

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

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO  
CUP C11J05000030001

GEOLOGIE – GEOLOGIA

TUNNEL DE BASE – TUNNEL DI BASE

GALERIE DE VENTILATION DE VAL CLAREA – GALLERIA DI VENTILAZIONE VAL CLAREA  
PLATFORM DU PORTAIL – AREA DI IMBOCCO

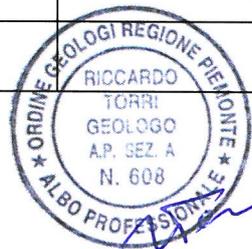
Géologie, hydrogéologie et géotechnique – Geologia, idrogeologia e geotecnica

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique

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	16/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	M. STRA, I. STRINGA M. FACHINO (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Prise en compte des commentaires LTF / Recepimento dei commenti LTF	M. STRA, I. STRINGA M. FACHINO (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
				<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
				<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

  
Tecnimont  
Civil Construction  
Dott. Ing. Aldo Mancarella  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R



CODE DOC	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>2</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>2</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>47</b>	<b>05</b>	<b>10</b>	<b>01</b>
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-



## SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO .....	3
1. INTRODUZIONE .....	5
2. CONTESTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO .....	6
2.1 Substrato prequaternario .....	6
2.2 Depositi quaternari.....	7
2.2.1 Depositi fluvio-torrentizi .....	7
2.2.2 Depositi detritici di versante .....	10
2.2.3 Depositi di conoide di origine mista .....	10
2.2.4 Depositi glaciali .....	11
2.2.5 Depositi e manufatti antropici.....	12
3. RISCHI NATURALI.....	13
3.1.1 Attività di versante - frane .....	13
3.1.1.1 Simulazione caduta massi senza opere di difesa.....	16
3.1.1.2 Simulazione caduta massi con barriere paramassi .....	21
3.1.1.3 Simulazione frana in roccia Pian del Gias .....	23
3.1.2 Attività di versante - valanghe .....	25
3.1.3 Attività fluvio-torrentizia – Torrente Clarea.....	29
3.1.4 Attività fluvio-torrentizia – Rii tributari .....	33
3.1.5 Sintesi opere di difesa e interventi proposti .....	37
4. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI .....	38
5. IDROGEOLOGIA.....	38
5.1 Apporti idrici lungo i versanti.....	40
5.2 Deflusso nei depositi di versante .....	41
5.3 Modello idrogeologico della falda di fondovalle.....	42
6. BIBLIOGRAFIA .....	49
ALLEGATO 1 – SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	50
ALLEGATO 2 – PP2_C30_TS3_2021_A_AP_NOT - RISORSE IDRICHE_CLAREA.....	51

## RESUME/RIASSUNTO

Le présent document décrit les éléments géologiques, géomorphologiques et l'hydrogéologiques des zones situées en correspondance de l'accès à la galerie de ventilation de Clarea prévue et des bâtiments techniques prévus dans le fond du val du torrent Clarea, entre les cotes 1110 m et 1140 m environ.

Le tracé de la galerie de Clarea traverse exclusivement l'unité de la série de Clarea constituée par micascistes et « gneiss minuti ». La couverture quaternaire, qui recouvre de façon irrégulière le substratum, est constituée de dépôts détritiques, souvent en forme de cônes, et par dépôts alluviaux/torrentiels présents dans le fond du val et dans les cônes des torrents tributaires. En outre sont présents des dépôts glaciaires souvent remaniés par les activités gravitaires et torrentielles récentes.

Du point de vue géomorphologique, les levés de terrain ont permis d'identifier phénomènes liés à l'activité de versant (éboulis par écoulement rapide, chutes de blocs, avalanches mineures). Ont été effectuées simulations numériques pour évaluer l'alea de chute de blocs qui peuvent affecter les secteurs d'accès et de chantier : on prévoit l'installation d'écrans pare-bloc.

Phénomènes d'érosion et dépôt sont néanmoins importants dans le site étudié : ils sont liés à l'activité torrentielle (débris-flow, érosion des berges, cônes alluviaux), en particulier du torrent Clarea. Proche de l'accès au tunnel, on reconnaît un lit abandonné, dont sa réactivation doit être contrastée par œuvres hydrauliques situées à l'amont. Le dimensionnement de ces œuvres doit considérer l'abondant apport liquide et du Clarea et l'apport liquide et solide du Rio San Giacomo, qui forme un étendu cône alluvial/détritique actif en rive gauche.

Le portail du tunnel de Clarea n'interfère pas avec l'aquifère du torrent Clarea puisque elle est plus élevée par rapport aux dépôts

La presente relazione descrive gli aspetti geologico-geomorfologico e idrogeologici delle aree interessate dall'imbocco e dagli edifici tecnici della galleria di ventilazione di Clarea, ubicati in corrispondenza del fondovalle del Torrente Clarea tra le quote 1110 m e 1140 m circa.

Il tracciato della galleria di ventilazione di Clarea attraversa esclusivamente l'unità geologica appartenente alla serie di Clarea costituita da micascisti e gneiss minuti. La copertura quaternaria che caratterizza l'area di imbocco e che ricopre in maniera discontinua il basamento cristallino è rappresentata da detrito di falda, talora organizzato in conoidi, e da depositi fluvio-torrentizi presenti nel fondovalle e in corrispondenza di conoidi formati dagli apporti degli affluenti laterali del Torrente Clarea. Sono presenti anche depositi di presunta origine glaciale, sovente di difficile delimitazione perché rielaborati dall'attività gravitativa e dall'attività fluvio-torrentizia successiva.

Dal punto di vista geomorfologico, le indagini di terreno hanno permesso di individuare fenomeni legati ad attività di versante (frane per colamento veloce, fenomeni di caduta massi, piccoli fenomeni valanghivi). Per quanto riguarda la caduta massi e le valanghe, sono state eseguite simulazioni numeriche per determinare il potenziale coinvolgimento delle aree di imbocco e di cantiere e per determinare gli interventi da adottare.

Nell'area esaminata si riconoscono anche importanti fenomeni di erosione e deposito legati ad attività fluvio-torrentizia (debris-flow, erosioni di sponda, conoidi alluvionali), del T. Clarea. In particolare, nelle vicinanze dell'imbocco, si riconosce un alveo abbandonato, la cui riattivazione deve essere contrastata da opere idrauliche poste a monte. Il dimensionamento di queste opere deve tenere conto dell'abbondante apporto solido del Clarea e anche dell'apporto liquido e solido proveniente dal Rio San Giacomo, che forma un esteso apparato di conoide attivo in

alluviaux/torrentiels présents dans le fond du val. Toutefois dans le modèle hydrogéologique on considère que l'aquifère du fond du val soit alimenté aussi par les cônes des torrents tributaires, sur lesquels sera réalisée la centrale de ventilation. En outre les travaux pour la réalisation du tunnel de Clarea et de la route d'accès au chantier interfèrent directement avec les dépôts alluviaux/torrentiels présents dans la vallée et qui constituent l'aquifère du fond de val.

sponda sinistra.

L'imbocco della galleria di ventilazione di Clarea non interferisce direttamente con l'acquifero di fondovalle del Clarea, poiché il sito è posizionato ad una quota superiore rispetto ai terreni di natura alluvionale-torrentizia. Tuttavia il modello idrogeologico sviluppato prevede che l'alimentazione dell'acquifero di fondovalle avvenga anche dai conoidi laterali su cui è prevista la realizzazione della centrale di ventilazione. Inoltre i lavori di realizzazione della stessa e della strada di accesso al cantiere interessano direttamente i terreni che costituiscono l'acquifero di fondovalle.

## 1. Introduzione

L'area interessata dagli imbocchi e dagli edifici tecnici della galleria di ventilazione di Clarea, è ubicata in corrispondenza del fondovalle del Torrente Clarea, a nord della frazione Buttigliera, tra le quote 1110 m e 1140 m circa.

Gli elementi geologici descritti derivano dalla consultazione della seguente documentazione:

- 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>).

Nell'area sono stati realizzati 5 sondaggi (Figura 1): 4 eseguiti per la progettazione dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux (4S3, 4S4, 4S6 e SC5) ed uno realizzato da LTF (S4). Questi sondaggi forniscono esclusivamente il profilo stratigrafico (Allegato 1) del settore senza fornire altre informazioni.

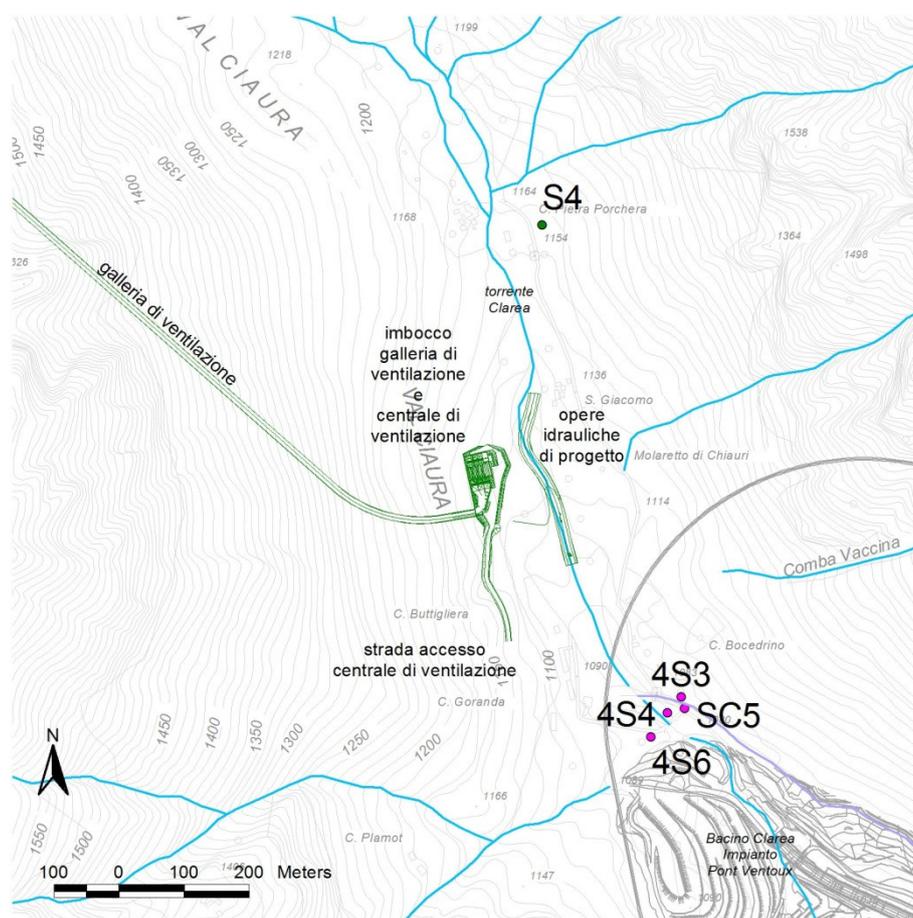


Figura 1– Stralcio cartografico del settore d'imbocco della galleria di ventilazione Clarea con ubicazione dei sondaggi esistenti.

Data l'ubicazione dei sondaggi a disposizione non in corrispondenza del settore d'imbocco, l'affidabilità del modello geologico e geotecnico proposto risulta bassa. Per compensare tale carenza è previsto un programma di indagini da realizzare durante il Progetto Esecutivo che prevede la realizzazione di indagini in corrispondenza dell'area d'imbocco.

Nella presente relazione sono forniti gli elementi di carattere geomorfologico connessi alla dinamica fluviale del T. Clarea per la progettazione delle opere previste per l'imbocco di

Clarea e la cetrale di ventilazione. Gli elementi descritti ai § 2.2, 3.1.3 e 3.1.4 permettono di definire il quadro dei rischi naturali. Al § 3.1.5 sono proposte le opere di difesa e gli interventi proposti per mitigare e superare le criticità emerse.

Tali elementi permettono di ottemperare alla prescrizione CIPE n°127 riportata di seguito.

Gli elementi di carattere idrogeologico che permettono di verificare le interferenze dei lavori con le sorgenti presenti lungo il fondovalle (citate nella stessa prescrizione n°127) sono invece trattati al § 5.

#### PRESCRIZIONE CIPE N°127

127	<p><i>Cantiere di Clarea - Sistemazione finale del sito Val Clarea: si richiede che la messa in sicurezza del torrente Clarea, che viene prevista con scogliere di massi cementati, venga realizzata con metodologie/tecniche di ingegneria naturalistica, al fine di evitare un'eccessiva artificializzazione del corso d'acqua. Dovranno essere approfonditi i seguenti aspetti, anche in considerazione del fatto che nelle integrazioni è stato considerato solo l'evento alluvionale del 2000 e non quello del 2008:</i></p> <p><i>interferenze di carattere idrologico, con particolare riferimento alle sorgenti di Prato Vecchio e alla dinamica torrentizia del Torrente Clarea (anche in termini di legge: distanze e fasce di rispetto ex R.D. 523/1904);</i></p> <p><i>aspetti progettuali relativi ai muri di contenimento del piazzale di cantiere e relativa mitigazione degli impatti.</i></p>
-----	--

## 2. Contesto geologico-geomorfologico

Dal punto di vista geologico, l'area di studio ricade all'interno del dominio Pennidico delle Alpi Occidentali, nelle unità di basamento del Massiccio d'Ambin. In particolare il tracciato della galleria di ventilazione di Clarea attraversa esclusivamente micascisti e gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati appartenenti alla serie di Clarea.

Dal punto di vista dell'assetto geo-strutturale il tracciato interessato dalla galleria di ventilazione attraversa un settore interessato da un'ampia fascia di deformazione fragile; quest'ultima è costituita da una serie di master joint e sistemi di fratture a elevata persistenza.

Dal punto di vista geomorfologico l'area di imbocco si estende in un ambiente alpino il cui paesaggio attuale, caratterizzato dalla presenza di rocce montonate e da lembi di depositi di ablazione/allogamento, è il risultato della successione di processi di modellamento glaciale, processi morfogenetici legati al rimodellamento causato dai fenomeni torrentizi e di versante. La copertura quaternaria ricopre in modo discontinuo il basamento cristallino ed è rappresentata essenzialmente da detrito di falda, talora organizzato in conoidi, e da depositi fluvio-torrentizi presenti nel fondovalle e in corrispondenza di conoidi formati dagli apporti degli affluenti laterali del Torrente Clarea. Localmente si riconoscono lembi di depositi glaciali, molto rimodellati, quasi completamente coperti da detrito di falda.

### 2.1 Substrato prequaternario

L'unità (o massiccio) di Ambin affiora sul versante sinistro della media e alta Val di Susa ed è formata da uno zoccolo di metasedimenti polimetamorfici denominato Serie (o Complesso) di Clarea e da un involucro metasedentario al quale è generalmente attribuita un'età tardo-paleozoica, denominato Serie (o Complesso) d'Ambin. Le due serie sono in contatto stratigrafico, sebbene esso coincida con un piano di taglio (Ganne et al., 2004).

Nel settore di studio il Complesso di Ambin, in posizione tettono-stratigrafica superiore al Complesso di Clarea, affiora esclusivamente alle quote più elevate della valle e lungo la parte bassa all'imbocco della valle; la restante parte del vallone omonimo è costituito dalle rocce

appartenenti al Complesso di Clarea. Di conseguenza in sotterraneo alla quota di progetto della galleria di ventilazione domina una monotonia litologica definita dai litotipi appartenenti ai micascisti a granato e glaucofane, a grana fine, di colore grigio scuro e con rare intercalazioni di metabasiti anfibolitiche, del Complesso di Clarea.

## 2.2 Depositi quaternari

Il sito d'imbocco è inquadrato in un contesto geologico nel quale domina l'affioramento di depositi sciolti di età quaternaria. Le possibili criticità sono quindi connesse alla dinamica di versante e torrentizia più o meno recente.

### 2.2.1 Depositi fluvio-torrentizi

Il fondovalle del Torrente Clarea è costituito da depositi fluvio-torrentizi attuali e recenti, separati tra loro da scarpate di altezza media di 1,5-2 m circa e spesso connesse all'alveo fluviale attivo, quindi sede di fenomeni erosione spondale (Figura 2).



Figura 2– Sponda sinistra del Torrente Clarea a quota 1138 m slm circa. Scarpa di 1,5 m di altezza che separa i depositi torrentizi attuali (a sinistra) da quelli recenti (a destra)

I depositi fluvio-torrentizi attuali formano l'alveo attivo del Torrente Clarea e alcuni dei canali di deflusso secondari dello stesso, indicati in cartografia come alvei abbandonati riattivabili in caso di piena straordinaria. I depositi, di tipo clast-supported, sono costituiti da clasti eterometrici, poligenici (principalmente gneiss e micascisti, raramente metabasiti), scarsamente arrotondati, di dimensioni da centimetriche a plurimetriche (>10 m<sup>3</sup>); i clasti sono immersi in scarsa matrice grigio-chiara ghiaioso-sabbiosa (Figura 3).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

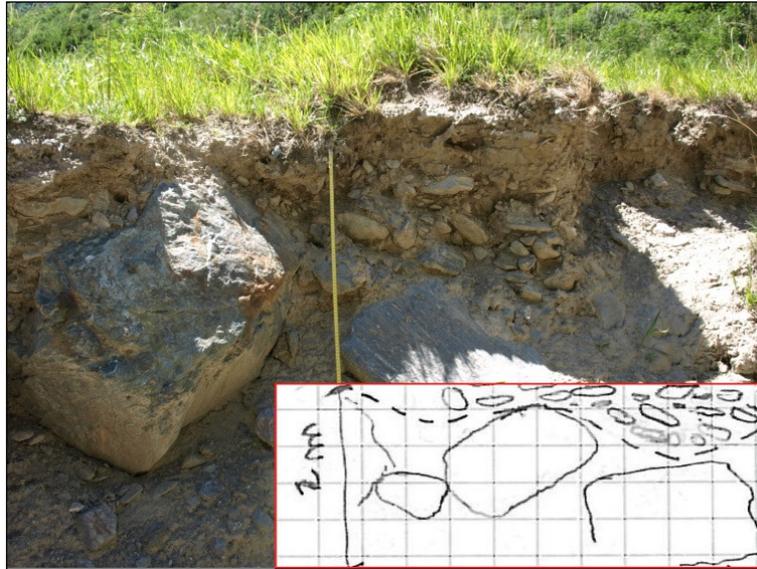


---

*Figura 3– Alveo del Torrente Clarea a quota 1145 m slm circa: depositi fluvio-torrentizi attuali*

I depositi fluvio-torrentizi recenti formano terrazzi fluviali sub-pianeggianti, coperti da vegetazione prativa o arbustiva-arborea. Si tratta di depositi clast-supported costituiti da clasti eterometrici, di dimensioni da centimetriche a plurimetriche, poligenici (gneiss, micascisti e metabasiti), con grado di arrotondamento da basso a medio, immersi in una matrice siltoso-sabbiosa color nocciola presente in percentuale variabile (Figura 4; Figura 5).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



*Figura 4– Scarpata lungo l'argine del Torrente Clarea a quota 1124 m slm circa. Depositi fluvio-torrentizi recenti*



*Figura 5 – Dettaglio di depositi fluvio-torrentizi recenti*

Nel fondovalle alluvionale sono stati osservati alcuni alvei, abbandonati all'interno dei terrazzi, costituiti da depositi fluvio-torrentizi recenti (Figura 6): si tratta di blande depressioni, occupate da vegetazione erbacea in cui, localmente, si rinvengono depositi fluvio-torrentizi attuali.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



Figura 6 – Alveo abbandonato in corrispondenza dei terrazzi in depositi fluvio-torrentizi recenti.

### 2.2.2 Depositi detritici di versante

A monte dell'area di imbocco il versante è caratterizzato dalla presenza di un'ampia falda detritica costituita da elasti e blocchi poligenici (calcescisti, micascisti, quarziti e metabasiti) di dimensioni pluricentimetrico-metrici immersi in una matrice bruna limoso-sabbiosa presente in percentuale variabile (Figura 7).



Figura 7 – Depositi di falda detritica sul versante destro

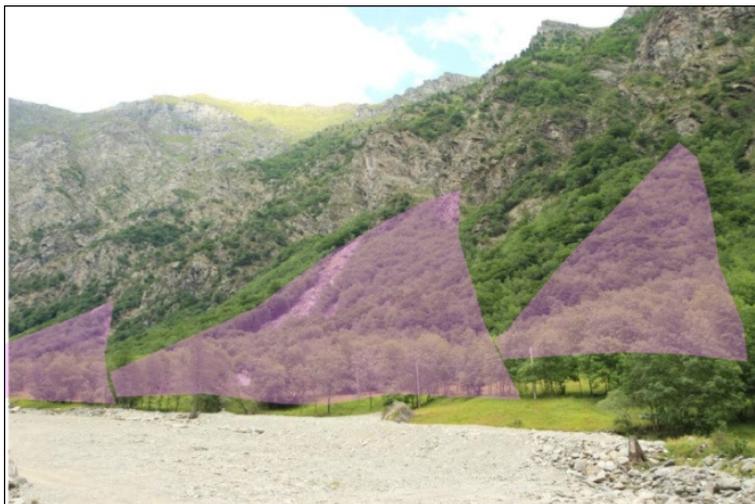
Il versante in cui si rinvencono questi depositi è generalmente occupato da vegetazione arborea piuttosto fitta, interrotta localmente da aree prive di vegetazione per la presenza di fenomeni di caduta massi o valanghivi attivi o a causa della pezzatura maggiore dei blocchi costituenti il detrito.

Localmente il detrito di versante è organizzato in conoidi coalescenti.

### 2.2.3 Depositi di conoide di origine mista

Su entrambi i versanti si osservano dei conoidi di origine mista, torrentizia e detritica, per via degli apporti provenienti dagli affluenti laterali del Torrente Clarea e dalle pareti rocciose sovrastanti molto acclivi (Figura 8). I depositi di conoide sono di tipo clast-supported e sono costituiti da elasti e blocchi spigolosi di dimensioni da pluricentriche a plurimetriche immersi in una matrice ghiaioso-sabbiosa di colore grigio chiaro (Figura 9). Negli apparati di conoide più estesi, il canale si presenta inciso con evidenze di fenomeni di tipo debris-flow.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



*Figura 8 – Conoidi di origine mista sul versante sinistro*



*Figura 9 – Depositi di conoide torrentizio-detritico sul versante sinistro*

#### **2.2.4 Depositi glaciali**

In corrispondenza del versante destro sono stati osservati e cartografati lembi di depositi glaciali: essi affiorano in particolare sul versante poco a monte dell'area di cantiere e lungo il versante a valle dell'area di cantiere. Si tratta di depositi clast-supported con clasti a spigoli arrotondati di dimensioni da pluricentriche a plurimetriche immersi in matrice siltoso sabbiosa (Figura 10).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



*Figura 10 – Depositi glaciali sul versante destro*

La rielaborazione dei depositi glaciali ad opera di agenti gravitativi ne ha parzialmente obliterato le caratteristiche forme, rendendone talora incerto e problematico il riconoscimento.

### **2.2.5 Depositi e manufatti antropici**

Lungo tutto il tratto di Torrente Clarea esaminato, durante i giorni di rilevamento di terreno (giugno e luglio 2012) erano in corso lavori di sistemazione dell'alveo, a seguito degli ultimi eventi di piena, mediante costruzione di scogliere, briglie, pennelli e guadi (Figura 11): le principali opere osservate durante i rilevamenti sono state riportate sulla carta, indicando per le più estese il materiale di realizzazione come deposito antropico.

Si specifica che le opere realizzate successivamente a luglio 2012 non sono riportate in carta.



*Figura 11–Interventi di sistemazione idraulica del Torrente Clarea: difese di sponda in corrispondenza dell'immissione del RioTiraculo (foto a sinistra, vista dal Tiraculo verso valle); vallo a monte della colonia, in destra Clarea (foto a destra)*

### 3. Rischi naturali

I rischi naturali connessi con l'opera in questione sono stati valutati a partire dal rilievo di terreno e sono congruenti con quelli riportati nelle banche dati disponibili (PAI - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, IFFI/SIFRAP - Sistema Informativo dei fenomeni Franosi in Piemonte e RERCOMF – Rete Regionale Controllo Movimenti Franosi, SIVA-Sistema Informativo Valanghe) e sugli elaborati del Progetto Preliminare. I rilievi di terreno di dettaglio hanno portato a una migliore definizione dei rischi naturali e dell'influenza degli stessi sull'opera in progetto; per la caduta massi e per i fenomeni valanghivi è stata inoltre realizzata una modellazione numerica per la stima della tipologia delle opere di protezione.

