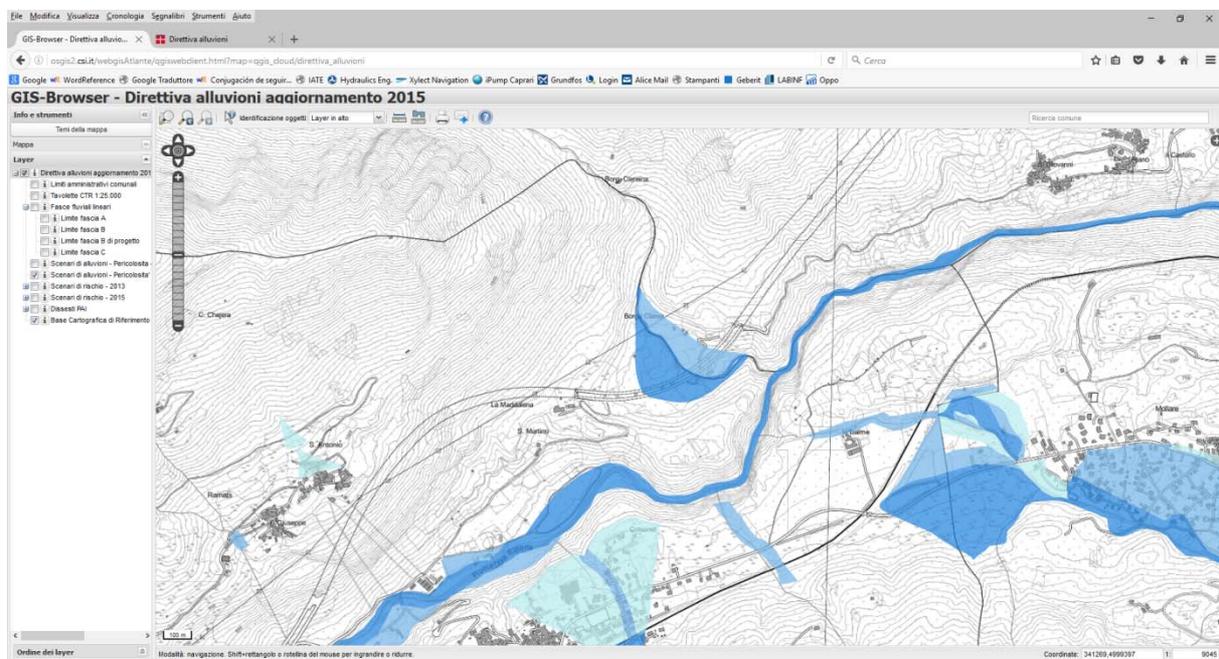
Il torrente Clarea risulta pertanto interferente con il cantiere e a tal fine è stato operato uno studio idraulico che ha portato alla definizione delle opere di protezione dalle esondazioni previste in progetto (arginatura e strade perimetrali su rilevato).

Lo studio idraulico è rappresentato nei seguenti elaborati progettuali:

- PRV-C3A-TS3-7360 Relazione idraulica
- PRV-C3A-TS3-7361 Planimetria idraulica zone di esondazione – Ante operam
- PRV-C3A-TS3-7362 Planimetria idraulica zone di esondazione – Condizioni transitorie di cantiere

Dai calcoli condotti, viene confermato come il ponte su Strada delle Gallie rappresenti un punto critico già per le portate liquide con tempo di ritorno cinquantennale anche in assenza di sbarramento operato dai detriti trasportati dalla corrente; non si riscontrano viceversa fenomeni di esondazione in destra o sinistra.

Pur non essendo noti eventi di esondazione del torrente a valle del ponte, nell'ambito della Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta "Alluvioni", recepita con D.lgs. 49/2010, le carte inerenti la conoide individuano uno scenario di probabilità da alluvione "Elevata" in sponda destra e "Media" in sponda sinistra (cfr. tavola P2015\_153NE) associata ad una classificazione di rischio "R1 – Rischio moderato" (cfr. tavola R2015\_153NE).



Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e  
geotecnica di dettaglio

Figura 9: Stralcio della “Carta della pericolosità da alluvione” della Direttiva 2007/60 CE “Alluvioni”:  
Considerando il tratto di torrente sul conoide, in azzurro medio le aree con Probabilità di alluvioni  
“Media” (TR 100/200 – Sponda sinistra) ed in azzurro scuro le aree con Probabilità di alluvioni  
“Elevata” (TR 20/50 – Sponda destra)

Fonte: sito web <http://www.regione.piemonte.it/difesa-suolo/cms/direttiva-alluvioni.html> consultato il 11.11.2016

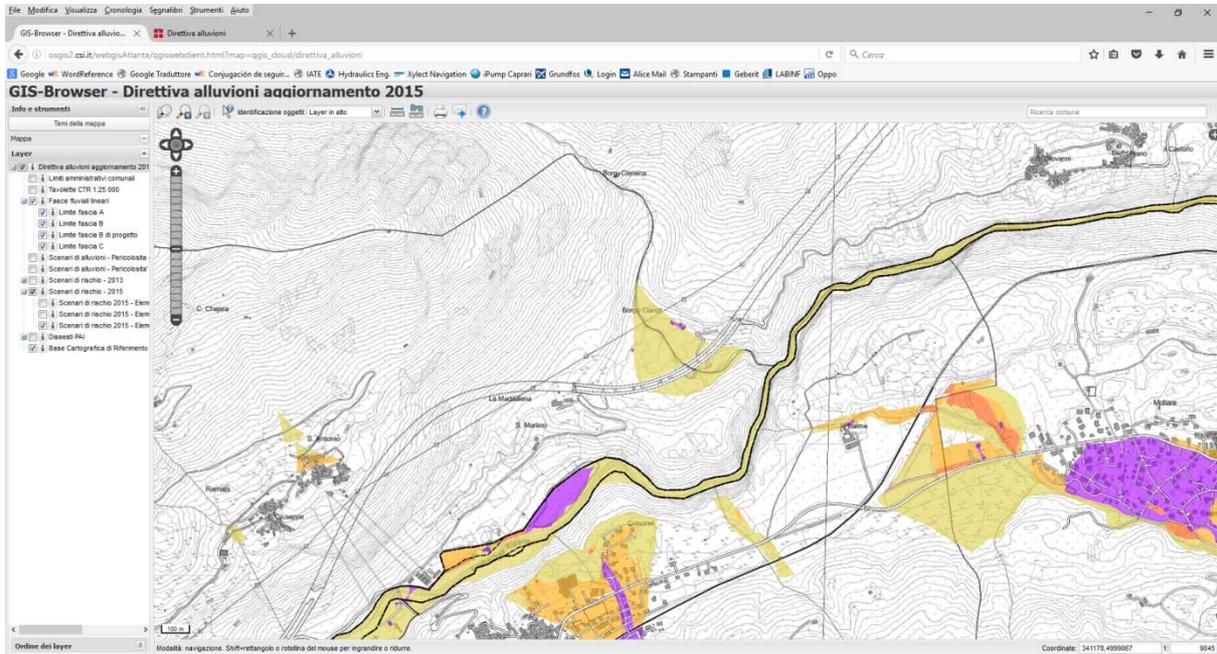


Figura 10: Stralcio della “Carta del rischio da alluvione” della Direttiva 2007/60 CE “Alluvioni”:  
Considerando il tratto di torrente sul conoide, in giallo le aree con scenari di rischio “R1 – Rischio moderato”  
Fonte: sito web <http://www.regione.piemonte.it/difesa-suolo/cms/direttiva-alluvioni.html> consultato il 11.11.2016

## 5. Caratteristiche geotecniche e gomecniche dei terreni e del substrato roccioso e caratterizzazione sismica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata effettuata per mezzo dell'analisi dei risultati delle indagini geognostiche riportate in Figura 11 e riassunte in Tabella 2.

