

# LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

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

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

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIE – GEOLOGIA

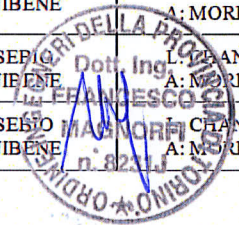
GENERAL – GENERALE

HYDROGEOLOGIE – IDROGEOLOGIA

DOCUMENTS HYDROGEOLOGIQUES COTE ITALIE – DOCUMENTI IDROGEOLOGICI LATO ITALIA

RELAZIONE IDROGEOLOGICA DI SINTESI (LATO ITALIA)  
RAPPORT HYDROGÉOLOGIQUE GENERAL (COTE ITALIE)

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/12/2012	Première diffusion / Prima emissione	R. TORRI (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M PANTALEO
A	25/01/2013	Prise en compte des commentaires LTF / Recepimento commenti LTF	R. TORRI (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M PANTALEO
B	05/02/2013	Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	R. TORRI (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M PANTALEO
C	07/10/2016	Première diffusion phase PRF-PRV Prima emissione fase PRF-PRV	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI
D	03/03/2017	Reception observations TELT Recepimento osservazioni TELT	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI
E	14/04/2017	Reception observations TELT Recepimento osservazioni TELT	G. RICCI (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A: MORDASINI

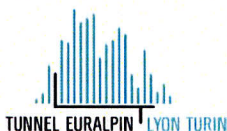


CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>E</b>
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

<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>00</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>10</b>	<b>02</b>
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-



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

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



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

## SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE .....	15
2. MODELLO IDROGEOLOGICO .....	17
2.1 Tunnel di Base .....	19
2.1.1 Settore transfrontaliero (pk 34+170 – 55+029) .....	19
2.1.2 Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus (pk 54+824 – 55+029) .....	23
2.1.3 Acquifero poroso del fondovalle Cenischia (PK 56+058 – 57+160) .....	26
2.1.4 Zona Piemontese (PK 57+160 – 60+711).....	32
2.1.5 Unità oceaniche – Settore di Mompantero (PK 60+711 - 61+087) .....	33
2.2 Piana di Susa.....	33
2.3 Gallerie di Interconnessione .....	38
2.3.1 Ritorno d'esperienza della galleria autostradale Prapontin.....	39
3. VALUTAZIONE DELLE VENUTE D'ACQUA.....	40
3.1 Approccio metodologico adottato per il Progetto Definitivo .....	40
3.1.2 Calcolo dei cedimenti dovuti al drenaggio .....	44
3.2 Ripartizione delle venute d'acqua nelle due/tre canne .....	44
4. ACQUE DRENATE DAL TUNNEL DI BASE VERSO IL PORTALE DI SUSIA (LATO ITALIA) .....	47
4.1 Valutazione delle portate stabilizzate .....	47
4.2 Valutazione delle temperature delle acque drenate .....	50
4.3 Dati riassuntivi.....	51
4.4 Portate attese tratta per tratta .....	56
4.4.1 Settore transfrontaliero.....	56
4.4.2 Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus (pk 55+029 – 56+058) .....	58
4.4.3 Acquifero poroso del fondovalle Cenischia (PK 56+058 – 56+776) .....	58
4.4.4 Zona Piemontese e Unità oceaniche – Settore di Mompantero (PK 56+776 – 61+087).....	59
5. ACQUE DRENATE DALLE GALLERIE D'INTERCONNESSIONE .....	59
6. PORTATE ATTESE IN CORSO DI SCAVO .....	59
6.1 Portate transitorie e fasi di scavo .....	59
6.2 Tunnel di base.....	62
6.2.1 Drenaggio verso il cantiere di Villarodin-Bourget / Modane .....	62
6.2.2 Drenaggio verso il cantiere della Maddalena.....	62
6.3 Gallerie di interconnessione .....	64
6.3.1 Binario dispari: Complesso Meana - M. Muretto (pk 0+180 – 1+920).....	64
6.3.2 Binario pari: Complesso Meana - M. Muretto (pk 63+917 – 1+890).....	65
7. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI POTENZIALI IN SUPERFICIE IN RELAZIONE AL DRENAGGIO IN GALLERIA .....	65
8. CHIMISMO DELLE ACQUE DRENATE DAL TUNNEL DI BASE.....	69
8.1 Potenziale valorizzazione .....	73
8.2 Esempio di captazione in galleria per acque potabili .....	75

ALLEGATO 1: Test di permeabilità (dati di sintesi)

ALLEGATO 2: Circolazione idrica nel mezzo fratturato

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 : Sovrapposizione del tracciato del cunicolo esplorativo della Maddalena con Tunnel di Base. (aggiornamento agosto 2016).....	22
Figura 2 : Dati del monitoraggio dell'ammasso roccioso e delle acque nel cunicolo esplorativo della Maddalena per la tratta in sovrapposizione con il TdB (agg. luglio 2016). ....	23
Figura 3 : Schema dell'assetto idrogeologico-stratigrafico dei depositi di fondovalle al contatto con il basamento roccioso. Si evidenziano i depositi glaciali che isolano parzialmente (acquitardo) l'acquifero di fondovalle dall'acquifero in roccia. ....	24
Figura 4 : 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 .....	28
Figura 5 : Variazione delle isopieze della falda freatica del fondovalle Cenischia per effetto diga operata dalla presenza del tunnel di base .....	30
Figura 6 : Entità della variazione dell'andamento della falda freatica tra ante (H0) e post (H1) operam valutata in corrispondenza dei nodi della maglia utilizzata per il calcolo numerico. .	31
Figura 7 : Linee di flusso che indicano i circuiti idrici principali riconoscibili nel settore della Piana di Susa. Le linee blu indicano la direzione di deflusso della falda di fondovalle. Le linee fucsia le linee di flusso associate ai flussi presenti nella vasta zona di conoide del rio Scaglione e degli altri conoidi laterali. La sezione idrogeologica indicata in figura con la dicitura Sez.4 è riportata in figura.....	35
Figura 8 : Sezione idrogeologica (Sez.4 di Figura 7). I cerchi blu con il punto centrale indicano flussi uscenti verso chi guarda la figura. Sono indicati con le frecce rosa i flussi trasversali all'asse vallivo e provenienti dai conoidi laterali. ....	36
Figura 9 : Misure piezometriche realizzate nei punti di monitoraggio AST_181, AST_184 e AST_684 tra agosto 2009 e febbraio 2016. È riportata altresì la quota del F. Dora Riparia in corrispondenza dei sondaggi. ....	37
Figura 10 : Stralcio cartografico con indicazione dei tracciati delle opere di progetto e quelle esistenti.....	38
Figura 11 : Simulazione dettagliata (180 tratte) della portata transitoria durante lo scavo della discenderia di Modane – Villarodin – Bourget utilizzando la soluzione analitica proposta da Perrochet e Dematteis (2007). La linea continua sottile rappresenta le portate misurate quella spessa le portate simulate. ....	41
Figura 12 : Variazione del fattore di riduzione $\alpha$ al variare del carico idraulico e per diversi valori di $\lambda$ . ....	43
Figura 13 : Schema semplificato della geometria in sezione verticale trasversale ai tracciati dei tunnel utilizzato per il calcolo delle portate drenate da due tunnel. Con $-Q$ sono indicati i tunnel (pozzi) drenanti, con $+Q$ i tunnel (pozzi) alimentanti .....	45
Figura 14 : Schema semplificato della geometria in sezione verticale trasversale ai tracciati dei tunnel utilizzato per il calcolo delle portate drenate da due tunnel. Con $-Q$ sono indicati i tunnel (pozzi) drenanti, con $+Q$ i tunnel (pozzi) alimentanti .....	46
Figura 15 : Variazioni della portata (DQ) drenata da tre gallerie rispetto a quella drenata da una canna sola in funzione della distanza e del carico idraulico. I calcoli sono stati effettuati considerando una permeabilità pari a $1E-8$ m/s. ....	47
Figura 16 : Profilo idrogeologico con indicazione schematica delle tratte per le quali è prevista l'impermeabilizzazione full-round. Il grado di permeabilità e la temperatura dell'ammasso aumenta per colori più scuri. ....	48

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Figura 17 : Portate stabilizzate nel TdB tra pk 48 e 54. Sopra valori calcolati nel Progetto Definitivo Approvato, sotto i valori ricalcolati secondo le osservazioni fatte nel cunicolo esplorativo della Maddalena.....	50
Figura 18 : Schema dei contributi delle opere connesse al TdB con direzione del drenaggio.	52
Figura 19 : Galleria Maddalena 1 bis. ....	53
Figura 20 : Portate e monitoraggio della temperatura (roccia e infiltrazioni d'acqua) registrate nel cunicolo (luglio 2016) con evidenza della tratta in asse al Tunnel di Base (pk in alto).....	57
Figura 21 : Schema delle aree di recapito della fase di scavo del TdB e delle opere a lui connesse. ....	60
Figura 22 : Schema delle aree di recapito della fase di esercizio del TdB e delle opere connesse. ....	61
Figura 23 : Grafico delle portate transitorie in arrivo all'area di cantiere della Maddalena.....	64
Figura 24 – Correlazione tra i valori di cedimento in superficie in asse a opere sotterranee e l'abbassamento della falda in seguito al drenaggio profondo. A sinistra la curva di correlazione per l'effetto osservato in contesto di depositi sciolti, a destra per contesti di opere realizzate in roccia.....	66
Figura 25 – Andamento della possibilità di occorrenza di fenomeni di cedimento in asse al tunnel di base.....	69
Figura 26 – Andamento della possibilità di occorrenza di fenomeni di cedimento in asse alla galleria d'interconnessione.....	69
Figura 27 : Settore compreso tra il cunicolo della Maddalena (oltre la pk2+000) e il tunnel di base.....	73
Figura 28 : Sistema di captazione delle acque calde potenzialmente potabili. Sezione longitudinale e trasversale della nicchia (ref. Impianti OOCC e drenaggio, PRV C3A TS3 3956 B).....	75

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Complessi idrogeologici (CHy) distinti per gli acquiferi in roccia e intervalli di variazione della permeabilità per ciascuno di essi; tipo di permeabilità: F = fratturazione, K = carsismo, P = porosità primaria.....	18
Tabella 2: Risultati delle prove idrauliche di tipo Lefranc realizzate nei sondaggi S18, S19 e S20.....	27
Tabella 3: Risultati delle prove idrauliche di tipo Lefranc realizzate nei sondaggi S65, S66 e S67.....	34
Tabella 4: Confronto delle previsioni di portata stabilizzata, Tunnel di Base settore pk 50+000 ÷ 54+800 .....	49
Tabella 5 : Portate drenate dal tunnel di base e dalle gallerie della Maddalena.....	51
Tabella 6: Contributi in termini di portate e temperatura delle acque delle gallerie della Maddalena e relative connessioni al TdB. ....	53
Tabella 7 – Portate tratta per tratta drenate dal tunnel di base con evidenza della tratta impermeabilizzata full round. ....	55
Tabella 8 – Valutazione delle portate transitorie suddivise per opera. ....	63
Tabella 9 – Fattore di riduzione della compressibilità dell'acquifero (Cr) in funzione della copertura topografica.....	67
Tabella 10 – Definizione delle classi che esprimono la possibilità di occorrenza dei cedimenti in funzione della magnitudo dei cedimenti stessi.....	67
Tabella 11 – Possibilità di occorrenza dei cedimenti tratta per tratta del tunnel do base. ....	68
Tabella 12 – Tratte del tunnel di base per le quali si attendono tenori in solfati che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi. ....	70
Tabella 13 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque solfatiche non siano isolate dal resto delle venute. ....	70
Tabella 14 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque ricche in solfati siano isolate dal resto delle venute.....	70
Tabella 15 – Concentrazioni in solfati delle acque attese al portale di Susa nel caso in cui le acque ricche in solfati siano isolate dal resto delle venute.....	70
Tabella 16 – Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno secondo la norma UNI-EN-206-1. ....	71
Tabella 17 – Concentrazioni in solfati e cloruri associate alle venute d'acqua dei complessi idrogeologici lungo il tracciato delle opere sotterranee. ....	72
Tabella 18 – Criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee.....	73
Tabella 19 – Tratte del tunnel di base che soddisfano i criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee. ....	74
Tabella 20 – Caratteri delle acque drenate dalle gallerie della Maddalena in funzione della loro potenziale valorizzazione.....	74

## RESUME / RIASSUNTO

La phase actuelle du projet (PRV) est encadrée dans le Projet de Référence en Variante (variante de sécurité) de la Nouvelle ligne ferroviaire Turin-Lyon, suivant la prescription de 235 de résolution CIPE 19/2015. La variante de sécurité a déterminé la relocalisation du côté italien du point de début d'excavation de tunnel de base à La Maddalena, en Chiomonte, antérieurement prévue à Susa.

