

**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**

**TUNNEL DE BASE – TUNNEL DI BASE**

**GALERIE DE VENTILATION DE CLAREA –  
GALLERIA DI VENTILAZIONE DI CLAREA**

**GEOLOGIE, HYDROGEOLOGIE, GEOTECHNIQUE – GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA**

**Rapport géologique général - Relazione geologica generale**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	R. TORRI (SEA)	R. TORRI. C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	R. TORRI (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 FI



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>1</b>	<b>1</b>	<b>7</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		//	//	26	47	01	10	01
INDIRIZZO GED								

<b>ECHELLE / SCALA</b>
-



## SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO .....	3
1. INTRODUZIONE .....	5
1.1 Obiettivi dello studio .....	6
1.2 Inquadramento dell'area di studio .....	6
1.3 Attività svolte.....	6
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO GENERALE .....	8
2.1 Unità di Ambin .....	8
2.1.1 Dominio strutturale Ambin - Venaus.....	8
2.2 Geologia e geomorfologia dell'area di imbocco .....	10
2.2.1 Depositi fluvio-torrentizi .....	10
2.2.2 Depositi detritici di versante .....	13
2.2.3 Depositi di conoide di origine mista .....	13
2.2.4 Depositi glaciali .....	14
2.2.5 Depositi e manufatti antropici.....	15
3. MODELLO GEOMECCANICO .....	16
3.1 Classificazione dell'ammasso roccioso .....	16
4. MODELLO IDROGEOLOGICO .....	16
4.1 Valutazione delle venute in galleria .....	18
ALLEGATO 1 – ANALISI DEL TRACCIATO .....	19
4.2 Basamento Cristallino (Serie di Clarea) – pk 0+000 ÷ 4+522.....	20
ALLEGATO 2 – STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI PROFONDI ESEGUITI PER LA TRATTA DI PERTINENZA DELLA GALLERIA DI VENTILAZIONE CLAREA (L'INSIEME DELLE STRATIGRAFIE È RIPORTATO NEL DOCUMENTO PD2 C3B 0019 00-05-05 10-02 – INDAGINI ESISTENTI) .....	22

## RESUME/RIASSUNTO

Le tracé de la galerie de ventilation de Clarea conçu dans cette phase de révision du Progetto Definitivo, s'éloigne faiblement du tracé proposé au cours du Progetto Preliminare. Le site du portail et de la centrale de ventilation reste localisé dans la position du PP mais son développement en plan, y compris l'aménagement du chantier, a été repris afin d'éviter les interactions avec les zones d'érosion du Torrent Clarea et avec l'aquifère du fond de la vallée; en plus, la nouvelle solution permet de minimiser les interférences du chemin d'accès à la centrale de ventilation en termes de terrassements le long le versant droit de la val Clarée.

Le point d'insertion de la galerie de ventilation le long l'ouvrage principal est prévue environ à la pk 48 du tunnel de base en correspondance de la limite ouest du site souterrain de La Maddalena. La longueur de la galerie de ventilation est d'environ 4'520 mètres.

Le modèle géologique le long le tracé a été défini sur la base des données disponibles et issues directement des études et investigations réalisées dans le cadre de la Nouvelle Ligne Ferroviaire Turin-Lyon et notamment sur la base des levés de terrain détaillés du Col Clapier et du Col de la Savine.

Le tracé traverse exclusivement les micascistes du Complexe de Clarée du Massif d'Ambin dans un secteur où le massif rocheux est caractérisé par une fracturation persistante avec orientation SW-NE dont le développement en profondeur pourrait se pousser jusqu'à la cote de la galerie de ventilation et du tunnel de base.

La couverture augmente régulièrement du portail jusqu'au point d'insertion dans le tunnel de base où est d'environ 1750 mètres. Le massif rocheux présente des caractéristiques géomécaniques variables en fonction du degré de fracturation qui influence aussi le comportement hydrogéologique le long le tracé. Des venues ponctuelles sont prévues

Il tracciato della galleria di ventilazione di Clarea, concepito in questa fase di Revisione del Progetto Definitivo, si discosta lievemente dal tracciato proposto per il Progetto Preliminare. Il sito d'imbocco e della stazione di ventilazione resta ubicato nella posizione prevista in PP ma la sua configurazione, comprese le sistemazioni di cantiere, è stata riprogettata in modo da evitare interazioni con le aree di erosione del Torrente Clarea e con l'aquifero di fondovalle; inoltre, la nuova soluzione permette di minimizzare gli impatti della strada di accesso alla centrale di ventilazione in termini di sbancamenti lungo il versante destro della Val Clarea.

Il punto d'innesto della galleria di ventilazione lungo l'opera principale è prevista circa alla pk 48 del tunnel di base in corrispondenza del limite occidentale del sito sotterraneo della Maddalena. Lo sviluppo totale della galleria è di 4'520 metri circa.

Il modello geologico lungo il tracciato è stato elaborato sulla scorta dei dati a disposizione scaturiti direttamente dagli studi e indagini attinenti la realizzazione della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione e in particolare sulla base dello studio geologico-strutturale di superficie del Col Clapier e del Colle della Savine.

Il tracciato attraversa esclusivamente i micascisti afferenti al Complesso di Clarea del Massiccio dell'Ambin in un settore in cui l'ammasso roccioso è caratterizzato da persistenti bande di fratturazione con orientazione SW-NE il cui sviluppo in profondità potrebbe spingersi fino alla quota della galleria di ventilazione come del tunnel di base.

La copertura rocciosa cresce regolarmente dall'imbocco fino a circa 1750 metri in corrispondenza del punto di innesto nell'opera principale. L'ammasso roccioso presenta caratteristiche geomeccaniche variabili in funzione del grado di fratturazione che influisce anche sulla previsione delle

avec débit qui augmente vers le point d'insertion dans le tunnel de base en fonction de la connexion des fractures avec les seteur de recharge en surface et en augmentant la charge hydraulique. Les températures du massif rocheux et des eaux souterraines peuvent être majeures de 30°C. Notamment, on prévoit que les eaux interceptées le long la zone de fracturation intense qui affecte le secteur entre la jonction avec le tunnel de base et la pk 2+500 peuvent rejoindre des températures comprises entre 36 et 42°C.

condizioni idrogeologiche lungo il tracciato. Sono previste, infatti, venute puntuali la cui entità cresce dall'imbocco verso il punto di giunzione con il tunnel di base in funzione del crescere del carico idraulico e del grado di connessione con le zone di ricarica in superficie. Sono inoltre previste temperature dell'ammasso roccioso e delle acque intercettate maggiori di 30°C. In particolare, si prevede che le acque intercettate lungo la zona di fratturazione intensa ipotizzata tra l'innesto con il tunnel di base e la pk 2+500 raggiungano temperature comprese tra 36 e 42°C.