I rischi naturali riscontrati sono riconducibili a:

- Fenomeni legati ad attività di versante: frane e valanghe;
- Fenomeni legati ad attività torrentizia: Torrente Clarea e rii tributari.

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità delle opere in progetto, degli sbancamenti ad esse associate e in generale del complesso manufatto-pendio, si rimanda alla relazione C3A\_0445\_26-47-35\_10\_02\_Relazione di calcolo e di stabilità.

#### 3.1.1 Attività di versante - frane

Dall'analisi dei dati disponibili consultati non sono stati individuati fenomeni franosi che insistano sull'area dell'imbocco. Il PAI, consultato sul sito web [http://www.adbpo.it/maplab\\_projects/webgis](http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis) nel mese di agosto 2012 riporta molto più a monte dell'area di imbocco una frana attiva, la cui evoluzione non interessa l'area dei lavori (Figura 12), non riportata in carta perché esterna all'area di rilevamento.

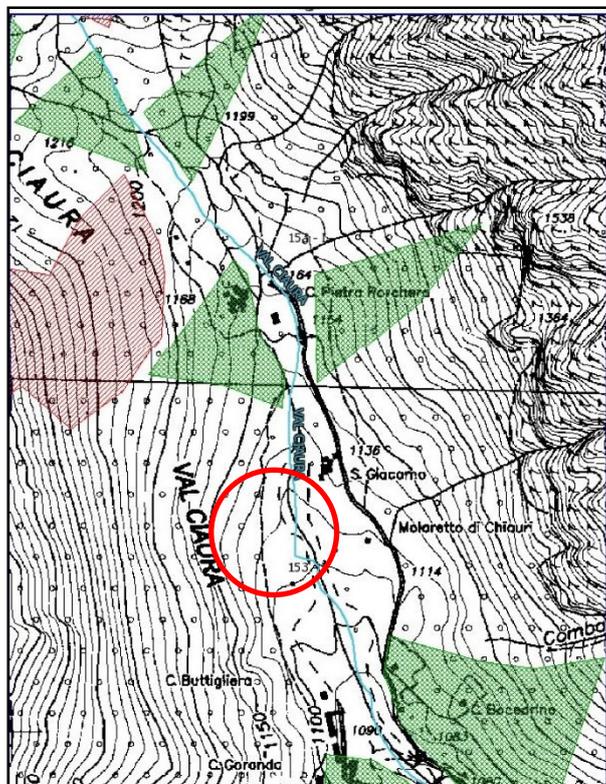


Figura 12–Stralcio carta dei dissesti e pericolosità geomorfologica del PAI: in viola le frane attive Fa, in verde i conoidi attivi non protetti Ca (Fonte: sito web [http://www.adbpo.it/maplab\\_projects/webgis](http://www.adbpo.it/maplab_projects/webgis) consultato in agosto 2012). Il cerchio rosso indica l'area dell'imbocco

Le carte del progetto IFFI/SIFRAP - Sistema Informativo dei fenomeni Franosi in Piemonte e RERCOMF – Rete Regionale Controllo Movimenti Franosi, consultato al sito web [http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo\\_dissesto/w\\_arpa\\_ib\\_iffi/viewer.htm](http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo_dissesto/w_arpa_ib_iffi/viewer.htm) in agosto 2012 non riportano alcun dissesto nell'area esaminata (

Figura 13).

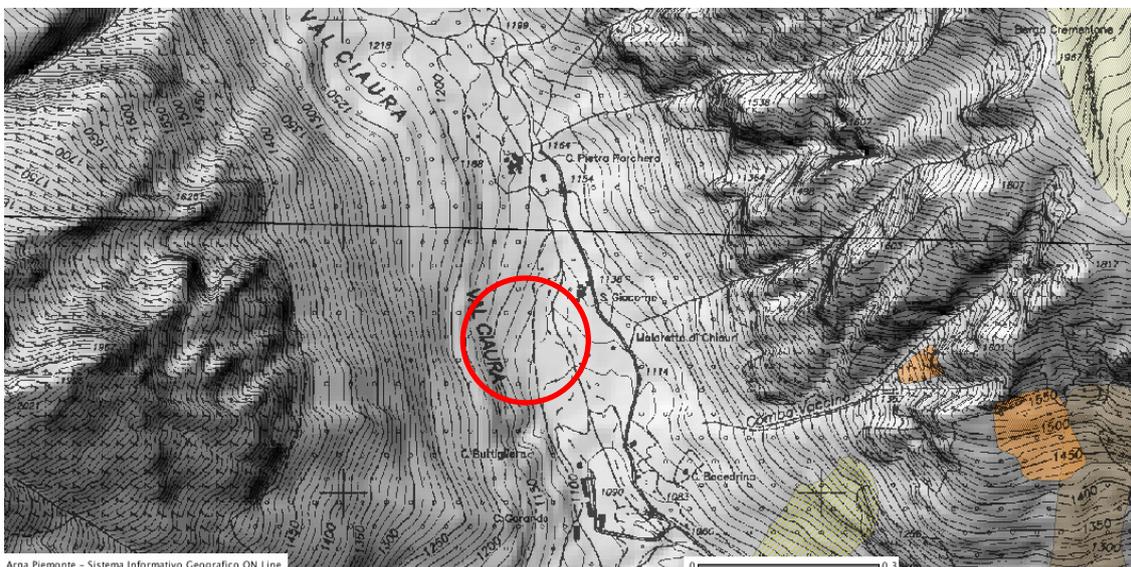


Figura 13–Stralcio IFFI/SIFRAP viola le frane attive Fa, in verde i conoidi attivi non protetti Ca (Fonte: sito web [http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo\\_dissesto/w\\_arpa\\_ib\\_iffi/viewer.htm](http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo_dissesto/w_arpa_ib_iffi/viewer.htm)). Il cerchio rosso indica l'area dell'imbocco

Sulla carta geologico-geomorfologica, redatta in scala 1:1.000, è riportata l'estensione dei fenomeni franosi verificatisi durante l'evento alluvionale del 2008: si tratta colamenti veloci (debris-flow) incanalatisi nel reticolo idrografico, che hanno coinvolto una buona parte del fondovalle del Clarea, soprattutto sulla sponda sinistra. Tali fenomeni non interferiscono con la galleria in progetto. Si segnala che uno di questi fenomeni lambisce l'area del cantiere sul lato nord, dove saranno realizzate barriere paramassi.

In generale, il versante a monte dell'area dell'imbocco è caratterizzato da pendenza molto elevata. L'area è costituita da detrito di falda con matrice fine scarsa e spessori di suolo limitati: il materiale potenzialmente mobilizzabile da fenomeni di colamento veloce è quindi presente solo localmente e in misura limitata. Si consiglia comunque la realizzazione di interventi di regimazione delle acque di ruscellamento lungo il versante compreso tra l'area dell'imbocco e i primi affioramenti rocciosi soprastanti.

Durante i rilievi di terreno lungo il versante a monte dell'area di cantiere e di imbocco, a partire da quota 1120 m circa e fino ai soprastanti affioramenti rocciosi sono stati osservati numerosi blocchi, ricoperti da muschi e licheni e con dimensione massima di circa 1 m<sup>3</sup> (Figura 14).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



Figura 14 –Blocco di 1 m<sup>3</sup> all'interno dei depositi di falda detritica sul versante destro

I blocchi provengono da affioramenti rocciosi. Su un affioramento posto alla base della parete rocciosa principale è stato osservato un cinematismo di distacco (Figura 15): la scistosità regionale, disposta a franapoggio meno inclinata della parete, forma la superficie di rottura; due giunti tra loro quasi ortogonali costituiscono i giunti posteriore e laterale. La spaziatura dei giunti determina volumi di circa 1-2 m<sup>3</sup>.

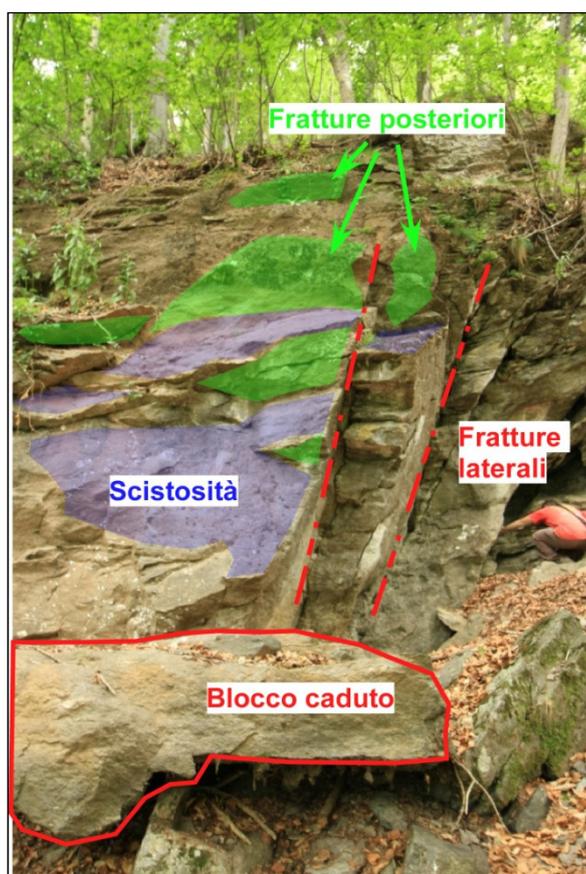


Figura 15–Distacco per scivolamento planare di un blocco (quota 1260 m circa)

### 3.1.1.1 Simulazione caduta massi senza opere di difesa

Al fine di valutare la pericolosità legata a fenomeni di crollo e rotolamento massi, è stata condotta una simulazione numerica di caduta massi mediante il software Masco v.2 lungo la sezione di massima pendenza S-S' (Figura 16), avendo determinato in precedenza le aree potenziali di distacco.

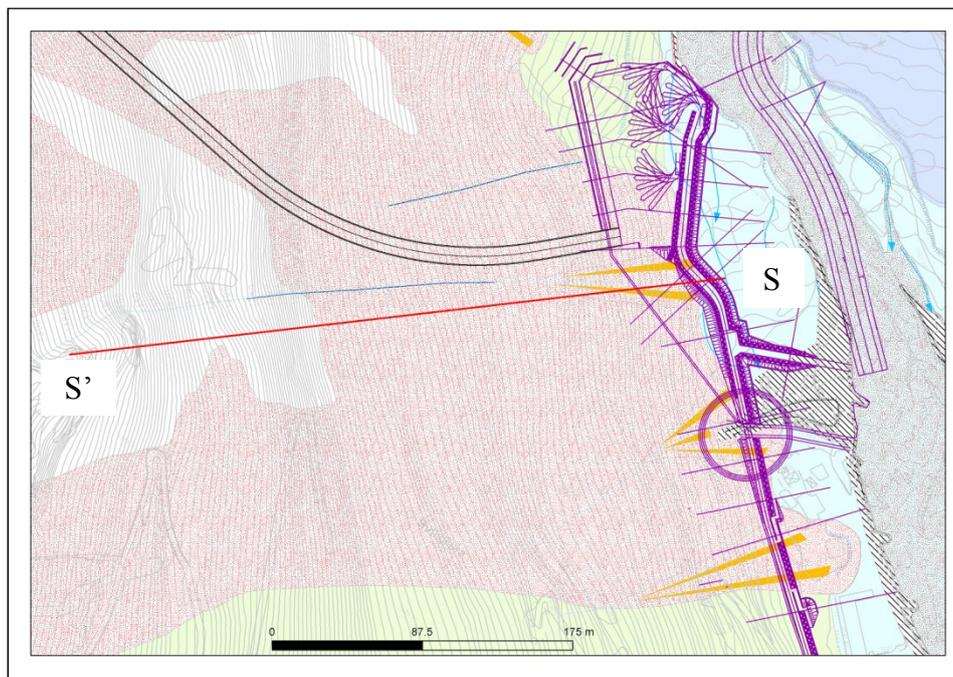


Figura 16–Stralcio della carta geomorfologica con rappresentata la sezione A-A' utilizzata nelle verifiche di rotolamento massi

Nel modello il moto è supposto bidimensionale lungo il piano x,z, e il pendio è discretizzato in una serie di segmenti retti. Il masso è supposto di volume pari a 1 m<sup>3</sup>, con peso specifico di 28 kN/m<sup>3</sup>(valore cautelativo) e puntiforme (lumped-mass), considerando solo il moto del suo baricentro.

Sono considerate le azioni sismiche ( $\sigma_h=0,032$ ;  $\sigma_v=0,016$ ), mentre non sono stati supposti fenomeni di frantumazione dei blocchi (a favore di sicurezza). Inoltre, come dato di ingresso, a fini cautelativi, è stata attribuita al masso una velocità iniziale di 0,5 m/s lungo gli assi x e y. I calcoli sono eseguiti sulla base delle equazioni proposte da Piteau e Clayton (1977) e da Bassato et al. (1985).

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

Il coefficiente di restituzione (E) è definito come il rapporto fra la velocità prima e dopo l'impatto del masso con il terreno ( $V1 / V0$  dove V1 è la velocità dopo l'urto, V0 prima dell'urto) (Broili, 1979; Mazzalai, Vuillermin, 1995).

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

Il modello permette di ricavare E e Phi eseguendo una calibrazione in back analysis; tali parametri sono risultati confrontabili con i valori dei medesimi parametri provenienti da dati di letteratura (Broili, 1979; Mazzalai, Vuillermin, 1995). Si riporta di seguito una sintesi dei parametri utilizzati nelle simulazioni (Tabella 1).

Tipo substrato	Coefficiente di restituzione <i>E</i> (-)	Angolo d'attrito masso-versante <i>Phi</i> (°)
roccia affiorante integra	0.5	21
copertura detritica con vegetazione folta	0.5	35

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

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

Benchè in realtà non si osservino segni di impatto alla base del detrito di falda e, al contrario, i punti di arresto recenti siano ubicati intorno a quota 1260 circa, si è forzata la simulazione numerica affinché almeno una parte dei massi arrivi e si arresti alla base del detrito.

Le simulazioni sono state effettuate lungo il Profilo S-S' (Figura 16; Figura 17). Si riassumono di seguito i parametri di input del modello:

- litologia:
  - zona di distacco: affioramenti rocciosi mediamente fratturati, densità 28 kN/m<sup>3</sup>;
  - zona inferiore: depositi di versante ricoperti da fitta vegetazione arbustiva;
- volume dei blocchi: 1 m<sup>3</sup>;
- quota zona di distacco: da 1260 m a 1388 m;
- numero simulazioni: 500.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

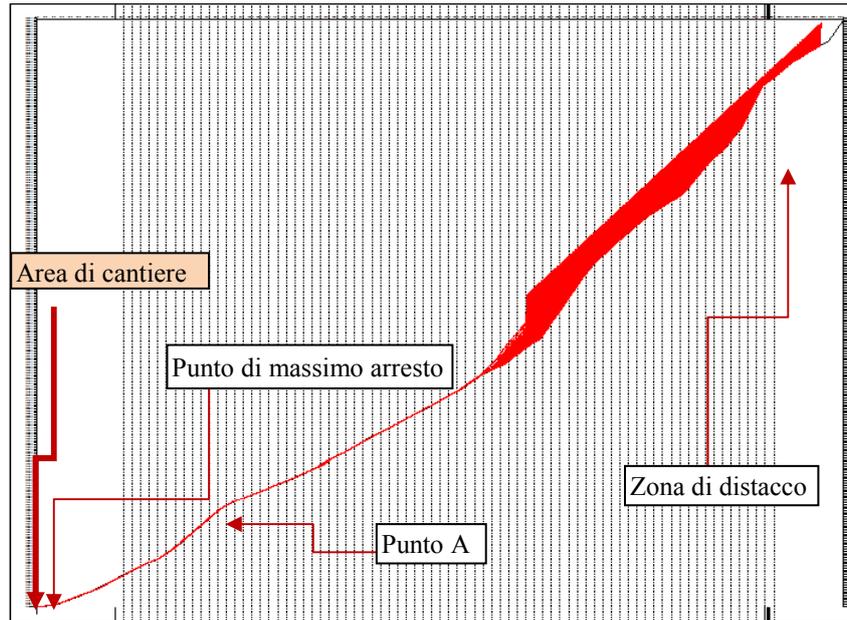


Figura 17–Profilo con le traiettorie più probabili con zona di distacco tra 1260 m e 1387 m

Le altezze di passaggio dei blocchi nel punto A (1160 m circa) sono inferiori a 2 m. Tale valore scaturisce applicando la relazione seguente:

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

Dove :

Hr = altezza rimbalzi espressa in m

Qr = quota assoluta massima del rimbalzo nel punto A espressa in logaritmo naturale (7,06 in Figura 18).

Le velocità osservate a questa quota sono comprese tra 13,5 e i 3 m/s, con un valore medio di 6,7 m/s (Figura 20).

Le energie nel punto A sono inferiori a 330 KJ, essendo l'energia massima definita dall'equazione:

$$Emax = e^{Ec}$$

Dove:

Emax= massima energia nel punto A espressa in kJ

Ec= logaritmo naturale dell'energia cinetica massima attesa nel punto A (6,5 in Figura 21).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

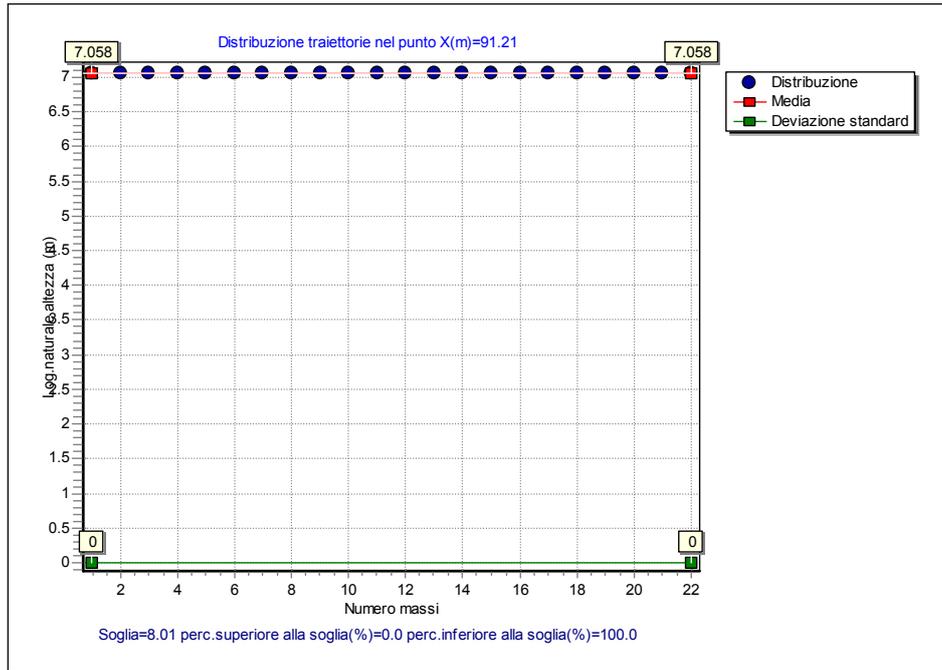


Figura 18 – Grafico in scala logaritmica dei rimbalzi a quota 1160 m circa (Punto A)

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
 Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

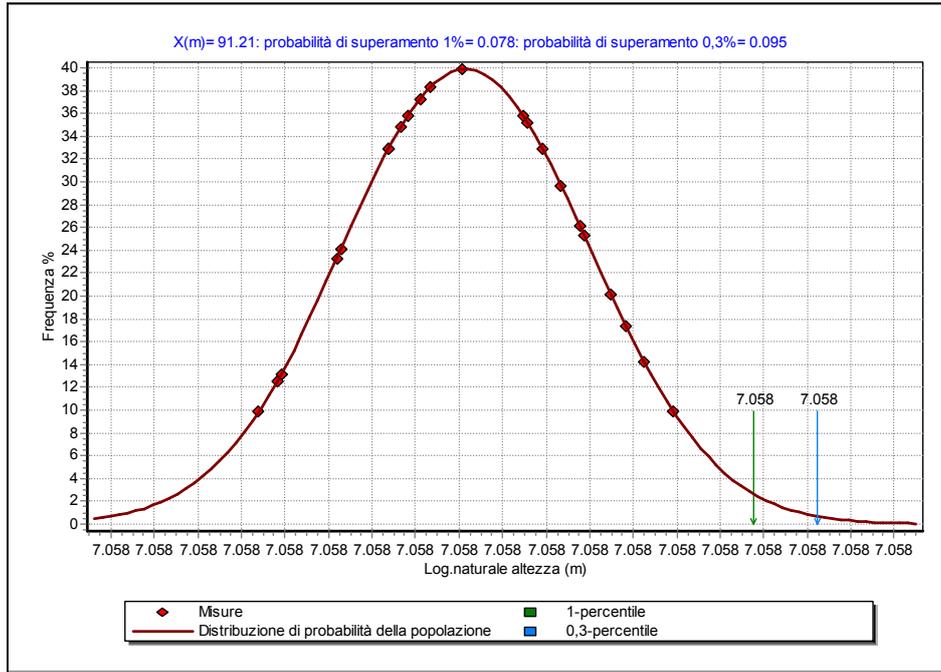


Figura 19–Distribuzione statistica dei rimbalzi a quota 1160 m circa (Punto A)

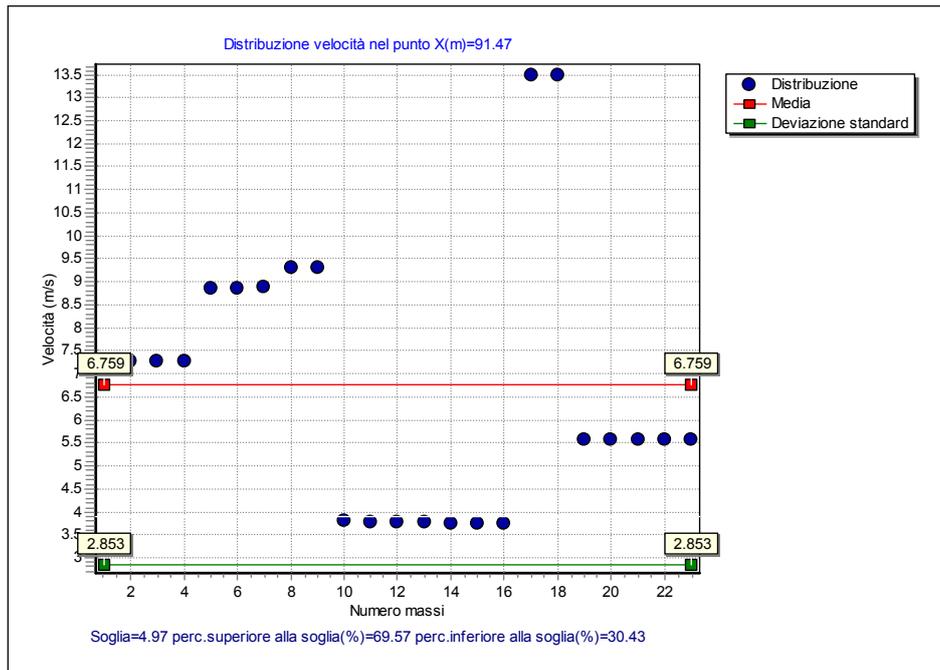


Figura 20 –Grafico delle velocità a quota 1160 m circa (Punto A)

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
 Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

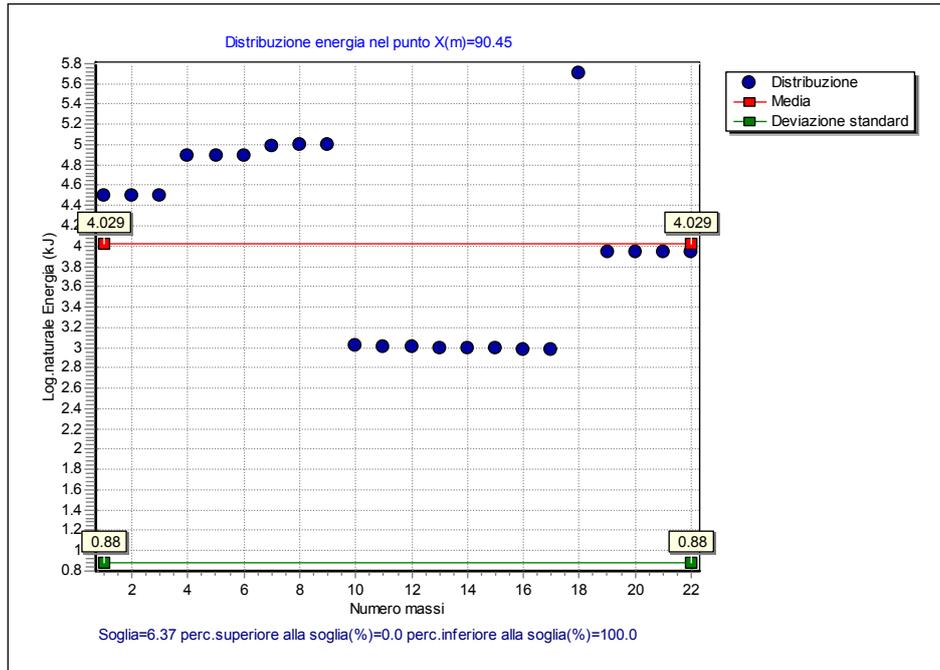


Figura 21–Grafico in scala logaritmica dell’energia cinetica a quota 1160 m circa (Punto A)

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

Sulla base delle simulazioni condotte si evidenzia che a tergo dell’area dell’imbocco (quota 1160 m s.l.m.) per un blocco di volume unitario (1 m<sup>3</sup>) l’energia massima è di circa 330 kJ, e le altezze massime sono di circa 2 m. Si specifica che in tale punto arrivano 23 massi su 500.