La variante détermine non seulement le déplacement du principal site de chantier de Susa à l'aire de la Maddalena, mais aussi la nécessité de concevoir et de construire de nouveaux ouvrages souterrains, y compris le nouvel tunnel de Maddalena 2, d'où commence l'excavation du tunnel de base jusqu'à le portail de Susa.

La variante de projet permettra l'excavation mécanisée et l'installation d'un revêtement imperméabilisé dans les dernières 400m avant le portail de Susa, qui empêche toutes les impacts sur les ressources hydriques dans la portion à faible couverture, portion de tunnel que dans la phase du projet antérieure (Progetto Definitivo Approvato) avait été prévue en excavation traditionnelle et en direction opposée, avec un majeur impact potentiel. Cette dernière diminution de l'impact sur les ressources hydriques souterraines est bien encadrée dans l'adoption, déjà prise lors de la phase précédente, de adopter la modalité d'excavation étanche à partir du contact entre le Massif d'Ambin et la Zone Piémontaise (environ pk 54+800).

Ce document est basé sur les connaissances du Rapport précédent (Progetto Definitivo Approvato cod. PD2 C3B TS3 0095 B) qui est mis à jour et complété avec des données acquises dans l'excavation du tunnel exploratif de la Maddalena. Ces données ont permis non seulement d'affiner le modèle de référence hydrogéologique dans le secteur Massif Ambin, mais aussi d'observer la nature des écoulements souterrains au cours de l'excavation, ce qui permet une évaluation claire des problèmes

L'attuale fase progettuale (PRV) si inquadra nell'ambito del Progetto di Riferimento in Variante (variante sicurezza) della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione, a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015. La variante sicurezza ha determinato la delocalizzazione del punto di attacco dello scavo del lato italiano del Tunnel di Base alla Maddalena di Chiomonte, in precedenza previsto a Susa.

Oltre a comportare lo spostamento del principale cantiere da Susa alla Maddalena, la variante determina la necessità di progettare e realizzare nuove opere in sotterraneo, tra le quali la nuova Galleria della Maddalena 2, dalla quale partirà lo scavo del lato italiano del Tunnel di Base che procederà, una volta arrivato alla quota di progetto del tunnel, verso l'imbocco di Susa.

La variante progettuale consentirà lo scavo meccanizzato e la messa in opera di rivestimento definitivo impermeabilizzato degli ultimi 400 m di arrivo al portale Susa, annullando ogni possibile impatto sulle risorse idriche nella tratta a bassa copertura, dove nella precedente fase progettuale (Progetto Definitivo Approvato), era previsto lo scavo tradizionale (dal portale Susa), con un maggior potenziale impatto. Questa ulteriore diminuzione dell'impatto sulle risorse idriche sotterranee si integra nel quadro della scelta progettuale, già adottata nella fase precedente, di eseguire lo scavo in modalità impermeabilizzata a partire dal contatto del Massiccio d'Ambin con la Zona a Scaglie Tettoniche (circa da pk 54+800).

Questo documento è basato sul precedente Progetto Definitivo Approvato (cod. PD2 C3B TS3 0095 B) che è aggiornato ed integrato grazie ai dati acquisiti nello scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena. Questi dati hanno permesso non solo di affinare il modello idrogeologico di riferimento nel settore del Massiccio d'Ambin, ma anche di osservare le manifestazioni idriche in fase di avanzamento dello

attendus lors de l'excavation du tunnel de base et des travaux associés. Le modèle hydrogéologique élaboré pour le Projet Définitif fournit les données inhérentes à la caractérisation hydrodynamique des lithotypes traversés par les ouvrages (par ex. degré de perméabilité et charges hydrauliques), à l'évaluation des débits drainés par les ouvrages souterrains ainsi qu'à la chimie et la température de ces eaux, et les interférences potentielles sur la ressource hydrique souterraine et de surface.

Les terrains traversés par les ouvrages sont caractérisés par une perméabilité par porosité primaire quasi nulle. Ils sont en effet constitués de roches de soubassement et de couvertures et ont une perméabilité par porosité secondaire, leur degré de perméabilité étant lié à leur état de fracturation et/ou de karstification. Les tronçons du fond de vallée du Cenischia et de la Plaine de Suse (ouvrages à l'air libre) font exception; la réalisation des ouvrages souterrains et à l'air libre s'y fera dans des dépôts meubles de type alluvionnaire d'une perméabilité par porosité primaire liée à la porosité efficace du sédiment.

Les lithotypes ont été regroupés en complexes hydrogéologiques caractérisés chacun par un comportement hydrogéologique homogène c'est-à-dire par un seul type de perméabilité (primaire ou secondaire) qui se maintient avec des écarts de variation plutôt resserrés.

Un autre élément qui conditionne fortement la perméabilité du massif rocheux est la profondeur à laquelle les ouvrages seront réalisés. Il est connu que, à des profondeurs élevées, on enregistre une tendance à la diminution du degré de perméabilité du fait de l'augmentation de la pression lithostatique et de son effet de fermeture des fissures. Ce phénomène ne doit cependant pas être considéré de manière généralisée puisque le comportement hydrogéologique en profondeur dépend, au-delà de la profondeur, de l'orientation des structures géologiques, de la rhéologie de la roche, donc de son comportement à la rupture et à la connectivité des systèmes de fracturation et des failles avec les zones de

scavo, permettant une chiara valutazione delle problematiche attese in fase di scavo del Tunnel di Base e delle opere a lui connesse.

Il modello idrogeologico elaborato per il Progetto Definitivo fornisce i dati inerenti alla caratterizzazione idrodinamica dei litotipi attraversati dalle opere (p.es. grado di permeabilità e carichi idraulici), alla valutazione delle portate drenate dalle opere sotterranee nonché il chimismo e la temperatura di queste acque, e le potenziali interferenze sulla risorsa idrica sotterranea e di superficie.

I terreni attraversati dalle opere sono caratterizzati da permeabilità per porosità primaria pressoché nulla. Essi, infatti, sono costituiti da rocce di basamento e sono permeabili per porosità secondaria ovvero con un grado di permeabilità che dipende dal loro stato di fratturazione e/o di carsismo. Fa eccezione il tratto in cui è previsto l'attraversamento del fondovalle Cenischia e della Piana di Susa, in cui la realizzazione delle opere sotterranee e all'aperto avverrà in depositi sciolti di tipo alluvionale permeabili per porosità primaria connessa alla porosità efficace del sedimento.

I litotipi sono stati raggruppati in complessi idrogeologici caratterizzati ciascuno da comportamento idrogeologico omogeneo ovvero da un solo tipo di permeabilità (primario o secondario) che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto.

Un altro elemento che condiziona fortemente la permeabilità dell'ammasso roccioso è la profondità dove verranno realizzate le opere. È infatti noto come, per profondità elevate, si registri una tendenza del grado di permeabilità che diminuisce in virtù dell'aumento del carico litostatico e del suo effetto di chiusura delle fratture. Tale fenomeno, tuttavia, non deve essere considerato in maniera generalizzata perché il comportamento idrogeologico in profondità è funzione, oltre che della profondità, dell'orientazione delle strutture geologiche, della reologia della roccia quindi del suo comportamento alla rottura e alla connettività dei sistemi di fratturazione e di faglia con le aree di ricarica ovvero con

recharge, c'est-à-dire avec la surface.

### **Tunnel de Base**

Dans le secteur français du Tunnel de Base, du pk 34+170 (point haut) au pk 39+900, l'excavation concerne les lithotypes de la zone briançonnaise de la Nappe des Gypses et quelques lambeaux de roches de la couverture permo-triassique du massif d'Ambin (quartzites et métadolomies). Ce secteur comprend des niveaux évaporitiques et carbonatés auxquels pourraient être associés des phénomènes de dissolution chimique avec formation de conduits karstiques. La traversée de tels conduits pourraient entraîner des venues d'eau importantes de nature ponctuelle ou diffuse, riche en sulfates. Mais les reconnaissances effectuées jusqu'à ce jour n'ont jamais montré la présence de tels conduits.

Du pk 39+900 au pk 55+000, à couverture plus élevée comprise entre environ 1000 et 2000 mètres, l'excavation concernera majoritairement le complexe de Clarea (micaschistes) et en partie celui de l'Ambin (gneiss). Dans ce tronçon, on suppose par conséquent qu'il y aura des pressions hydrauliques supérieures à 500 mètres et parfois jusqu'à 1000 mètres. Des venues d'eau sont prévues avec des températures supérieures à 40°C (entre les PK 41 à 52, avec une Tmax de 47°C).

La couverture rocheuse décroît régulièrement du pk 52 jusqu'au pk 56 et passe d'environ 1000 à environ 150 mètres. Dans ce secteur, le Tunnel de Base traversera des formations qui constituent les couvertures du massif d'Ambin et les horizons de décollement de la Zone à Écailles Tectoniques (de la pk 55+029 à la pk 56+058). Cette zone est caractérisée par une perméabilité due à la dissolution chimique, cependant, l'excavation en modalité d'étanchéité empêche le drainage des eaux agressives saturées en SO<sub>4</sub>.

Le tronçon de traversée souterraine du Val Cenischia, à l'intérieur des dépôts alluviaux, sera réalisé en condition d'étanchéité (creusement

la superficie.

### **Tunnel di Base**

Nel settore francese del Tunnel di Base dalla pk 34+170 (punto alto) alla pk 39+900 circa lo scavo interessa i litotipi della zona brianzonese, della Falda dei Gessi e alcuni lembi delle rocce di copertura permo-triassica del massiccio d'Ambin (quartziti e meta dolomie). In questo settore sono presenti livelli evaporitici e carbonatici a quali potrebbero essere associati fenomeni di dissoluzione chimica con formazione di strutture carsiche. Se intercettate queste sono responsabili di venute d'acqua importanti di natura sia puntuale che diffuso ma anche acque ricche in solfati. I dati disponibili, tuttavia, non mostrano la presenza di condotti carsici.

Dalla pk 39+900 alla pk 55+000, a copertura più elevata compresa tra circa 1000 e 2000 metri, lo scavo interesserà nel suo insieme il complesso di Clarea (micascisti) ed in parte quello dell'Ambin (gneiss). In questo tratto è quindi ipotizzato di avere dei carichi idraulici superiori a 500 metri e fino a 1000 metri. Sono previste venute d'acqua con temperature superiori a 40°C (tra le PK 41 e 52, Tmax 47° C).

La copertura rocciosa decresce dalla pk 52 regolarmente fino alla pk 56 passando da circa 1000 a circa 150 metri. In questo settore il Tunnel di Base attraverserà i terreni che costituiscono le coperture del massiccio d'Ambin e gli orizzonti di scollamento della Zona a Scaglie Tettoniche (dalla pk 55+029 alla pk 56+058) caratterizzati da permeabilità per dissoluzione chimica, tuttavia lo scavo in modalità di totale impermeabilizzazione impedirà il drenaggio di acqua potenzialmente aggressiva e sature in SO<sub>4</sub>.

Il tratto di sottoattraversamento del fondovalle Cenischia, all'interno dei depositi alluvionali, sarà realizzato in condizioni non drenanti (scavo meccanizzato con confinamento delle pressioni al fronte) in modo da annullare le venute in galleria. Per questo motivo, ai fini della



Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

mécanisé avec confinement des pressions au front) de manière à éviter les infiltrations dans la galerie. Pour cette raison, ce tronçon n'a pas été pris en compte pour l'évaluation des débits stabilisés drainés par le Tunnel de Base.