## 1. Introduzione

La relazione descrive il Modello Geologico, Idrogeologico e Geomeccanico nell'ambito della Revisione del Progetto Definitivo della Nuova Linea ferroviaria Torino – Lione per la galleria di ventilazione di Clarea.

Il modello deriva in buona parte dai risultati delle indagini geologiche di superficie realizzate anteriormente e contestualmente alla presente fase progettuale. Nel settore infatti non sono disponibili dati e misure dirette della geologia del sottosuolo. Le considerazioni e le valutazioni di carattere geomeccanico e idrogeologico sono state eseguite attraverso l'analisi critica dei dati raccolti durante le precedenti fasi progettuali (Rev. PP2 e APR 2006) che prevedevano il passaggio del tracciato delle opere nello stesso settore, se pur con alcune variazioni locali. In questa fase di Revisione del Progetto Definitivo particolare attenzione è stata dedicata alla tratta d'imbocco (cfr. doc codice PD2 C3B 0082 26-47-05 10-01).

Come anche enunciato nel Dossier di sintesi del progetto (consegna CIG n° 73 - volume B - PD2 C30 TS3 0045 0 PA NOT), in funzione del numero di informazioni disponibili e della complessità intrinseca del contesto geologico, l'affidabilità del modello raggiunta in questa fase di studio è dunque:

- più elevata in corrispondenza del settore d'imbocco, grazie a nuovi sopralluoghi geologico-strutturali e geomorfologici di superficie; tuttavia, l'affidabilità del modello geologico a quota galleria rimane bassa; questo settore dovrà dunque essere oggetto, prima dell'esecuzione degli studi costruttivi, di una campagna di sondaggi complementari mirati comunque alla parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere previste per la centrale di ventilazione;
- inferiore per il tratto sviluppato sotto elevate coperture entro il basamento cristallino, a causa della complessità geologica e strutturale e della difficoltà di accesso per eseguire i sondaggi. Prima della stesura degli studi costruttivi per questo settore, il quale sarà oggetto di un programma approfondito di sondaggi in avanzamento, si dovrà tenere conto di tutte le osservazioni derivabili dallo scavo della galleria geognostica della Maddalena.

Il rapporto è organizzato in 2 tomi. Il primo, costituito dal presente rapporto, descrive l'inquadramento generale del modello geologico (§ 2), del modello geomeccanico (§ 2.2) e del modello idrogeologico (§ 4) dell'area di studio.

Il secondo tomo “Analisi del tracciato” in allegato (ALLEGATO 1) al presente rapporto descrive nel dettaglio il modello geologico, geomeccanico e idrogeologico per quanto riguarda il tracciato entro le rocce del basamento cristallino (Serie di Clarea), insieme alla valutazione delle incertezze/criticità riferibili al modello descritto. Il modello e le schede che lo descrivono fanno riferimento alle carte ed ai profili tecnici prodotti nella presente Revisione del Progetto Definitivo:

<i>Titolo</i>	<i>scala</i>	<i>codice elaborato</i>
Carta geologica	1:10'000	PD2 C3B 0118 26-47-01 30-01
Carta geomorfologica	1:10'000	PD2 C3B 0119 26-47-01 30-02
Sezione geomeccanica – Sito di Clarea	1:10'000	PD2 C3B 0031 26-47-01 40-01
Profilo idrogeologico in asse galleria	1:10'000	PD2 C3B 0063 26-47-01 40-02
Profili geologici trasversali	1:10'000	PD2 C3B 0064 26-47-01 40-03

La tratta d'imbocco della galleria (pk 4+522 – 4+540), sviluppata entro i depositi quaternari superficiali, è trattata in dettaglio nell'elaborato specifico PD2 C3B 0082 26-47-05 10-01 “Relazione geologica, geomorfologica e geotecnica di dettaglio” e nel Profilo geologico di dettaglio ad essa relativo (PD2 C3B 0080 26-47-01 40-01).

### 1.1 Obiettivi dello studio

La presente relazione s'inquadra nelle attività di Revisione del Progetto Definitivo della Nuova Linea Ferroviaria Torino – Lione per conto di LTF – SAS secondo le prescrizioni CIPE al Progetto Preliminare e al successivo Studio di Fasaggio.

Le finalità del Progetto Definitivo sono quelle descritte nelle norme vigenti<sup>1</sup> ovvero sono quelle atte a sviluppare gli elaborati grafici e descrittivi, nonché i calcoli ad un livello di definizione tale che nella successiva progettazione esecutiva non si abbiano apprezzabili differenze tecniche e di costo.

L'obiettivo perseguito durante le attività di rilevamento geologico di superficie è stato quello di individuare e gerarchizzare le strutture geologiche e di verificarne l'importanza in relazione al tracciato e alle variazioni proposte in fase di istruttoria al Progetto Preliminare, oltre che di evidenziare i potenziali elementi di rischio (comportamento allo scavo dell'ammasso, possibili venute d'acqua in galleria, presenza di minerali asbestiformi, radon, dissesti di versante, ecc). Gli elementi osservati in superficie sono stati quindi proiettati in profondità alla quota delle opere pur in assenza di prospezioni geologiche in sotterraneo.

### 1.2 Inquadramento dell'area di studio

L'area di studio comprende una porzione del Massiccio d'Ambin che si estende a prossimità del Confine di Stato in corrispondenza della testata della Val Clarea; in particolare l'imbocco è localizzato a quota 1130 m slm circa nella media Val Clarea mentre la proiezione in superficie del punto d'innesto nel tunnel di base è localizzato in territorio francese in corrispondenza del lago delle Savine. L'intero tracciato si sviluppa all'interno del versante destro della Val Clarea.

Il sito d'imbocco e di realizzazione della centrale di ventilazione è descritto nella specifica Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica (cod. doc. PD2 C3B 0082 26-47-05 10-01) a cui si rimanda.

### 1.3 Attività svolte

Questa fase progettuale ha compreso la revisione delle conoscenze pregresse e la loro integrazione con dati di terreno e geognostici di recente/nuova acquisizione.