### 3.1.1.2 Simulazione caduta massi con barriere paramassi

La valutazione dell’energia dei massi è stata effettuata in corrispondenza di un cambio di pendenza ubicato a quota 1160 m circa (punto A nelle figure successive). Per un blocco di volume unitario (1 m<sup>3</sup>) l’energia massima è di circa 330 KJ e le altezze massime sono di circa 2 m (Figura 22; Figura 23). Si specifica che in tale punto arrivano 23 massi su 500.

Per un blocco di 2 m<sup>3</sup> l’energia nel punto A sarà dunque di 660 KJ: quindi una barriera paramassi con altezza di 4-5 m ed energia assorbibile di 750 KJ è sufficiente ad arrestare i massi. Si specifica inoltre che i pochi segni di impatto osservati sono ubicati alla base degli alberi.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

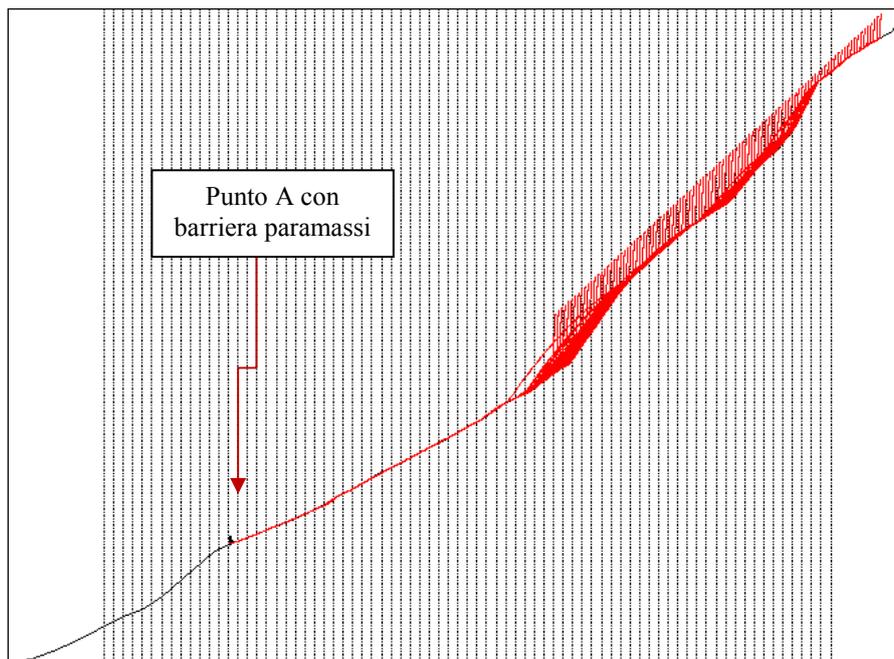


Figura 22–Profilo con barriera paramassi a 1160 m di quota circa

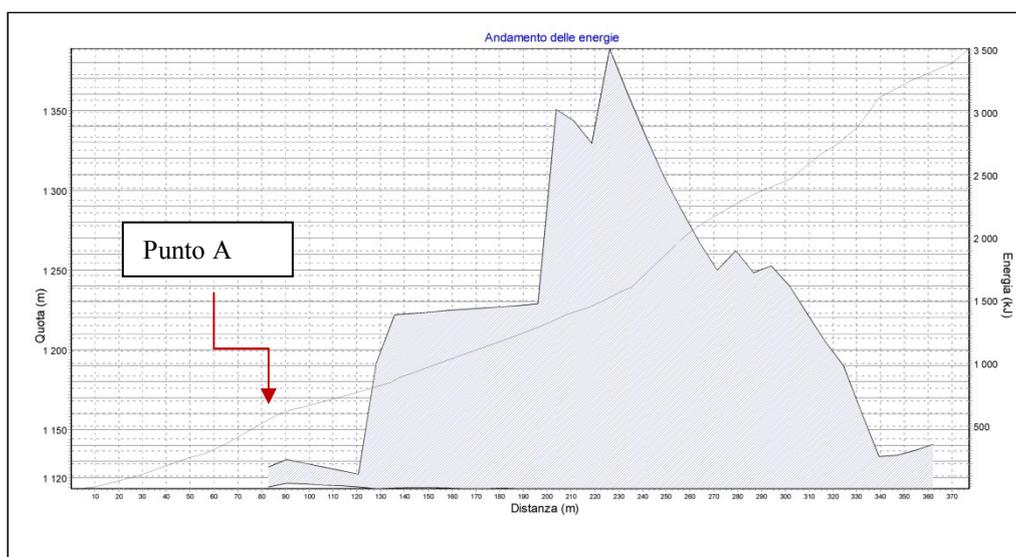


Figura 23 – Distribuzione dell'energia cinetica lungo il profilo per un masso di 1 m<sup>3</sup>

In un'altra simulazione l'energia di caduta dei massi a tergo del cantiere (quota 1135 m s.l.m.) per un blocco di 1 m<sup>3</sup> risulta inferiore a quella individuata per il punto A, essendo di circa 200 kJ. Pertanto la stessa tipologia di barriere definita per quota 1160 ma realizzata a tergo delle aree di cantiere è analogamente efficace. Considerando le problematiche legate all'installazione delle barriere a quota 1160, si consiglia di installare le barriere a tergo del cantiere (Figura 24).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



Figura 24 –Stralcio cartografico indicante le aree in cui si possono installare le barriere paramassi (linee rosse). In viola le opere in progetto(indicative).

### 3.1.1.3 Simulazione frana in roccia Pian del Gias

In questo studio è stata eseguita una modellizzazione della propagazione a valle in caso di distacco di un volume roccioso per valutare l'eventuale interferenza con le aree di cantiere e di imbocco. Tale volume roccioso è ubicato in testata alla Val Clarea, a circa 2500 m a nord-ovest dell'area dell'imbocco, nei pressi del Lago del Gias (quota 2500 m s.l.m. circa, Figura 25), ed è delimitato verso ovest da un trench ben marcato lungo circa 200 m. Il volume suscettibile al distacco stimato è di circa 500.000 m<sup>3</sup>.

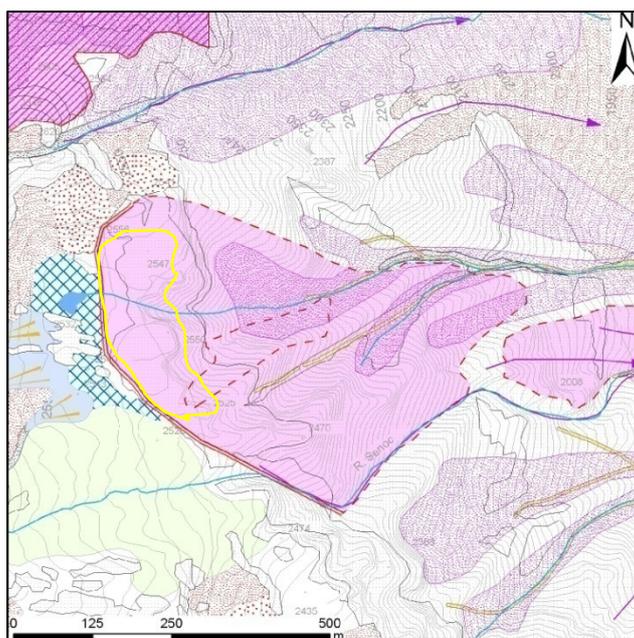


Figura 25 –Stralcio della carta geomorfologica con indicazione della frana del Gias (area in rosa). La linea gialla delimita la zona ritenuta più instabile sulla base di evidenze geomorfologiche.l'area di imbocco è posta a circa 2 km in direzione SE

L'applicativo utilizzato per la simulazione è il programma RASH3D (Pirulli, 2005): il codice di analisi dinamica RASH3D si basa su un approccio della meccanica dei continui. La massa eterogenea reale è sostituita da un "fluido apparente" le cui caratteristiche intendono riprodurre attraverso un mezzo monofase il complesso comportamento della massa reale. RASH3D permette l'utilizzo di una semplice reologia per attrito, che prevede come unico parametro da definire l'angolo di attrito alla base ( $\phi$ ), o di una reologia di tipo Voellmy, in cui agli sforzi di attrito si sommano quelli derivanti dall'agitazione turbolenta, definiti attraverso un coefficiente di turbolenza ( $\xi$ ) avente le dimensioni di un'accelerazione.

L'applicativo RASH3D permette il calcolo della velocità e dell'altezza istantanee del flusso, così come la velocità e l'altezza massima raggiunte per ogni punto nel corso della simulazione per ciascuna cella ricadente nell'area interessata dal passaggio della massa rocciosa, a partire da un modello digitale del terreno: la geometria del percorso di propagazione della massa rocciosa non deve essere quindi determinata in anticipo, ma si determina automaticamente durante l'analisi di propagazione, in funzione della topografia e del comportamento reologico del materiale in frana. Inoltre il codice è capace di simulare il comportamento della massa in caso di "splitting", ossia la separazione in più canali di scorrimento (lingue).

Nell'ambito di questo studio, le analisi con RASH3D sono state effettuate impiegando una reologia di tipo attritivo, adatta per le frane in roccia ovvero in condizioni anidre, con un angolo d'attrito pari a  $37.5^\circ$ , congruente con altre modellazioni su fenomeni con caratteristiche analoghe

Nella Figura 26 è mostrato il risultato ottenuto dal run-out della frana a partire dal volume roccioso individuato.

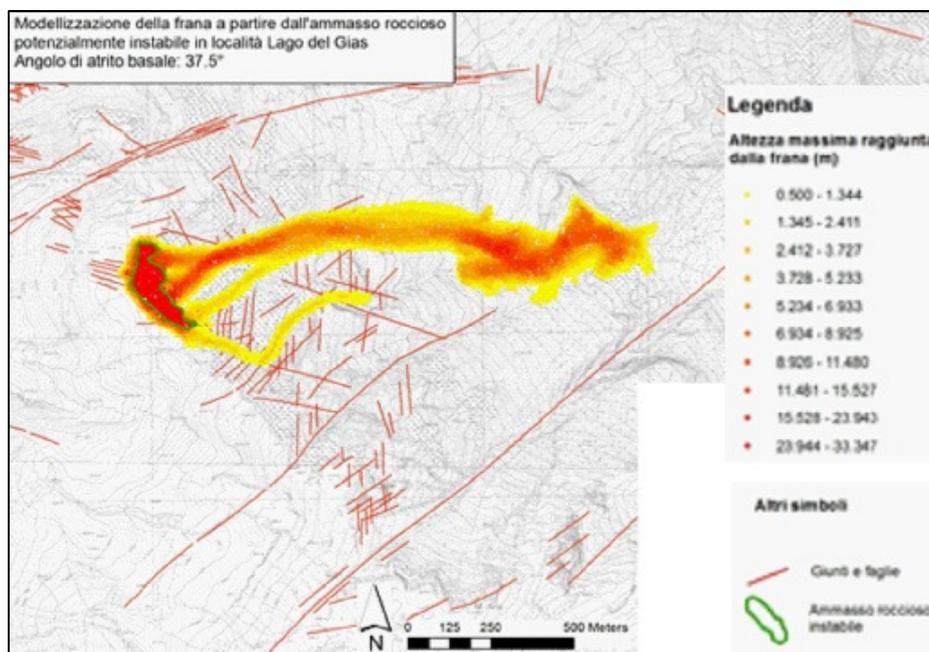


Figura 26 – Risultato numerico dell'evoluzione del potenziale distacco

Per la simulazione la velocità massima raggiunta dalla frana è di 38 m/s, mentre l'altezza massima del materiale trasportato è circa 30 m. I risultati delle analisi numeriche svolte, mostrano che il materiale franato si arresterebbe a circa 1400 m s.l.m., in corrispondenza del cambio di pendenza determinato dalla piana di fondovalle. Poiché la distanza tra questo punto e il sito d'imbocco è circa 1300 m non sono previste interferenze con le opere in progetto.

### 3.1.2 Attività di versante - valanghe

Nell'area dell'imbocco la banca dati del SIVA non riporta fenomeni valanghivi. Inoltre, negli elaborati del Progetto Preliminare era stato escluso il coinvolgimento delle aree di cantiere da parte di valanghe derivanti da distacchi di alta quota di dimensioni rilevanti, mediante realizzazione di simulazioni numeriche (elaborato PP2\_C30\_TS3\_2021\_A\_AP\_NOT - Risorse idriche\_Clarea in Allegato 2).

Tuttavia, durante i rilievi di terreno sono stati osservati due piccoli canali di valanga in corrispondenza del versante destro a monte dell'area di intervento, che si innescano da modesti distacchi di neve ai piedi degli affioramenti rocciosi (quota 1300 m circa). I fenomeni attesi sono di modesta entità, come testimoniato dalle dimensioni dei canali (circa 5 m di larghezza) e dalla pezzatura dei detriti trasportati dalla massa nevosa (Figura 27).



Figura 27 –Canale di valanga a quota 1320 m circa

Il percorso della massa nevosa è stato modellato attraverso simulazioni numeriche 3D utilizzando il codice RASH3D (Pirulli, 2005) con una reologia di tipo Voellmy, al fine di determinare l'altezza della massa nevosa e l'energia dei fenomeni.

L'andamento piano-altimetrico del terreno del percorso di valanga è stato modellato attraverso il modello digitale di terreno puntuale con maglia di 1 m. Tale modello è stato ottenuto da un rilievo topografico realizzato nell'ambito di questo progetto. Il modello non tiene conto di fitta vegetazione: conseguentemente, nella modellizzazione le valanghe si propagano con un fronte leggermente più ampio di quello osservato.

Le zone di distacco individuate mediante fotointerpretazione corrispondono a due piccole aree al piede di affioramenti rocciosi; queste ultime si trovano intorno a quota 1290 m (valanga più a nord, indicata con A) e 1305 m (valanga più a sud, B). L'estensione delle aree di distacco è circa 5-10 m per lato.

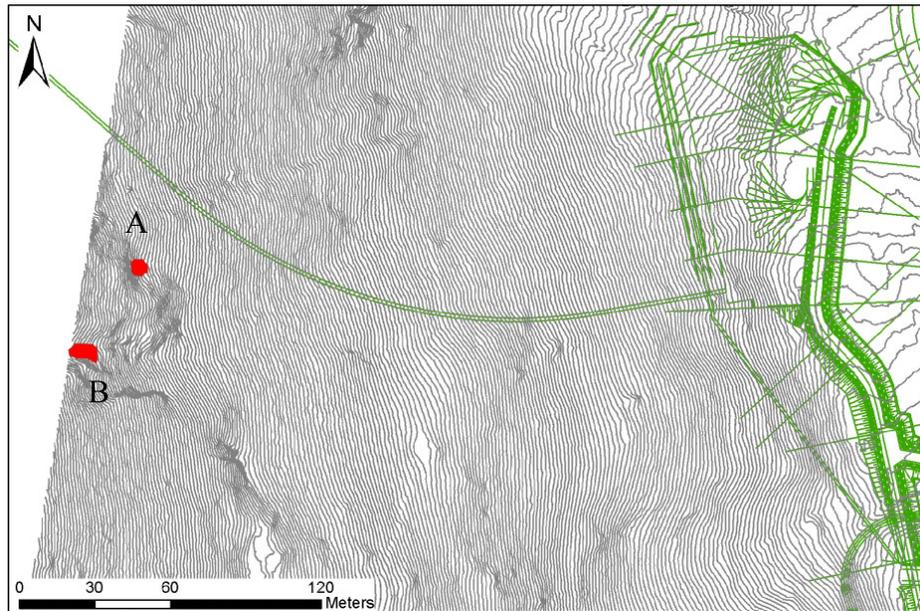


Figura 28 – Stralcio cartografico con indicate le aree di innesco (in rosso) e le opere in progetto (in verde).

L'altezza di neve fresca al suolo è stata considerata di 2 m. I parametri reologici utilizzati per la caratterizzazione della massa nevosa sono  $\mu = 14^\circ$  e  $x = 350 \text{ m/s}^2$ . La densità della massa nevosa stimata è di  $3 \text{ kN/m}^3$ . Questi parametri differiscono rispetto a quelli, utilizzati nelle simulazioni eseguite nel Progetto Preliminare, che riguardavano la modellizzazione di valanghe più grosse innescatesi nei versanti superiori e quindi a quote più elevate. In questo caso, al contrario, la modellizzazione concerne modesti fenomeni valaghivi che si innescano da quote inferiori (circa 1300 m). In particolare, i parametri utilizzati sono stati dedotti attraverso back-analysis di piccole valanghe comparabili per dimensioni e quota di distacco poste nel comune di Venaus.

La modellizzazione è stata fatta sia in assenza di opere sia ipotizzando la presenza di un muro/vallo di difesa a tergo del cantiere (Figura 29).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
 Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

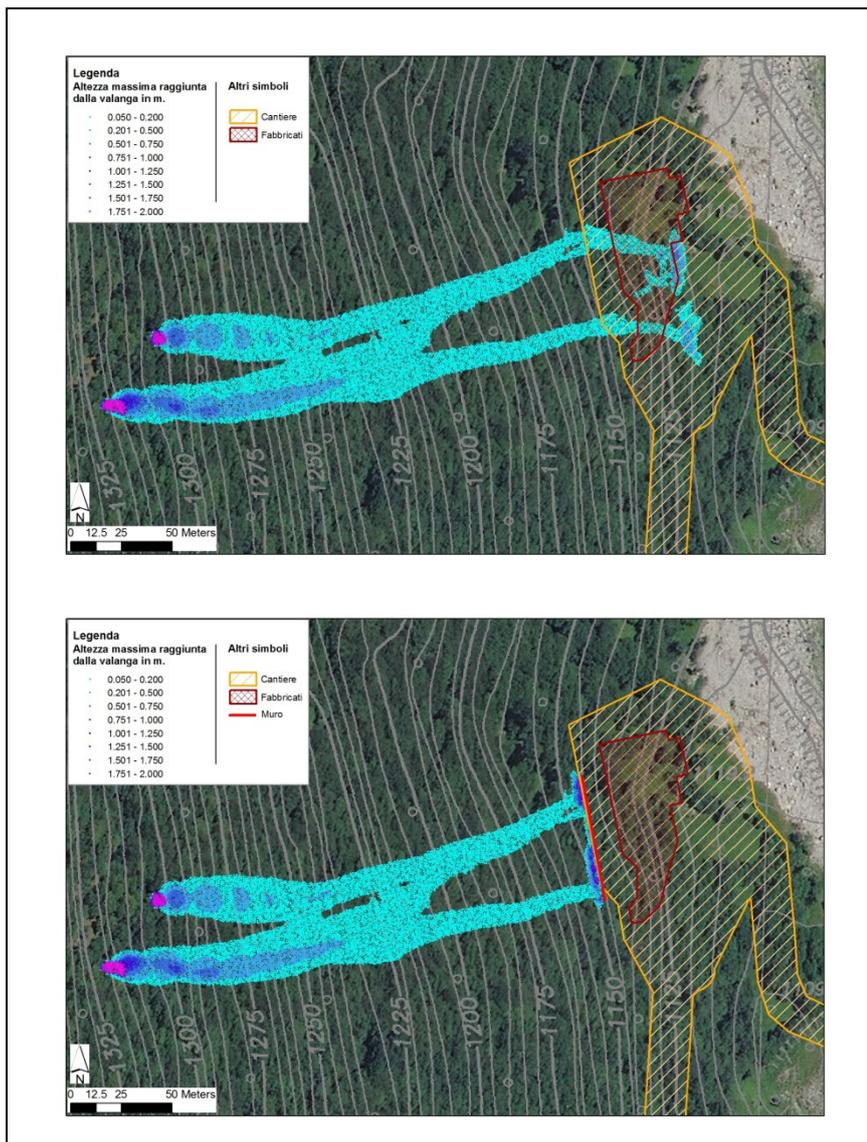


Figura 29 – Risultati delle simulazioni delle valanghe a monte dell'area del cantiere (riportate su CTR): in alto in assenza di opere, in basso con opera di difesa (linea rossa) a tergo dell'area dell'imbocco.

Le velocità e gli spessori massimi raggiunti dalla massa nevosa in corrispondenza del muro risultanti dalla modellazione numerica della propagazione delle valanghe sono riportati nella Tabella 2. L'angolo tra la direzione della velocità e l'opera di difesa è circa perpendicolare.

	<i>Valanga A</i>	<i>Valanga B</i>
spessore (m)	1.8	1.6
V massima (m/s)	3.5	3.4
V media (m/s)	1.9	1.8

Tabella 2– valori di velocità e altezza delle valanghe esaminate

Il calcolo della spinta della massa nevosa sul paramento del muro è stato determinato con il metodo di Salm-Voellmy. La pressione totale  $P$  è data dalla somma tra la spinta idrostatica  $P_{stat}$  (trascurabile) e la spinta dinamica  $P_{din}$

$$P = P_{stat} + P_{din}$$

La pressione statica si calcola con la seguente formula

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
 Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

$$P_{stat} \approx \rho \cdot H \cdot g$$

dove  $\rho$ = densità media della neve [kg/m<sup>3</sup>]  
 $g$ = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]  
 $H$ = spessore dell'ammasso nevoso in movimento [m] (o depositato).

La pressione dinamica  $Pn$  è calcolata con le seguenti formule:

$$Pn = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot V_i^2 \cdot \text{sen} \alpha \quad [\text{spinta normale}]$$

$$Pt = \mu \cdot Pn \quad [\text{spinta tangenziale}]$$

dove  $\gamma$  = densità della neve [kN/m<sup>3</sup>]  
 $V_i$ = velocità della valanga[m/s]  
 $g$ = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]  
 $F$ = area della valanga in una sezione pendicolare a  $V_i$  [m]  
 $\alpha$ = angolo tra la direzione della velocità e il muro  
 $\mu$ = coefficiente adimensionale usualmente assunto pari a 0.5 (attrito neve-neve e muro-neve).