En ce qui concerne le creusement de la Zone Piémontaise de pk 56+776 jusqu'à le portail est à la pk 61+087, le nouvel projet prévoit la continuation de l'excavation en condition d'étanchéité (creusement mécanisé avec confinement des pressions au front) réduisant encore l'impact potentiel sur les ressources en eaux souterraines par rapport au Projet de la phase précédent (Progetto Definitivo Approvato)

Du point de vue hydrogéologique, le tracé traverse les complexes hydrogéologiques suivants:

valutazione delle portate stabilizzate drenate dal Tunnel di Base, questa tratta non è stata computata.

Relativamente all'attraversamento della Zona Piemontese dalla pk 56+776 fino all'imbocco est alla pk 61+087, il nuovo assetto progettuale comporta la prosecuzione della modalità di scavo in condizioni impermeabilizzate fino al portale Susa, diminuendo ulteriormente il potenziale impatto sulle risorse idriche sotterranee rispetto al precedente Progetto Definitivo Approvato.

Dal punto di vista idrogeologico il tracciato attraversa i seguenti complessi idrogeologici

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

<b>Complesso Idrogeologico</b> <i>Complexe hydrogéologique</i>	<b>Descrizione</b> <i>Description</i>	<b>Da PK a PK</b> <b>(valori arrotondati)</b> <i>du PK au PK</i> <b>(valeurs arrondies)</b>
2	Rocce carbonatiche: scaglie intercalate all'interno della Falda dei Gessi Roches carbonatées: écaillles intercalées au sein de la Nappe des Gypses	34+170 - 37+500
8	Dolomie e marmi dolomitici con anidriti: sequenza di evaporiti della Falda dei Gessi Dolomies et marbres dolomitiques avec anhydrites: séquence des évaporites de la Nappe des Gypses	
4a	Quarziti massicce della copertura triassica del Massiccio d'Ambin Quartzites massives de la couverture triassique du Massif d'Ambin	37+500 - 39+900 54+700 - 55+030
5	Micasisti e gneiss: Unità d'Ambin (Complesso di Clarea e Complesso d'Ambin) Micaschistes et gneiss: Unité d'Ambin (Complexe de Clarea et Complexe d'Ambin)	39+900 - 54+700
1	Carniole, breccie tettoniche: Zona a scaglie tettoniche, orizzonte di scollamento Cagneules, brèches tectonique: Zone à Ecaillles tectoniques, horizons de décollement	54+700 - 56+060
Q1	Depositi quaternari: depositi alluvionali del fondovalle Cenischia Dépôts quaternaires: dépôts alluvionaux du fond de vallée du Cenischia	56+060 – 57+175
6b	Calcescisti e flysch: Unità di Puy Venaux Zona Piemontese (calcescisti e gneiss di “Charbonnel”) Calcschistes et flysch: Unité de Puy Venaux Zone Piemontaise (calcschiste et gneiss du “Charbonnel”)	57+175 - 60+700
4b	Metabasiti e rocce verdi: prasiniti, serpentiniti e serpentinoscisti dell'Unità di pertinenza oceanica della Bassa Valle di Susa Métabasites et roches vertes: prasinites, serpentinites et serpentinoschistes de l'unité océanisue de la Basse Vallée de Suse	60+700 – 61+090

### *Evaluation des débits d'eau attendus en galerie*

L'évaluation des débits drainés en régime stabilisé a été établie en tenant en compte l'effet sur les venues d'eau de l'imperméabilisation des galeries et des traitements à l'avancement des terrains et des roches creusées entre la pk 54+800 et le portail de Suse du tunnel de base y compris le tronçon de traversée du Val Cenischia et de la Zone Piémontaise considéré avec un revêtement imperméabilisé en modalité full-round ; les débits drainés par les deux tubes du Tunnel de Base et collectés au portail de Suse ont été évalués entre 220 et 385 l/s en régime stabilisé. Les apports du tunnel exploratif et de la galerie de Maddalena 2 (avec ses connexions) ont été évalués entre 28 et 50 l/s. L'amplitude entre la valeur minimale et la valeur maximale traduit le degré d'incertitude de la prévision. Il se réfère principalement à l'estimation des venues ponctuelles qui sont responsables d'environ 35% des débits totaux drainés. La caractérisation et la quantification des structures responsables des venues d'eau ponctuelles (comme par exemple les failles) sont très incertaines et nécessite une approche prudente de manière à ne pas sous-dimensionner le diamètre des conduits d'exhaure.

De ce fait, au vu de ce qui a été observé dans des contextes hydrogéologiques similaires comme dans les descenderies de Modane, La Praz et S. Martin La Porte et dernièrement dans la galerie de reconnaissance de la Maddalena, les débits mesurés pendant et après l'excavation se sont révélés inférieurs aux prévisions.

Le tableau suivant récapitule les débits et les températures estimés par ouvrage et par typologie de venue d'eau (diffuse et ponctuelle) attendus au portail du tunnel de base à Suse.

### *Valutazione delle portate attese in galleria*

La valutazione delle portate drenate in galleria in regime stabilizzato è stata realizzata considerando l'effetto di annullamento delle venute in galleria per la messa in opera di interventi di trattamento e impermeabilizzazione delle rocce e dei terreni attraversati nel settore compreso tra la pk 54+800 e l'imbocco di Susa del tunnel di base, comprensiva della tratta di attraversamento dei depositi quaternari della Val Cenischia e della zona Piemontese, considerata in ogni analisi impermeabilizzata full round; le portate drenate da entrambe le canne del Tunnel di Base raccolte al portale di Susa sono state valutate quindi tra 220 e 385 l/s in regime stabilizzato. A queste si aggiungono gli apporti delle gallerie della Maddalena (cunicolo esplorativo e galleria di Maddalena 2) valutate tra 28 e 50 l/s. L'ampiezza tra il valore minimo e quello massimo traduce il grado d'incertezza della previsione. Esso si riferisce soprattutto alla valutazione delle portate puntuali che sono responsabili di circa il 35% delle portate totali drenate. La caratterizzazione e la quantificazione delle strutture responsabili delle venute puntuali (come le faglie, per esempio) è molto incerta e necessita l'applicazione di un approccio prudente per non sotto-dimensionare i diametri delle tubazioni di evacuazione delle acque drenate.

A tal proposito, alla luce di quanto osservato in contesti idrogeologici simili come nelle discenderie di Modane, La Praz e St. Martin La Porte e ultimamente nel cunicolo esplorativo della Maddalena, le portate misurate durante e dopo lo scavo sono risultate essere inferiori rispetto a quanto previsto.

Nella tabella seguente sono riassunte le portate e le temperature delle acque valutate per opera e per tipologia di venuta (diffusa e puntuale) attese al portale di Susa del tunnel di base.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

	<i>Portate stabilizzate al portale di Susa</i>					
	<i>Venute puntuali</i>		<i>Venute diffuse su 2 canne</i>		<i>Temperature delle acque</i>	
	-		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
	l/s		l/s	l/s	°C	°C
<i>Venute puntuali (A)</i>	73		-	-	36	32
<i>Venute diffuse (B)</i>	-		147	312		
<i>Portata al portale (somma A + B)</i>			220	385		
<i>Contributo delle opere accessorie (cunicolo esplorativo Maddalena e galleria Maddalena 2) (C)</i>	28	50	-		20	25
<i>Portata totale al portale (somma A+B+C) Le temperature al portale qui indicate risultano dalla media ponderata delle temperature drenate dal tunnel di base e delle gallerie della Maddalena</i>	-		246	437	34	31

***Chimisme des eaux drainées par le Tunnel de Base***

Le chimisme des eaux drainées par le Tunnel de Base a été évalué exclusivement en fonction du contenu en sulfates dont la concentration peut être critique en raison de leur agressivité vis-à-vis du béton et pour la potabilité des eaux récupérées au portail de Suse.

Les venues potentiellement responsables de concentrations spéciales de sulfates sont localisées dans le tronçon de galerie comprise entre le point haut sur le territoire français (pk 34+170) et le pk 36+900. Dans ce tronçon le tunnel devrait croiser des structures de la Nappe des

***Chimismo delle acque drenate dal Tunnel di Base***

Il chimismo delle acque drenate dal Tunnel di Base è stato valutato in relazione al contenuto in solfati, la cui concentrazione può essere tale da divenire critica per la loro aggressività nei confronti del calcestruzzo e per la potabilità delle acque raccolte al portale di Susa.

Le venute potenzialmente responsabili di particolari concentrazioni di solfati sono localizzate nel tratto di galleria compresa tra il punto alto in territorio francese (pk 34+170) e la pk 36+900. In questo tratto è previsto che il tunnel intersechi le strutture caratterizzate da

Gypses caractérisées par une dissolution chimique, responsables des venues ponctuelles potentiellement saturées en sulfates.

Un autre tronçon potentiellement caractérisé par des venues ponctuelles saturées en sulfates est celui où le tracé traverse la Zone à Écailles Tectoniques dans le secteur de Venaus entre les pk 54+825 - 56+060. Dans ce secteur il est prévu le traitement et l'imperméabilisation des galeries et aucun apport en termes de venues d'eau n'est prévu.

Les teneurs en sulfates des débits cumulés atteints au portail du tunnel de base, en régime stabilisé, est d'environ 70 mg/l.

#### ***Températures des eaux drainées par le Tunnel de Base***

Les températures des venues d'eau ont été calculées en partant du principe qu'elles sont en équilibre thermique avec le massif rocheux. Le bilan de masse pour l'estimation de la température à la tête du Tunnel a été fait en partant du principe que les eaux se mélangent instantanément et parfaitement avec celles circulant dans le collecteur de drainage : les températures estimées résultent des températures moyennes du rocher au niveau des points d'infiltration des venues le long du tunnel pondérés selon les débits respectifs des venues d'eau.

La température moyenne de l'eau à la sortie de Suse est estimée en régime stabilisé entre 31 et 34°C. Ces températures ont été évaluées en considérant également les apports des ouvrages annexes (tunnel exploratif et de La Maddalena 2) comme des venues ponctuelles au niveau des PK d'intersection des ouvrages (respectivement a la PK 52+600 et 53+500).

En ce qui concerne les températures des eaux potentiellement potables, il a été supposé pouvoir isoler les eaux d'infiltration caractérisées par des contenus de sulfates inférieurs aux limites prévues par la réglementation, c'est-à-dire, les eaux interceptées à l'intérieur des roches de la base du Massif d'Ambin en excluant les venues drainées

dissoluzione chimica associate alla Falda dei Gessi responsabili di venute puntuali che potrebbero essere sature in solfati.

Un altro tratto potenzialmente caratterizzato da venute puntuali sature in solfati è quello in cui il tracciato interseca la Zona a Scaglie Tettoniche nel settore di Venaus tra le pk 54+825 - 56+060. In quest'ultimo settore è previsto il trattamento e l'impermeabilizzazione delle gallerie e nessun contributo in termini di venute d'acqua è previsto.

I tenori in solfati delle portate d'acqua cumulate attese al portale del tunnel di base, in regime stabilizzato, è di circa 70 mg/l.

#### ***Temperature delle acque drenate dal Tunnel di Base***

Le temperature delle venute d'acqua sono state calcolate considerando che esse siano in equilibrio termico con l'ammasso roccioso. Il bilancio di massa per la valutazione della temperatura al portale è stato eseguito considerando che le acque si miscelino istantaneamente e perfettamente con quelle circolanti nel collettore di drenaggio, ovvero sono state considerate le temperature medie dell'ammasso roccioso in corrispondenza dei punti d'ingresso delle venute lungo il tunnel, ponderate secondo le rispettive portate delle venute d'acqua.

La temperatura media dell'acqua in uscita al portale di Susa, in regime stabilizzato, è valutata tra 31 e 34°C. Queste temperature sono state valutate considerando anche gli apporti delle opere accessorie (cunicolo esplorativo e galleria della Maddalena 2) come venute puntuali in corrispondenza delle PK di intersezione delle opere (rispettivamente alle pk 52+600 e 53+500).

Per quanto concerne le temperature delle acque potenzialmente potabili, si è ipotizzato di poter isolare le venute caratterizzate da contenuti di solfati inferiori ai limiti previsti dalla normativa ovvero le venute intercettate all'interno delle rocce di basamento del Massiccio d'Ambin escludendo le venute drenate nella tratta della Falda dei

le long le tronçon de la Nappe des Gypses.