L'analisi critica dei dati nuovi ed esistenti è stata eseguita in funzione della soluzione finale proposta per il tracciato e in funzione delle criticità peculiari di ogni tratta come, per esempio, la problematica connessa allo scavo sotto coperture elevate e in relazione al particolare assetto geostrutturale dell'ammasso e al suo grado di fratturazione.

Il modello geologico-geomeccanico esposto nell'allegato 1 “Analisi del tracciato” risulta dall'intersezione della sezione geologica longitudinale alla galleria stessa e di varie sezioni ad essi trasversali.

---

<sup>1</sup> Per quanto attiene alla normativa vigente, le analisi e valutazioni nell'ambito della Revisione del Progetto Definitivo e sono state eseguite in ottemperanza del D.Lgs 163/2006 “Codice dei contratti pubblici (ex Legge Merloni)” e del DM 14/01/2008 in cui sono descritte le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC - 2008).

**Rapport géologique général– Relazione geologica generale**

## 2. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico generale

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

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 costituita da una serie di master joint e sistemi di fratture a elevata persistenza.

### 2.1 Unità di Ambin

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 involuppo metasedimentario cui 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.

Nel settore di studio la serie (o complesso) di Ambin, trovandosi in posizione tettono-stratigrafica superiore alla Serie 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 alla Serie di Clarea. Di conseguenza in sotterraneo alla quota di progetto della galleria di ventilazione domina una monotonia litologica definita dai litotipi appartenenti alla Serie di Clarea costituita da micascisti a granato e glaucofane, a grana fine, di colore grigio scuro, con rare intercalazioni di metabasiti anfibolitiche.

#### 2.1.1 Dominio strutturale Ambin - Venaus

Da un punto di vista strutturale, la galleria di ventilazione attraversa un settore del Massiccio d'Ambin le cui caratteristiche di deformazione duttile e fragile sono state attribuite al dominio strutturale Ambin – Venaus.

Per quanto riguarda le superfici di scistosità si osservano due picchi, uno relativo a superfici immergenti a SE e uno relativo a superfici immergenti a S - SW secondo angoli di immersione medi (40° - 60°). Sono inoltre osservabili poli di scistosità indicativi di superfici coniugate rispetto alle precedenti, ovvero immergenti a NW e a NE (Figura 1).

Le variazioni d'orientazione della scistosità è influenzata dalle pieghe di fase D2 e D3:

- per quanto riguarda i piani assiali delle pieghe di fase D3, il numero delle misure disponibili appare poco rappresentativo. Tuttavia sono identificabili piani assiali immergenti a SW e subordinatamente a NE;
- gli assi di piega di fase D2 e D3 appaiono molto dispersi. Gli assi di pieghe di fase D2 risultano dispersi secondo varie direttrici e con angoli di immersione bassi. Gli assi di piega di fase D3 risultano orientati secondo direzioni NE - SW e secondo direzioni W/NW - E/SE, anch'essi con angoli di immersione generalmente bassi.
- le giaciture delle superfici di scistosità sono indicative della presenza di pieghe di tipo aperto, asimmetriche, con fianchi lunghi immergenti verso SE o S - SW e fianchi corti immergenti verso i quadranti opposti. Statisticamente, infatti, il numero delle misure rilevate viene effettuato in corrispondenza dei fianchi lunghi che quindi sono rappresentati da un numero maggiore di misure. La dispersione delle superfici di

scistosità relative ai fianchi lunghi delle pieghe (immersione a SE e a S - SW) potrebbe essere indicativa di una fase plicativa successiva (D4?) con assi orientati circa N - S;

- le misure disponibili dei piani assiali D3 confermano il quadro descritto al punto precedente: i piani assiali immergenti a SW sono responsabili delle pieghe con scistosità immergente da NE a SW, i piani assiali immergenti a NW sono responsabili delle flessioni delle superfici di scistosità immergenti da SE a NW;
- tale quadro è confermato dall'orientazione degli assi delle pieghe di fase D3, le cui direzioni principali risultano infatti circa ortogonali rispetto a quelle dei piani assiali descritti al punto precedente. Va sottolineato, a questo proposito, che la dispersione degli assi di piega potrebbe confermare la presenza di una quarta fase plicativa, tardiva e relativa a condizioni “quasi - fragili”.

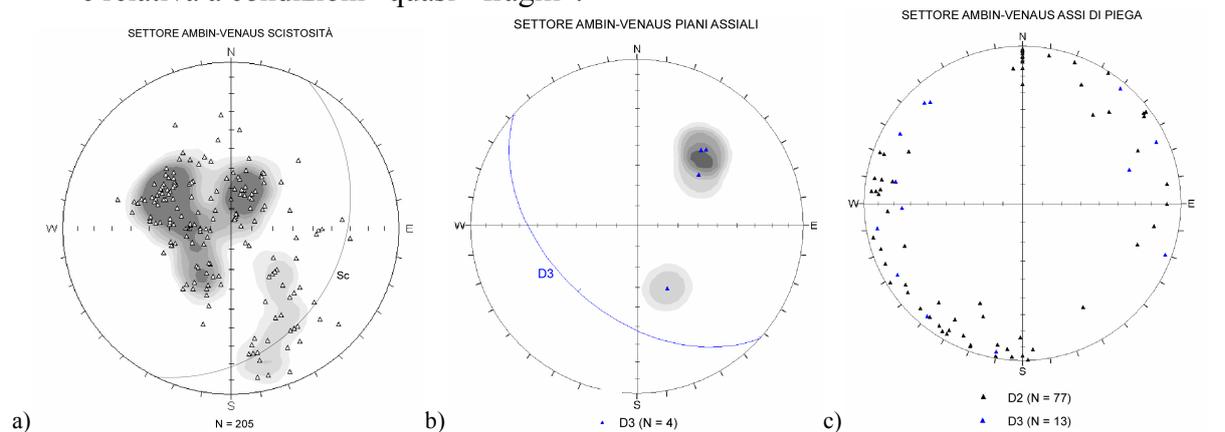


Figura 1 - Dominio Strutturale Ambin – Venaus. a) Proiezione dei poli dei piani di scistosità e cerchio massimo relativo al picco di concentrazione dei poli di scistosità (reticolo equiarea di Schmidt, emisfero inferiore); b) Proiezione dei poli dei piani assiali delle pieghe di fase D3 e cerchio massimo relativo al picco di concentrazione dei poli di piano assiale; c) Proiezione degli assi di piega di fase D2 e di fase D3 (reticolo equiarea di Schmidt, emisfero inferiore)

Per quanto riguarda l'assetto strutturale fragile, il dominio Ambin - Venaus appare caratterizzato dalla dominanza di zone di faglia principali con orientazione NE-SW e immersione verso SE secondo angoli elevati (Figura 2). Tale sistema di faglie principali è ben descritto in letteratura (Perrone, 2006<sup>2</sup> con referenze) dove viene denominato come Sistema di Faglie della Media Val Susa. Nell'ambito del presente studio il sistema dominante in questo settore è stato denominato SF1.