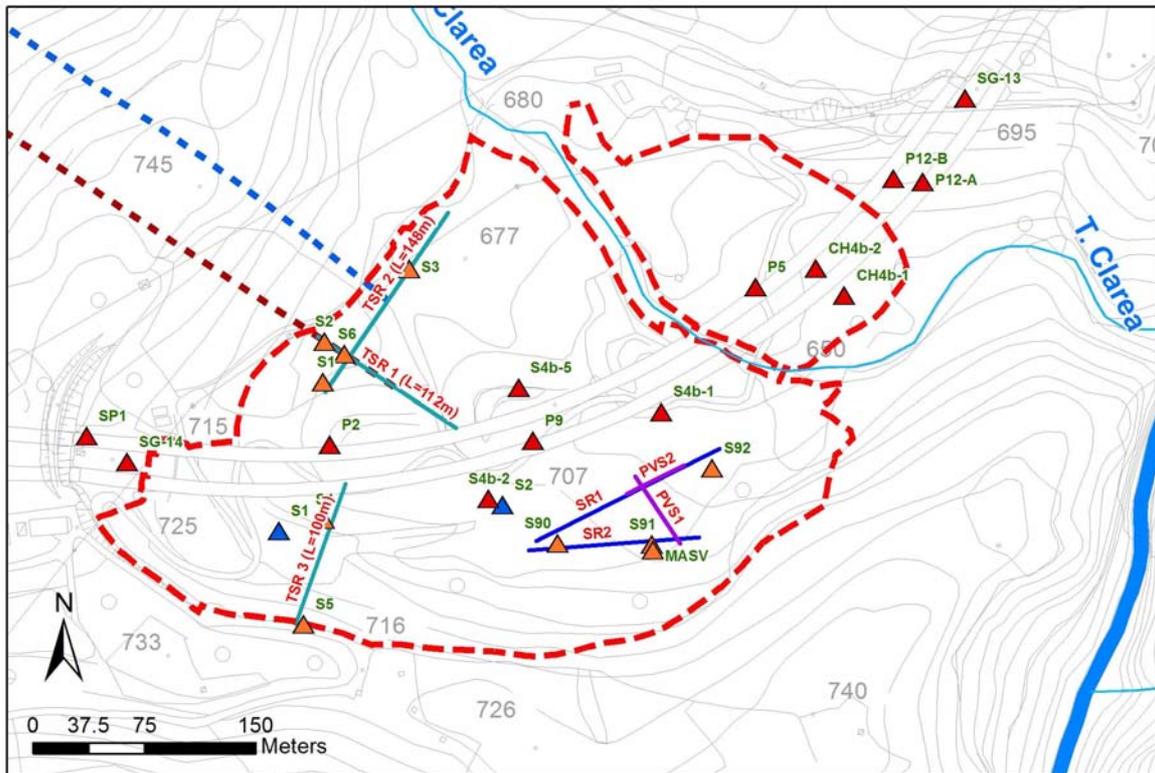


Figura 11 – Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche nell'area di cantiere della Maddalena le due linee tratteggiate indicano le tracce delle due gallerie (in granata la Galleria della Maddalena 1, in blu la Galleria della Maddalena 2), il contorno tratteggiato rosso il limite del cantiere.

In base alle unità litostratigrafiche principali, ai risultati delle prove in foro e alle prove di laboratorio realizzate è stato possibile preliminarmente riconoscere nell'area di studio cinque unità geotecniche fondamentali:

- unità geotecnica UG1: corrispondente ai depositi superficiali meno addensati di tipo prevalentemente sabbioso-limoso con subordinata ghiaia e ciottoli, che corrispondono all'orizzonte di alterazione superficiale; fanno parte di quest'unità anche i terreni superficiali descritti come presumibile terreno di riporto nelle stratigrafie dei sondaggi;
- unità geotecnica UG2: corrispondente alla sabbia e sabbia limosa con ghiaia e ciottoli presente generalmente al di sotto dei terreni dell'UG1 sino a circa 15-20 metri di profondità
- unità geotecnica UG3: comprende i depositi più grossolani rappresentati da ghiaie con ciottoli in matrice sabbiosa o sabbioso-limoso subordinata.
- unità geotecnica UG4: è costituita da depositi più fini limoso-sabbiosi con subordinata ghiaia e rari ciottoli. Tali terreni formano livelli discontinui di potenza ridotta intercalati all'interno dei litotipi delle unità sopradescritte.
- unità geotecnica UG5: è costituita dai calcescisti della zona piemontese e dagli gneiss aplitici del complesso di Ambin. In particolare i calcescisti costituiscono verosimilmente il substrato su cui poggiano i depositi di conoide alluvionale nel settore

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

sub-pianeggiante dell'area di cantiere; gli gneiss costituiscono il substrato roccioso sul settore di versante, al di sotto dei depositi detritici e glaciali.

Di seguito si propone una tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici ricavati a partire dai risultati di tutte le indagini realizzate per differenti progetti nell'area di studio, distinti per ciascuna unità geotecnica. I parametri geotecnici proposti di seguito sono stati valutati tenendo conto anche dei valori caratteristici, proponendo come valori quelli più prossimi ai valori minimi a favore della sicurezza.

Unità geotecnica	Litotipo	Peso di volume	Coesione	Angolo di attrito	Modulo di Young	Modulo di taglio	Coefficiente di permeabilità	UCS
		kN/m <sup>3</sup>	c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)	G (MPa)	K (m/sec)	MPa
Ug1	Sabbia limosa con subordinata ghiaia	18-20	0	25-30	20-25	-	1E-03 - 1E-05	
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia e ciottoli	18-20	0-10	25-35	100-200	10-40	1E-03 - 1E-05	
Ug3	Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa subordinata	19-21	0	26-35	100-200	10-40	1E-03 - 1E-05	
Ug4	Limi sabbiosi con subordinata ghiaia	18-20	0-20	25-33	20-40	-	1E-06 - 1E-08	
Ug5	Calcescisti / Gneiss	26-28 / 26-27	70-110* / -	30-35* / -	1500-2500 / 46000-71000			20-80 / 35-220
*=valori residui								

Tabella 2 – Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici per ciascuna delle unità geotecniche interessate dalle opere in progetto (per degli gneiss si veda anche i parametri indicati in

Tabella 1).