### ***Galleries d'interconnexion***

L'ouvrage se compose de deux galeries de longueur comprise entre 1850 (voie impair) et 2150 (voie pair) mètres environ ; les deux tracés sont caractérisés par des couvertures maximales de l'ordre de 160 – 170 mètres (pk 0+800 environ), se localisent in position très proche et en croisant à des cotes inférieures les ouvrages souterraines existantes de la galeries autoroutière Prapontin et de la galerie ferroviaire Tanze et des ouvrages de la nouvelle ligne ferroviaire qui seront réalisées dans la phase 2, notamment le tunnel de l'Orsiera.

Les venues d'eau observées dans les galeries autoroutières se sont concentrées dans le secteur de la tête coté Suse (Traduerivi) ou les débits enregistrés sont de l'ordre de 0.5 et 1.5 l/s. Le long le tronçon creusé dans le Massif Dora Maira, la galerie Prapontin ne montre pas la présence de venues d'eau importantes et seulement des suintements ont été observés en confirmant le degré de perméabilité très faible du massif rocheux. Par ailleurs, deux venues d'eau ponctuelles ont été observées en correspondance des secteurs fracturés avec des débits stabilisés entre 0.5 et 3.5 l/s.

D'un point de vue hydrogéologique, les galeries d'interconnexion seront réalisées dans un contexte hydrodynamique caractérisé par des perméabilités de degré de moyen-faible à faible et déjà perturbé par la présence des ouvrages existantes. La charge hydraulique maximale atteinte pendant le creusement des galeries est hypothétiquement comprise entre 5 et 10 bars ce qui permet de prévoir l'installation d'un revêtement définitif imperméable (full round) ; ainsi, en régime stabilisé, il n'est pas prévu la présence de venues d'eau.

Gessi.

### ***Gallerie d'interconnessione***

L'opera si compone di due gallerie di lunghezza compresa tra i circa 1850 metri del binario dispari e i circa 2150 metri del binario pari; i due tracciati, caratterizzati da coperture massime dell'ordine di 160 – 170 metri (pk 0+800 circa), si trovano in posizione ravvicinata e intersecando a quote inferiori i tracciati delle opere sotterranee già esistenti ovvero le canne della galleria autostradale Prapontin e la galleria ferroviaria Tanze quelle di futura realizzazione, le canne del tunnel dell'Orsiera.

Lungo le canne della galleria autostradale Prapontin le venute d'acqua sono concentrate nel settore d'imbocco lato Susa (Traduerivi) dove si registrano venute comprese tra 0.5 e 1.5 l/s. Nel tratto scavato all'interno del Massiccio Dora Maira, la galleria presenta una sostanziale assenza di venute d'acqua e si registrano solamente stillicidi confermando bassa permeabilità del massiccio. Tuttavia, si osservano 2 venute puntuali in corrispondenza di settori di fratturazione e con portate stabilizzate tra 0.5 e 3.5 l/s.

Dal punto di vista idrogeologico, le gallerie di interconnessione saranno realizzate quindi in un contesto idrodinamico caratterizzato da permeabilità di grado da medio-basso a basso e già perturbato e drenato dalle opere esistenti. I carichi idraulici massimi attesi durante lo scavo delle gallerie d'interconnessione, quindi, saranno compresi ipoteticamente tra 5 e 10 bar consentendo l'impermeabilizzazione full round delle due canne; pertanto, in regime stabilizzato, non sono previste venute d'acqua.

## 1. Introduzione

L'attuale fase progettuale (PRV) si inquadra nell'ambito del Progetto di Riferimento in Variante (variante sicurezza) della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione, finalizzata alla progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia, a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015. In particolare, la variante sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto a quelli proposti nel precedente Progetto Definitivo approvato, coinvolgendo nuove aree e determinando la delocalizzazione del punto di attacco dello scavo del lato italiano del Tunnel di Base alla Maddalena di Chiomonte, in precedenza previsto a Susa.

Oltre a comportare lo spostamento del principale cantiere da Susa alla Maddalena, la variante determina la necessità di progettare e realizzare nuove opere in sotterraneo, tra le quali la nuova Galleria della Maddalena 2, dalla quale partirà lo scavo del lato italiano del Tunnel di Base che procederà, una volta arrivato alla quota di progetto del tunnel, verso l'imbocco di Susa. La variante progettuale consentirà lo scavo meccanizzato e la messa in opera di rivestimento definitivo impermeabilizzato degli ultimi 400 m di arrivo al portale Susa, annullando ogni possibile impatto sulle risorse idriche nella tratta a bassa copertura, dove nella precedente fase progettuale (Progetto Definitivo Approvato), era previsto lo scavo tradizionale (dal portale Susa), con un maggior potenziale impatto.

Questa ulteriore diminuzione dell'impatto sulle risorse idriche sotterranee si integra nel quadro della scelta progettuale, già adottata nella fase precedente, di eseguire lo scavo in modalità impermeabilizzata a partire dal contatto del Massiccio d'Ambin con la Zona a Scaglie Tettoniche (circa da pk 54+800).

Questo documento è basato sul precedente, redatto in fase di Progetto Definitivo Approvato (cod. PD2 C3B TS3 0095 B), che è aggiornato ed integrato grazie ai dati acquisiti nello scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena (cfr. PRF C3B TS3 7200 *Relazione ritorno di esperienza dello scavo Cunicolo Esplorativo Maddalena*). Questi dati hanno permesso non solo di affinare il modello idrogeologico di riferimento nel settore del Massiccio d'Ambin, ma anche di osservare le manifestazioni idriche in fase di avanzamento dello scavo permettendo una chiara valutazione delle problematiche attese in fase di scavo del Tunnel di Base e delle opere a lui connesse.

L'analisi dei dati ha quindi permesso di ottemperare alla prescrizione n.43 della delibera CIPE, che richiedeva di migliorare il grado di affidabilità del modello idrogeologico e delle previsioni dei possibili impatti e delle misure di mitigazione. Questo ultimo tema è stato affrontato in una relazione dedicata (cod. PRV C3B TS3 0097 *Relazione punti acqua e sorgenti e analisi del rischio di impatto sulle sorgenti - lato Italia*) a cui si rimanda per le conclusioni.

Relativamente alla prescrizione n.44 relativa al potenziale "effetto diga" causato dall'interferenza delle opere in sotterraneo nella Val Cenischia, la variante progettuale adottata non comporta alcuna variazione del tracciato per quanto riguarda l'attraversamento della Val Cenischia

Il modello numerico già implementato in sede di Progetto Definitivo Approvato e qui riportato (§ 2.1.3) è ritenuto valido al fine di quantificare l'interferenza potenzialmente causabile dall'attraversamento dell'asse vallivo.

La Relazione Idrogeologica di sintesi (lato Italia) descrive il modello idrogeologico della tratta delle opere comprese tra il punto alto del tunnel di base (pk 34+170) e le opere di interconnessione alla linea storica presso il nodo ferroviario di Bussoleno.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Nel presente documento sono state definite le portate attese in galleria a breve (durante lo scavo e la fase di cantiere) e a lungo termine (regime stabilizzato), le temperature delle acque e il loro chimismo. Sulla base dei caratteri fisico chimici delle venute d'acqua, alcuni scenari di valorizzazione delle acque intercettate sono proposte (PRV TS3 C3B 0105 *Studio di valorizzazione delle acque calde*).

In tal senso sono state individuate le tratte di galleria che almeno potenzialmente possono prestarsi alla realizzazione di captazioni specifiche per raccogliere separatamente acque con caratteristiche compatibili al recupero di energia termica e al consumo umano.

Il modello idrogeologico relativo alla tratta delle opere in territorio italiano deriva dalle analisi e considerazioni realizzate durante e dopo la Revisione del Progetto Definitivo. In aggiunta, la realizzazione del cunicolo esplorativo della Maddalena, con tutta la mole di dati di monitoraggio idrogeologico acquisiti, ha permesso di validare gli scenari ipotizzati di circolazione idrogeologica nel massiccio d'Ambin sotto elevate coperture.

Per quanto riguarda la tratta di attraversamento della zona a scaglie (da pk 54+800) l'esecuzione sistematica di indagini al fronte permetterà l'individuazione, in avanzamento, di condizioni di criticità idrogeologica (venute d'acqua) e la possibilità di eseguire in maniera preventiva il trattamento dell'ammasso roccioso e, quindi, la posa in opera di rivestimento impermeabilizzato full-round (360°) per le tratte lungo le quali è stato valutato un carico idraulico inferiore a 10 bar.

In particolare per il tunnel di base, l'impermeabilizzazione è prevista a partire dalla pk 54+800, lungo la tratta della Zona a Scaglie Tettoniche già drenata e perturbata dalla presenza delle gallerie della centrale idroelettrica di Pont Ventoux, nel settore di attraversamento della Val Cenischia e lungo la tratta di scavo dei calcescisti della Zona Piemontese fino all'imbocco di Susa.

Per quanto riguarda le gallerie d'interconnessione, è previsto di eseguire il trattamento dell'ammasso roccioso tramite iniezioni, a partire dal fronte di scavo e la posa di rivestimento impermeabilizzato full-round lungo tutta la loro lunghezza.

I sistemi di impermeabilizzazione dovranno essere in grado di impedire il drenaggio delle acque anche a tergo dei rivestimenti definitivi a contatto con l'ammasso roccioso.

La valutazione di carattere idrogeologico, inoltre, considerano il cambiamento del tracciato delle opere a seguito del progetto di fasaggio. Questo considera la realizzazione delle opere per fasi successive e introduce le gallerie d'interconnessione che permettono di collegare la NTL con la linea storica Torino-Modane presso il nodo ferroviario di Bussoleno. La galleria d'interconnessione ha tracciato che, almeno in parte, passa in adiacenza alla galleria autostradale Prapontin. È stato quindi possibile considerare il ritorno di esperienza dello scavo della stessa galleria autostradale, non considerata nella fase progettuale preliminare.

La presente relazione fa riferimento alle carte e profili di carattere idrogeologico a scala generale:

- Carta idrogeologica (lato Italia) scala 1:25.000, cod. PRV C3B TSE3 0098;
- Profilo idrogeologico lato Italia (Tunnel di base e gallerie di interconnessione), scala 1:25.000, cod. PRV C3B TSE3 0056;

e relativi al settore italiano, Tunnel di Base, Clarea-Susa:

- Carta idrogeologica, scala 1:10.000, cod PRV C3B TSE3 0113/0114/0130;
- Profilo idrogeologico in asse galleria, scala 1:10.000, cod PRV C3B TSE3 0059/0060/0061.



## 2. Modello Idrogeologico

I litotipi previsti lungo il tracciato delle opere sotterranee sono stati raggruppati in complessi idrogeologici al fine di elaborare le previsioni idrogeologiche in asse allo stesso tracciato. Nella tabella che segue, sono indicati i complessi idrogeologici (CI) distinti per gli acquiferi in roccia; per ciascuno di essi sono indicati, inoltre, gli intervalli di variazione della permeabilità ed è specificato il tipo di permeabilità (F = fratturazione e K = carsismo).

Nei paragrafi che seguono, sono presentate le condizioni idrogeologiche previste per il tracciato del tunnel di base tra il punto alto posizionato in territorio francese alla pk 34+170 e il portale di Susa e del tracciato delle gallerie di interconnessione dal portale di Coldimosso e il portale di Bussoleno.

Le portate attese al portale di Susa derivano dal drenaggio esercitato dal tunnel di base non solo in territorio italiano ma anche per un tratto in Francia: in particolare, tra il punto alto posizionato alla PK 34+170 e il confine di Stato posto alla PK 48+672. Una volta terminato lo scavo del tratto Modane – Susa, saranno quindi drenate verso l'Italia le acque intercettate nel tratto della Falda dei Gessi (tra le PK 34+170 e 36+889) e delle coperture triassiche del Massiccio d'Ambin tra le PK 36+889 e 39+450. La tratta transfrontaliera, a cavallo del confine di Stato, copre il settore delle rocce del basamento del Massiccio d'Ambin fino alla PK 54+824 che costituiscono un unico corpo acquifero.