Sono inoltre presenti altri tre sistemi di faglie, caratterizzati da strutture secondarie:

- un sistema con orientazione E/NE-W/SW (SF2): sono stati osservate strutture immergenti a SE e strutture coniugate immergenti a NW, con angoli generalmente medi (circa 50°);
- un sistema con orientazione circa N-S (SF3) e immergente a E;
- un sistema con orientazione NW-SE (SF4) formato da faglie coniugate immergenti verso NE o verso SW.

Questi ultimi tre sistemi corrispondono anche ai sistemi di giunti identificati per questo settore durante le campagne di rilevamento di dettaglio al Col Clapier e al Colle della Savine, come illustrato in Figura 2.

<sup>2</sup> Perrone G. (2006) - Evoluzione Tettonica post-metamorfica e recente del distretto sismico del pinerolese (Alpi Occidentali). Tesi di Dottorato di ricerca in Scienze della Terra - XVIII ciclo - Università degli studi di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra

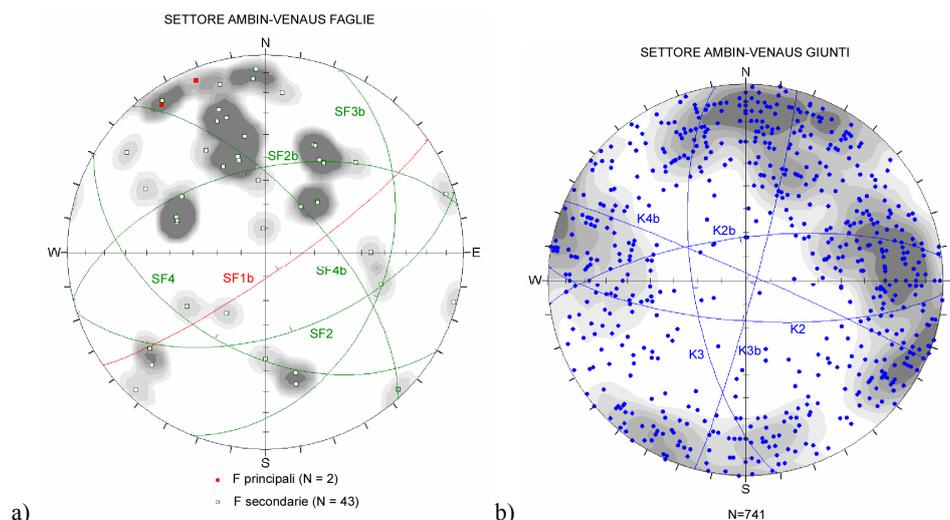


Figura 2 - Dominio Strutturale Ambin – Venaus. a) Proiezione dei poli dei piani di faglia principali e secondari e relative ciclografiche; b) proiezione dei poli delle superfici dei differenti sistemi di giunti e relative ciclografiche (reticolo equiarea di Schmidt, emisfero inferiore)

## 2.2 Geologia e geomorfologia dell'area di imbocco

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. 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 3).



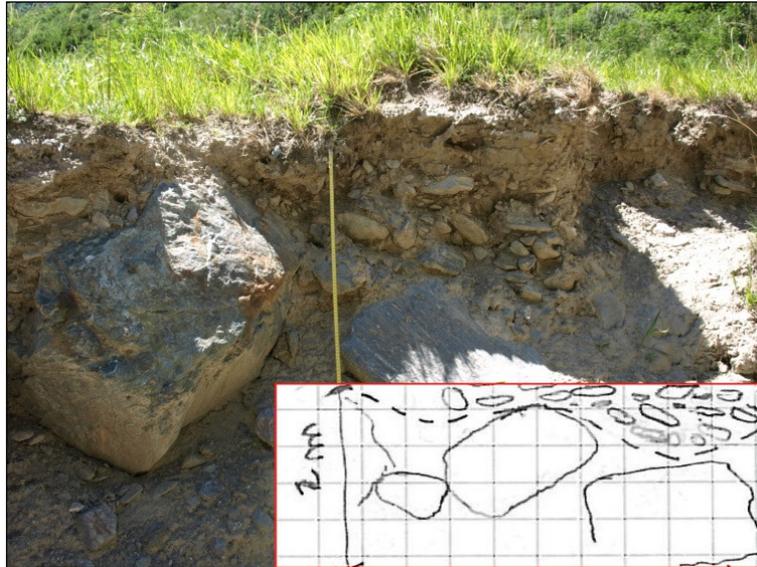
Figura 3– Sponda sinistra del Torrente Clarea a quota 1138 m slm circa. Scarpata di 1,5 m di altezza che separa i depositi torrentizi attuali (a sinistra) da quelli recenti (a destra)

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 ( $>10\text{ m}^3$ ); i clasti sono immersi in scarsa matrice grigio-chiara ghiaioso-sabbiosa (Figura 4).



Figura 4– 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 5; Figura 6).



*Figura 5– Scarpata lungo l’argine del Torrente Clarea a quota 1124 m slm circa. Depositi fluvio-torrentizi recenti*



*Figura 6 – 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 7): si tratta di blande depressioni, occupate da vegetazione erbacea in cui, localmente, si rinvencono depositi fluvio-torrentizi attuali.



Figura 7 – 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 clasti e blocchi poligenici (calcescisti, micascisti, quarziti e metabasiti) di dimensioni pluricentimetrico-metrici immersi in una matrice bruna limoso-sabbiosa presente in percentuale variabile (Figura 8).