### 5.1 Caratterizzazione sismica del suolo

Durante le campagne di indagini LTF 2011-2012 per il cantiere della Maddalena sono state anche realizzate una serie di indagini geofisiche al fine di permettere di determinare:

- la profondità e la geometria del substrato roccioso;
- distribuzione delle onde di taglio in funzione della profondità sui primi 30 m (dati Vs30) e la determinazione della categoria sismica di sottosuolo;

Nel settore settentrionale dell'area di cantiere sono state effettuate tre linee sismiche a rifrazione in onde di taglio e in onde di compressione (TSR1, TSR2 e TSR3) mentre nel settore meridionale sono state realizzati un sondaggio Vs30 (SVs1) e due profili Vs30 (PVs1 e PVs2).

L'ubicazione delle indagini sismiche descritte è riportata in Figura 11.

Sondaggio Vs30 (SVs1): la velocità equivalente Vs30 calcolata è pari a 410 m/sec; conseguentemente la categoria di sottosuolo risulta B (Vs30 compresa tra 360 e 800 m/sec).

Profili Vs30 (PVs1 e PVs2): la velocità equivalente Vs30 calcolata è pari a 350 m/sec per il profilo PVs1 e 323 m/sec per il profilo PVs2. Pertanto la categoria sismica di sottosuolo risulta C (Vs30 compresa tra 180 e 360 m/sec).

Sulla base delle considerazioni espone sopra e sulla base delle indicazioni espresse nella normativa, i terreni presenti nel settore meridionale dell'area di cantiere presentano caratteristiche al limite tra le classi B e C; in via cautelativa tali litotipi possono essere considerati appartenenti alla categoria sismica C.

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle categorie di sottosuolo estratta dalle “Norme tecniche per le costruzioni” (D.M. 14 gennaio 2008)

Attraverso le tre linee sismiche a rifrazione TSR1, TSR2 e TSR3 realizzate è stato possibile ricostruire la successione litostratigrafica del sottosuolo e la stima del grado di addensamento, direttamente proporzionale alle onde di compressione. I modelli tomografici delle sezioni sismiche a rifrazione permettono di identificare tre sismostrati a velocità omogenea:

Strato	Velocità onde P [m/s]	Velocità onde S [m/s]
1	$< 1000$ m/s	$200 < V_s < 600$ m/s
2	$1000 < V_p < 2000$ m/s	$600 < V_s < 1200$ m/s
3	$2000 < V_p < 3500$ m/s	$1200 < V_s < 2000$ m/s

I tre differenti sismostrati non sono rappresentativi di cambi litologici significativi, ma piuttosto di un costante incremento del grado di addensamento dei depositi di origine glaciale. Il gradiente di velocità è, infatti, regolare, e non manifesta incrementi legati a superfici di contatto nette.

In conclusione, le sezioni tomografiche di velocità delle onde P e S hanno messo in luce la presenza di una situazione lito-stratigrafica caratterizzata da:

- Terreni scarsamente addensati con spessore fino a circa 10-12 metri – strato 1
- Terreni mediamente addensati (tra 10-12 m e 28-30 m di profondità) con grado di consistenza gradualmente crescente con la profondità - strato 2
- Terreni da addensati a molto addensati oltre i 30 metri ca. di profondità

Effettuando una media armonica delle velocità delle onde di taglio (S) ricavate e relative ai primi due sismostrati (profondità 30 m), in funzione che si considerino i valori di velocità minimi, medi o massimi si ricavano le seguenti Vs30:

- Vs30 pari a 330 m/s utilizzando le velocità delle onde di taglio minime;
- Vs30 pari a 570 m/s utilizzando le velocità delle onde di taglio medie;
- Vs30 pari a 857 m/s utilizzando le velocità delle onde di taglio massime.

Tali velocità sono da attribuire a terreni ricadenti nelle categorie C, B e A; in via cautelativa tali terreni possono essere considerati appartenenti alla categoria sismica C.