Sulla base dei modelli idrogeologici illustrati nel seguito sono quindi ricavate le previsioni delle portate drenate in galleria e le possibilità di valorizzazione del calore associato alle acque drenate. La probabilità di impatto delle sorgenti e dei corsi d'acqua sottesi dalle gallerie deriva anch'essa dalle considerazioni idrogeologiche qui esposte, e viene commentata in apposita relazione (PRV TS3 C3B 00 02 03 10 01 0097, *Relazione punti acqua e analisi del rischio d'impatto sulle sorgenti*).

I complessi idrogeologici sono stati definiti per l'intero progetto comprendendo quindi sia la tratta in territorio francese (da St. Jean de Maurienne al confine di Stato) che quello italiano (dal confine di Stato fino a Bussoleno). Le prove di permeabilità a disposizione per la definizione degli intervalli di permeabilità dei diversi complessi idrogeologici derivano dall'insieme dei test realizzati dall'inizio del progetto; esse sono elencate in Allegato 1.

In Allegato 2 sono esplicitati i dati e le fasi di studio che hanno concorso alla definizione del modello idrogeologico.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Complesso Idrogeologico			Classi di permeabilità				Permeabilità		
Cod.	Nome	Codice	<1E-8	1E-8>K>1E-6	1E-6>K>1E-4	>1E-4	K 25ile (min)	K 50ile (med)	K 75ile (max)
1	<i>Carniole, breccie tettoniche / Cargneules, breches tectoniques</i>	ATM, BCC, BCCs, cBr, cvla, cvla1, eBr, e7CBr, jBr, j5Br, K, Kng, Ksb, Kud, l2-3Br, MMDk, Rtk, U, ZSTm, ZSTs			K		5.00E-06	<b>5.00E-06</b>	5.00E-06
2	<i>Rocce carbonatiche (FR) / Roches carbonatées (FR)</i>	Cb, ciEc, cs-e, e7A, e7N, j1-4, j3-4, j4-7, j-e, jM, jm, jmC, jsEc, l1-2, l1-4, l3-4, l4, ol-cs, ol-ci, t3-5, tC, tCd, tmV		F/K			1.06E-07	<b>4.05E-07</b>	7.23E-07
3	<i>Rocce carbonatiche e metadolomie (IT) / Roches carbonatées et métadolomies (IT)</i>	DGA, DSE, DSEs, FMD, IMC, MCF, MEX, MGZ, MMD, MMDc, MMDg, MPM, OMD, TMD, XMD, XMDc, XMDm, ZSTd			F		7.20E-07	<b>1.02E-06</b>	2.50E-06
4a	<i>Quarziti, conglomerati quarziti / Quartzites, conglomérats quartzitiques</i>	csQ, e7Cg, h3C, h5-r, h5-rv, ml, MQZ, OQM, PQZ, QSE, QSEm, r-t, r-tCG, tQ, tQ-tas, tQs, TQZ, VQZ, XQZ			F		4.64E-08	<b>6.74E-07</b>	4.38E-06
4b	<i>Metabasiti e rocce verdi / Métabasites et roches vertes</i>	AMM, CLb, CVLm, dAm, DMSH, GCB, MMB, MMBt, MPP, MPSu, OMB, OMBa, OMBi, OMBp, OMG, OSS, TCSg, Sb		F			4.17E-08	<b>5.76E-08</b>	6.48E-08
5	<i>Micascisti e gneiss / Micaschistes et gneiss</i>	AMA, AMB, AMC, AMD, AME, AMF, AMG, CL, CLg, CLm, CLs, CVLa, CVLb, CVLn, CL, DGL, DGLk, DGLt, DGLz, DGP, DMS, DMSa, DMSq, DRT, GCKm, MMS, MPK, GS, OCF, S, Si, SV, ZSTg		F			3.05E-09	<b>6.00E-08</b>	1.10E-07
6a	<i>Calcescisti e flysch (FR) / Calcschistes et flysch (FR)</i>	cBe, ci, csC, csEc, csS, e4-7, e7, e7C, eFs, eFsg, e7G, hBF4-5, j1, j5, l3, l3-j1, jmCM, r, sN, t7, t7GM, t7SB, t7UD			F		1.30E-07	<b>5.70E-07</b>	8.21E-06
6b	<i>Scisti, calcescisti filladici e calcemicascisti (IT) / Schistes, calcschistes phyllitiques et calc-micaschistes (IT)</i>	CMS, CVL, CVLc, GCC, GCCk, GCCm, GCCs, GCK, GCKb, MCF, MCFb, MCFm, MPC, OCS, OSS, OSSs, TCS, TCSm, TPG, ZSTc, ZSTm, ZSTs		F			1.25E-08	<b>4.30E-08</b>	1.00E-07
7a	Houillère arenaceo / Houiller gréseux	hF, hLP		F			1.98E-08	<b>6.30E-08</b>	1.38E-06
7b	Houillère scistoso / Houiller schisteux	hBO, hE, h4-5		F			1.21E-09	<b>1.21E-08</b>	3.35E-08
8	<i>Anidriti e dolomie e marmi dolomitici con anidriti / Anhydrites et dolomies et marbres dolomitiques avec anhydrites</i>	CDng, Cng, cs-e, Gng-tas, Dng, GDng, SGng, tcD, tD, tDB, tDD, tDEc, tG, tGd, tGng, tGsb, tGud, tng, tS, tsD, t5, t5S, t6		F/K			2.22E-09	<b>2.44E-08</b>	1.24E-07
Q1	<i>Depositi quaternari detritici e alluvionali / Dépôts quaternaires détritiques et alluviaux</i>	aa, af1, af2, af3, ant, at, db, dc, df, fc, fcr, fm, fmg				P	2.14E-06	<b>3.46E-06</b>	9.86E-06
Q2	<i>Depositi glaciali indifferenziati / Dépôts glaciaires indifférenciés</i>	ac, af4, ag, cd, cg, EG, fq, fs, ga, gf, gh, gi, gw, Gz			P		2.00E-07	<b>3.00E-07</b>	1.00E-06
Q3	<i>Depositi lacustri / Dépôts lacustres</i>	af5, fg, la	P				1.00E-09	<b>5.00E-08</b>	1.00E-08

**Tabella 1: Complessi idrogeologici (CHy) distinti per gli acquiferi in roccia e intervalli di variazione della permeabilità per ciascuno di essi; tipo di permeabilità: F = fratturazione, K = carsismo, P = porosità primaria**

## 2.1 Tunnel di Base

### 2.1.1 Settore transfrontaliero (pk 34+170 – 55+029)

#### 2.1.1.1 Falda dei Gessi (pk 34+170 – 36+889)

Le conoscenze del modello idrogeologico della Falda dei Gessi sono state implementate dopo l'APR attraverso i dati del sondaggio F140 che confermano il modello elaborato in precedenza (studi idrogeologici 2002-2004 e l'APR 2006).

Dal punto di vista idrogeologico, le rocce che costituiscono la Falda dei Gessi sono state raggruppate nel CI 8 (anidriti, dolomie e marmi) e CI 2 (rocce carbonatiche).

Il complesso delle anidriti è caratterizzato da una permeabilità molto debole eccetto nei settori in cui è possibile lo sviluppo di fenomeni di dissoluzione (carsismo) che, tuttavia, non sono stati osservati alla quota del tunnel dai sondaggi realizzati in questo settore (F12, F67, F31, F140, F48bis et SDE). Il grado di affidabilità delle previsioni resta comunque debole soprattutto in relazione alle forti coperture sul tunnel (fino a circa 1000 m) e per la complessità tettonica del settore che costituisce una zona di contatto tettonico regionale tra la Falda dei Calcescisti (Nappe des Schistes Lustrés) e il Massiccio d'Ambin. La Falda dei Calcescisti, per il particolare assetto tettonostratigrafico, inoltre, costituisce una sorta di copertura impermeabile al di sopra della Falda dei Gessi limitando quindi il potenziale di ricarica in profondità e lo sviluppo di fenomeni di dissoluzione. Tuttavia, lungo le incisioni vallive (ad esempio l'Arc) i gessi e le anidriti affiorano in superficie favorendo la formazione di fasce in cui la dissoluzione dei litotipi evaporitici potrebbe essere più spinto.

Per quanto riguarda questo settore, si ritiene che le criticità descritte siano in gran parte affrontabili e superabili attraverso le indagini in corso di scavo. Infatti, da un lato la complessità geologico-strutturale dell'ammasso e la necessità di verificare differenti condizioni geomeccaniche al fronte di scavo e dall'altro lato le particolari condizioni di elevata copertura topografica e la difficoltà di accesso ai siti di indagine non permettono la concreta pianificazione di indagini dalla superficie che permetterebbero comunque l'acquisizione di dati puntuali non estrapolabili alla scala del progetto. Le permeabilità considerate per la valutazione delle portate attese in galleria sono dell'ordine di  $1E-9$  e  $1E-8$  m/s per il CI 8 e dell'ordine di  $1E-7$  m/s per le rocce carbonatiche del CI 2: la permeabilità dell'insieme resta dunque da debole a molto debole ma può arrivare a media in corrispondenza dei settori di fratturazione delle rocce carbonatiche.

Il modello geologico alla base delle valutazioni idrogeologiche riporta molti settori interessati da fratturazione diffusa e concentrata con potenza variabile tra 10 e 100 metri. In particolare, tra le PK 35+200 e 36+800 sono state individuate venute puntuali ma di debole portata (da 1 a 9 l/s ciascuna in regime stabilizzato).

I dati del sondaggio F140 confermano il modello sviluppato nelle precedenti fasi di progetto, in particolare:

- Presenza di circuiti idrici discendenti nella parte più superficiale e fratturata, tra 150 e 500 metri di profondità ; una venuta d'acqua importante è stata segnalata in corrispondenza della zona di contatto tettonico tra i calcescisti e la Falda dei Gessi alla profondità tra 470 e 490 metri, quindi a quota superiore rispetto al tunnel di base;
- Diminuzione della permeabilità con la profondità ad eccezione dei livelli carbonatici dell'Unità di Lozes caratterizzati da deformazione tettonica di tipo fragile; una venuta d'acqua in pressione di debole portata è stata registrata alla profondità di 1100 metri in corrispondenza di una zona di contatto tettonico tra i marmi dell'U. di Lozes e le

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

sottostanti anidriti della Falda dei Gessi. In questa tratta il tunnel di base si trova a una profondità di circa 1160 metri (carico idraulico 117 bar).

Da un punto di vista idrogeochimico, i circuiti intercettati nel sondaggio F140 mostrano una forte mineralizzazione con valori di conducibilità elettrica tra 160'000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (misura in foro) e 240'000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (misura in laboratorio su un campione d'acqua prelevato a 1'100 metri di profondità) e pH acido (5,7).

Le forti mineralizzazioni indicano una velocità di flusso molto deboli e un carattere quasi “fossile”. Tale caratteristica è confermata dalle analisi isotopiche del Trizio che presenta tenori inferiori a 1UT tipici di acque molto vecchie.

Le acque campionate presentano facies idrogeochimica cloruro sodica coerentemente al contesto geologico caratterizzato da rocce evaporitiche ricche in cloruri, solfati, sodio e potassio. L'arricchimento in sali potrebbe quindi essere dovuto all'interazione con rocce ricche in halite (NaCl) che avviene per circolazioni lente o stagnazione. Nel caso dell'intercettamento di queste “sacche” d'acqua fortemente mineralizzata è quindi possibile che esse si esauriscano in breve tempo. Se in contatto con zone di ricarica in superficie, esse possono evolvere in venute con acque meno ricche in sali.

**2.1.1.2 Coperture del Massiccio d'Ambin (pk 36+889 - 39+450)**

Le coperture brianzonesi del Massiccio d'Ambin sono costituite da unità carbonatiche (CI 2) e quarzitiche (CI 4a) e da scaglie di micascisti e quarziti (CI 5) del basamento permotriassico e di anidriti che costituiscono il complesso idrogeologico 8.

Questo settore è stato indagato tramite la realizzazione del sondaggio direzionale di Etache (SDE) che ha permesso di verificare l'assetto litostratigrafico alla quota del tunnel di base indicativamente tra le pk 38+500 e 39+500. Lungo il sondaggio nessuna venuta d'acqua rilevante è stata segnalata confermando un grado di permeabilità basso e molto basso dei litotipi alla quota del tunnel di base. Tuttavia, nessuna indagine di tipo idrogeologica è stata realizzata (ad esempio prove di permeabilità) e l'interpretazione delle diagrafie in foro risulta delicata a causa delle perturbazioni termiche provocate dai fanghi di perforazione.