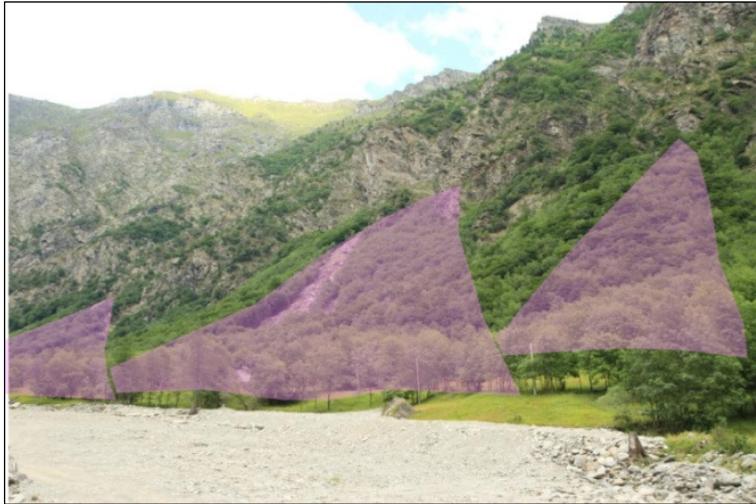
Figura 8 – Depositi di falda detritica sul versante destro

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 9). I depositi di conoide sono di tipo *clast-supported* e sono costituiti da clasti e blocchi spigolosi di dimensioni da pluricentimetriche a plurimetriche immersi in una matrice ghiaioso-sabbiosa di colore grigio chiaro (Figura 10). Negli apparati di conoide più estesi, il canale si presenta inciso con evidenze di fenomeni di tipo *debris-flow*.



*Figura 9 – Conoidi di origine mista sul versante sinistro*



*Figura 10 – Depositi di conoide torrentizio-detrítico 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 11).



*Figura 11 – 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 12): 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 12–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. Modello geomeccanico

#### 3.1 Classificazione dell'ammasso roccioso

Le caratteristiche geomeccaniche in asse alla galleria di ventilazione e al sito si sicurezza sotterraneo al piede della galleria sono fortemente influenzate dal grado di fratturazione dell'ammasso roccioso e alle coperture elevate che conferiscono condizioni di carico litostatico rilevanti.

In assenza di fratturazione intensa l'ammasso roccioso è stato classificato con l'unità geomeccanica UG-D (classi RMR di Bieniawsky: 75% in II e 25% in III).

Nei settori in cui è prevista intensa fratturazione la qualità geomeccanica della Serie di Clarea è passibile di peggioramento, interpretata dai rilievi di superficie e dalle indagini geognostiche. La classificazione dell'ammasso è ripartita tra i gruppi geomeccanici UG-D (prevalente) e UG-H1 (roccia fratturata), e la distribuzione della qualità della roccia tra le classi RMR II (45-55%), III (25-30%) e IV (20-25%).

In corrispondenza delle zone di faglia, corrispondenti a lineamenti plurichilometrici individuati da rilievi di superficie, sono attese caratteristiche geomeccaniche da mediocri a scadenti, e tipiche dell'unità geomeccanica UG-J (classi RMR IV e V).

### 4. Modello idrogeologico

Il settore del Massiccio d'Ambin è caratterizzato dalla presenza di rocce cristalline con permeabilità di grado basso e basso - medio. La natura delle rocce e il fatto che le coperture sono molto elevate (> 500 metri) lascierebbe supporre che la maggior parte delle fratture potenzialmente acquifere alla quota della galleria siano chiuse.

La permeabilità è stata valutata tramite i risultati delle prove in foro eseguite nel sondaggio F30b in territorio francese e nei sondaggi S4 e S5 in Italia. I valori variano tra  $1^E-9$  et  $1^E-7$  m/s. Gli gneiss e i micascisti del Complesso di Clarea sono stati raggruppati nel Complesso Idrogeologico 5. Nello specifico, i valori più elevati sono stati misurati nei settori della Val Clarea (S4) e in relazione alla presenza di intensa fratturazione e faglie secondarie.

Infatti, sulla base degli studi geologici di superficie realizzati nel settore del Vallone della Savine et della Val Clarea, tali bande di fratturazione, con orientazione W/SW – E/NE, mostrano in superficie una persistenza laterale plurichilometrica. È stato ipotizzato che tali strutture possano prolungarsi in profondità fino a quote paragonabili con quelle delle opere sotterranee (galleridi ventilazione, sito di sicurezza e tunnel di base). In particolare, lungo la galleria di ventilazione, tra il punto d'innesto con il tunnel di base e la pk 2+500 è previsto che lo scavo intercetti venute d'acqua di tipo diffuso e puntuale.

I circuiti idrici presenti all'interno del Massiccio d'Ambin non dovrebbero essere caratterizzati da tenori in solfati elevati coerentemente a quanto rilevato nel sondaggio S4 dove le acque campionate mostrano composizione bicarbonato-sodica. Esse hanno una salinità intermedia (0,015 eq/l). La composizione ricca in Na suggerisce che queste acque abbiano interagito per tempi r

elativamente lunghi con rocce contenenti fillosilicati o feldspati sodici. Tali acque possono quindi essere legate a circuiti lunghi e verosimilmente profondi in litotipi del basamento cristallino silicatico. I tenori in solfati misurati sempre nel sondaggio S4 sono di circa 50 mg/l.

Le analisi chimiche realizzate su campioni prelevati all'epoca dello scavo del canale derivatore F2-Pont Ventoux (Figura 13) mostrano un carattere di miscelamento tra le acque bicarbonato-sodiche del sondaggio S4 e acque di provenienza superficiale con facies bicarbonato-calcica. E' dunque ipotizzabile che i circuiti in profondità siano ricaricati dall'alto lungo le zone di forte fratturazione mostrando una effettiva continuità delle strutture fragili in profondità.