Quindi:

$$Pn_{valangaA} = \left(3 \frac{kN}{m^3} / 9.81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot (24 m^2 \cdot \text{sen} 90^\circ) \cdot (1.9 m / s)^2 = 26.5 kN$$

$$Pt_{valangaA} = 0.5 \cdot 26.5 kN = 13.25 kN$$

$$Pn_{valangaB} = \left(3 \frac{kN}{m^3} / 9.81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot (26 m^2 \cdot \text{sen} 90^\circ) \cdot (1.8 m / s)^2 = 25.7 kN$$

$$Pt_{valangaB} = 0.5 \cdot 25.7 kN = 12.8 kN$$

Il calcolo dell'altezza del muro H affinché non si abbia sormonto di neve è stato eseguito usando semplici considerazioni riguardo al centro di massa della massa nevosa:

$$H = \frac{V^2}{\lambda \cdot 2 \cdot g} + h_s + h_d$$

dove  $V$ = velocità della valanga perpendicolare al muro [m/s]  
 $g$ = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]  
 $h_s$ = altezza della neve al suolo in prossimità del muro [m]  
 $h_d$ = altezza della valanga in prossimità del muro [m]  
 $\lambda$ = coefficiente adimensionale con valori di 1 o 2 (Salm et al., 1990). In questo caso è stato assunto 2

I risultati dei calcoli sono riportati nella Tabella 3.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
 Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

	<i>Valanga A</i>	<i>Valanga B</i>
Velocità media $V$ (m/s)	1.9	1.8
spessore neve $h_s$ (calcolato alla base del canale) (m)	2	2
spessore valanga $h_d$ (calcolato alla base del canale) (m)	1.8	1.6
Accelerazione di gravità $g$ (m/s <sup>2</sup> )	9,81	9.81
$\lambda$	2	2
Altezza del muro $H$ (m)	4	3.7

Tabella 3–risultati nel calcolo dell'altezza del muro e della velocità attesa

Con il presente studio si è evidenziato che due muri (o valli) caratterizzati da un'altezza di circa 4 m, entrambi sviluppati per una lunghezza di 15 m, proteggono il cantiere dalla massa nevosa delle valanghe ipotizzate. La spinta massima ortogonale alle opere è di circa 27 kN con una forza massima tangenziale di circa 14 kN.

In alternativa alla realizzazione delle opere di difesa passiva, per mettere in sicurezza l'area dell'imbocco e del cantiere e la sua strada di accesso, si suggerisce di realizzare barriere paravalanghe nelle aree di distacco e nei tratti più alti dei canali per evitare l'innesco dei fenomeni (Figura 30). In base alle dimensioni delle aree di distacco individuate, saranno necessarie 3-4 file di barriere di larghezza circa 10 m. Sarà comunque necessario, nella fase progettuale successiva, definire l'esatta posizione delle barriere da realizzare.

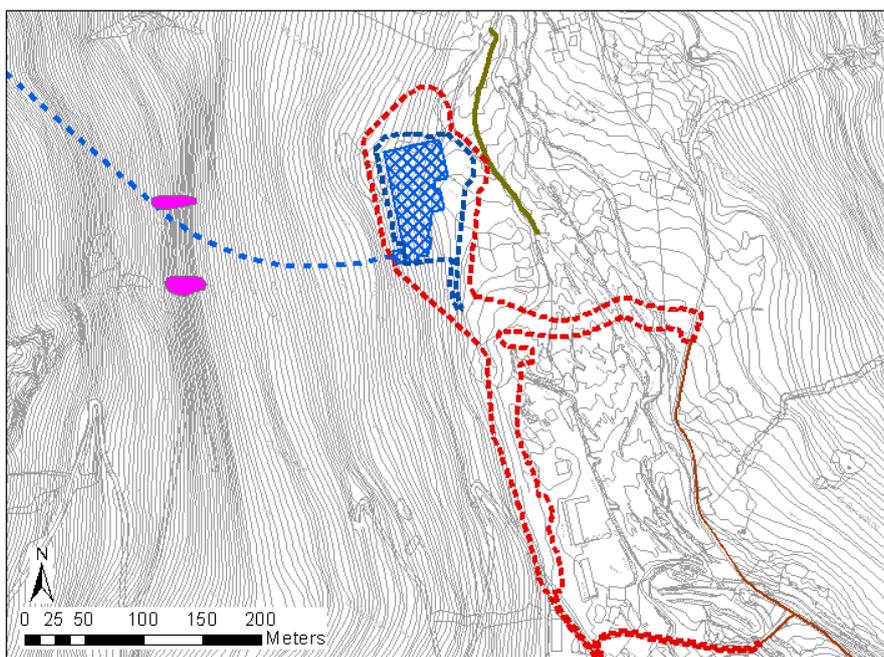


Figura 30 –Ubicazione delle aree di innesco dei fenomeni valanghivi (in viola) dove ubicare barriere paravalanghe.

### 3.1.3 Attività fluvio-torrentizia – Torrente Clarea

Per quanto riguarda l'attività torrentizia, sul sito web di ARPA Piemonte (<http://webgis.arpa.piemonte.it/flxview/GeoViewerArpa/index.aspx> consultato in agosto 2012) sono segnalati fenomeni legati all'evento alluvionale del 2000 (Figura 31). Nella carta geomorfologica ripresa dal progetto preliminare e integrata in questa fase progettuale sono perimetrare le aree interessate da fenomeni debris flow nel corso dell'evento 2008, sulla base di dati rilevati in fase di post-evento e le informazioni desunte dalla banca dati ARPA. Si precisa che, poiché la base cartografica utilizzata per il rilevamento dei dati (CTR in scala

1:10.000) differisce da quella utilizzata per la carta allegata a questo lavoro (base topografica di progetto in scala 1:2.000), la perimetrazione di questi dati è da considerarsi indicativa.

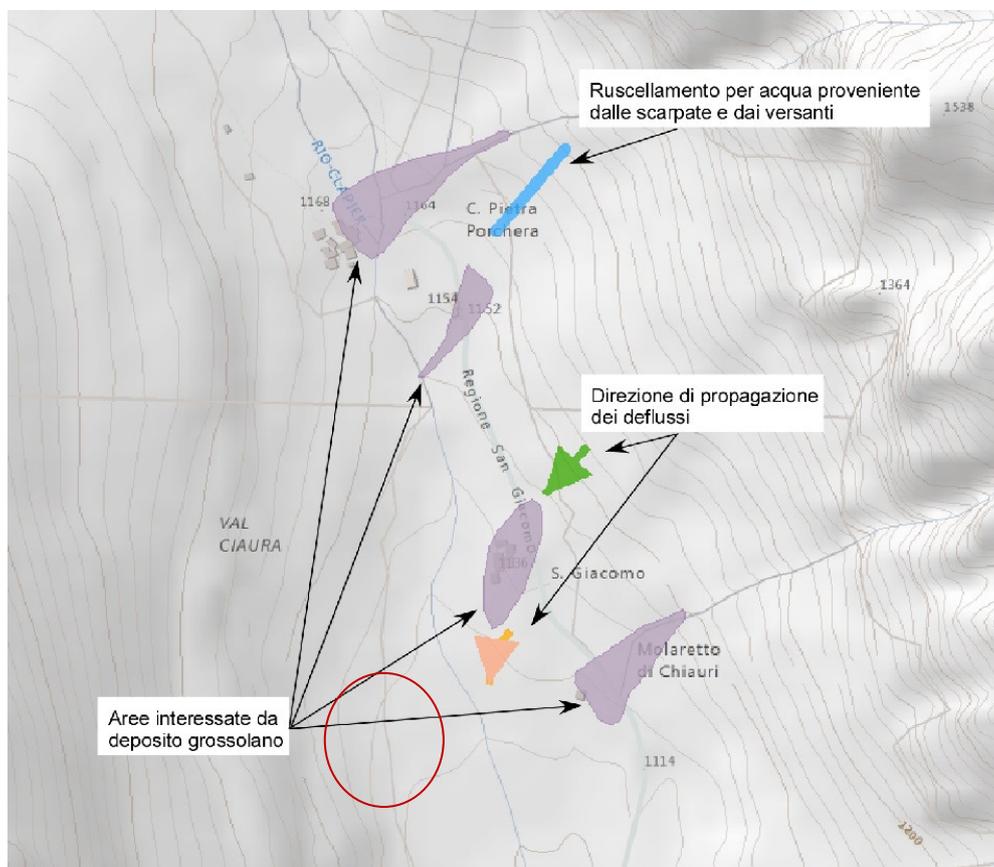


Figura 31 –Stralcio carta eventi alluvionali 2000 (Fonte sito web <http://webgis.arpa.piemonte.it/flxview/GeoViewerArpa/index.aspx> consultato in agosto 2012). Il cerchio rosso indica l'area dell'imbocco.

L'elevata attività del Torrente Clarea è testimoniata anche dalla presenza lungo l'alveo, a quota 1165 m circa, dei resti di una briglia fortemente danneggiata dagli ultimi eventi di piena (Figura 32).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



---

*Figura 32–Briglia danneggiata nell'alveo del Torrente Clarea a quota 1165m circa*

Durante i rilievi di terreno (giugno-luglio 2012) lungo l'alveo del Torrente Clarea erano in corso lavori di realizzazione di nuove difese spondali e di rispistino delle difese preesistenti: è stata realizzata una difesa spondale in destra idrografica a monte degli edifici adibiti a colonia, costituita da una scogliera in massi cementati comprensiva di 5-6 pennelli (Figura 33), e, a quota 1100 m circa, una scogliera sulla sponda destra di un'incisione laterale (Figura 34).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio



*Figura 33 –Scogliera e pennelli in sponda destra del Torrente Clarea*



*Figura 34 –Scogliera lungo la parte terminale di un'incisione laterale destra.*

Si precisa che al termine dei rilievi di terreno i lavori in alveo non erano ancora conclusi: le eventuali opere realizzate successivamente al mese di luglio 2012 non sono state osservate.

L'imbocco della galleria in progetto e le opere legate alla realizzazione del cantiere (es. strade di accesso) sono previste al di fuori delle aree occupate dall'alveo attivo del Torrente Clarea e dell'area interessata dagli ultimi eventi alluvionali (evento 2000, evento 2008). Sulla sponda destra del Clarea, nei pressi dell'area di cantiere, sono stati osservati alcuni alvei abbandonati, potenzialmente riattivabili sebbene non siano stati riattivati durante la piena del 2008.

Il progetto prevede la realizzazione di un'opera di regimazione costituita da una canalizzazione di circa 300 m di lunghezza all'altezza dell'imbocco. Il dimensionamento dell'opera deve tenere conto della portata liquida e della abbondante portata solida del Torrente Clarea. In particolare, per ridurre la portata solida era presente a quota 1160 m circa una briglia di contenimento, danneggiata dall'evento 2008, la cui ricostruzione era in corso nel periodo di stesura del presente lavoro e la cui effettiva efficacia dovrà essere verificata. Inoltre il dimensionamento dovrà tenere conto dell'apporto liquido e solido dei tributari laterali, ed in particolare del Rio San Giacomo (rif. par.3.1.4 ).

L'opera di canalizzazione prevista dal progetto inoltre dovrà tenere conto della presenza degli alvei abbandonati, allo scopo di renderli disgiunti dall'alveo attivo ed impedirne l'interferenza con l'area dell'imbocco e del cantiere.

In generale, la realizzazione di manufatti lungo il Torrente Clarea dovrà tenere conto della geometria delle opere in corso di realizzazione nell'alveo.

### 3.1.4 Attività fluvio-torrentizia – Rii tributari

La strada di accesso all'area dell'imbocco a quota 1100 m circa interseca tre piccoli impluvi (indicati con a, b, e c in Figura 35) che formano tre conoidi di origine mista detritico-torrentizia di ridotte dimensioni alimentati da bacini di dimensioni inferiori a 0.02 km<sup>2</sup>, questi ultimi posti sul versante destro del Clarea. Gli alvei sono poco incisi e con scarsa evidenza di passaggio continuo di acqua.

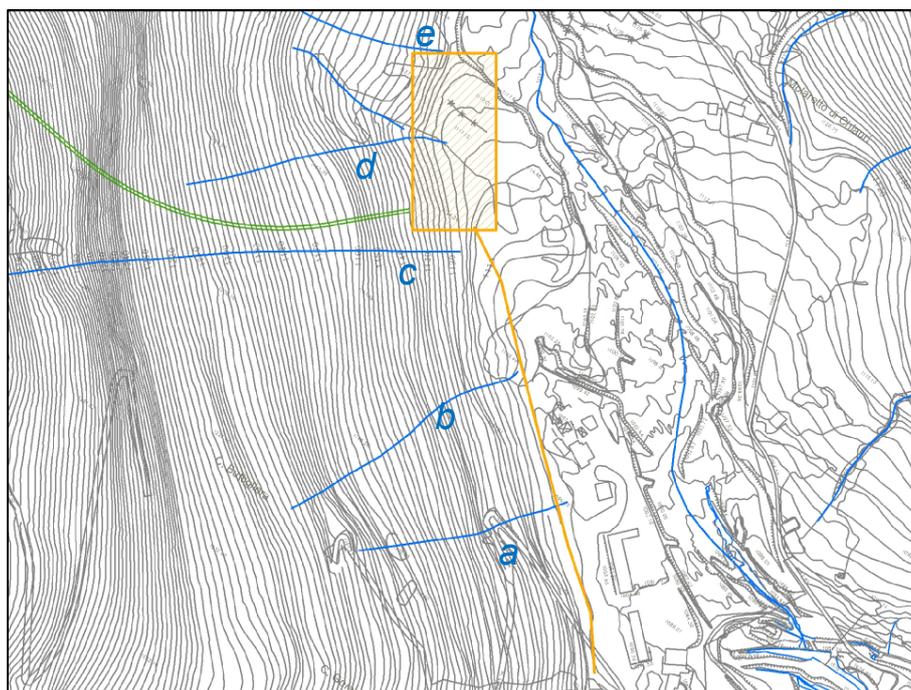


Figura 35 –Stralcio cartografico con l'ubicazione degli impluvi presenti lungo il versante interessato dalle opere. Le linee azzurre rappresentano gli impluvi; la linea verde il tracciato della Galleria Clarea; il rettangolo e la linea arancione rappresentano indicativamente la posizione del cantiere e il tracciato della strada di accesso allo stesso

Lungo il corso d'acqua intermedio (b), ubicato a nord della colonia, è stato realizzato un argine a protezione della stessa (Figura 34). L'alveo si presenta poco inciso, privo di depositi torrentizi attivi (Figura 36).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

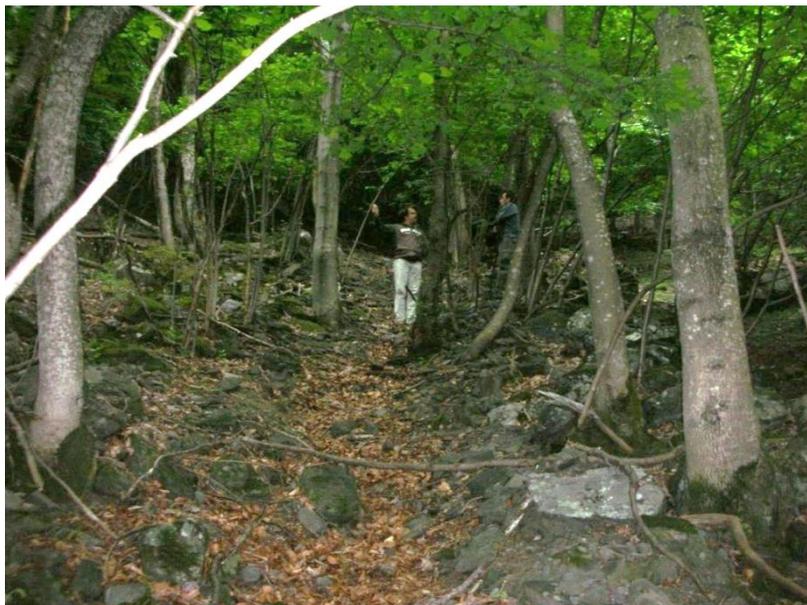


Figura 36 –Foto dell'impluvio a nord della colonia, scattata verso monte dalla parte più alta dell'argine realizzato a difesa della colonia (Figura 34)

L'impluvio più a nord, indicato con la lettera *c* in Figura 35, si presenta anch'esso poco inciso (Figura 27): in questo caso l'alveo è più evidente anche perché lungo di esso si incanalano piccoli fenomeni valanghivi. Anche lungo questo corso d'acqua non si osservano depositi torrentizi in alveo.

Poiché gli impluvi intersecano la strada di accesso all'imbocco dovrà essere prevista la realizzazione di adeguati attraversamenti per garantire il deflusso della portata liquida e della portata solida in caso di eventi meteorici intensi.

Lungo il versante a monte dell'area di imbocco e di cantiere sono inoltre presenti due impluvi (indicati con *d* e *e* in Figura 35). Di questi il più importante è quello più a nord: esso è caratterizzato da un alveo poco inciso in cui si osservano, localmente, lembi di depositi ciottolosi (Figura 37) riferibili all'evento 2008 e generati da piccoli *debris flow*.



Figura 37 –Impluvio ubicato a nord dell'area di imbocco (e in Figura 35): foto da quota 1170 circa verso monte (a sinistra) verso valle (a destra)

Nell'area dell'imbocco deve essere prevista la realizzazione di adeguati sistemi di regimazione delle acque provenienti dal versante ed in particolare da questi impluvi. Tra i

tributari presenti in sinistra, il più significativo in prossimità dell'area oggetto dell'intervento è il Rio San Giacomo, che forma un apparato di conoide molto evidente ed interessato, nel corso degli ultimi eventi alluvionali, da significativi fenomeni di trasporto solido e di *debris-flow* (Figura 38). L'origine del conoide è da ricondurre principalmente ad attività torrentizia del corso d'acqua e a fenomeni di caduta massi dalle pareti rocciose soprastanti; è presente inoltre un contributo minore da parte dell'attività valanghiva. Lungo l'alveo si rinvencono depositi grossolani a spigoli vivi, costituiti generalmente da ciottoli e blocchi di dimensione decimetrico-metrica, e si rinvencono localmente massi di grosse dimensioni (Figura 39). Nella parte più distale del conoide si rinvencono massi ciclopici di dimensione decametrica, interpretati come massi erratici residui di depositi glaciali rielaborati e coperti dall'attività erosiva del Clarea e dei rii laterali, piuttosto che come fenomeni di crollo.



Figura 38 –Conoide del Rio San Giacomo: foto scattata dal versante opposto (a sinistra) e foto dell'alveo in prossimità dell'apice (a destra)

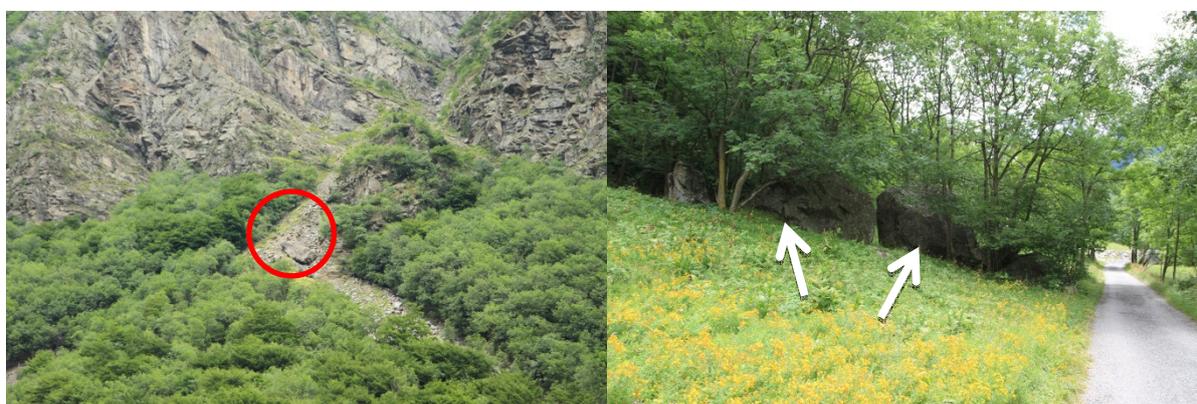


Figura 39 –Conoide del Rio San Giacomo: massa ubicato all'apice del conoide (a sinistra) e massi erratici ubicati nella parte più distale del conoide (a destra)

Poiché il progetto prevede la realizzazione di opere di regimazione del Torrente Clarea in corrispondenza della confluenza del rio San Giacomo, è stata eseguita una valutazione della pericolosità del conoide, utilizzando la metodologia AFHE (Fontan et al., 2004).

Inoltre è stata calcolata la magnitudo, cioè la volumetria di materiale detritico potenzialmente trasportata durante eventi di piena eccezionali, utilizzando i metodi empirici della letteratura. I risultati, relativi anche ai piccoli conoidi formati dai tre rii che intersecano la strada di accesso al conoide (*a*, *b* e *c* in Figura 35) riportati in Tabella 4.

Si precisa che per quanto riguarda i tre conoidi senza nome, i valori sono da considerarsi cautelativi perché calcolati con metodologie studiate per conoidi di maggiori dimensioni. Per il conoide del Rio San Giacomo, la valutazione tiene conto dei fenomeni di *debris flow* verificatisi nell'evento alluvionale 2008.

metodo	Conoide Rio San Giacomo	Conoide senza nome (a in Figura 35)	Conoide senza nome (b in Figura 35)	Conoide senza nome (c in Figura 35)
<b>Bottino et al. (1998)</b>	12224	7845	9219	9495
<b>Hampel (1977)</b>	128924	42514	42801	74817
<b>Marchi e Tecca (1996)</b>	9730	1996	3552	3946
<b>Rickenmann e Zimmerman (1997)</b>	72485	7620	11790	26128
<b>Takei (1984)</b>	4081	1553	2207	2353
<b>Tropeano e Turconi (2000)</b>	64966	3942	7722	8141

Tabella 4 - Metodi empirici utilizzati per il calcolo della magnitudo (valori in m<sup>3</sup>, da considerarsi indicativi)

Nell'applicazione del metodo AFHE, l'attività del conoide (intesa anche come "capacità di conduzione") è valutata attraverso la sovrapposizione di strati informativi relativi a diversi parametri significativi. Mediante l'ausilio di software GIS, il conoide è stato suddiviso in aree omogenee (grid con celle di lato pari a 10 m) tenendo conto della localizzazione, dell'energia e della frequenza dei processi geomorfologici osservati, potenziali e storici: considerando l'influenza del processo individuato sulla pericolosità, ad ogni area sono stati assegnati valori compresi tra 0 (influenza sulla pericolosità bassa) e 1 (elevata). L'elenco dei tematismi utilizzati e i valori attribuiti sono riportati nella Tabella 5.

Tematismo	Valore attribuito		
	0	0.5	1
<b>HiCb</b>	0.099		
<b>Canali di deflusso</b>	Assenti	Paleovalvei (non presenti)	Canale attivo
<b>Aree rilevate o depresse</b>	Lievi dossi, aree rialzate	Inviluppo della superficie media	Aree depresse
<b>Colate detritiche progresse</b>	Assenza	-	Lobi di accumulo, arginature, solchi di erosione.
<b>Copertura vegetale</b>	Bosco	Prati	Vegetazione ripariale o assente
<b>Pendenza media</b>	<4°	4°-11°	>11°
<b>Granulometria</b>	Ghiaie e ciottoli prevalenti	Ghiaie e ciottoli con piccoli massi (< 2 mc)	Presenza di grandi massi (> 2 mc)
<b>Attività</b>	Non attivo (non presenti)	Aree dubbie (non presenti)	Attivo

Tabella 5 - Tematismi utilizzati per il calcolo della pericolosità del conoide del Rio San Giacomo, e valori dei pesi attribuiti

I tematismi sono stati sommati mediante l'ausilio del software GIS e il risultato è stato normalizzato al massimo teoricamente possibile. Il risultato dell'applicazione della metodologia AFHE è la zonizzazione della pericolosità nelle aree di conoide (Figura 40), in cui le aree sono caratterizzate da un indice che varia tra 0 (pericolosità assente) e 1 (pericolosità molto elevata).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

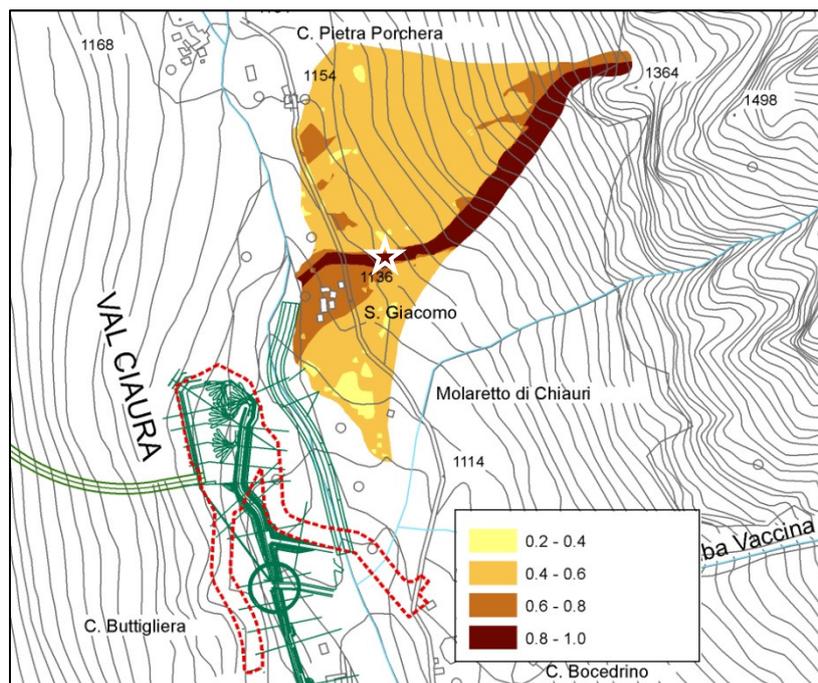


Figura 40 – Risultato dell'applicazione della metodologia AFHE al conoide del Rio San Giacomo.  
La stella bianca indica il knich-point.