La permeabilità del massiccio è stata quindi valutata tramite le prove realizzate nei sondaggi che hanno indagato gli stessi litotipi ma in settori anche differenti. In particolare, i dati ottenuti dai sondaggi F20, F22, F30, F30bis e F53 mostrano come la permeabilità del massiccio possa essere considerata in condizioni di fratturazione standard di grado da basso a molto basso (da  $5\text{E}-8$  a  $2\text{E}-9$  m/s) che può aumentare fino a  $5\text{E}-7$  m/s in corrispondenza delle bande di fratturazione principali che si localizzano principalmente lungo i contatti tettonici all'interno delle quarziti al contatto con le anidriti (tra le pk 39+400 e 39+700 circa).

I gradienti geotermici misurati in foro sono normali e compresi tra 23 e  $33^\circ\text{C}/\text{km}$  con un aumento da ovest verso est. Le misure di temperatura realizzate nei sondaggi F140 (a ovest) e F16 (a est) mostrano valori tra 22 e  $33^\circ\text{C}$ .

I circuiti idrici che potrebbero essere intercettati lungo le zone di fratturazione potrebbero avere caratteristiche simili a quelle intercettate nel sondaggio F140 ovvero con acque mineralizzate con velocità di flusso basse o addirittura stagnati.

I settori di ricarica, tuttavia, risultano essere, in superficie, più estesi che per il settore della Falda dei Gessi. Le strutture tettoniche riconosciute in profondità, infatti, affiorano nel Vallone di Etache che potrebbe quindi costituire una potenziale zona di ricarica dei circuiti in profondità.

L'affidabilità delle previsioni idrogeologiche rimane anche per questo settore tra debole e media determinando un'apertura dell'intervallo tra il valore minimo e massimo in funzione delle incertezze residue. La realizzazione di indagini in corso di scavo permetteranno di individuare, tramite sondaggi e diagrafie in foro in avanzamento, condizioni di criticità connesse alla presenza di venute d'acqua e di poter quindi mettere in atto le più adeguate misure di intervento per il loro superamento.

### **2.1.1.3 Massiccio d'Ambin (pk 39+450 – 54+824)**

Il settore del Massiccio d'Ambin è caratterizzato dalla presenza di rocce cristalline con permeabilità di grado basso. La natura delle rocce e il fatto che le coperture sono molto elevate (tra 1000 e 2000 metri) porta ad ipotizzare che la maggior parte delle fratture potenzialmente acquifere alla quota del tunnel siano poco conduttive.

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  $1E-9$  e  $1E-7$  m/s. Gli gneiss e i micascisti del Complesso di Clarea e d'Ambin 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 e della Val Clarea, tali bande di fratturazione, con orientazione WSW – ENE, mostrano in superficie una persistenza laterale plurichilometrica. È stato ipotizzato che tali strutture possano prolungarsi in profondità fino a quote paragonabili con quelle del tunnel di base influenzando. In particolare tra le PK 47+500 et 52+000 è previsto che lo scavo intercetti venute d'acqua di tipo diffuso e puntuale.

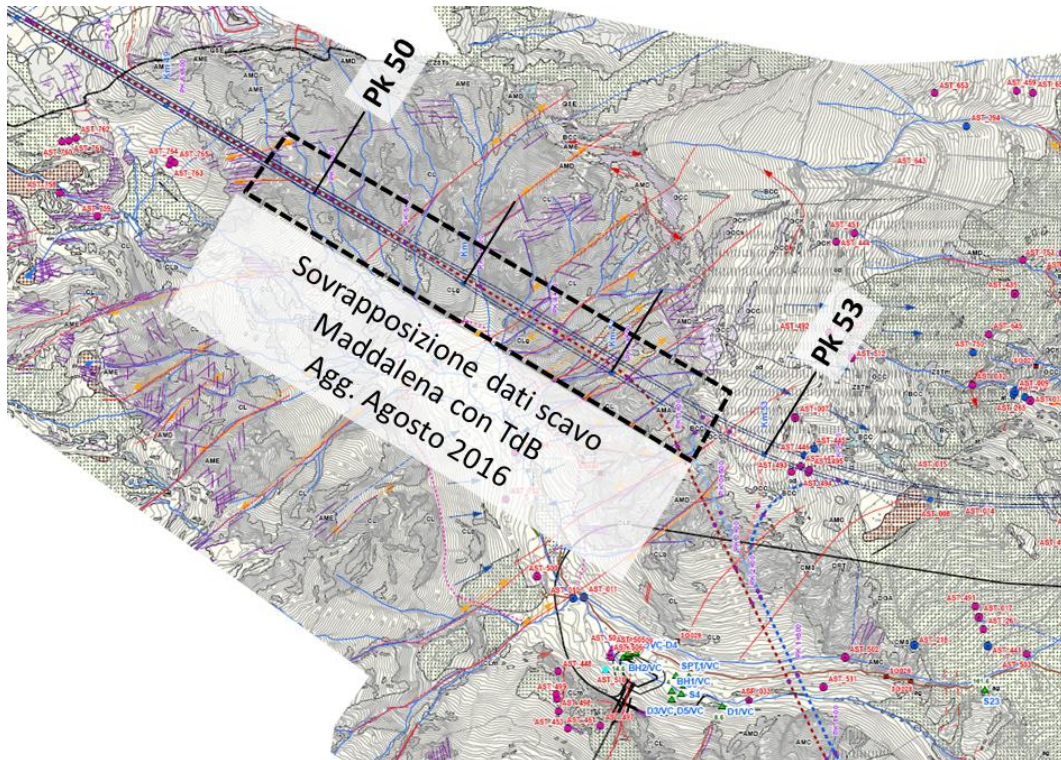
La presenza di strutture fragili è stata, tuttavia, osservata anche nel settore più occidentale lungo i sondaggi F30b e F16 che riportano zone di fratturazione anche associate a faglie con formazione di gouge argilloso. Tali bande di fratturazione sono state identificate anche a profondità di circa 1100-1200 metri paragonabili alla quota del tunnel di base. Si tratta di zone di fratturazione con potenza variabile tra decimetrica e metrica che però in alcuni casi costituiscono vere e proprie fasce di fratturazione che si estendono lateralmente per alcuni metri. È il caso del tratto identificato nell'F30b tra 1350 e 1390 metri di profondità la cui proiezione sul tunnel di base interesserebbe il tratto tra le pk 41+100 e 41+500. Un settore simile è stato attraversato anche dal sondaggio F16 a circa 1000 metri di profondità e che dovrebbe essere intercettata dal tunnel di base nell'intorno della pk 44.

Le strutture riconosciute in sondaggio, per la loro tipologia, potrebbero costituire delle direttrici preferenziali per i circuiti idrici in profondità anche se i test di permeabilità tra packer eseguiti nel sondaggio F30b nell'intervallo tra le profondità 1295 e 1450 metri sono andati a rifiuto (assenza di flusso per le pressioni esercitate durante la prova).

### **2.1.1.1 Ritorno d'esperienza del cunicolo esplorativo della Maddalena**

Per il settore, indicativamente dalla pk 50 alla pk 53, le osservazioni e i dati raccolti durante lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena (aggiornati ad agosto 2016) hanno permesso di verificare le ipotesi fatte in fase di PD2. La Figura 1 evidenzia la tratta di sovrapposizione.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)



**Figura 1 : Sovrapposizione del tracciato del cunicolo esplorativo della Maddalena con Tunnel di Base. (aggiornamento agosto 2016).**

Le portate registrate in fase di scavo (portate al fronte) hanno superato raramente la decina di litri (portate unitarie superiori a  $0.5 \div 1.0 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ ) per poi stabilizzarsi (arco di tempo di qualche settimana) su valori di  $2 \div 5 \text{ l/s}$  per tratte di qualche decina di metri. La retro-analisi dei valori di portata stabilizzata conferma il valore medio di permeabilità dell'ammasso di  $E-07 \text{ m/s}$ .

Le analisi chimiche eseguite lungo il cunicolo hanno evidenziato alcuni caratteri peculiari già individuati in precedenza grazie ai dati del sondaggio S4. Le acque hanno un contenuto in sodio e cloruro relativamente elevato (interazione per tempi relativamente lunghi con rocce contenenti fillosilicati o feldspati sodici), confermando la circolazione lenta e profonda, tuttavia a partire dalla pk 53 e procedendo verso ovest, il tenore dei cloruri diminuisce in maniera rilevante, indicando una ricarica da parte di acqua più fresca e giovane, proveniente dalla superficie. Questo fatto conferma le ipotesi fatte in precedenza del ruolo che le strutture orientate WSW-ENE hanno nel meccanismo di ricarica in profondità, senza tuttavia (per quanto osservato finora) causare condizioni di flusso concentrato di notevole entità, a causa della notevole profondità della copertura e dunque dell'effetto del carico litostatico sulla rete di fratture. Il tenore in solfati ha fatto registrare un massimo di  $80 \text{ mg/l}$  in una tratta del cunicolo che si potrebbe proiettare intorno alla pk 53+200, più in generale il valore medio si attesta sui  $50 \text{ mg/l}$ .

Il gradiente geotermico, monitorato durante lo scavo del cunicolo della Maddalena tramite stazioni in roccia ogni 50m si attesta (alla pk 50) a  $30^\circ\text{C/km}$ . Si evidenzia che tra le progressive 51+400 e 52+300 (sostanzialmente coincidente con il sito di sicurezza di Clarea), il monitoraggio termico in roccia ha registrato un aumento di circa  $7-8^\circ\text{C}$  rispetto al normale trend di crescita. Una anomalia positiva era stata registrata nel sondaggio S4 con un gradiente geotermico di  $33^\circ\text{C/km}$ . Al contrario, la temperatura delle acque (monitoraggio bimestrale delle venute) in questa porzione di tunnel è leggermente più bassa, a conferma del

miscelamento delle acque profonde con la ricarica dall'alto veicolata attraverso le fasce di fratturazione verticali orientate WSW-ENE.

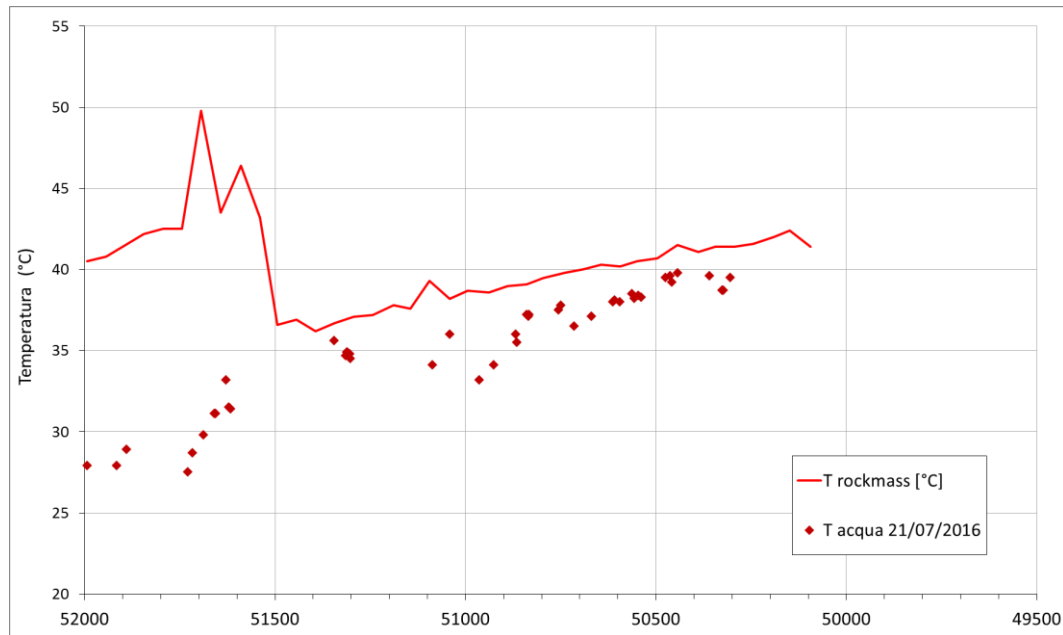


Figura 2 : Dati del monitoraggio dell'ammasso roccioso e delle acque nel cunicolo esplorativo della Maddalena per la tratta in sovrapposizione con il TdB (agg. luglio 2016).