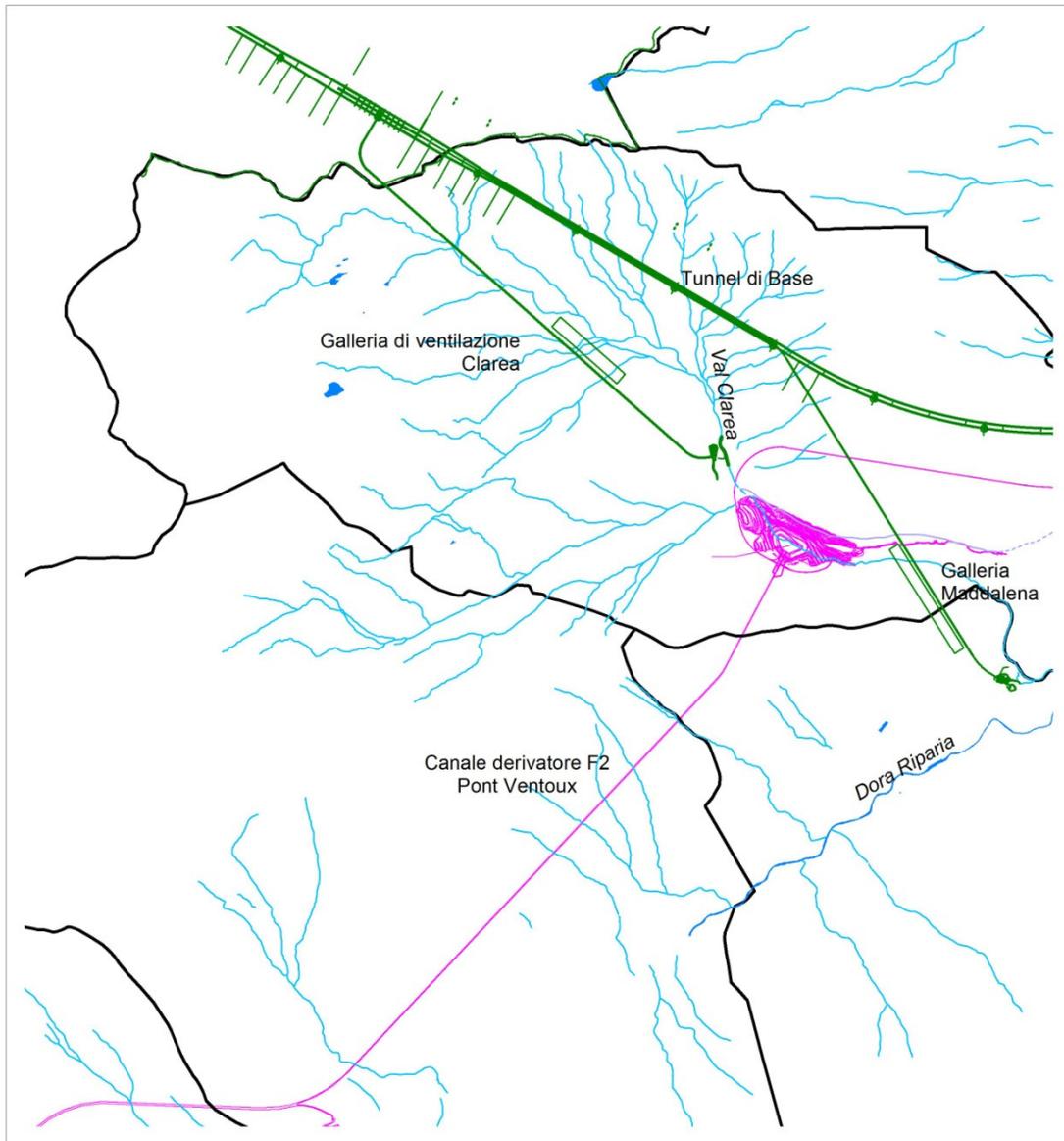


Figura 13 – Posizione del canale derivatore F2 dell'impianto di Pont Ventoux rispetto alle opere di progetto.

I gradienti geotermici misurati nei sondaggi sono normali e circa di 25°C/km. Tuttavia nel sondaggio S4 è stata misurata un'anomalia termica positiva con un gradiente geotermico di 33°C/km.

L'ipotesi che l'anomalia termica osservata nel sondaggio S4 sia dovuta alla risalita di acque dalle porzioni più profonde del massiccio è confermata dai dati di geochimica delle acque, che testimoniano effettivamente un'elevata maturità chimica. Le temperature attese per le venute d'acqua di questo tratto possono quindi essere anche elevate e comprese tra 32 e 43°C.

#### 4.1 Valutazione delle venute in galleria

Le acque drenate dalla galleria di ventilazione di Clarea saranno evacuate tramite il tunnel di base.

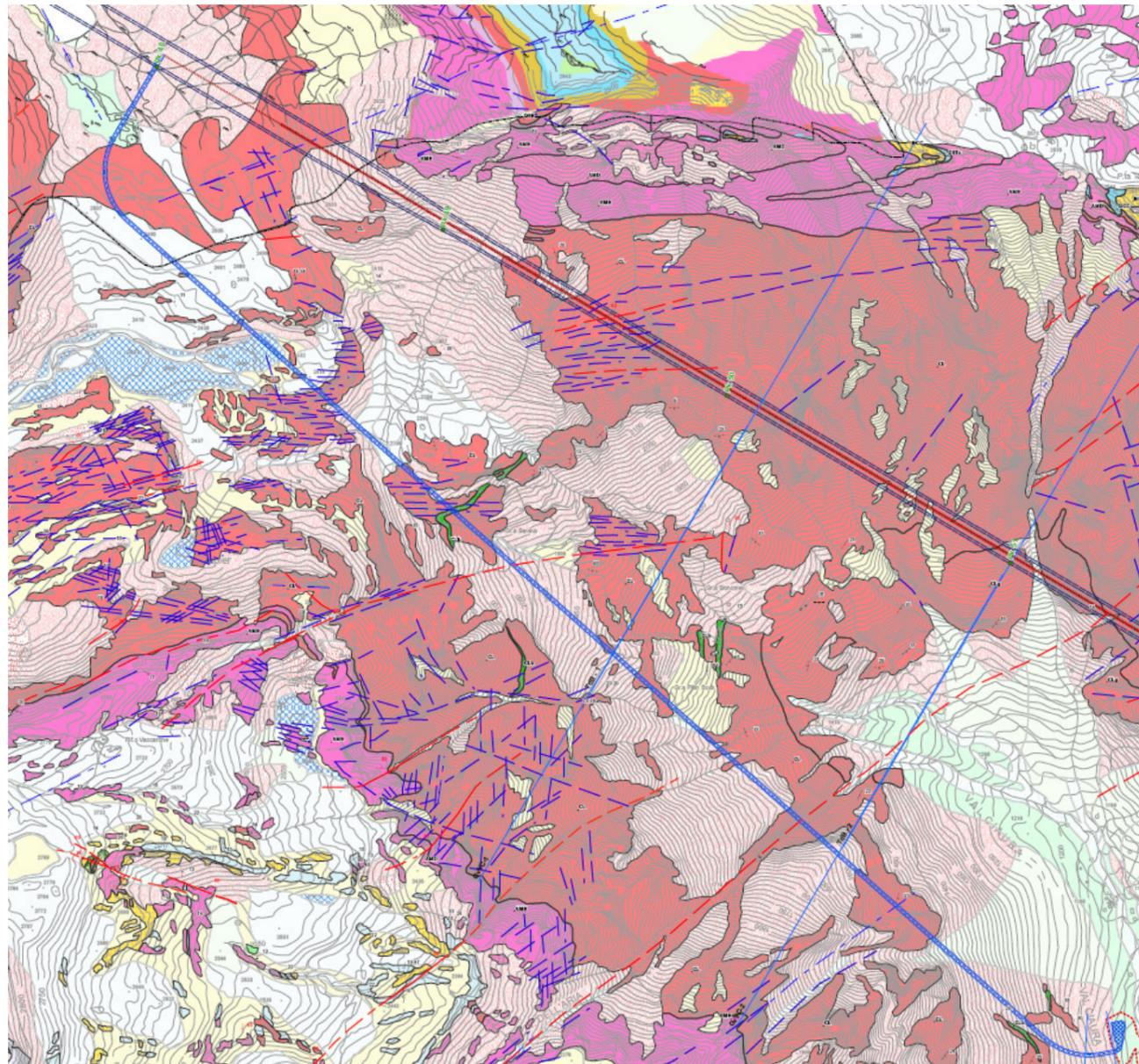
Le portate cumulate (venute puntuali + venute diffuse) sono comprese tra 26 e 41 l/s. L'ampiezza di questo intervallo riflette le condizioni d'incertezza delle previsioni idrogeologiche. Infatti, le coperture importanti al di sopra delle opere di progetto, non permettono di estrapolare a quota tunnel i dati dei sondaggi realizzati in settori limitrofi e di eseguire osservazioni in profondità prima della realizzazione della galleria geognostica de La Maddalena.