A valle delle indagini descritte è stata redatta una carta della pericolosità sismica in scala 1:5000 ed allagata alla presente relazione (Allegato 4). In tale carta vengono riportate tre tipologie di zone, individuate secondo quanto definito dagli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (APAT 2008 – livello 1):

- zone stabili
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, corrispondono alle aree in frana ed alle aree in cui le condizioni stratigrafiche ed idrogeologiche potrebbero dare luogo a fenomeni di liquefazione, alle faglie attive e capaci, alle aree caratterizzate da cedimenti differenziali.

### **5.1.1 Zone Stabili**

All'interno delle zone stabili sono state distinte due zone omogenee.

La zona 1 corrisponde a zone stabili caratterizzate da  $V_{s,30} \geq 800$  m/s, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento. Corrisponde alle aree di affioramento del substrato metamorfico (Bedrock) con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°).

In entrambe le zone i terreni sono riconducibili alla categoria A.

### **5.1.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Tra le zone stabili sono state distinte cinque zone omogenee:

La zona 2 corrisponde ad aree in cui il bedrock ( $V_{s,30} \geq 800$  m/s) affiora o è coperto da depositi per spessori inferiori a 3 m e le pendenze della superficie topografica sono superiori a 15°. In questa zona i terreni sono riconducibili alla categoria A.

La zona 3 corrisponde ad aree in cui il bedrock è ricoperto da depositi con  $V_{s,30} < 800$  m/s ed in particolare da coltre detritico-colluviale o da detrito di falda, per spessori presunti inferiori a 20 m. In questa zona i terreni sono riconducibili alle categorie B, E.

La zona 4 corrisponde ad aree costituite da depositi glaciali indifferenziati ( $V_{s,30} < 800$  m/s), localmente cementati, con spessori molto variabili. In questa zona i terreni sono riconducibili alle categorie B, C.

La zona 5: corrisponde alla piana di fondovalle, costituite da depositi alluvionali o depositi fluvio-torrentizi che costituiscono gli apparati dei principali conoidi. I depositi, sciolti, caratterizzati da depositi con  $V_{s,30} < 800$  m/s e a granulometria prevalentemente grossolana,

hanno uno spessore non stimabile ma generalmente superiore al centinaio di metri. La falda nei punti più alti si attesta a profondità superiori a 20 m di profondità, e generalmente è ubicata a profondità superiori ai 35 m. Sulla base dei risultati dei sondaggi e dei dati a disposizione, in questa zona i terreni sono riconducibili principalmente alle categorie B o C.

La zona 6: corrisponde alle aree di fondovalle costituite da terreni di riporto che costituiscono i rilevati a protezione delle pile autostradali, caratterizzati da  $V_{s,30} < 800$  e spessori inferiori a 10 m che ricoprono terreni della zona 6. In questa zona i terreni sono riconducibili alla categoria S2.

### 5.1.3 Zone suscettibili di instabilità – aree in frana

Le aree in frana potrebbero innescare fenomeni di amplificazione sismica. Nel settore esaminato è presente un fenomeno franoso quiescente.

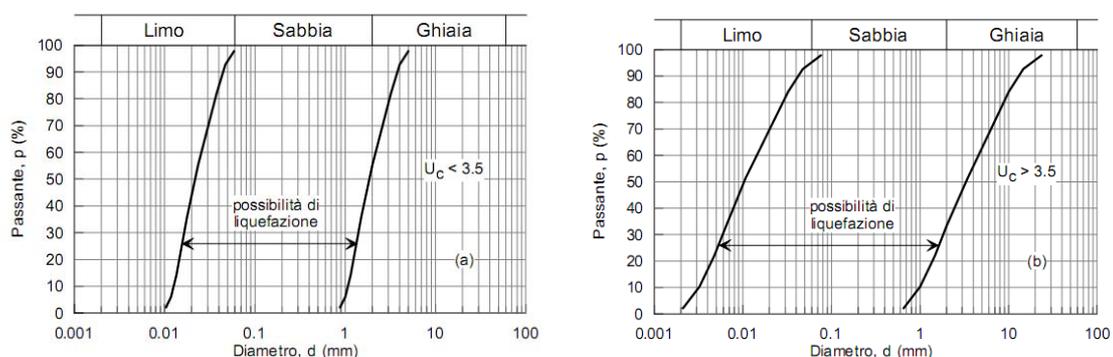
### 5.1.4 Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione

Con il termine "liquefazione" si intende una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Dal punto di vista geologico, le condizioni stratigrafiche tali far ipotizzare la possibilità di fenomeni di liquefazione potrebbero essere presenti nella zona 6.