L'analisi dei risultati mostra come le aree caratterizzate da maggiore attività, e quindi da maggior pericolosità, sono legate alla zona apicale, al canale attivo ed al piccolo conoide a valle del knich-point (Figura 40). Pertanto il dimensionamento delle opere di canalizzazione del Torrente Clarea in questo tratto dovrà tenere conto anche degli apporti (liquidi e solidi) del Rio San Giacomo in caso di eventi di piena e della potenziale distribuzione areale dei depositi provenienti dal corso d'acqua laterale.

### 3.1.5 Sintesi opere di difesa e interventi proposti

Per la messa in sicurezza delle aree di cantiere e dell'area dell'imbocco da *fenomeni di caduta massisi* propone la realizzazione di barriere paramassi a tergo del cantiere (rif. Figura 24).

Lungo il versante dovranno essere realizzati interventi di regimazione delle acque di ruscellamento (canalette) nell'area compresa tra il cantiere e il piede degli affioramenti rocciosi soprastanti, per evitare l'innesco di fenomeni di *colamento veloce*. L'incisione presente a nord del cantiere, sede di *debris flow* nel 2008, dovrà essere canalizzato e dimensionato in maniera da evitare che il trasporto solido e liquido non raggiungano l'area dell'imbocco.

Per quanto riguarda l'*attività valanghiva*, i fenomeni attesi sono modesti: tuttavia dovranno essere realizzate opere di difesa (vallo) a tergo dell'area di lavoro in corrispondenza dei canali osservati (rif. Figura 29), oppure barriere paravalanghe in corrispondenza delle aree di innesco (rif. Figura 28).

Le opere di regimazione lungo l'alveo del *Torrente Clarea* (canalizzazioni, cunettoni, etc) previste dal progetto dovranno essere eseguite tenendo conto della presenza degli alvei abbandonati in corrispondenza del fondo valle alluvionale al piede dell'area di imbocco, dimensionando l'altezza delle difese spondali o realizzando specifiche arginature in maniera sufficiente da renderle disgiunte dall'alveo attivo. Si ricorda che la realizzazione di manufatti lungo il Torrente Clarea deve tenere conto del nuovo assetto dell'alveo a seguito dei lavori di sistemazione eseguiti nel corso dell'estate 2012. Il dimensionamento delle opere di

canalizzazione del Torrente Clarea dovrà tenere conto anche del trasporto solido del corso d'acqua, e dell'apporto liquido e solido del Rio San Giacomo, in considerazione anche della potenziale distribuzione areale degli stessi depositi: si ricorda infatti che i depositi mobilizzabili lungo l'alveo sono costituiti da massi di dimensioni decimetrico-metriche. Dovrà essere infine ripristinata la briglia posta a quota 1165 m lungo il Torrente Clarea, quasi completamente distrutta dall'evento alluvionale 2008.

Lungo la strada di accesso all'area dell'imbocco dovranno essere realizzati attraversamenti di sezione adeguata a garantire il deflusso della portata liquida e solida proveniente dai *tre affluenti laterali* destri del Clarea, intersecati dalla strada a quota 1100 m circa. In generale le acque provenienti da tutti gli impluvi lungo il versante a monte dell'imbocco e della strada di accesso allo stesso devono essere regimate con appositi interventi (canalette, drenaggi, etc.).

#### 4. Caratteristiche geotecniche dei terreni

Nell'area sono stati realizzati 5 sondaggi: 4 eseguiti per la progettazione dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux (4S3, 4S4, 4S6 e SC5) ed uno realizzato da LTF (S4). Questi sondaggi, la cui ubicazione è riportata in Figura 1, fornisco esclusivamente il profilo stratigrafico riportato in Allegato 1.

In assenza di specifiche indagini e prove geotecniche ma sulla base dei rilievi geologici di superficie eseguiti, l'imbocco e le opere esterne interessano unicamente le coperture quaternarie. Tali coperture sono costituite da detrito di versante (parte basale del pendio e zona di raccordo con il fondovalle), da depositi fluvio-torrentizi e, in alcuni settori del versante, da depositi di origine glaciale.

In base alle osservazioni condotte e in base a esperienze pregresse in contesti analoghi, in assenza di dati diretti alle tre formazioni superficiali possono essere attribuite le seguenti caratteristiche geotecniche:

- Detrito di versante:  $c' = 0-5 \text{ kPa}$ ;  $\varphi' = 34-36^\circ$ ;  $\gamma = 20-22 \text{ kN/m}^3$ ;
- Depositi glaciali:  $c' = 0-20 \text{ kPa}$ ;  $\varphi' = 30-32^\circ$ ;  $\gamma = 20-22 \text{ kN/m}^3$ ;
- Depositi torrentizi:  $c' = 0-5 \text{ kPa}$ ;  $\varphi' = 32-34^\circ$ ;  $\gamma = 20-22 \text{ kN/m}^3$ .

La zona in cui sarà installato in cantiere è impostato in depositi costituiti da detrito di falda sopra ai depositi glaciali. Cautelativamente, vista l'assenza di indagini finalizzate a determinare le  $V_{s,30}$  nell'area, i depositi sono ricondotti alla categoria "C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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  $15 < \text{NSPT}_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_u, 30 < 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fine)*".

#### 5. Idrogeologia

Lungo il fondovalle della Val Clarea sono presenti numerose sorgenti, in parte captate ad uso idropotabile. Le più importanti sono le sorgenti Pratovecchio (AST\_010) e Boscocedrinò (AST\_011), gestite da ACEA, ubicate a valle degli interventi in progetto, captate per l'approvvigionamento idropotabile di Giaglione. Le loro caratteristiche idrogeologiche sono misurate periodicamente nell'ambito del monitoraggio LTF.

Lungo il versante dell'imbocco è presente un acquifero impostato nei depositi detritici che ricoprono il substrato roccioso: si tratta di un acquifero di ridotte dimensioni ad elevata permeabilità per porosità. Questo acquifero alimenta una sorgente (AST\_752), ubicata circa

150 m a nord dell'area dell'imbocco, a quota 1180 circa, che alimenta un tubo che porta l'acqua presso case Pietra Porchiera (vasca AST\_496). Anche questa sorgente fa parte della rete di monitoraggio LTF.

Nell'area interessata dalla strada di accesso all'imbocco della galleria in progetto, a monte degli edifici della colonia, è presente una captazione a regime discontinuo (codice AST\_500 nella rete di monitoraggio LTF), che probabilmente rappresenta la vasca di una sorgente ubicata a quote maggiori, analoga alla precedente, ma caratterizzata da maggiore portata e che presumibilmente alimenta in parte la fontana presente nel prato antistante la colonia.

I punti acqua sopracitati sono rappresentati in Figura 41.

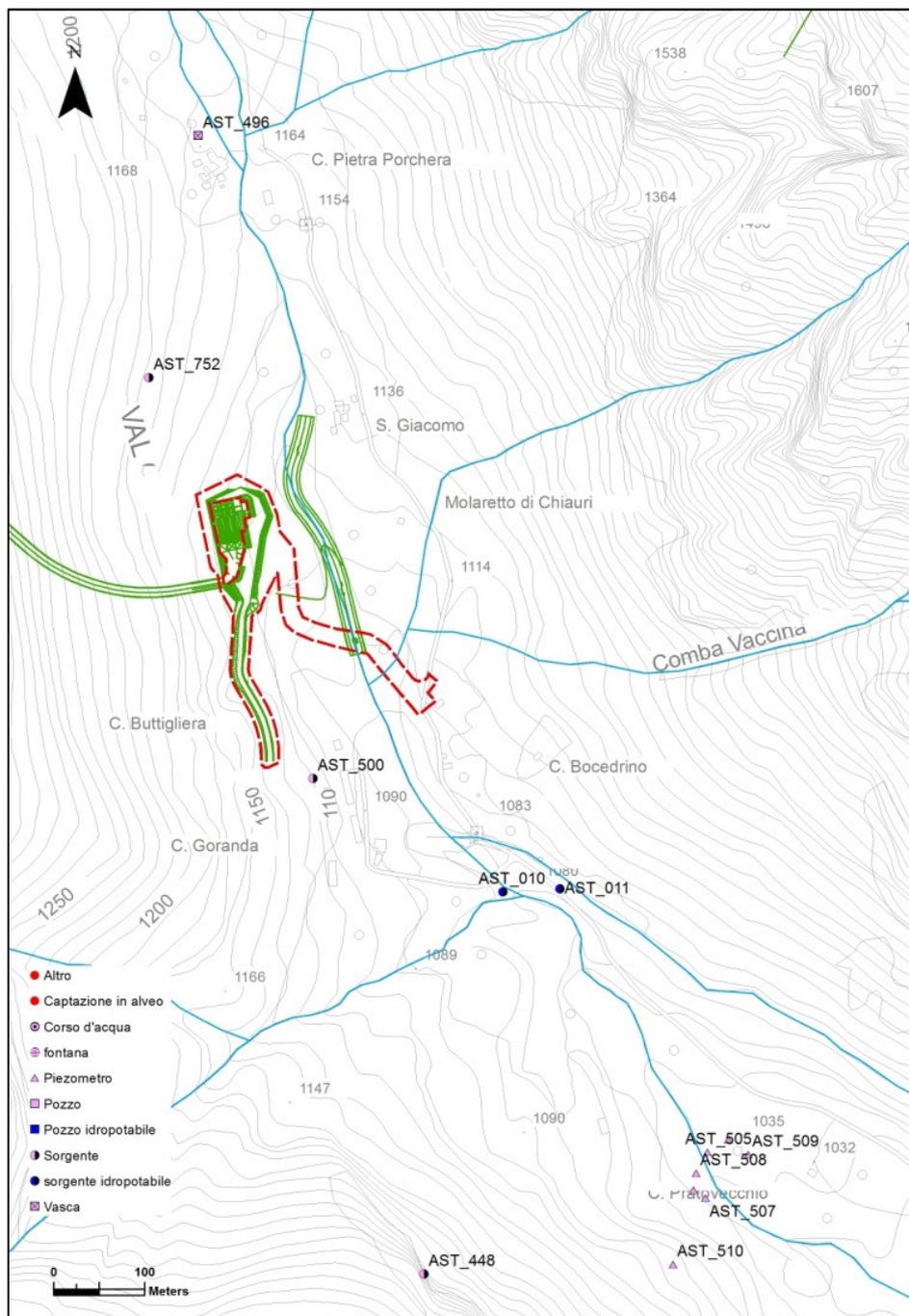


Figura 41 –Stralcio cartografico con l'ubicazione dei punti acqua citati nel testo.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area di imbocco interessa potenzialmente gli acquiferi dei depositi quaternari di versante (conoidi) e di fondovalle, che sono costituiti da depositi di origine mista alluvionale e glaciale.

### 5.1 Apporti idrici lungo i versanti

I principali corsi d'acqua che costituiscono il reticolo idrografico della Val Clarea sono prevalentemente situati lungo il versante destro; essi sono, da sud a nord, il rio Tiraculo, il cui bacino è delimitato a Sud dalla cima dei Quattro Denti fino alla punta Clopacà (2738 m), il rio Arià che trae origine dal lago dell'Agnello, il rio Senoc che si dirama dal torrente Clarea a monte della località Pietra Porchera, e il rio Clapier che trae origine dal ghiacciaio dell'Agnello e dai laghi Clapier (Figura 42). Gli altri corsi d'acqua minori, ubicati soprattutto nel versante sinistro, hanno prevalentemente regime discontinuo e sono attivi solo nel periodo primaverile ed in occasione di intense precipitazioni. È il caso, ad esempio, del rio San Giacomo.

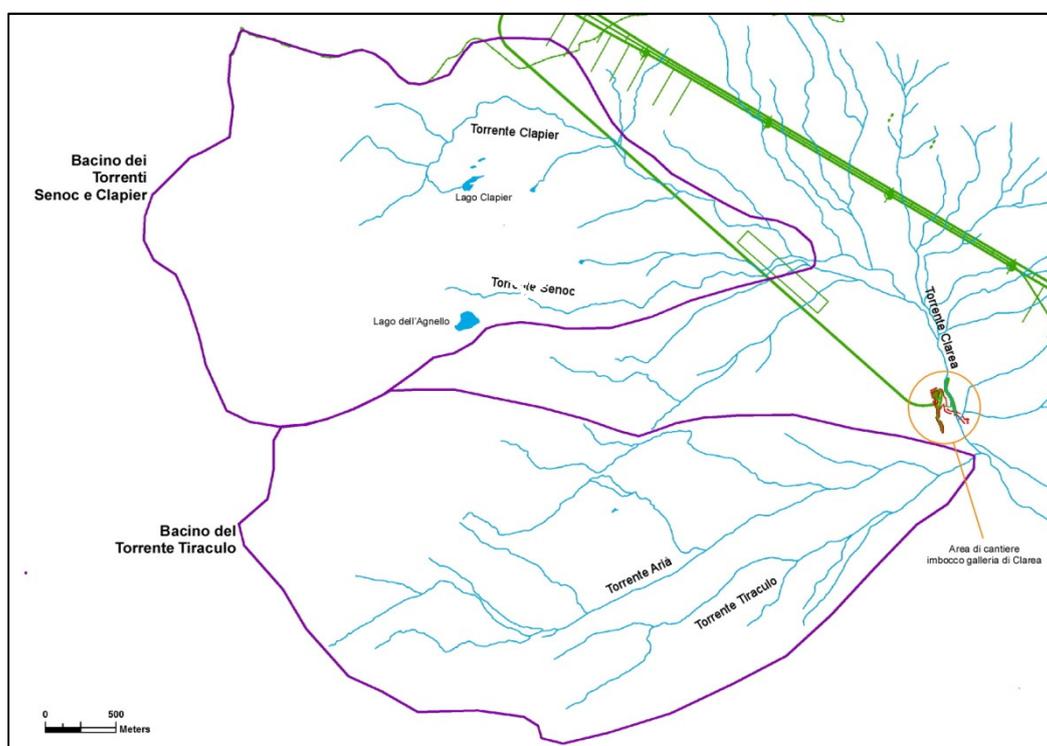


Figura 42 –Principali bacini idrografici e corsi d'acqua tributari di destra del torrente Clarea

Nella parte alta del bacino della Val Clarea sono presenti alcune opere di presa di proprietà ENEL che derivano acqua dalle incisioni comprese tra il rio Tiraculo a sud e il rio Clapier a nord. Tali opere consistono in traverse in calcestruzzo armato che permettono di derivare il quantitativo autorizzato garantendo il deflusso minimo vitale a valle. La presenza di queste derivazioni comporta una significativa riduzione di portata dei corsi d'acqua interessati.

Come è possibile osservare nello schema concettuale dei deflussi idrici di Figura 51, lungo il versante a una quota compresa tra 1100 e 1500 ms.l.m.si osserva l'infiltrazione parziale delle acque di ruscellamento all'interfaccia delle scarpate rocciose con i depositi detritici e torrentizi che bordano il piede dei versanti e si raccordano sul fondovalle con i depositi alluvionali, alimentando quindi la falda di subalveo (Figura 43).

Si tratta quindi di circuiti idrici rapidi che, nei periodi di forti precipitazioni, tendono a saturare i conoidi di deiezione favorendo il formarsi di dissesti lungo i versanti (*debris flow*).

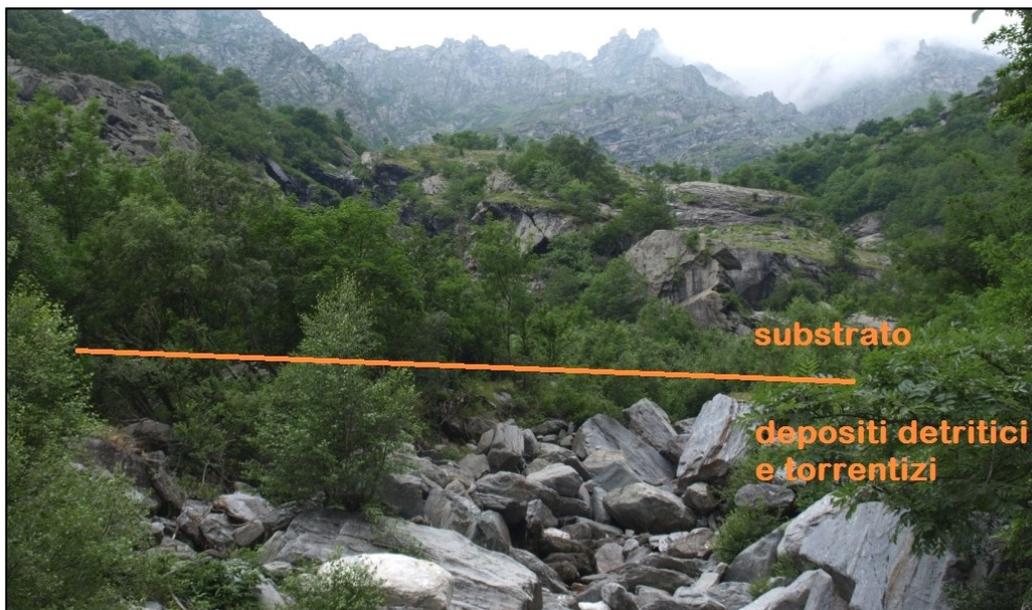


Figura 43 – Settore di interfaccia scarpate rocciose-depositi detritici nella testata della Val Clarea

## 5.2 Deflusso nei depositi di versante

L'acquifero impostato nei depositi detritici che ricoprono il substrato roccioso lungo i versanti è caratterizzato da dimensioni e potenze ridotte. Il deflusso è normalmente garantito dalle acque che si infiltrano soprattutto all'apice dei conoidi ed è fortemente influenzato dalla presenza di lembi discontinui di depositi glaciali con permeabilità minore (acquitardi) rispetto ai depositi detritici (acquifero; vedi profilo di Figura 51). Le zone di contatto depositi glaciali-detritici costituiscono pertanto orizzonti preferenziali di deflusso, con lo sviluppo di sorgenti.

La formazione di sorgenti lungo questo settore dei versanti è probabilmente connessa al fatto che lo spessore dei depositi detritici si assottiglia in corrispondenza delle rotture di pendenza con il conseguente affioramento dei depositi glaciali che, meno permeabili, costituiscono delle soglie in prossimità delle quali si localizzano le risorgenze. È il caso della sorgente AST\_752, ubicata nel versante destro della valle a 1170 m di altitudine, a monte delle opere in progetto (Figura 44) e alimentante la vasca di Pietra Porchera (AST\_496).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

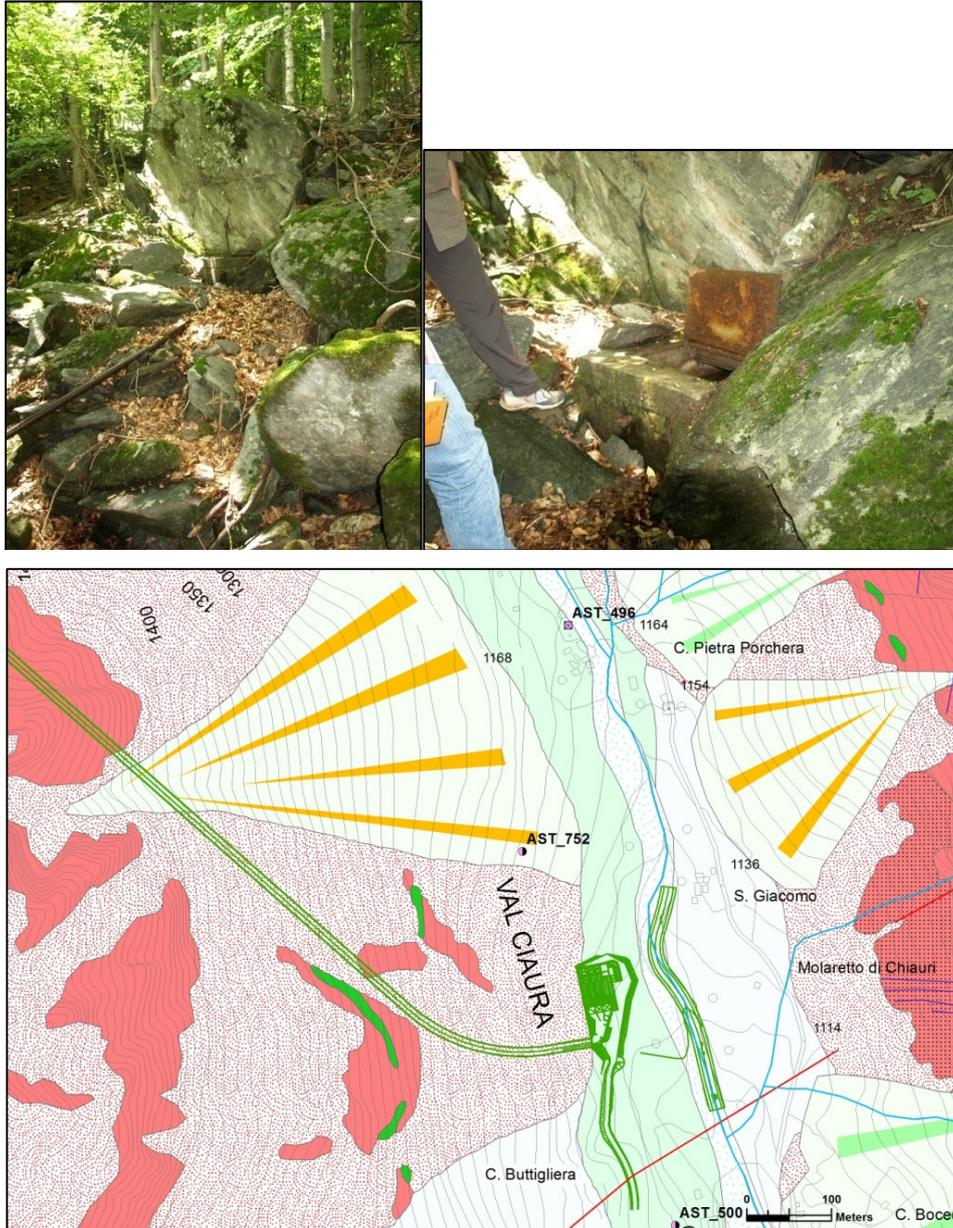


Figura 44– Scaturigine e bottino di presa della sorgente AST\_752 a metà versante nel conoide che sovrasta la zona d'imbocco. Sotto, stralcio planimetrico con ubicazione della sorgente e della vasca AST\_496 rispetto alle opere in progetto (zona d'imbocco e cantiere)

### 5.3 Modello idrogeologico della falda di fondovalle

La presenza di una falda nei depositi alluvionali di fondovalle è testimoniata dalle misure di soggiacenza realizzate nel piezometro AST\_510 della vasca di regolazione della centrale idroelettrica IREN di Pont Ventoux, ubicato a valle del sito di progetto ed inserito nella rete di monitoraggio idrico della galleria Maddalena (Figura 45).