La temperatura dell'insieme delle acque drenate in questo settore è stata valutata tra 36 e 42°C.

Le venute di tipo diffuso sono state valutate in regime stabilizzato comprese tra 0.6 e 1 l/s ogni 100 metri di galleria. L'entità delle venute di tipo puntuale varia invece in funzione, oltre che del grado di fratturazione, dal carico idraulico e dalla possibilità di ricarica e alimentazione dei circuiti in roccia. Le venute puntuali connesse a strutture discrete e isolate sono generalmente di bassa portata e variabile tra 1 e 2 l/s. È il caso delle venute puntuali individuate alle pk 3+700, 3+280 e 3+000 per le quali si presuppone una scarsa connettività con le aree di ricarica in superficie; differente potrebbe essere il contesto ipotizzato dalla pk 2+500 verso l'innesto con il tunnel di base; in questa tratta la presenza di piani di fratturazione regolarmente spazati osservati in superficie costituiscono un'unica banda di fratturazione e potenzialmente un acquifero produttivo sviluppato in roccia. Le venute complessive valutate per questa tratta in regime stabilizzato sono di circa 20 l/s. Questa tratta sarebbe inoltre responsabile delle venute d'acqua a temperatura maggiore di 30°C.

Le acque drenate dalla galleria di Clarea, per le loro caratteristiche chimico-fisiche, sono state considerate potenzialmente valorizzabili per il recupero di calore. In particolare, le acque drenate dal punto di innesto nel tunnel di base e la pk 2+500 circa, potrebbero essere immesse addizionate alle acque drenate dal tunnel di base stesso con caratteristiche idonee allo sfruttamento geotermico.