### 2.1.2 Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus (pk 54+824 – 55+029)

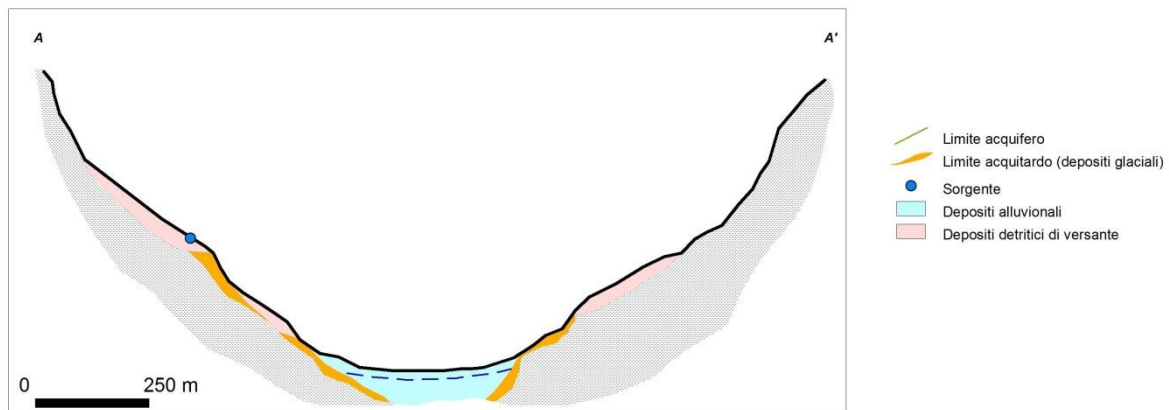
Nel suo insieme l'ammasso roccioso presenta qualità idrogeologiche sfavorevoli per l'alternanza all'interno della massa di calcescisti e gneiss, a bassa permeabilità (CI 6b), di fasce di cataclasiti carbonatiche (CI 1) caratterizzate da fenomeni di dissoluzione chimica (carsismo) cui potrebbero essere associate venute d'acqua anche importanti in galleria. L'insieme costituisce quindi un'alternanza di livelli acquiferi confinati da livelli acquicludi o acquitardi.

La giacitura di questo sistema e dei limiti acquiferi - acquicludi è mediamente immergente verso SE. L'andamento della superficie morfologica del substrato roccioso lungo il versante destro della Val Cenischia, sia affiorante che sepolta al di sotto dei depositi quaternari, è indicativa per l'individuazione delle possibili zone di ricarica e di deflusso delle acque circolanti all'interno dell'acquifero stesso. L'acquifero, quindi le possibili aree di ricarica, affiora nella zona compresa tra Punta Mulatera, Giaglione e il fondovalle Dora nei pressi di Chiomonte. Inoltre esso interseca la superficie morfologica sepolta tra Venaus e l'alta Val Cenischia al di sotto dei depositi quaternari della val Cenischia.

Le aree di deflusso sarebbero invece localizzate, in condizioni naturali, ossia in assenza di punti di emungimento artificiali come quello della Centrale Pont Ventoux, nella bassa Val Cenischia (zona di Venaus) e nella zona di confluenza tra la Val Clarea e la Valle della Dora.

Bisogna inoltre considerare che, per un lungo tratto della Val Cenischia, l'acquifero in roccia è presente lungo l'asse vallivo al di sotto dell'acquifero costituito dai depositi quaternari di fondovalle più permeabili. Tuttavia localmente esso è parzialmente isolato idrodinamicamente da quest'ultimo dall'acquiclude costituito dai depositi glaciali di fondo e dai depositi glacio-lacustri che costituiscono i depositi più profondi di riempimento dello stesso fondovalle Cenischia. Tale isolamento è però discontinuo, poiché non ovunque lo strato acquiclude è presente, sia per motivi stratigrafici, sia perché è stato eroso durante i cicli di modellamento

post-glaciali. In conclusione, lungo la Val Cenischia l'acquifero in roccia e l'acquifero dei depositi quaternari di fondovalle sono separati da un limite semipermeabile (depositi glaciali di fondo) localmente mancante (Figura 3).



**Figura 3 : Schema dell'assetto idrogeologico-stratigrafico dei depositi di fondovalle al contatto con il basamento roccioso. Si evidenziano i depositi glaciali che isolano parzialmente (acquitardo) l'acquifero di fondovalle dall'acquifero in roccia.**

Il sistema acquifero – acquiclude in roccia della Zona a Scaglie Tettoniche, è localmente attraversato da faglie principali a direzione N60 - 70E immergenti verso SSE - SE a medio e alto angolo che costituiscono delle direttrici di deflusso idrico preferenziale. Tali strutture drenano l'acquifero all'interno dell'ammasso roccioso del versante compreso tra la bassa Val Clarea e il versante a monte di Venaus.

L'effetto accoppiato della presenza di queste strutture (orizzonti di dissoluzione e faglie) può determinare, anche se solo localmente, condizioni di particolare criticità. Tale condizione si è verificata durante lo scavo delle gallerie della centrale di Pont Ventoux: si è osservato che l'ammasso roccioso a bassa permeabilità ospita circuiti idrici anche importanti in corrispondenza delle zone di fratturazione che si trovano o direttamente a contatto o anche solo in equilibrio idraulico con gli orizzonti in dissoluzione (carniole). È il caso della Faglia di Venaus lungo la quale, come si è potuto osservare durante lo scavo della galleria di accesso alla centrale, l'ammasso roccioso poco permeabile costituito dai calcescisti, nella porzione a tetto dell'orizzonte di carniole subisce un incremento di permeabilità favorendo la circolazione idrica.

La sua intersezione ha determinato una venuta d'acqua con portata di alcune centinaia di l/s (portata di picco > 500 l/s). Questa portata, attualmente di circa 250 l/s in regime stabilizzato, potrebbe essere intercettata dal tunnel di base qualora questo intercettasse una struttura connessa a quella intercettata dalle gallerie di Pont Ventoux. Tale venuta con portata elevata, anche in regime stabilizzato, è alimentata da una struttura tettonica ad alta permeabilità direttamente connessa con l'acquifero dei depositi di fondovalle della Val Cenischia.

I dati di superficie, comunque, non sembrano confermare tale situazione e il tunnel di base passerebbe in un settore non coinvolto dalla fascia di fratturazione connessa alla Faglia di Venaus. Esso è orientato parallelamente rispetto alle opere di Pont Ventoux e passa circa 200 - 400 metri più a nord anche se a una quota più bassa di circa 40 metri.

Tuttavia, la proiezione delle strutture osservate nelle gallerie dell'impianto di Pont Ventoux e dei dati raccolti in superficie evidenziano come una potenziale criticità è rappresentata dal fatto che le gallerie del tunnel di base andranno ad intercettare orizzonti metrici di carniole tra le pk 55+150 e 55+400 e tra le pk 55+750 e 55+820 circa.



Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Non è quindi da escludere che il tunnel di base diventi l'elemento di drenaggio del massiccio posto a quota più bassa e che si verificano venute d'acqua in galleria. La loro entità sarà funzione delle condizioni di equilibrio idrodinamico attuali influenzate dalle opere sotterranee dell'impianto di Pont Ventoux che hanno drenato fortemente il massiccio e l'acquifero di fondovalle Cenischia.

Allo stato attuale, si può ipotizzare che il livello piezometrico all'interno del massiccio sia stabilizzato a una quota pari alle opere sotterranee dell'impianto di Pont Ventoux (ovvero 50 - 100 metri sopra la quota del tunnel di base) e che si raccordi verso E - NE al fondovalle del T. Cenischia.

I dati ottenuti dal monitoraggio idrogeologico in corso e in particolare dalle analisi chimiche effettuate in laboratorio mostrano la presenza di differenti circuiti idrici con caratteristiche idrochimiche specifiche:

- *Acque solfato-bicarbonato-calciche a salinità ionica intermedia*: circolano in circuiti in roccia in cui sono presenti lenti o livelli di rocce evaporitiche (marmi dolomitici, carnirole, gessi) presenti all'interno della Zona a Scaglie. I tempi di residenza possono essere anche brevi in virtù del grado alto di permeabilità degli acquiferi che le ospitano. È il caso delle acque campionate alla sorgente AST394 con conducibilità elettrica di circa 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e della sorgente AST643 con conducibilità elettrica di circa 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Non è escluso che il tunnel di base possa perturbare questi circuiti caratterizzati da un grado di interconnessione elevato anche in profondità. Bisogna comunque tenere in considerazione che i circuiti presenti nel massiccio si presentano già perturbati poiché intercettati dalle gallerie della centrale di Pont Ventoux.
- *Acque bicarbonato-calciche a bassa salinità ionica*: primi stadi d'interazione acqua-roccia, circuiti rapidi in acquiferi costituiti da mezzi porosi che nella parte superficiale dell'ammasso roccioso (ammasso detensionato e fratturato). A questo tipo di circuiti fanno riferimento le numerose sorgenti presenti sul versante destro della Val Cenischia a monte di Venaus (AST007, 009, 013, 015, 445, 492, 512) caratterizzate da conducibilità elettrica di circa 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La loro alimentazione è probabilmente connessa ai circuiti che si sviluppano all'interno della frana in roccia che interessa buona parte del versante. Il tracciato non dovrebbe intersecare tali circuiti.

Tuttavia, nel settore del versante destro della Val Cenischia, le analisi chimiche condotte in profondità sulle acque drenate dalle gallerie di Pont Ventoux indicano che all'interno dell'ammasso roccioso sono presenti miscele di facies idrogeochimiche differenti che indicano tempi e modalità di interazione con gli acquiferi in roccia altrettanto differenti:

- *Acque solfato-calciche a elevata salinità ionica*. Le acque di questo termine raggiungono il loro equilibrio chimico all'interno di acquiferi costituiti da rocce carbonatico-evaporitiche (marmi dolomitici, carnirole, gessi e cataclasi carbonatiche derivate), prima di venire scaricate in superficie o di defluire all'interno di acquiferi superficiali in depositi quaternari. I loro tempi di permanenza, nonostante l'elevata salinità, possono anche essere relativamente brevi (alcuni mesi), poiché le rocce che esse lisciviano sono estremamente solubili e quindi permeabili. Acque praticamente pure, riferibili a questo end-member, sono quelle drenate dalle gallerie dell'impianto di Pont Ventoux, in corrispondenza dell'intersezione con orizzonti di rocce carbonatiche ed evaporitiche, o comunque con sistemi permeabili in collegamento idraulico con queste ultime (es. Faglia di Venaus).
- *Acque bicarbonato-calciche alcaline con salinità ionica intermedia*. A questo gruppo appartengono acque riferibili a sistemi idrogeologici con caratteristiche piuttosto variabili.

Esse sono però accomunate da una riequilibrio avvenuta in tempi relativamente lunghi, con rocce sia carbonatiche (calcescisti, marmi dolomitici) che silicatiche (gneiss). Lungo il versante destro della Val Cenischia sono state incontrate durante gli scavi della centrale AEM di Venaus.

- *Acque bicarbonato-sodiche a salinità intermedia con temperatura elevata.* Questo termine è stato intercettato in Val Clarea con la perforazione del sondaggio S4, ed è caratteristico di interazioni per tempi lunghi con rocce silicatiche del basamento cristallino. Questi si miscelano lungo i corridoi di fratturazione principali con termini bicarbonato-calcici provenienti da acquiferi superficiali come è stato osservato durante lo scavo della galleria F2 di Pont Ventoux.

### 2.1.3 Acquifero poroso del fondovalle Cenischia (PK 56+058 – 57+160)

L'attraversamento in sotterraneo della Val Cenischia prevede lo scavo in depositi alluvionali di fondovalle generalmente sabbiosi e ghiaioso - sabbiosi debolmente limosi che costituiscono, alla scala del fondovalle, un acquifero generalmente omogeneo seppur caratterizzato da un certo grado di anisotropia verticale e orizzontale in relazione al complesso assetto stratigrafico.