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
 Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

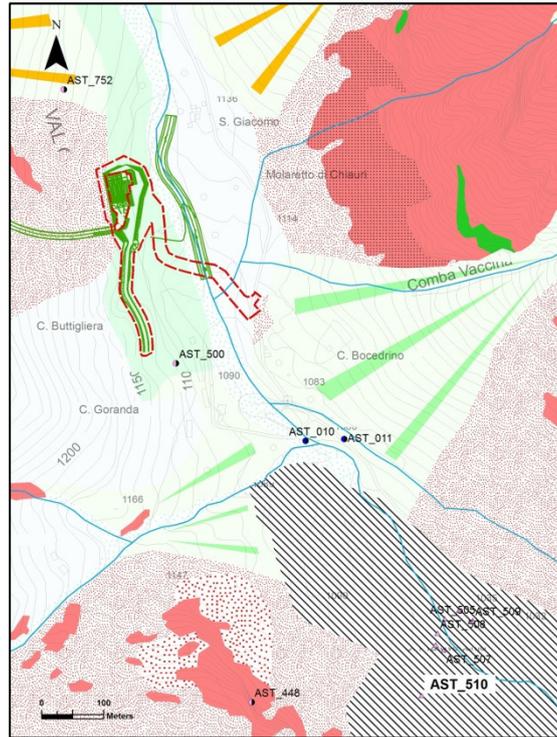


Figura 45– Ubicazione del piezometro AST\_510 di IREN (in basso a destra) rispetto alle opere di progetto

La soggiacenza misurata in sito per il piezometro AST\_510 è mediamente di 26.3 m (Figura 46). Tuttavia, tenendo in considerazione che il piezometro è ubicato sul versante destro in corrispondenza dei riporti realizzati per i lavori della vasca e che la sua testa si trova a una quota di 1039 ms.l.m., maggiore della quota del fondovalle, postoin questo settore a circa 1025 m s.l.m., la profondità della superficie freatica risulta con una soggiacenza di circa 12 m.

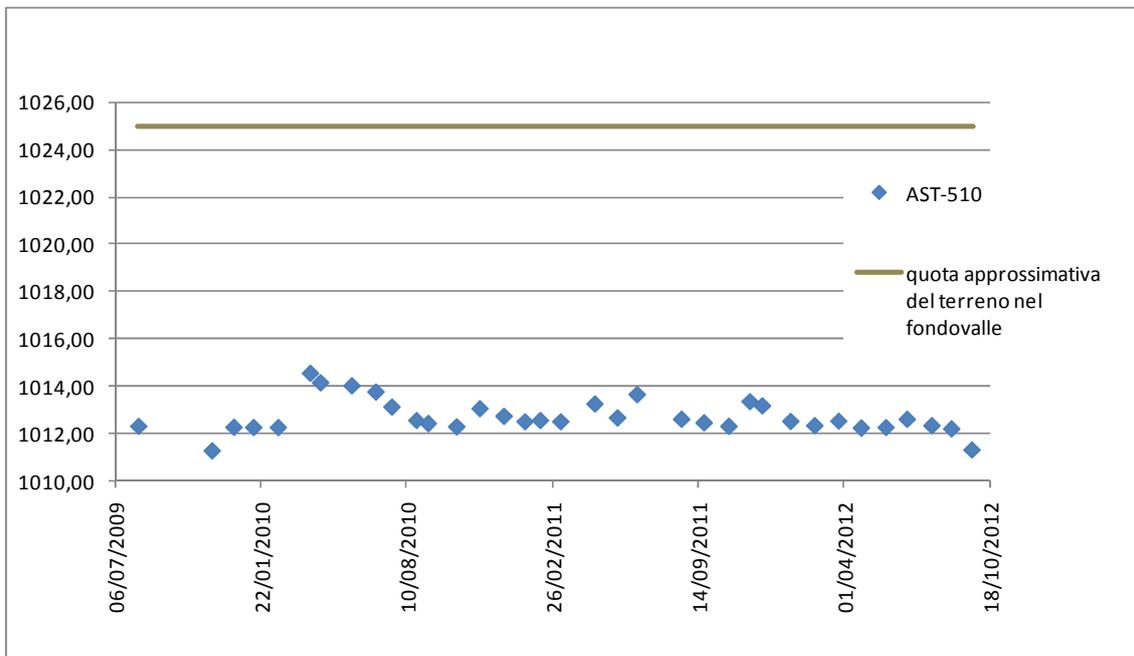


Figura 46 – Misure della quota della falda freatica nel piezometro AST\_510

Le osservazioni di terreno realizzate nel corso delle campagne di monitoraggio 2009-2012 hanno evidenziato che lungo l’asse vallivo il torrente Clarea rappresenta la manifestazione in

superficie della falda freatica. Nel settore a monte della confluenza con il rio Tiraculo la falda affiora in modo continuativo solo in corrispondenza del settore delle sorgenti AST\_010-Pratovecchio e AST\_011-Boscocedrino. A monte delle due sorgenti, come ad esempio all'altezza degli edifici della colonia (quota 1070 m circa), la falda affiora solo sporadicamente, durante il periodo primaverile o in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi (Figura 47).



Figura 47– Emersione della falda all'altezza degli edifici della colonia (contorno rosso) rispetto alla derivazione del rio Tiraculo (freccia rossa)

L'acquifero di fondovalle è alimentato principalmente dai flussi provenienti dagli acquiferi di versante. Tuttavia, dato il particolare contesto geologico strutturale dell'area, caratterizzato da un basamento cristallino con persistenti bande di fratturazione a direzione NE-SW, l'alimentazione degli acquiferi superficiali potrebbe essere in parte in relazione con i flussi idrici in roccia. È il caso delle sorgenti idropotabili AST\_011-Boscocedrino e AST\_010-Pratovecchio (Figura 48), ubicate nel fondovalle, a monte della confluenza Clarea-Tiraculo, e gestite entrambe da ACEA Pinerolese.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

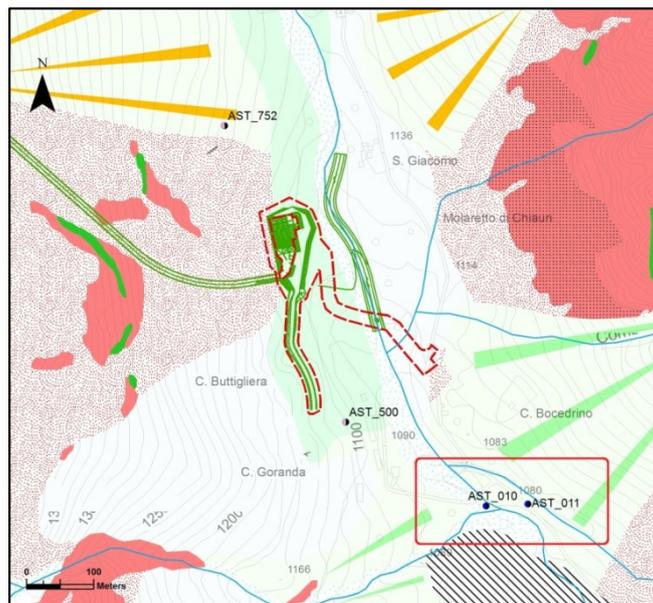


Figura 48– Ubicazione delle sorgenti AST\_010 e AST\_011 (contorno rosso) rispetto alle opere in progetto

Dalle analisi chimiche (Figura 49) ed isotopiche (Figura 50), effettuate in luglio 2012 nell'ambito del Monitoraggio dei punti acqua della Rete Totale (PD2\_MRI\_0006\_01-05-00\_10-01\_Rapportoluglio2012\_A) sulle sorgenti AST\_010 e AST\_011, sul torrente Clareaa monte (1400 m s.l.m.-ASP\_047) e a valle (ASP\_049) della confluenza col Tiraculo (ASP\_047) e sul torrente Tiraculo(ASP\_050), si evince che la composizione delle acque del rio Tiraculo è differente dalle altre. In particolare queste, meno profonde e meno mineralizzate, rappresentano l'end-member di alimentazione di origine superficiale. Le acque delle due sorgenti, come quelle campionate in alveo Clarea, presentano invece una composizione chimica più mineralizzata, che potrebbe testimoniare un'origine almeno in parte alimentata da flussi che circolano nel basamento roccioso, lungo le numerose faglie e zone di fratturazione presenti in questo settore.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

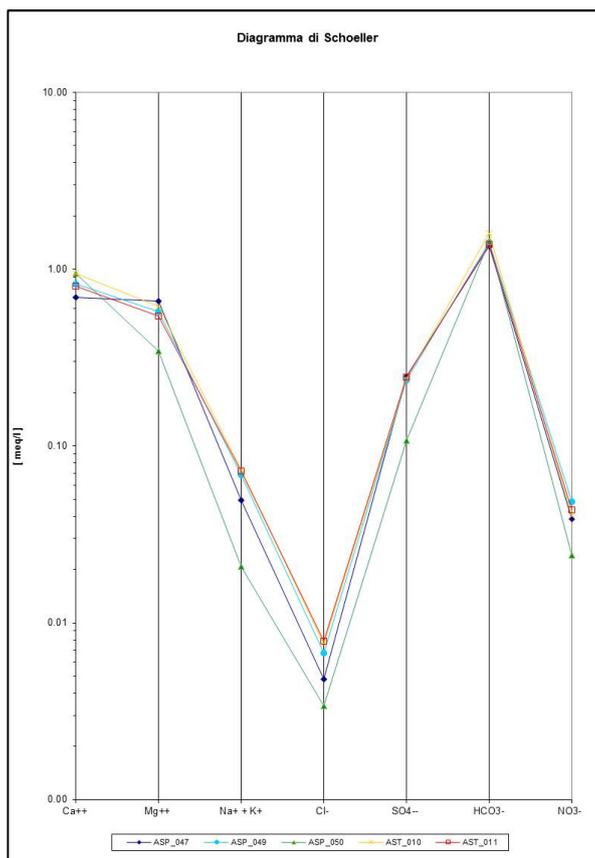


Figura 49– Risultati delle analisi chimiche plottati sul diagramma di Schoeller

Anche i valori di <sup>18</sup>O e Deuterio mostrano una differenza tra le acque del torrente Clarea e quelle delle sorgenti Pratovecchio e Boscodedrino, da un lato, e quelle del torrente Tiraculo dall'altro. In particolare, i valori per quest'ultimo indicano una provenienza di acque più fredde e quindi presumibilmente provenienti da quote più elevate rispetto a quelle del Clarea. Questo fatto non è coerente con le quote medie dei due bacini che alimentano il Clarea e il Tiraculo, entrambi aventi quote medie dell'alto bacino comprese tra 2500 m e 3200 m s.l.m., entrambi orientati est ovest, con uguale esposizione, leggermente più esteso quello del Clarea, e quindi in linea teorica confrontabili dal punto di vista climatico e del segnale isotopico delle precipitazioni.

Un'alimentazione del Clarea a monte della confluenza con il Tiraculo da acque profonde, provenienti dal basamento ed alimentate da un sistema di flusso più esteso, a sua volta alimentato esternamente ai bacini sottesi dal Clarea e dal Tiraculo, è un'ipotesi che permetterebbe di giustificare queste evidenze.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

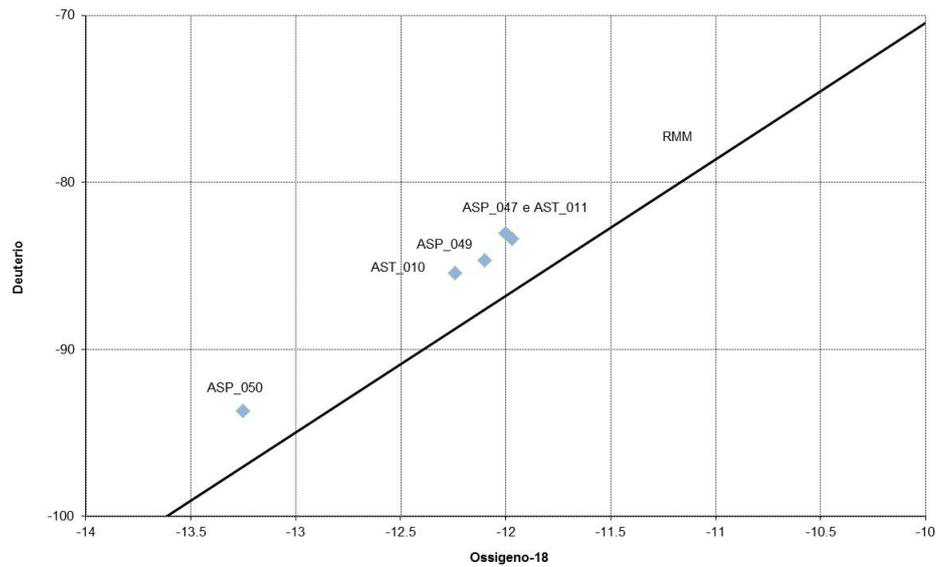


Figura 50– Grafico  $\delta^{18}O$  vs  $\delta$  Deuterio per i punti acqua campionati in luglio 2012. AST\_010-AST\_011: sorgenti Pratovecchio e Boscocedrino; ASP\_047: t. Clarea a monte della confluenza col Tiraculo (1400 m s.l.m.); ASP\_049: t. Clarea a valle dell'immissione del t. Tiraculo; ASP\_050: t. Tiraculo; retta nera: Retta Meteorica Mondiale

L'imbocco della galleria non interferisce direttamente con l'acquifero di fondovalle del Clarea, poiché il sito è posizionato ad una quota superiore rispetto ai terreni di natura alluvionale-torrentizia. Tuttavia il modello idrogeologico sviluppato prevede che l'alimentazione dell'acquifero di fondovalle avvenga anche dai conoidi laterali su cui è prevista la realizzazione della centrale di ventilazione. Inoltre i lavori di realizzazione della stessa e della strada di accesso al cantiere interessano direttamente i terreni che costituiscono l'acquifero di fondovalle.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

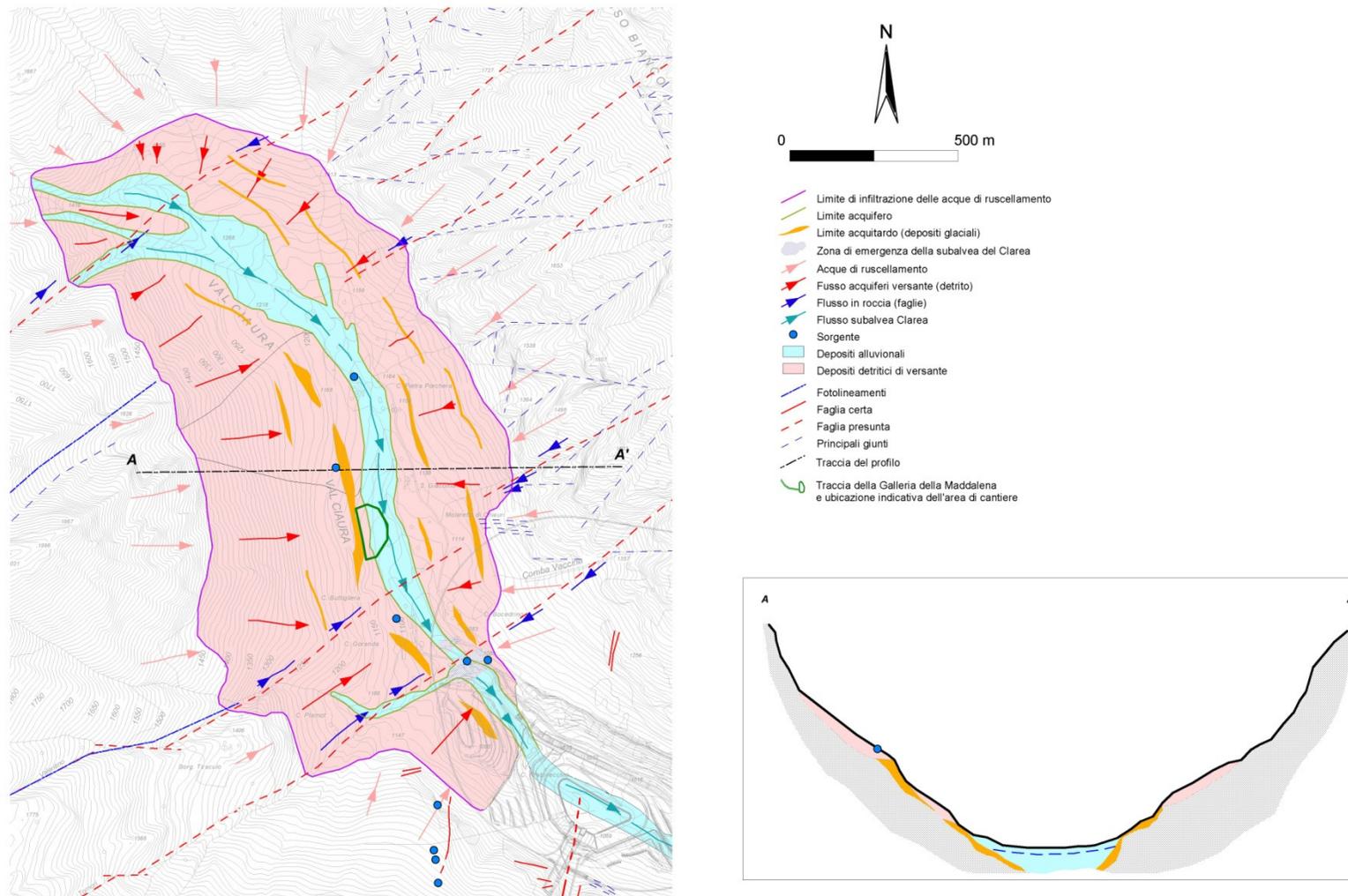


Figura 51– Schema concettuale del deflusso idrico della Val Clarea

## 6. 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).

**Bottino G., Crivellari R. (1998)** – *Analisi di colate detritiche connesse con l'evento alluvionale del 5-6 novembre 1994 nell'Anfiteatro Moreni d'Ivrea*. Atti del Convegno "Rischio idrogeologico, opere di difesa ed uso del territorio nel Canavese, Ivrea, 8-9 maggio 1998, 35-45.

**Fontan D, Stringa S. & 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.

**J. Ganne, J.-M. Bertrand, S. Fudral (2004)** - *Geometry and kinematics of early Alpine nappes in a Briançonnais basement (Ambin Massif, Western Alps)*. Comptes Rendus Geoscience 336, 1219.

**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*.

**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.

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

**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.

**Marchi L., Tecca P.R. (1996)** – *Hill-slope debris flows in the Dolomites: characteristics and associated risk*. Int. Symp. Interpraevent 1996. Garmisch – Partenkirchen, Tagungspublikation, Band 3, Seite 83-92.

**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.

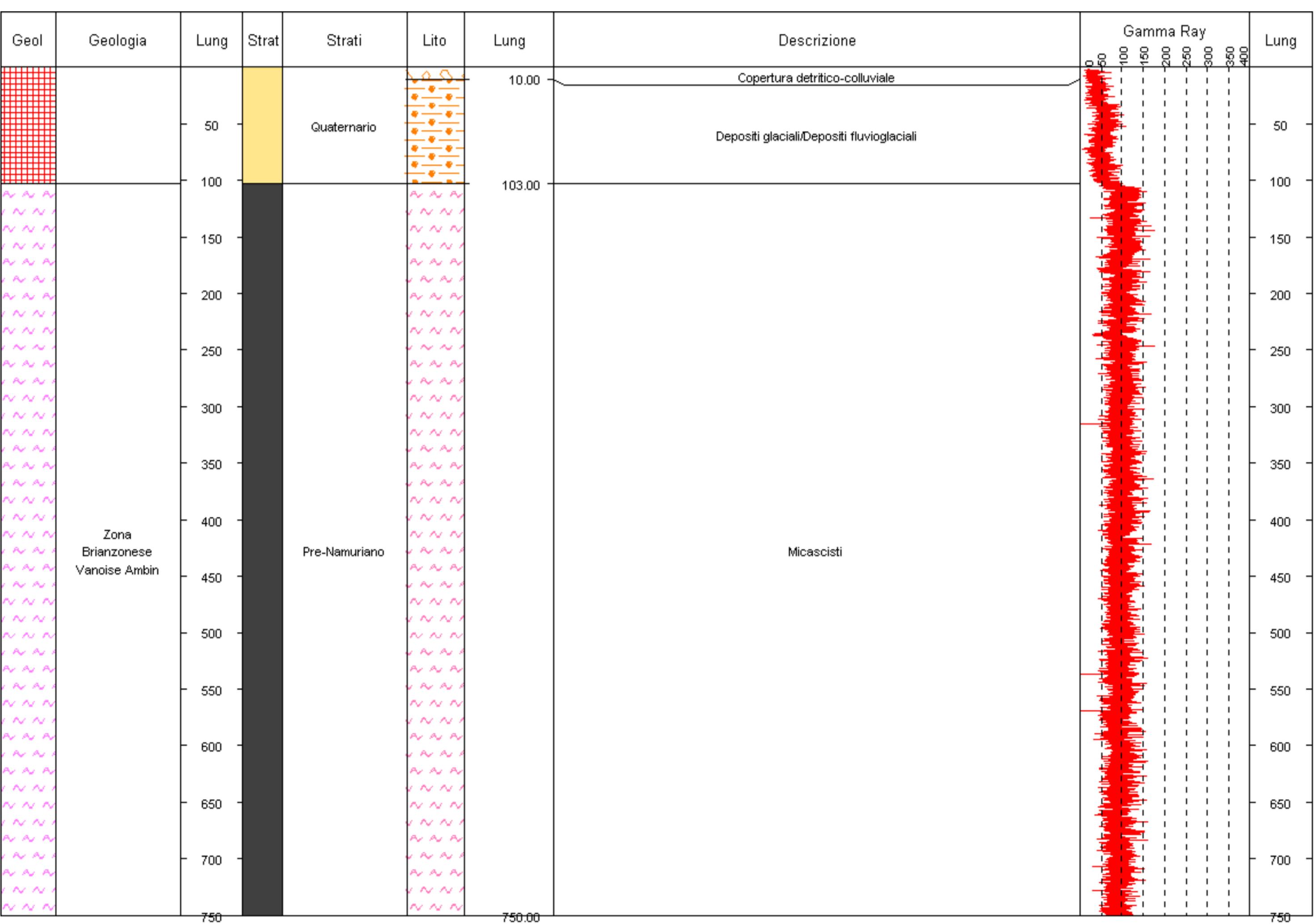
**Salm, B., Burkard, A. & Gubler, H. (1990)** *Berechnung von FlieSSLawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. Tech. Rep. No 47. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Davos).

**Salm, B. (1968)**. *On non-uniform, steady flow of avalanching snow*. In: Proceedings of the General Assembly of Berne, 1967 – Snow and Ice. IAHS Publ. Nr. 79. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, Oxfordshire, UK. Seiten 19–29.