## **ALLEGATO 1 – Analisi del tracciato**



#### 4.2 Basamento Cristallino (Serie di Clarea) – pk 0+000 ÷ 4+522

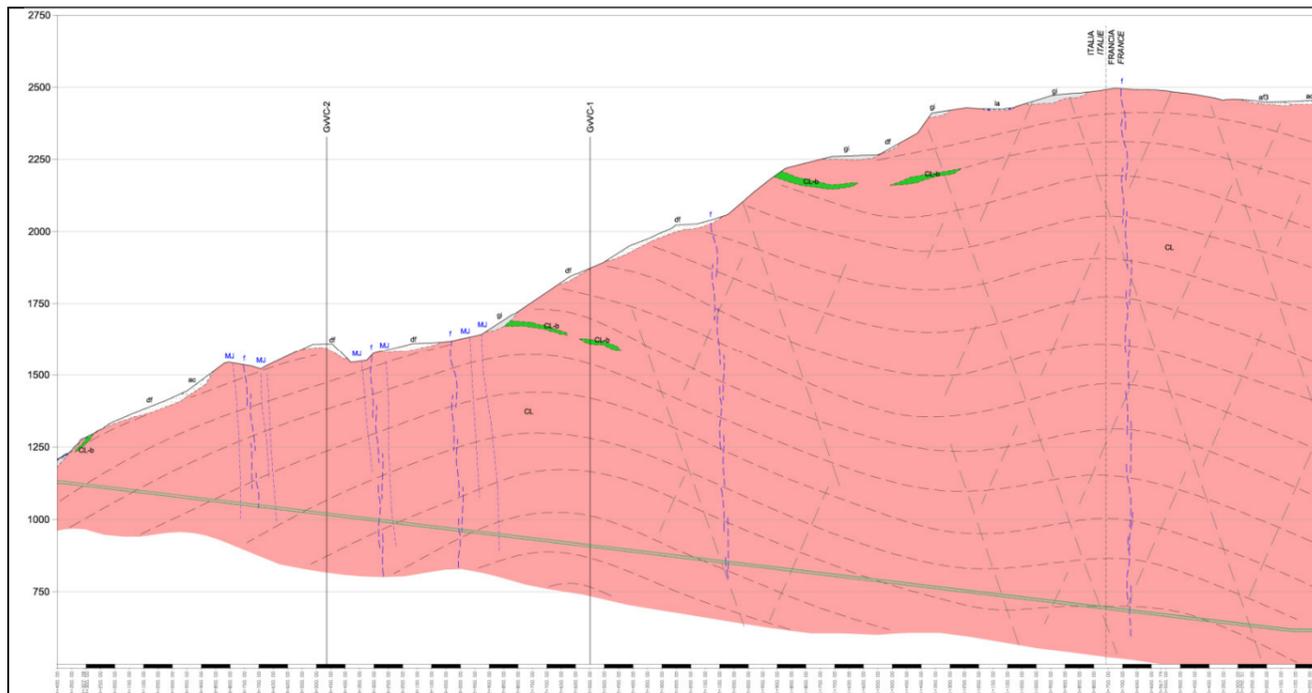
##### MODELLO GEOLOGICO

- Da pk 0+000 a pk 4+050 sono presenti i litotipi appartenenti alla Complesso di Clarea caratterizzato da una successione omogenea di micascisti e gneiss minuti. Nei micascisti si trovano localmente intercalate masse allungate di metabasiti (anfiboliti) e livelli di scisti nerastri lucenti, intensamente laminati e a tessitura milonitica.
- Sono attesi, in questa tratta, piani di taglio fragile ad alto angolo che si concentrano in fasi di disturbo tettonico in cui possono concentrarsi rocce cataclastiche e orizzonti di gouge. Il loro prolungamento a quota galleria è supposto sulla base della loro persistenza plurichilometrica osservata in superficie.
- Scistosità pervasiva a scala millimetrica, immergente con angoli medio-bassi (<math><50^\circ</math>) verso ESE nella prima parte del tracciato (fino a circa pk 2+000) e successivamente verso O. L'asse del tunnel nella prima tratta sarà quindi circa perpendicolare rispetto all'orientazione della scistosità e successivamente intersecherà la stessa con un angolo di circa  $45^\circ$ .
- Presenza di almeno tre fasi di deformazioni duttili, non influenti in termini di variazioni geomeccaniche dell'ammasso, con assi in questo settore diretti principalmente N-S responsabili di piegamenti e locali ondulazioni della scistosità principale.
- Presenza di alcuni sistemi di faglia (presunti) con direzione  $N60^\circ - 70^\circ E$  generalmente su verticali. Le strutture associate a tali sistemi possono intersecare l'asse del tunnel alle pk 0+675, 2+075, 3+000, 3+280, 3+700.
- Data la loro elevata persistenza in superficie è ipotizzabile che tali sistemi di faglia siano presenti alla quota della galleria. Le prime due faglie, a partire dall'intersezione con il Tunnel di base, intersecano la galleria in zone con copertura topografica superiore a 1000 m; associate ad esse, a partire all'incirca dalla pk 2+500 è presente una fascia di deformazione a elevata persistenza (plurichilometrica in superficie) costituita da una fitta serie di master joints con direzione variabile tra  $N50^\circ$  e  $N70^\circ E$  e una serie di sistemi minori di direzione  $N160^\circ E$ . Tale fascia di fratturazione, in quanto naturale prosecuzione, è presente nella zona del tunnel di base nel settore del confine di Stato. Data la loro elevata persistenza è ragionevole pensare che almeno un parte della fitta serie di giunti riscontrabile in superficie si spinga anche in profondità, a quota galleria, mentre nelle porzioni a elevata copertura è verosimile che buona parte di essi possano chiudersi a quote superiori.
- In particolare, tra la pk 2+500 e l'imbocco, in un tratto con copertura topografica inferiore a 700 m, alle ultime tre bande di fratturazione intercettate a quota galleria si trovano associati dei sistemi di fratturazione a elevata persistenza.

##### MODELLO IDROGEOLOGICO

- Grado di permeabilità dell'ammasso roccioso con condizioni di fratturazione media generalmente da basso a medio.
- Grado di permeabilità delle zone di fratturazione e di faglia principali da medio e medio – alto; i possibili incrementi del grado di fratturazione sono ipotizzabili in corrispondenza:
  - Intersezione dei corridoi di fratturazione con direzione WSW - ENE del settore alta Val Clarea e col Clapier (dalla pk 2+500 fino all'innesto con il tunnel di base);
- Carichi idraulici elevati (>900 m) in corrispondenza delle zone di fratturazione principale nel caso in cui presentino un forte grado di interconnessione con le zone di ricarica in superficie.
- Condizioni idrauliche in galleria: sono previste condizioni generalmente umide o bagnate (portata specifica tra 0.6 e 1 l/s/100m). Possibili venute puntuali deboli in corrispondenza dell'intersezione con le zone di fratturazione principali ove non sono da escludersi anche incrementi fino a forti venute: 0+675,

Rapport geologique général– Relazione geologica generale



2+075, 3+000, 3+280, 3+700.

- Temperature elevate: sono previste venute d'acqua con temperature  $>30^{\circ}\text{C}$  nel tratto compreso tra il le pk 2+500 e l'innesto con il tunnel di base; queste acque sono state ipoteticamente considerate idonee alla loro valorizzazione in termini geotermici.
- In questo settore non sono state evidenziate acque aggressive sature in solfati.
- Il rischio radon è valutato generalmente basso.

MODELLO GEOMECCANICO

- In generale l'intero sviluppo della galleria, al di fuori delle zone di faglia, presenta un ammasso con caratteristiche geomeccaniche discrete con prevalenza della classe RMR II. L'ammasso roccioso è stato classificato con l'unità geomeccanica UG-D (classi RMR di Bieniawsky: 75% in II e 25% in III).
- Nei settori in cui sono presenti fasce di fratturazione più marcate, spesso legate alle salbande dei sistemi di faglia, sono presenti le classi di Bieniawski IV prevalente e le classi III e V subordinate. La classificazione dell'ammasso è ripartita tra i gruppi geomeccanici UG-D (prevalente) e UG-H1 (roccia fratturata), e la distribuzione della qualità della roccia tra le classi RMR II (45-55%), III (25-30%) e IV (20-25%): da pk 0+000 a pk 0+655, da pk 0+695 a pk 2+055, da pk 2+095 a pk 2+315, da pk 2+865 a pk 2+985
- In corrispondenza delle zone di nucleo delle faglie le caratteristiche geomeccaniche ipotizzate sono quelle del gruppo geomeccanico UG-J (classi RMR IV e V): pk 0+675, 2+075 e 3+000.

CRITICITA' RICONOSCIUTE

- Difficoltà nel definire:
  - la posizione delle zone di faglia per i settori ad elevata copertura e la persistenza delle zone di faglia o di fratturazione in profondità.
  - le caratteristiche geomeccaniche alla quota dell'opera per le zone di faglia.
  - la caratterizzazione idrogeologica dei litotipi incontrati lungo l'asse della galleria.
  - i valori dei parametri fondamentali per la caratterizzazione dell'ammasso, sia dal punto di vista idrogeologico che geomeccanico.

AZIONI PER GESTIRE LE CRITICITA'

- lo scavo della galleria della Maddalena permetterà di avere dati precisi a quota delle opere e quindi permetterà di migliorare l'affidabilità della previsione anche per la galleria di Clarea.:

**ALLEGATO 2 – Stratigrafie dei sondaggi profondi eseguiti per la tratta di pertinenza della galleria di ventilazione Clarea (l'insieme delle stratigrafie è riportato nel documento PD2 C3B 0019 00-05-05 10-02 – Indagini esistenti)**