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

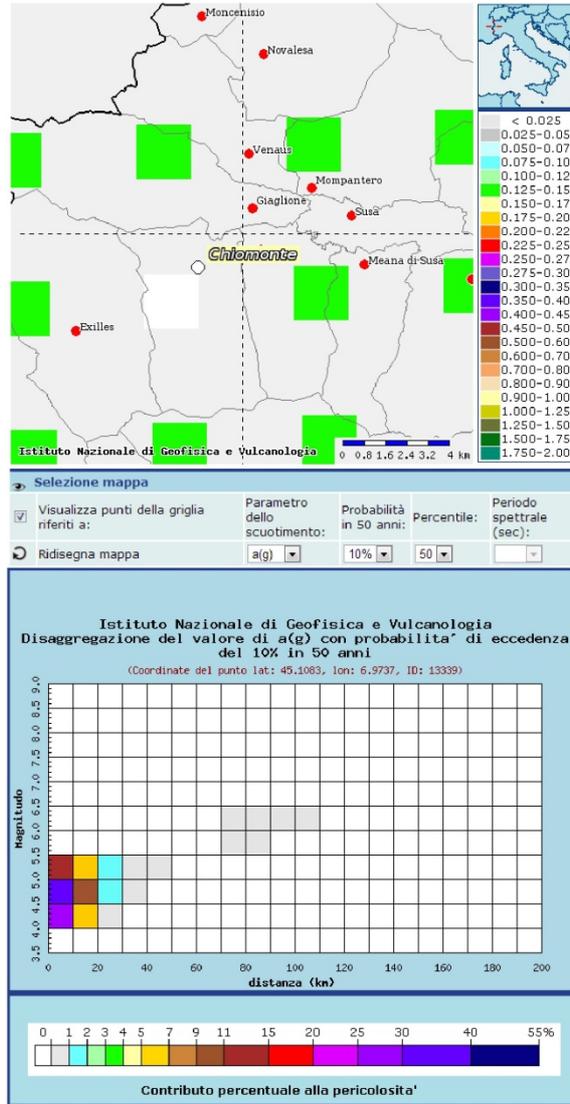
- 1) eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dal DM (Figura 12).



Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

Figura 12 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione. Sinistra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$ . Destra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Per l'area esaminata la **condizione 1 è soddisfatta** in quanto la magnitudo media attesa è di 4.710, inferiore a 5, come desunto dal sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>). Si riporta il dato relativo al nodo ubicato a sud-ovest dell'area: si precisa che i dati relativi agli altri nodi limitrofi e ai nodi ubicati intorno all'area forniscono lo stesso risultato di magnitudo attesa.



Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.1083, lon: 6.9737, ID: 13339)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	27.400	35.700	11.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	5.060	10.300	6.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.188	1.250	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.028	0.282	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.710	7.600	0.779

Figura 13 – Mappe indicanti le accelerazioni in campo libero nel territorio del comune di Chiomonte (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV).

Pertanto, essendo soddisfatta la prima condizione, ai sensi del DM2008 non è necessaria la verifica di suscettibilità a liquefazione.

**5.1.5 Zone suscettibili di instabilità – faglie attive e capaci**

I dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Basili R., et al., 2008; DISS Working Group, 2009) concernenti le faglie attive presenti nel "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS) non riportano per la Valle Susa strutture note sismicamente attive (Figura 14).