**Voellmy, A. (1955)**. *Über die Zerstörungskraft von Lawinen*. Schweizerische Bauzeitung 73, 159–165, 212–217, 246–249, 280–285.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

## **Allegato 1 – Sondaggi geognostici**



Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
(4S3) 595	55.00	piccoli trovanti ciottoli ghiaia e ghiaietto in matrice sabbioso limosa
(4S3) 595	78.00	piccoli trovanti ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa
(4S3) 595	80.00	ciottoli e trovanti in matrice sabbioso limosa con presenza di livello di sabbia media
(4S3) 595	85.20	ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso limosa
(4S3) 595	86.10	trovante di scisti
(4S3) 595	94.50	ciottoli e trovanti piccoli in matrice sabbioso limosa
(4S3) 595	107.30	scisti micacei molto fessurati

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
(4S4) 596	0.30	terreno vegetale limo argilloso
(4S4) 596	0.90	ghiaia ciottoli e ghiaietto in abbondante matrice limosa argillosa consistente
(4S4) 596	26.00	trovanti ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso limosa
(4S4) 596	80.00	trovanti ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa fine limosa debolmente argillosa
(4S4) 596	83.90	piccoli trovanti ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso limosa
(4S4) 596	84.60	trovante di scisti micacei in vene di quarzo in matrice sabbiosa fine limosa
(4S4) 596	87.40	piccoli trovanti ciottoli e ghiaia eterometrica in abbondante matrice sabbioso limosa
(4S4) 596	94.20	scisti micacei compatti debolmente fratturati raramente alterati e ossidati in vene di quarzo
(4S4) 596	96.40	scisti micacei compatti molto fratturati alterati ossidati in vene di quarzo
(4S4) 596	104.50	scisti micacei compatti debolmente fratturati con livelli molto fratturati alterati con limo argilloso in vene di quarzo

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
(4S6) 597	83.00	sabbia eterometrica limosa con breccia fine grossolana e piccoli trovanti
(4S6) 597	85.60	breccia fine medio grossolana e piccoli trovanti in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa
(4S6) 597	100.50	micascisto quarzoso fratturato
(4S6) 597	108.00	micascisto gneiss debolmente alterato fratturato
(4S6) 597	115.40	gneiss localmente quarzoso mediamente fratturato
(4S6) 597	115.95	cataclasite breccia
(4S6) 597	117.40	micascisto quarzoso debolmente fratturato

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
(SC5) 598	8.00	sabbia fine limosa con breccia eterometrica e trovanti
(SC5) 598	63.00	sabbia con breccia eterometrica e trovanti
(SC5) 598	65.00	trovante e breccia medio fine grossolana in matrice limoso sabbiosa
(SC5) 598	70.00	sabbia media limosa con breccia medio fine
(SC5) 598	74.50	sabbia media debolmente limosa micacea con breccia medio fine rari elementi lapidei con presenza di livelli di sabbia fine
(SC5) 598	76.00	sabbia medio fine limosa con abbondante breccia medio grossolana e trovanti
(SC5) 598	91.90	trovanti e breccia medio grossolana in matrice limoso sabbiosa
(SC5) 598	92.40	gneiss molto alterato degradato in sabbia limosa
(SC5) 598	100.00	gneiss fratturato
(SC5) 598	103.50	gneiss fratturato in vene di quarzo

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique /  
Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio

## **Allegato 2 – PP2\_C30\_TS3\_2021\_A\_AP\_NOT - Risorse idriche\_Cleara**

**NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTE COMUNE ITALO FRANCESE - TRATTA IN TERRITORIO ITALIANO  
CUP C11J05000030001**

**PROGETTO PRELIMINARE IN VARIANTE  
CHIARIMENTI ED INTEGRAZIONI**

**INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO  
(Regione Piemonte – Richiesta N°2.1.c, 8.d)**

Indice	Date / Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	15/12/2010	Emissione per commenti	R. TORRI (SEA)	G. VENTURINI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MANCARELLA
A	20/12/2010	Emissione AP	R. TORRI (SEA)	G. VENTURINI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MANCARELLA

N°	P	P	2	C	3	0	T	S	3	2	0	2	1	A	A	P	N	O	T		
Doc	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero					Indice		Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED / INDIRIZZO GED	C30	//	//	55	02	02	10	01
--------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

**ECHELLE / SCALA**

-



## **SOMMAIRE – INDICE**

<b>SOMMAIRE – INDICE</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.1 STRUTTURA DEL DOCUMENTO</b>	<b>4</b>
<b>2. PRINCIPI PER LA DEFINIZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>5</b>
<b>3. IMBOCCO CLAREA</b>	<b>6</b>
<b>3.1 GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA</b>	<b>6</b>
<b>3.2 CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE</b>	<b>6</b>
<b>3.2.1 DINAMICA DI VERSANTE</b>	<b>7</b>
<b>3.2.2 DINAMICA FLUVIO-TORRENTIZIA</b>	<b>7</b>
<b>3.2.3 DINAMICA VALANGHIVA</b>	<b>7</b>
<b>3.3 CONSULTAZIONE DATI ESISTENTI</b>	<b>10</b>
<b>3.4 PIANO INDAGINI</b>	<b>10</b>
<b>4. FONDOVALLE CENISCHIA</b>	<b>11</b>
<b>4.1 IDROGEOLOGIA</b>	<b>11</b>
<b>4.2 GEOTECNICA</b>	<b>14</b>
<b>4.3 PIANO INDAGINI</b>	<b>15</b>
<b>4.3.1 INDAGINI</b>	<b>15</b>

## 1. Introduzione

Il presente elaborato è redatto quale documento integrativo in riferimento alle osservazioni formulate dalla Commissione Tecnica di verifica dell'Impatto Ambientale VIA e VAS del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (comunicazione dell'11/10/2010 n° prot. CTVIA-2010-003504) nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale del Progetto Preliminare in Variante della Nuova Linea Torino Lione – Parte comune Italo Francese – Tratta in Territorio Italiano. Tale procedura integra le osservazioni e richieste d'integrazione formulate dalla Regione Piemonte, Direzione trasporti, Infrastrutture, Mobilità e Logistica, Settore Infrastrutture Strategiche.

La presente nota è finalizzata a soddisfare le osservazioni della Regione Piemonte e in particolare per quanto concerne la componente tecnica **Idrogeologia e risorse idriche – Inquadramento idrogeologico**.

Osservazione:

*“Inquadramento idrogeologico:*

- *nelle valli del Clarea e del Cenischia deve essere effettuata una caratterizzazione litostratigrafica ed idrogeologica del materasso alluvionale fino al substrato (geoelettrica, sismica, sondaggi); in particolare non risulta chiaro a quale profondità passa il tunnel sotto la valle Cenischia e sono presenti valori contraddittori tra relazioni e tavole di progetto.*

I contenuti dell'elaborato di integrazione riportano quanto contenuto nel piano di indagini previsto per il settore della Val Cenischia dove il sottoattraversamento della valle pone criticità di tipo sia geotecnico che idrogeologico.

Per quanto riguarda la Val Clarea, è previsto siano eseguite le indagini necessarie alla caratterizzazione geotecnica e idrogeologica dei siti dove è prevista la realizzazione delle infrastrutture connesse all'impianto di ventilazione. Si farà particolare attenzione all'assetto litostratigrafico dei depositi di fondovalle e alle interferenze con il regime idrologico del Torrente Clarea. Per quanto concerne la Val Cenischia nella nota allegata è riportato lo stralcio del piano delle indagini previsto per le prossime fasi progettuali.

Si tiene comunque a precisare che, le conoscenze già oggi in possesso hanno permesso di caratterizzare l'area di cantiere in relazione alle criticità dovute alla dinamica di versante e la dinamica fluvio-torrentizia del Clarea. Nella presente nota è riportato lo stralcio di tali elementi.

A completamento di quanto qui riportato si allegano i seguenti documenti di progetto:

- PP2/C3B/TS3/0069: Programma indagini - Relazione generale di sintesi
- PP2/C3B/TS3/0074: Galleria Clarea - Relazione geologica e idrogeologica
- PP2/C3B/TS3/0075: Galleria Clarea – Carta geologica
- PP2/C3B/TS3/0076: Galleria Clarea – Carta geomorfologica
- PP2/C3B/TS3/0080: Tunnel di Base – Relazione geologica
- PP2/C3B/TS3/0081: Tunnel di Base – Planimetria ubicazione indagini 1di2
- PP2/C3B/TS3/0082: Tunnel di Base – Planimetria ubicazione indagini 2di2
- PP2/C3B/TS3/0083: Tunnel di Base – Carta geologica 1di2
- PP2/C3B/TS3/0084: Tunnel di Base – Carta geologica 2di2
- PP2/C3B/TS3/0087: Tunnel di Base – Carta geomorfologica 1di2

– PP2/C3B/TS3/0088: Tunnel di Base – Carta geomorfologica 2di2

La descrizione dell'assetto litostratigrafico, geologico, geomorfologico e idrogeologico dei settori dell'imbocco della Galleria Clarea e della Val Cenischia è stata realizzata in coerenza rispetto alle conoscenze attuali. Il dettaglio delle indagini che è stato possibile realizzare fino allo stato attuale, infatti, non permette di eseguire studi di dettaglio in quanto i dati a disposizione permettono di fare un'analisi qualitativa delle previsioni geologiche e non quantitativa.

In linea generale e come specificato nel progetto, si rimanda quindi alle prossime fasi progettuali ed alle indagini previste prima e in corso di tali fasi (doc. PP2/C3B/TS3/0069 "Programma indagini - Relazione generale di sintesi"), la realizzazione di studi specifici che permettano di quantificare gli effetti sia dello scavo sul normale deflusso della falda e di subsidenza che delle attività di cantierizzazione sulla vulnerabilità degli acquiferi.

### 1.1 Struttura del documento

Nel presente documento sono dapprima enunciati brevemente i principi utilizzati per la definizione delle indagini previste (§ 2); sono quindi descritti i modelli idrogeologici e geotecnici dei settori della Val Clarea (§ 3) e della Val Cenischia (§ 4) con i rispettivi piani di indagine previsti.

## **2. Principi per la definizione ed esecuzione delle indagini geognostiche**

Le indagini previste e che saranno definite nel proseguo della progettazione dell'opera complessiva e delle singole opere che la compongono, sono finalizzate alla caratterizzazione e alla modellazione geologica s.l. dei siti. In particolare si fa riferimento a quanto contenuto e prescritto nel D.M 14.1.2008 “Nuove Tecniche per le Costruzioni” e in particolare al Cap.3.2 “Azione sismica” e “Cap. 6 “Progettazione geotecnica”.

In particolare, per quanto riguarda la valutazione dell'azione sismica le indagini prevedono le indagini specifiche per la misurazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) secondo le specifiche dello stesso D.M.

### 3. Imbocco Clarea

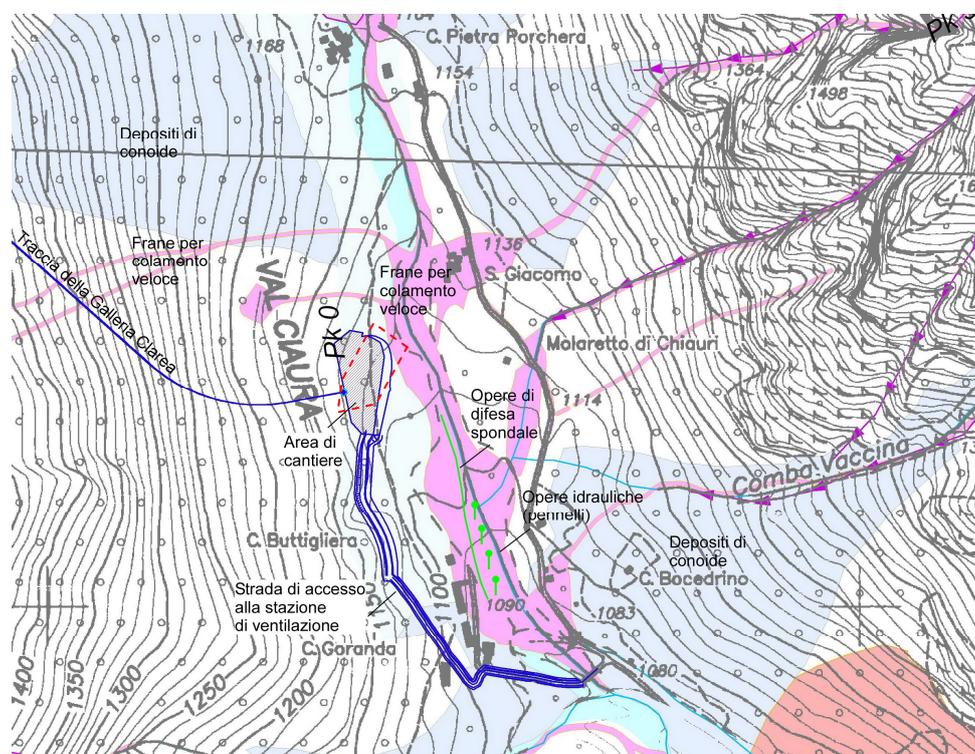
#### 3.1 Geologia e idrogeologia

Le rocce del basamento di questo settore si caratterizzano per la presenza di micascisti e gneiss minuti con intercalazioni di metabasiti anfiboliche del Complesso di Clarea. I depositi quaternari per i settori di versante sono caratterizzati dalla presenza di detrito di falda. Lungo il fondovalle sono presenti depositi alluvionali e depositi torrentizi, costituiti da blocchi sub-arrotondati sub metrici in una matrice prevalentemente ghiaiosa (doc. PP2/C3B/TS3/0074 “Galleria Clarea Relazione Geologica Generale”).

Dal punto di vista idrogeologico, gli acquiferi localizzati negli ammassi rocciosi di versante rientrano nel complesso idrogeologico 5 definito in progetto, e si caratterizzano per una permeabilità secondaria per fratturazione, compresa tra  $10^{-8}$  e  $10^{-6}$  m/s. I depositi quaternari di versante e fondovalle sono caratterizzati da una permeabilità per porosità primaria, variabile tra  $10^{-8}$  e  $10^{-4}$  m/s.

#### 3.2 Criticità geomorfologiche

L'area di cantiere, nella nuova soluzione che recepisce le indicazioni del Ministero dell'Ambiente (Commissione VIA) e descritta nel documento PP2/C30/TS3/1031, non è direttamente interessata dai fenomeni alluvionali registrati, compreso l'evento 2000 che ha determinato un importante trasporto solido lungo il fondovalle del Torrente Clarea come indicato nella figura che segue dove è riportato l'ingombro massimo dell'area di cantiere (in blu) e le zone interessate dall'evento 2000 connesso alle frane per colamento veloce tracciate in rosa. In tratteggio rosso è riportato, schematicamente, l'ingombro dell'area di cantiere nella soluzione precedente.



Benchè l'area non sia stata direttamente coinvolta negli eventi registrati, come descritto nel doc. PP2/C3B/TS3/0074 "Galleria di Clarea - Relazione geologica generale", il tratto di fondovalle Clarea in cui è localizzato l'area di imbocco, dal punto di vista geomorfologico, presenta differenti criticità riconducibili alla dinamica di versante e alla dinamica fluvio-torrentizia.

### ***3.2.1 Dinamica di versante***

Per quanto riguarda la dinamica di versante, l'imbocco è situato al piede di un versante caratterizzato da pendenze che variano da 25° fino a raggiungere circa 50°. Lungo il versante nell'evento alluvionale 2000 si sono verificati dei fenomeni di colamento veloce innescatisi in corrispondenza del deposito quaternario (coltre detritico-colluviale e detrito di falda localmente pedogenizzato) e successivamente incanalati negli impluvi esistenti fino a raggiungere il fondovalle del Clarea. Pertanto il versante in questione è caratterizzato da elevata propensione all'innescamento di fenomeni franosi, in concomitanza con eventi meteorici intensi. Inoltre la presenza di pareti rocciose nella parte alta del versante richiede di valutare anche la possibile interferenza tra fenomeni di crollo di singoli massi o di porzioni più ampie di substrato e l'area dell'imbocco. E' quindi necessario approfondire in fase di Progetto Definitivo la valutazione delle interferenze geomorfologiche con studi per:

- i) individuare le aree di potenziale innesco,
- ii) individuare i possibili percorsi della massa spostata per individuare la possibile interferenza con l'area dell'imbocco,
- iii) determinare la magnitudo del fenomeno in corrispondenza dell'area dell'imbocco (quantità di materiale atteso, energia attesa), mediante simulazioni con modelli di calcolo.

Qualora i risultati di tali studi evidenzino condizioni di particolare criticità, saranno dimensionate le opportune opere per la messa in sicurezza dell'area dell'imbocco, sia durante i lavori di installazione della centrale di ventilazione che dopo, consistenti indicativamente reti e barriere paramassi, valli, muri di sostegno, ecc.

### ***3.2.2 Dinamica fluvio-torrentizia***

Per quanto riguarda la dinamica fluvio-torrentizia, l'area dell'imbocco è ubicata nel fondovalle alluvionale destro del Torrente Clarea. Attualmente il fondovalle è occupato da depositi fluvio-torrentizi costituiti da ciottoli e blocchi metrico-decametrici depositati dal Clarea durante l'evento alluvionale dell'ottobre 2000: in tale occasione il corso d'acqua è stato caratterizzato da fenomeni di trasporto solido molto elevato, alimentato anche da numerose colate detritiche provenienti dai versanti. L'area dell'imbocco è ubicata al limite di questi depositi riconducibili all'evento 2000.

Sarà quindi necessario realizzare opere di regimazione del Torrente Clarea (difese di sponda e arginature), estese a monte e a valle dell'intervento in progetto, a difesa dell'area dell'imbocco e dell'area di cantiere.

### ***3.2.3 Dinamica valanghiva***

Al fine di verificare l'interferenza dell'area d'imbocco con eventi valanghivi che potrebbero avere luogo nel settore della Val Clarea interessata dai lavori Clarea, è stato eseguito uno studio preliminare con il metodo RASH3D (Pirulli, 2005<sup>1</sup>) che permette, una volta individuate le aree suscettibili all'innescamento, di simulare il verificarsi di valanghe attribuendo i parametri di

---

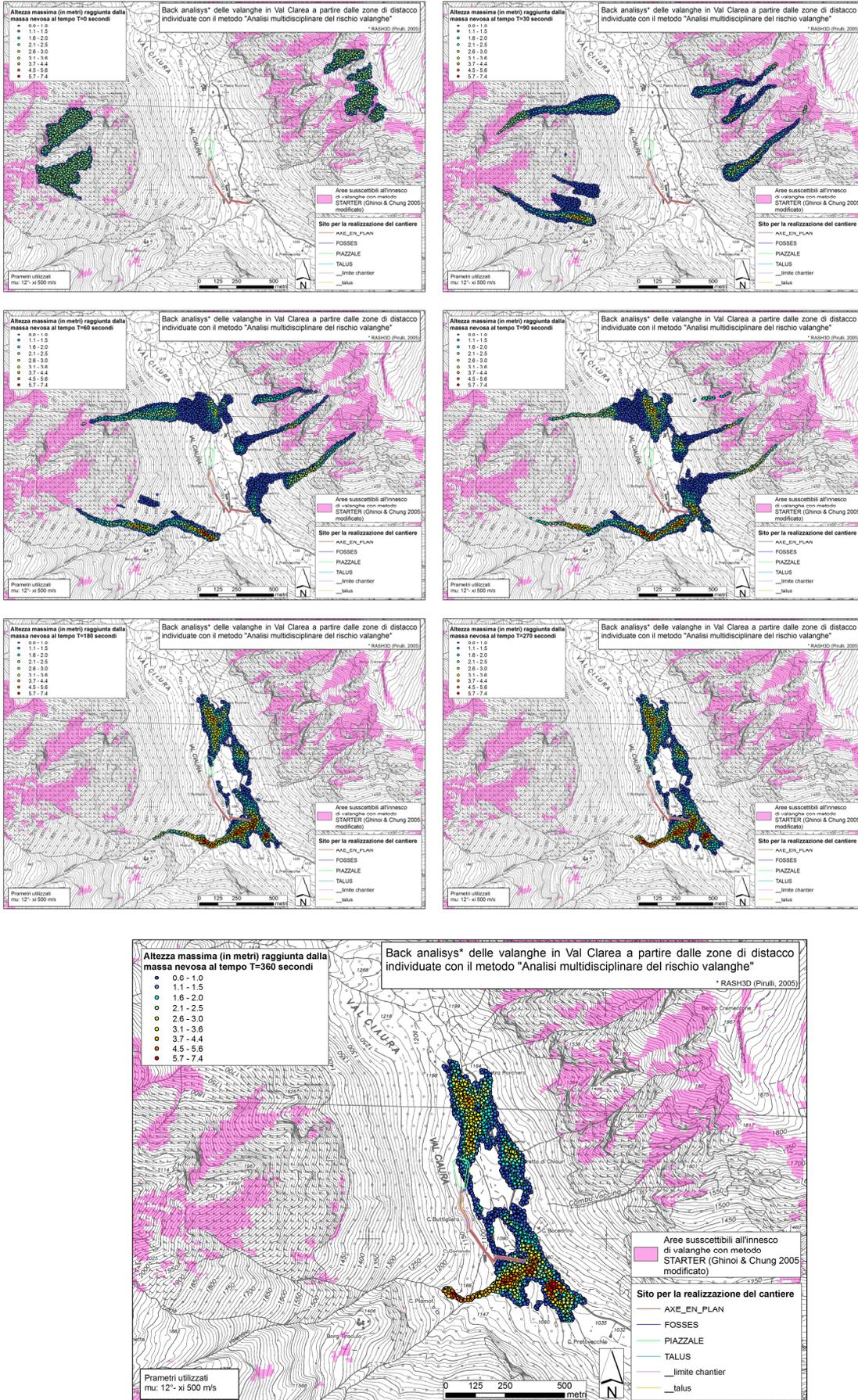
<sup>1</sup> Pirulli M. (2005). Numerical modelling of landslide runout, a continuum mechanism approach, Tesi di Dottorato in Ingegneria Geotecnica, Politecnico di Torino, Italia

i) angolo di attrito della neve, ii) volume della massa di neve mobilizzata espressa come altezza della neve e iii) coefficiente di turbolenza della neve. Cautelativamente, dato il carattere preliminare dello studio, sono stati considerati, coefficienti di attrito e turbolenza per nevi intermedie tra umide e nubiformi che originano valanghe con coinvolgimento di una discreta massa di neve ma che al contempo sono caratterizzate da una altrettanto discreta espansione laterale; l'altezza della lama di neve mobilizzata in corrispondenza delle zone di distacco è stata considerata pari a 3 metri in modo da poter considerare la massa mobilizzata lungo il percorso della valanga.

Nell'immagine che segue, è riportato il risultato dello studio dove si evince un coinvolgimento limitato dell'area d'imbocco dovuti al fenomeno di espansione laterale della valanga simulata.

Si sottolinea, comunque, che le lavorazioni previste per il sito di clarea saranno eseguite durante i mesi estivi e non soggetti a fenomeni valanghivi. Inoltre, durante la fase di esercizio, non sono previsti interventi di routine per i quali sia necessario l'intervento diretto al sito. La progettazione definitiva del sito dovrà comunque tenere in considerazione che i manufatti siano realizzati in modo da non essere danneggiati da eventuali fenomeni valanghivi particolarmente intensi.

Le immagini riportano il percorso della massa di neve a 0, 30, 60, 90, 180, 270 e 360 secondi.



### 3.3 Consultazione dati esistenti

L'elaborazione del modello geologico e la definizione delle criticità geomorfologiche sono state realizzate, oltre che con il rilievo geomorfologico sul terreno e l'interpretazione delle foto aeree, tramite la consultazione dei dati disponibili presso le seguenti banche dati :

- Catalogo dei sondaggi realizzati per le opere connesse alla Centrale Idroelettrica di Pont Ventoux) ;
- IFFI (Inventario Fenomeni Franosi d'Italia) ;
- PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) ;
- SIVA (Sistema Informativo Valanghe) ;
- Banca dati eventi alluvionali (ARPA Piemonte) ;
- SICOD (Catasto delle Opere di Difesa).

### 3.4 Piano indagini

Sulla base delle criticità emerse, sarà necessario precisare la caratterizzazione litotecnica dei terreni di fondazione delle opere previste; è previsto che siano realizzate nelle prossime fasi di progettazione indagini finalizzate a definire i seguenti elementi:

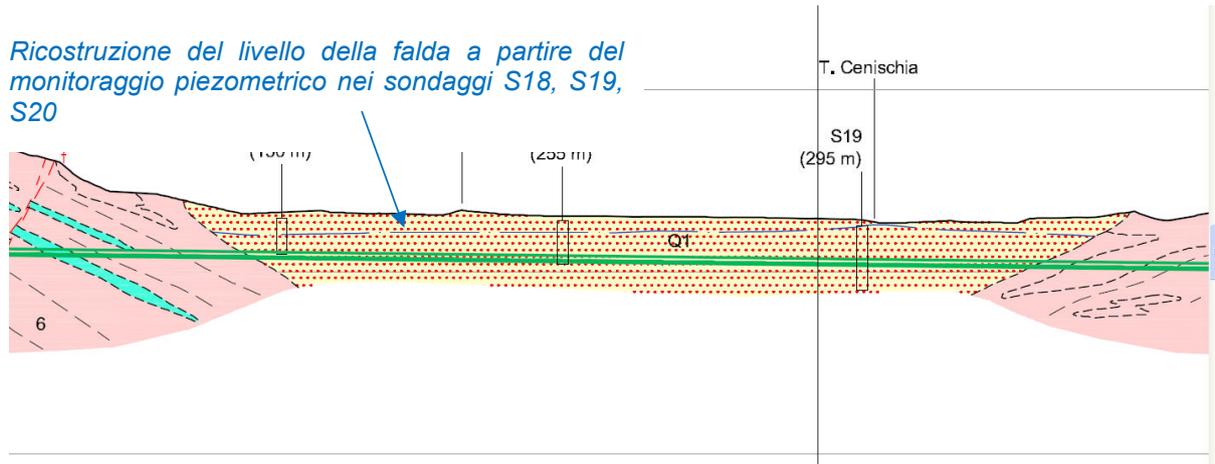
- 1) Caratterizzazione delle litologie che costituiscono il basamento roccioso all'interno delle quali saranno realizzate le opere principali. A tale scopo si potrà beneficiare delle indagini realizzate per la definizione del modello geologico lungo l'opera principale e dei dati che deriveranno dallo scavo del cunicolo esplorativo de La Maddalena; quest'ultima infatti sarà realizzata negli stessi litotipi e in condizioni di copertura del tutto paragonabili;
- 2) Caratterizzazione dei depositi di fondovalle da un punto vista geotecnico e idrogeologico nonché dell'azione sismica;
- 3) Verificare l'andamento dei versanti in roccia al di sotto dei depositi sciolti di fondovalle.
- 4) Caratterizzazione dell'acquifero di fondovalle Clarea.