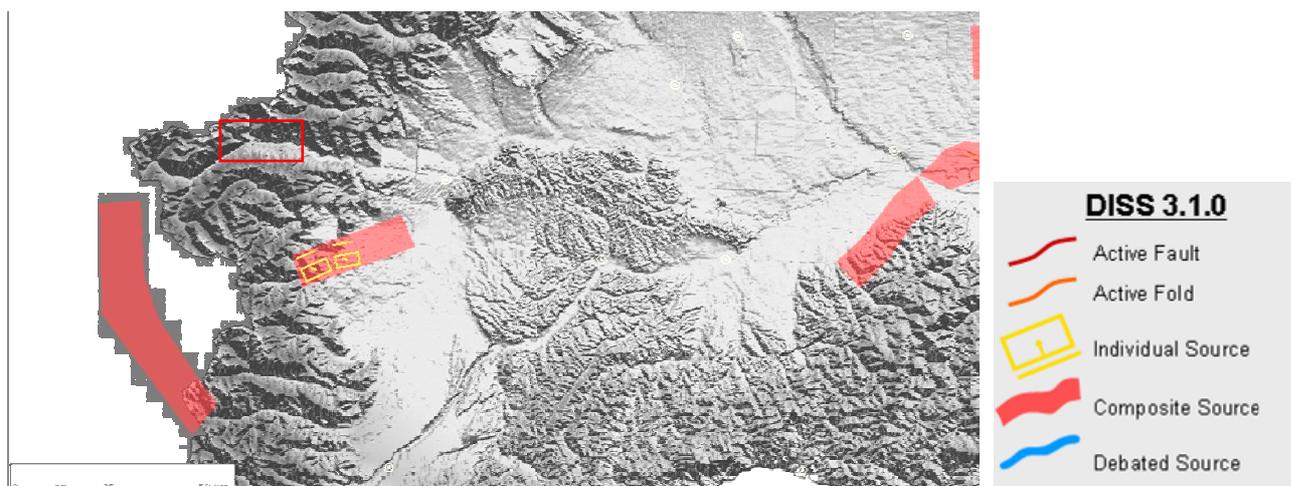
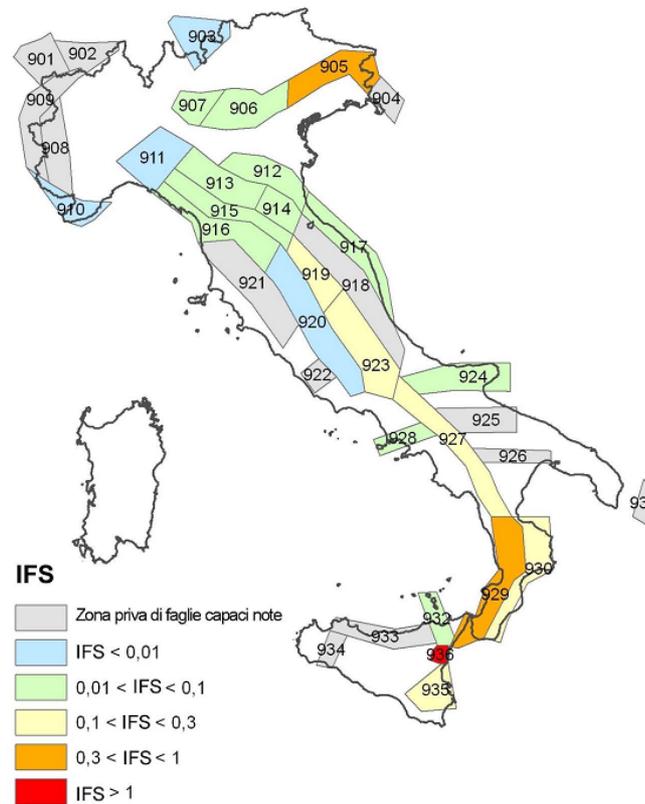


Figura 14 – Stralcio webgis DISS. Il rettangolo rosso indica l'area di progetto

Nella successiva figura si evidenzia come nell'area interessata dal tracciato di progetto non vi siano “faglie capaci”, ovvero faglie attive in grado di produrre, attraverso terremoti

Rapport géologique, hydrologique, géomorphologique et géotechnique de détail / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e  
geotecnica di dettaglio

morfogenici (Caputo, 2005), fagliazione superficiale, dislocazioni e/o deformazioni significative della superficie terrestre o in prossimità di essa (IAEA, 2003).



Fonte: APAT, INGV

Figura 15 - Classificazione delle zone sismogenetiche ZS9 in funzione dell'indice IFS (Indice di Fagliazione Superficiale).

### 5.1.6 Zone suscettibili di instabilità – cedimenti differenziali

Il possibile verificarsi di cedimenti differenziali a causa di eterogeneità granulometriche nei livelli costituenti i terreni di fondazione, può verificarsi in alcuni livelli presenti nelle zone 5 e 6.

## 6. Idrogeologia

Da un punto di vista idrogeologico, nell'area di studio si possono distinguere nel sottosuolo due principali unità idrogeologiche, distinguibili per la loro omogeneità di costituzione (granulometria) e di continuità orizzontale e verticale, corrispondenti alle due principali unità litotecniche potenzialmente presenti.

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

- basamento roccioso (costituito dai calcescisti della Zona Piemontese);
- depositi quaternari.

I depositi quaternari affiorano con continuità lungo tutta l'area in oggetto e presentano una potenza verticale di almeno 65 m e uno spessore laterale nel settore di imbocco di circa 100 m, in accordo sia con i sondaggi S91 e S92 realizzati durante la campagna indagini LTF per il progetto del Tunnel della Maddalena che con i dati di scavo dello stesso tunnel. 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. Le coperture quaternarie presentano una permeabilità primaria per porosità variabile, legata sia alle caratteristiche granulometriche degli elementi costituenti sia al grado di cementazione dei depositi. Questa unità è sede dell'acquifero libero superficiale.