## 4. Fondovalle Cenischia

### 4.1 Idrogeologia

L'attraversamento in sotterraneo della Val Cenischia (pk 56+075 ÷ 57+150) prevede lo scavo in depositi alluvionali di fondovalle generalmente sabbiosi e ghiaioso - sabbiosi debolmente limosi che costituiscono un acquifero generalmente omogeneo con un debole carattere anisotropo a causa della stratificazione orizzontale che vede appunto l'intercalazione nei depositi ghiaioso - sabbioso - limosi di livelli da decimetrici a pluridecimetrici di limi e limi sabbiosi.

*Ricostruzione del livello della falda a partire del monitoraggio piezometrico nei sondaggi S18, S19, S20*



Nel settore di studio sono presenti tre sondaggi (S18, S19 e S20) in cui sono state realizzate prove Lefranc a carico variabile in abbassamento (Tabella 1). I valori indicano una permeabilità media di circa  $4.5e-6$  m/s (permeabilità di grado medio). I tratti di prova compresi tra circa 20 e 90 metri di profondità confermano una generale omogeneità dell'acquifero.

Sond.	Prova Lefranc n°	da (m)	a (m)	K (m/s)	Descrizione
S18	1	49.0	50.0	<b>3.69E-06</b>	Sabbia fine, talora debolmente limosa con ghiaia fine
	2	59.0	60.0	<b>4.53E-06</b>	Sabbia fine, talora debolmente limosa
S19	1	22.5	23.5	<b>3.46E-06</b>	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa m/f, localmente limosa
	2	52.3	53.0	<b>1.63E-05</b>	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa m/g, localmente limosa con intercalati livelli dmd di sabbia fine
	3	70.4	73.0	<b>3.42E-07</b>	Sabbia m/g con ghiaia m/f con intercalati livelli cm/dm di limo sabbioso debolmente argilloso
	4	87.7	89.0	<b>3.81E-07</b>	Sabbia m/f debolmente limosa con ghiaia eterometrica
S20	1	24.0	25.0	<b>2.56E-06</b>	Ghiaia eterometrica con sabbia m/f debolmente limosa con intercalati livelli dm di sabbia limosa
	2	49.5	51.0	<b>2.12E-06</b>	Sabbia eterometrica limosa con ghiaia m/f
	3	75.0	76.5	<b>6.14E-06</b>	Sabbia eterometrica limosa localmente argillosa con ghiaia m/f

Tabella 1 – Risultati delle prove idrauliche di tipo Lefranc realizzate nei sondaggi S18, S19 e S20

In condizioni imperturbate, la falda freatica ospitata nei depositi di fondovalle si trova in equilibrio con il reticolo idrografico principale (T. Cenischia) e presenta generalmente una soggiacenza limitata (inferiore a 5 metri) con la superficie piezometrica che si trova in molti settori prossima al piano campagna.

Nel settore indagato dai sondaggi S18, S19 e S20, invece, le misure piezometriche eseguite tra il mese di maggio 1998 e il mese di maggio 2001 (durante la realizzazione delle opere sotterranee di Pont Ventoux, Figura 1) mostrano una generale deformazione dei flussi che sembrano essere richiamati verso il versante destro della valle (Figura 2 + sezione qui sopra) in corrispondenza dei settori in cui sono stati registrati i drenaggi più importanti nella galleria di accesso alla centrale di Pont Ventoux.

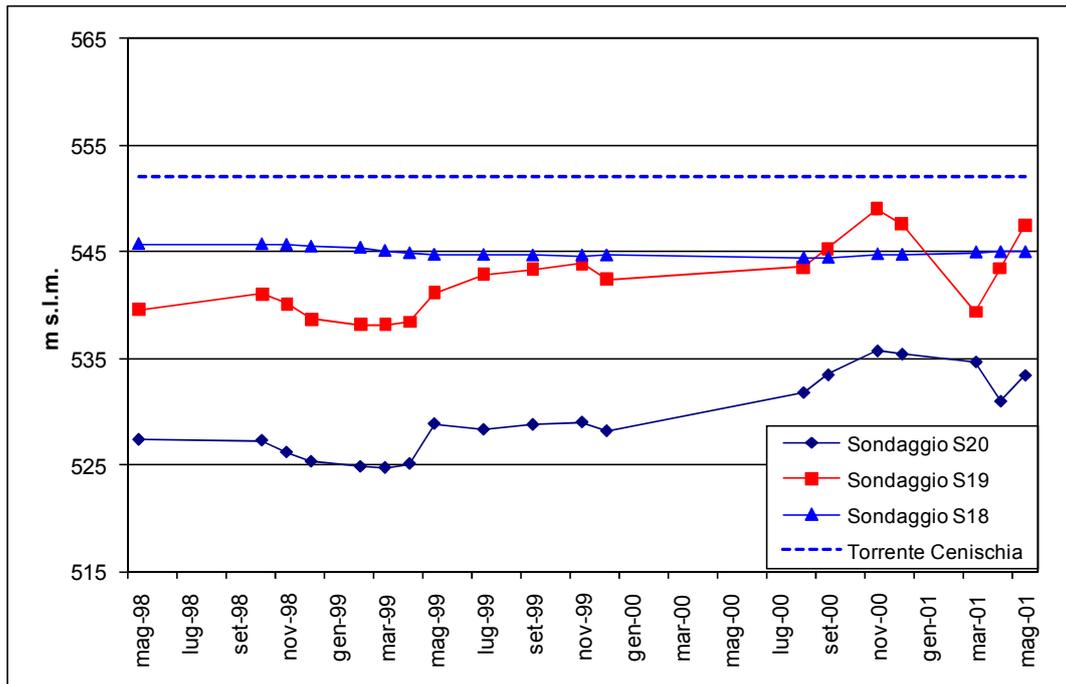


Figura 1 – Misure piezometriche realizzate nei sondaggi S18, S19 e S20 tra il maggio 1998 e il maggio 2001. È riportato altresì la quota del T. Cenischia misurato in corrispondenza dei sondaggi.

In questo settore l'acquifero di fondovalle è apparentemente drenato dalle opere di Pont Ventoux alle quali è idrogeologicamente connesso attraverso la Faglia di Venaus.

In asse al Tunnel di base che attraversa i depositi di fondovalle circa 500 metri più a nord rispetto all'allineamento dei sondaggi S18, S19 e S20, il battente idraulico massimo previsto è di circa 60 metri e coincidente con la copertura topografica in corrispondenza del Torrente Cenischia.

La base dell'acquifero è ipoteticamente fissato in corrispondenza del basamento roccioso al di sotto dei depositi quaternari che si trova a una quota inferiore alle opere in progetto come testimoniato dai sondaggi realizzati da LTF in questo settore (S18, S19 e S20). In particolare, solo il sondaggio S20 ha intercettato il basamento roccioso a una profondità di 99 metri.

La realizzazione del tratto in sotterraneo nei depositi di fondovalle del Cenischia è prevista con metodo meccanizzato e tecnologia con confinamento delle pressioni al fronte di scavo al fine di annullare le venute in galleria, di limitare le interferenze con la falda sotterranea e i fenomeni di cedimento in superficie; l'utilizzo di questa tecnica è altresì finalizzata a realizzare un'opera impermeabile non drenante.

La presenza delle opere sotterranee in questo settore potrebbe però determinare un fenomeno di innalzamento della falda nel settore a monte delle opere stesse (effetto diga). Tale condizione sarebbe dovuta alla diminuzione della sezione filtrante della falda. Il problema dovrà essere meglio indagato sulla base di indagini più dettagliate, ma già i risultati dello studio preliminare indicano che tali interferenze sono minime e non determinano una situazione di criticità.

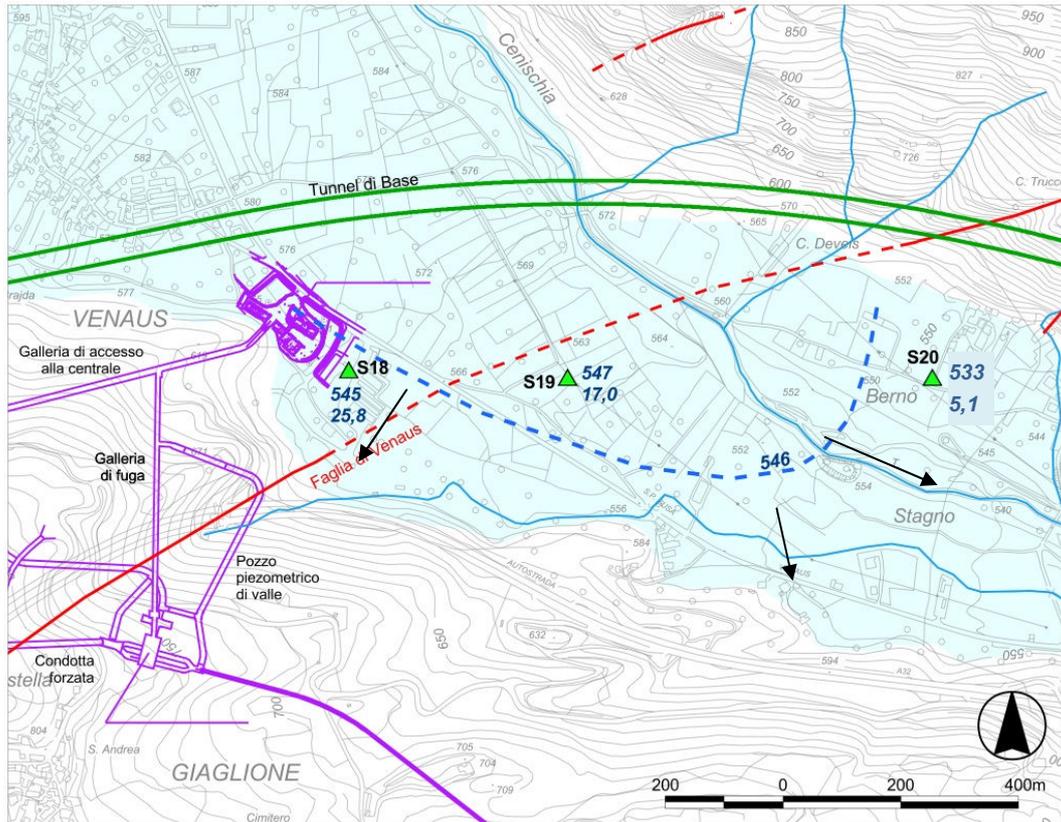


Figura 2 – Assetto idrogeologico della falda di fondovalle Cenischia con evidenza della deformazione della piezometrica in seguito al drenaggio instaurato dalle opere di Pont Ventoux. Le frecce nere indicano la direzioni di deflusso. Presso i punti di monitoraggio della falda (sondaggi S18, S19 e S20) sono indicati la quota assoluta della falda e la sua soggiacenza. Si nota come in corrispondenza del versante destro (lato S18) la falda presenta una flessione verso il versante in corrispondenza della faglia di Venaus.

## 4.2 Geotecnica

L'attraversamento in sotterraneo della Val Cenischia prevede lo scavo in depositi alluvionali di fondovalle generalmente sabbiosi e ghiaioso - sabbiosi debolmente limosi scarsamente coesivi. Il basamento roccioso al di sotto dei depositi quaternari si trova a una quota inferiore alle opere in progetto come testimoniato dai sondaggi realizzati da LTF in questo settore (S18, S19 e S20).

I depositi quaternari sono stati inquadrati in progetto nel gruppo geomeccanico G11 che raggruppa i terreni sciolti per i quali la classificazione RMR di Bieniawski e il GSI non sono applicabili. Il comportamento allo scavo e le problematiche connesse con questi depositi sono infatti completamente differenti rispetto agli ammassi rocciosi. Le criticità maggiori sono rappresentate dalla scarsa coesione del materiale sciolto e dalla presenza di un battente idraulico elevato in alcuni tratti pari a 60 metri.

Le caratteristiche litotecniche dei terreni sono state definite sulla base dei dati di letteratura e dei risultati delle prove in foro e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi. Nella tabella che segue sono riportati i parametri di riferimento per il gruppo geomeccanico G11.

<i>parametro</i>	<i>valore</i>	<i>unità</i>
gamma	20-22	kN/m <sup>3</sup>
c	0-0.010	MPa
Phi	33-37	°
Ed	0.05-0.2	GPa
v(Poisson)	0.3	-

---

Tabella 2 – Caratterizzazione geotecnica dei terreni che occupano il fondovalle Cenischia.

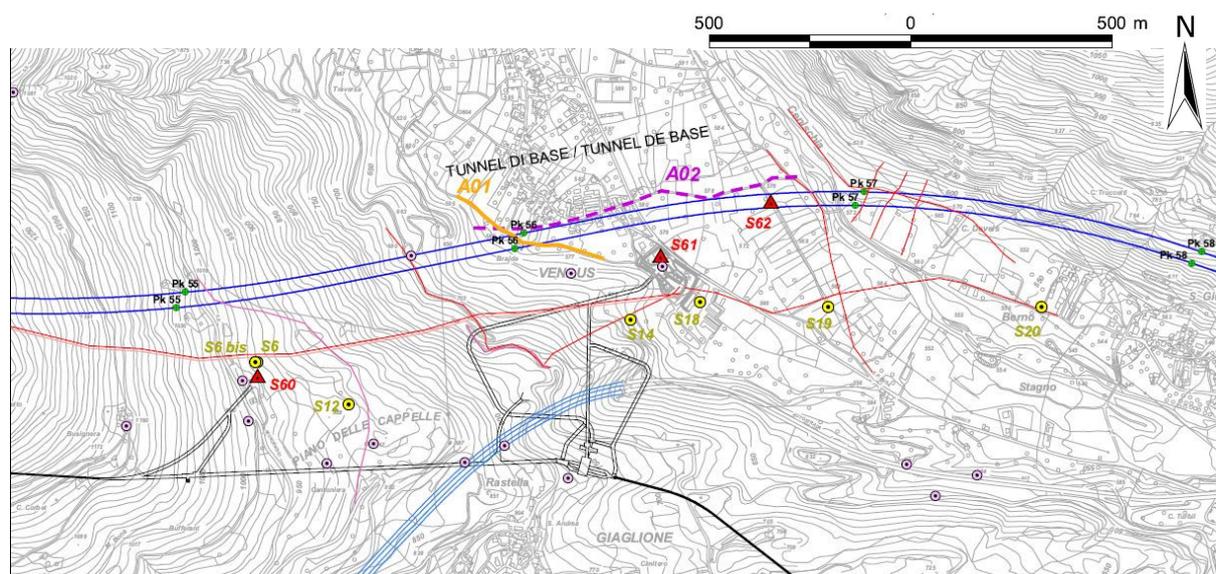
### 4.3 Piano indagini

Come per il settore precedente, le indagini dovranno essere svolte nelle prossime fasi di progetto.

Di seguito si riportano le indagini previste (cfr. PP2/C3B/TS3/0069 – “Programma Indagini\_Relazione Sintesi”) al fine di verificare e meglio dettagliare le conoscenze pregresse inerenti il modello geologico e geotecnico di riferimento. Sono state previste anche indagini necessarie per la definizione dei parametri utili alla progettazione geotecnica delle opere da realizzare in questo tratto

#### 4.3.1 Indagini

Sono previsti due sondaggi (**S61** e **S62**) da realizzarsi nella piana alluvionale della Valle Cenischia. A compendio di questi, si prevede di realizzare una stesa di sismica ibrida (riflessione + rifrazione) (**A01**) con direzione trasversale al versante destro nel tratto di raccordo con il fondovalle. Inoltre, si propone la realizzazione di un'indagine gravimetrica (**A02**) che copra l'intero tratto di fondovalle attraversato dal Tunnel di Base. L'ubicazione delle indagini è indicata in Figura 3.



### Indagini proposte

*Investigations proposées*



Sondaggi geognostici / Forages de reconnaissance



Profilo gravimetrico / Profil gravimétrique



Tomografia sismica ibrida / Tomographie par sismique hybride

### Indagini eseguite

*Investigations réalisées*



Sondaggi LTF 1996-2005 / Forages LTF 1996-2005



Sondaggi altre campagne / Forages autres campagnes



Tomografia sismica a rifrazione LTF / Tomographie par sismique réfraction



Tomografia sismica a riflessione / Tomographie par sismique réflexion

### Opere sotterranee realizzate nel settore di studio

*Travaux souterrains réalisés dans le secteur d'étude*



Impianto idroelettrico "Pont-Ventoux" / Centrale hydroélectrique "Pont-Ventoux"



Galleria A32 "Giaglione" / Tunnel A32 "Giaglione"

Figura 3 - Ubicazione delle indagini nei settori "Ambin" e "Venaus/Cenischia" del Tunnel di Base. Il tracciato delle opere in progetto è segnato in blu. Sono inoltre indicate, lungo il tracciato, le pk di progetto.

## OBIETTIVI

- 5) Le indagini sono dirette a caratterizzare i depositi di fondovalle da un punto vista geotecnico e idrogeologico nonché dell'azione sismica;
- 6) Verificare l'andamento dei versanti in roccia al di sotto dei depositi sciolti di fondovalle.
- 7) Caratterizzazione dell'acquifero di fondovalle Cenischia e dei carichi idraulici da attendersi durante lo scavo della galleria al fine di poter valutare l'eventuale "effetto diga" per lo sbarramento parziale del normale deflusso idrico sotterraneo.

## LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI

I sondaggi sono localizzati nel territorio del Comune di Venaus. Il sondaggio S61 è ubicato in destra orografica nel settore prospiciente il versante e l'S62 (Figura 3).

**S61:** è previsto di impiantare il cantiere dei sondaggi nell'area pianeggiante prospiciente il versante. Il sito di cantiere potrebbe essere collocato nel piazzale degli uffici IRIDE Impianto Idroelettrico di Pont Ventoux), L'accesso al sito avviene per la SP Venaus - Susa quindi lungo la stradina che costeggia la recinzione del sito IRIDE. La quota è di 575 m slm. L'approvvigionamento in acqua avverrebbe tramite servitù IRIDE o installando una presa lungo il T. Cenischia.

**S62:** il cantiere per il perforo è previsto in posizione assiale del fondovalle lungo la circonvallazione di Venaus verso B.gta Berno. La quota di testa foro è di 570 m slm. L'approvvigionamento in acqua avverrebbe installando una presa lungo il T. Cenischia.

**A01:** la stesa sismica si posizionerebbe con andamento trasversale (obliquo) al versante (orientazione circa NW - SE) nel settore di raccordo del versante con la pianura tra il sito degli uffici IRIDE e l'abitato di Venaus.

**A02:** l'indagine gravimetrica coprirebbe tutta la porzione di fondovalle Cenischia. La realizzazione delle misure avverrebbe tramite l'esecuzione di misure gravimetriche con cadenza regolare e stabilita in funzione della morfologia della superficie topografica (la distanza tra una misura e l'altra si riduce in prossimità dei versanti e aumenta nei tratti di pianura). Il rilievo gravimetrico consiste nell'esecuzione di misure puntuali, formando un reticolo, delle variazioni relative del campo gravitazionale terrestre tra un punto e un altro attraverso l'utilizzo di un'apparecchiatura portatile; le misure si eseguono di norma lungo le strade esistenti ma nulla vieta che i profili vengano tracciati anche al di fuori esse.

#### CARATTERISTICHE DEI SONDAGGI

I sondaggi saranno realizzati a carotaggio continuo fino a una profondità di almeno 100 m; tale profondità permette di attraversare la successione dei depositi quaternari interessati dallo scavo della galleria e potenzialmente, nel caso del sondaggio S61, di raggiungere il basamento roccioso; le rocce di basamento saranno perforate a carotaggio continuo così come i terreni sciolti. La profondità d'investigazione massima è stata fissata a 120 m. Il sondaggio S61 è previsto inclinato fino a 30° con direzione N250. Il sondaggio S62 è invece previsto verticale.

Il perforo avverrà preferenzialmente con tecnica tradizionale con doppio o triplo calibro di rivestimento (220 – 178 – 152 mm) e carotieri di diametro maggiorato (131 mm) almeno nei terreni di copertura; in roccia il diametro del campionatore può essere ridotto anche a 101 – 116 mm. Per l'esecuzione delle prove pressiometriche, si dovrà utilizzare un carotiere con diametro (63 mm). Il foro verrà quindi alesato ai diametri maggiori a prova realizzata.

#### CARATTERISTICHE DELLA STESA SISMICA

La stesa sismica (a riflessione) deve essere posizionata in modo da ridurre gli effetti 3D delle pareti rocciose che bordano la pianura. L'orientazione ottimale è quindi trasversale alla parete stessa ovvero NNW - SSE. La lunghezza della stesa sarà di circa 250 m. La sorgente di vibrazione può essere scelta tra la massa battente e l'esplosivo (microcariche) con preferenza per quest'ultimo per l'utilizzo del quale sarà necessario verificare le normative in vigore. Il dispositivo permette di ottenere una buona copertura multipla dopo 48 m di profondità; per questo motivo si consiglia di effettuare il tiro d'offset posto il più prossimo possibile alla scarpata.

#### CARATTERISTICHE DELL'INDAGINE GRAVIMETRICA

I profili gravimetrici hanno orientazione secondo l'asse del tracciato delle opere ovvero longitudinalmente e trasversalmente. Il profilo longitudinale, lungo circa 1,5 km, potrà indicativamente avere una stazione ogni 10 – 50 m. Il passo sarà più fitto (10 m) in prossimità

dei versanti mentre potrà essere essere più spaziato lungo il fondovalle (50 m). I profili trasversali al tracciato possono essere lungo circa 250 metri e potranno avere passo variabile da 10 m, a cavallo del tracciato, fino a 50 metri nelle zone più distali.

#### PROGRAMMA DELLE PROVE

Il programma tecnico prevede le seguenti prove:

##### Prove in sito

- Rilievo geologico dettagliato delle carote (litologie, strutture, ecc)
- Misura dell'RQD;
- Diagrafie in foro (gamma ray, onde soniche Full Wave, BHTV, conducibilità elettrica, temperatura);
- Studio strutturale su BHTV e carote orientate (tratto in roccia);
- Prove dilatometriche nella parte profonda del foro (basamento roccioso); sono previste da 2 - 3 prove se le condizioni del foro lo permettono (tenuta delle pareti e diametro regolare); di norma bisogna prevedere prove con 4 cicli di carico e scarico;
- Prove pressiometriche e SPT nei terreni sciolti con intervallo tra 1 e 3 metri;
- Prove sismiche down-hole per la misura delle onde S e la parametrizzazione Vs30 in ottemperanza alle norme in materia di caratterizzazione sismica (D.M. 14.1.2008);
- Prove idrauliche Lefranc nei terreni sciolti e Lugeon in roccia; le prove possono essere realizzate in avanzamento per tratti di 5 m.

##### Prove in laboratorio

I campioni da analizzare saranno scelti sulla base del rilevamento delle carote e almeno per ogni litotipo significativo.

Per i tratti in roccia, sono previste le seguenti prove:

- Prove meccaniche tipo UCS e PLT;
- Prove triassiali;
- Prove di taglio lungo giunto.

Per i tratti in terreni sciolti, sono previste le seguenti prove:

- Analisi granulometrica e limiti di Atterberg;
- Prove edometriche;
- Prove triassiali drenate e non drenate

Sono previste inoltre:

- Difrattometria a raggi X;
- Analisi petrografia al microscopio ottico con riconoscimento e caratterizzazione dei minerali fibrosi.

##### Analisi di laboratorio sui campioni d'acqua prelevati:

- Analisi chimica (ioni principali) e isotopica delle acque ( $^{18}\text{O}$ , D, T,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{222}\text{Rn}$ ).