Geologia	Grado di permeabilità	Circolazione idrica sotterranea
detrito di falda, coni detritici, frane di crollo e miste	da media ad elevata in funzione della granulometria dei depositi	circolazioni idriche di versante ricaricate direttamente dalle precipitazioni
depositi glaciali e fluvioglaciali indifferenziati e coperture detritiche di rilevante spessore	da medio-bassa a media in relazione alla matrice fine presente ed al grado di cementazione	possibile presenza di falde freatiche ricaricate sia lateralmente dagli apporti del versante (corpo di frana) sia direttamente per precipitazione
depositi di conoide alluvionale e mista e depositi torrentizi	da media a medio-elevata	falda freatica ricaricata sia dai versante (lateralmente) sia direttamente. L'asta torrentizia è il punto di recapito e drenaggio dei corpi acquiferi

Tabella 4: Caratterizzazione dei depositi quaternari dal punto di vista idrogeologico.

Le informazioni relative alla permeabilità dei terreni sono state ricavate principalmente dalle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio realizzati nel 2011-2012 per il Progetto del Tunnel della Maddalena. Le prove di permeabilità infatti forniscono dei valori del coefficiente di permeabilità variabili tra  $1E-07$  e  $1E-03$  m/s ed un valore di permeabilità medio dell'ordine di circa  $6E-04$  m/s (indicativo di un grado di permeabilità medio-alto).

Per quanto riguarda il substrato roccioso, in condizioni massive o poco fratturate il complesso presenta caratteristiche di permeabilità relativamente bassa. Al contrario, per le porzioni di roccia coinvolte nella zona a scaglie tettoniche e dunque a maggior fratturazione, è ipotizzabile una permeabilità variabile da bassa a media (tra  $1E-08$  e  $1E-06$  m/s).

La falda nei depositi quaternari è stata dedotta sulla base dei dati piezometrici disponibili ed oscilla tra circa 11 e 27 metri di profondità.

Va tuttavia sottolineato che durante lo scavo della prima parte del cunicolo esplorativo della Maddalena non è stata riscontrata la presenza d'acqua.

## 7. Bibliografia

**ARPA Piemonte** – WEBGIS Banca Dati Geologica e Geotecnica, IFFI/SINFRAP, SIVA, banca dati eventi alluvionali - [http://webgis.arpa.piemonte.it/elenco\\_servizi/index\\_ori.html](http://webgis.arpa.piemonte.it/elenco_servizi/index_ori.html)

**Bassato G., Cocco S., Silvano S. (1985)** - *Programma di simulazione per lo scoscendimento di blocchi rocciosi*. Dendronatura 6, pp. 34-36.

**Broili L.(1979)** - *La zonazione geologico-tecnica del territorio*. Rassegna tecnica del Friuli-Venezia Giulia, n. 5.

**Fontan D., Stringa I. & Dematteis A. (2004)** - *Alluvial fan hazard: evaluation and zonation*. 10° Congresso Interpraevent, Riva del Garda 24-27.05.2004.

**Franchi, S., Novarese, V., Mattiolo, E., Stella, S. (1913)** - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F°. 55- Susa*. SE.L.CA. Firenze, 1959.

**Hungr, O., G.C. Morgan, and R. Kellerhals. (1984)** - *Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures*. Can. Geotech. J. 21:663-677.

**Hudson, Priest (1979)** - *Discontinuities and rock mass geometry* - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts , vol. 16, n. 6, pp. 339-362, 1979.

**LTF (2013)** – *Carta geologica e dei rilievi geostrtturali*. Cunicolo Esplorativo della Maddalena – Progetto Esecutivo.

**Marco, F., F. Forlati(2002)** - *Pericolosità geologica in conoide: ricerca bibliografica e analisi critica*. A cura del Settore Studi e ricerche Geologiche Sistema Informativo Prevenzione Rischi. Regione Piemonte. Collana informativa tecnico-scientifica. Quaderno n. 18, 246 pp..

**Mazzalai P. e Vuillermin M. (1995)** - *Definizione e protezione delle aree esposte a rischio di caduta massi: un esempio operativo*. Geologia tecnica ed ambientale 3/1995.

**Note Illustrative della C.G.I. (1999)** - Foglio 154 “Susa”, scala 1:50.000, *Servizio Geologico d’Italia*.

**Provincia di Torino(2011)** - Piano Territoriale di Coordinamento PTC2 – Progetto definitivo.

**Piteau D.R., Clayton R. (1977)** - *Discussion of paper - "Computerized design of rock slopes"* - XVI Symposium on Rock Mechanics, Minneapolis.