Sulla base dei dati stratigrafici e idrogeologici ottenuti tramite i sondaggi S18, S19 e S20, dal punto di vista idrogeologico è possibile distinguere differenti orizzonti con permeabilità che variano in base al contenuto in materiale fine (limi e argille) e al grado di compattazione:

- *Complesso a bassa permeabilità costituito da depositi lacustri e palustri o da depositi glaciali di fondo.* Alcuni dei sondaggi eseguiti nella bassa Val Cenischia in prossimità della confluenza con la Valle della Dora (S19 e S20) indicano che al di sotto dei depositi alluvionali di fondovalle esistono degli orizzonti di limi e sabbie limose (*af5*), originatisi ipoteticamente in epoca glaciale (depositi glacio-lacustri) in relazione con la presenza di depressioni chiuse sbarrate da morene frontali. Tali depositi si trovano in prossimità del contatto con il substrato roccioso, e la loro estensione laterale è difficilmente ipotizzabile sulla base dei dati attualmente a disposizione. È tuttavia ragionevole ritenere che tali livelli siano discontinui. A un livello stratigraficamente inferiore rispetto a questi depositi, a diretto contatto con il substrato roccioso, si trovano talora dei depositi glaciali di fondo (*fg*). Entrambi questi tipi di depositi hanno permeabilità basse rispetto agli altri depositi quaternari permeabili per porosità, dell'ordine dei  $1^E-7$  m/s (dati Alpetunnel, rapporto RAT-STA-1158/97 di ISMES). Poiché comunemente nelle valli di origine glaciale i depositi glaciali di fondo ricoprono i fondovalle in maniera più o meno continua al di sotto dei depositi glaciali di ablazione e alluvionali, è probabile che anche lungo le Valli Cenischia e Dora sia presente un livello di base di questi depositi più o meno continuo. Questo livello, a causa della sua bassa permeabilità, isola parzialmente gli acquiferi di fondovalle in mezzi porosi da quelli in roccia. I depositi glacio-lacustri localmente (es. sbocco della Val Cenischia) si sovrappongono a quelli di fondo, aumentando la potenza di questo setto semipermeabile. Piccoli lembi di questo complesso possono affiorare anche lungo i versanti, al di sotto dei principali accumuli di depositi glaciali di ablazione, soprattutto in corrispondenza delle superfici preservate di antichi terrazzi glaciali.
- *Complesso a permeabilità elevata costituito da depositi alluvionali recenti e non cementati.* Questo complesso è l'acquifero per porosità più esteso dell'area rilevata, poiché è localizzato lungo tutti i fondovalle principali. Esso comprende i termini da ciottoloso – ghiaioso – sabbioso con limi a sabbioso – limosi (da *af1* a *af4*). Di quest'insieme fanno parte gli estesi depositi di conoide (*ac*) che caratterizzano il

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

fondovalle Cenischia allo sbocco del Rio Supita. La permeabilità al suo interno è stata valutata tramite prove Lefranc in numerosi sondaggi (S15, S16, S18, S19, S20), e mediamente oscilla tra  $5^E-5$  e  $1^E-6$  m/s (dati Alpetunnel, rapporto RAT-STA-1158/97 di ISMES).

- *Complesso a permeabilità molto elevata costituito da depositi detritici.* Questo complesso raggruppa gli acquiferi costituiti dalle placche di detrito di falda o dai corpi di frana di crollo più estesi arealmente (*db* e *df*). Benché non vi siano prove di permeabilità dirette al loro interno, si può affermare che tali depositi hanno una permeabilità molto elevata, a causa della natura prevalentemente ghiaiosa della loro matrice.

Tuttavia, l'incerta continuità laterale delle lenti a granulometria differente e il loro accentuato grado di eteropia e interdigitazione non permettono di distinguere nettamente orizzonti continui e sovrapposti in maniera ubiquitaria lungo tutto il fondovalle Cenischia. Per questo motivo, l'insieme stratigrafico è stato inteso facente parte di un unico acquifero poroso omogeneo alla scala del fondovalle.

Nel settore di studio sono presenti tre sondaggi (S18, S19 e S20) in cui sono state realizzate prove Lefranc a carico variabile in abbassamento (dati Alpetunnel, rapporto RAT-STA-1158/97 di ISMES, Tabella 2). I valori indicano una permeabilità media di circa  $5E-6$  m/s (permeabilità di grado medio).

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 2: 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 (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

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

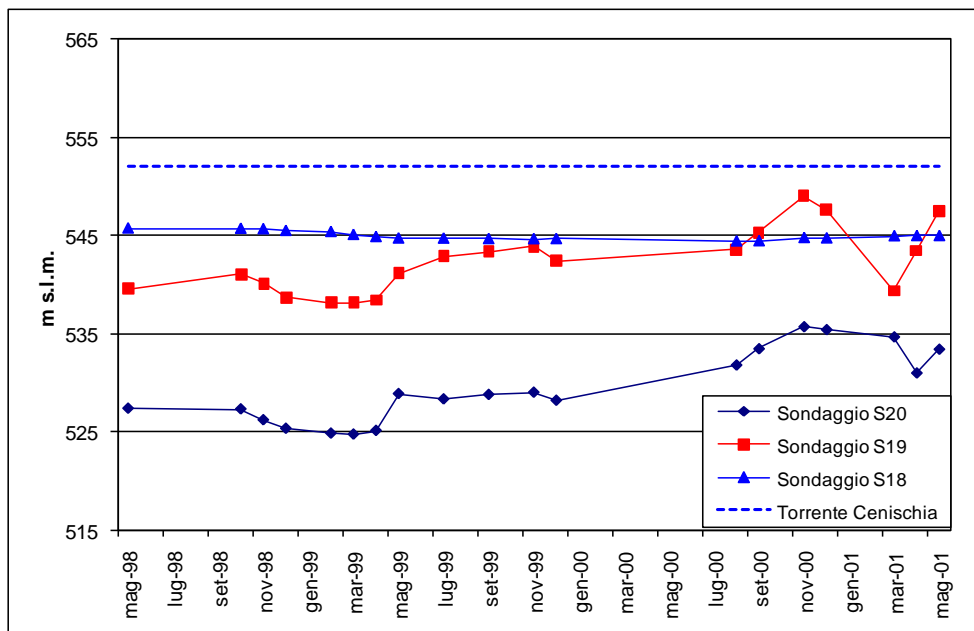
sotterranee di Pont Ventoux) mostrano una generale deformazione dei flussi che sembrano essere richiamati verso il versante destro della valle (Tabella 2) in corrispondenza dei settori in cui sono stati registrati i drenaggi più importanti nella galleria di accesso alla centrale di Pont Ventoux. Tali piezometri oggi non sono più misurabili perché andati distrutti.

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 55 metri e coincidente con la copertura topografica in corrispondenza del Torrente Cenischia.

Lo scavo dovrà quindi considerare condizioni di pressione idrostatica prossime ai 6 bar.

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.



**Figura 4 : 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**

Al fine di quantificare l'effetto diga che potrebbe interessare la val Cenischia in corrispondenza dell'attraversamento nei terreni alluvionali con falda è stato realizzato un modello numerico di flusso in stato stazionario, con condizioni al contorno adeguate al modello concettuale elaborato sulla base dei dati disponibili e descritto in questo paragrafo. Il modello numerico è stato eseguito utilizzando il metodo degli elementi finiti con il programma Feflow 5.3 (Wasy AG, Berlin) che applica la legge di Darcy in tutte le parti del modello.

La presenza del tunnel determina un modesto sollevamento delle acque sotterranee nel settore a monte dell'attraversamento delle opere sotterranee del fondovalle Cenischia (Figura 5); nel settore a valle le variazioni sono minime e le isopieze post-operam sono pressoché coincidenti con l'andamento della falda ante-operam (Figura 5).

**Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)**

---

L'entità della variazione della falda è raffigurata nella Figura 6 dove è riportata la differenza della quota piezometrica tra le condizioni ante-operam (H0) e quelle post-operam (H1). Si può osservare come a monte del tracciato del tunnel di base il livello freatico subisca un innalzamento che raggiunge valori massimi di 0.3 m. A valle del tunnel di base le variazioni del livello freatico indicano un abbassamento dell'ordine di 1-2 cm.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

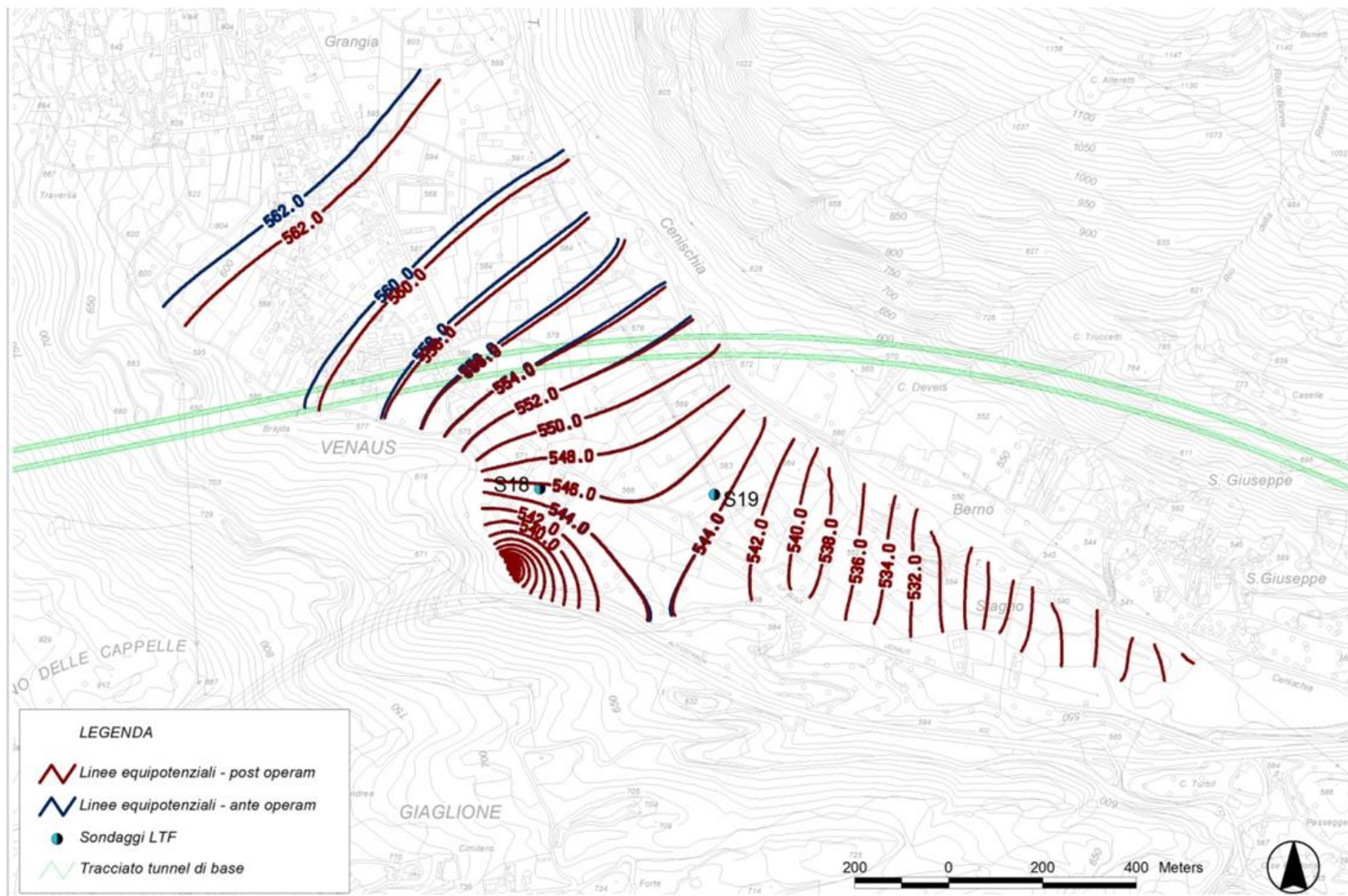


Figura 5 : Variazione delle isopieze della falda freatica del fondovalle Cenischia per effetto diga operata dalla presenza del tunnel di base

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

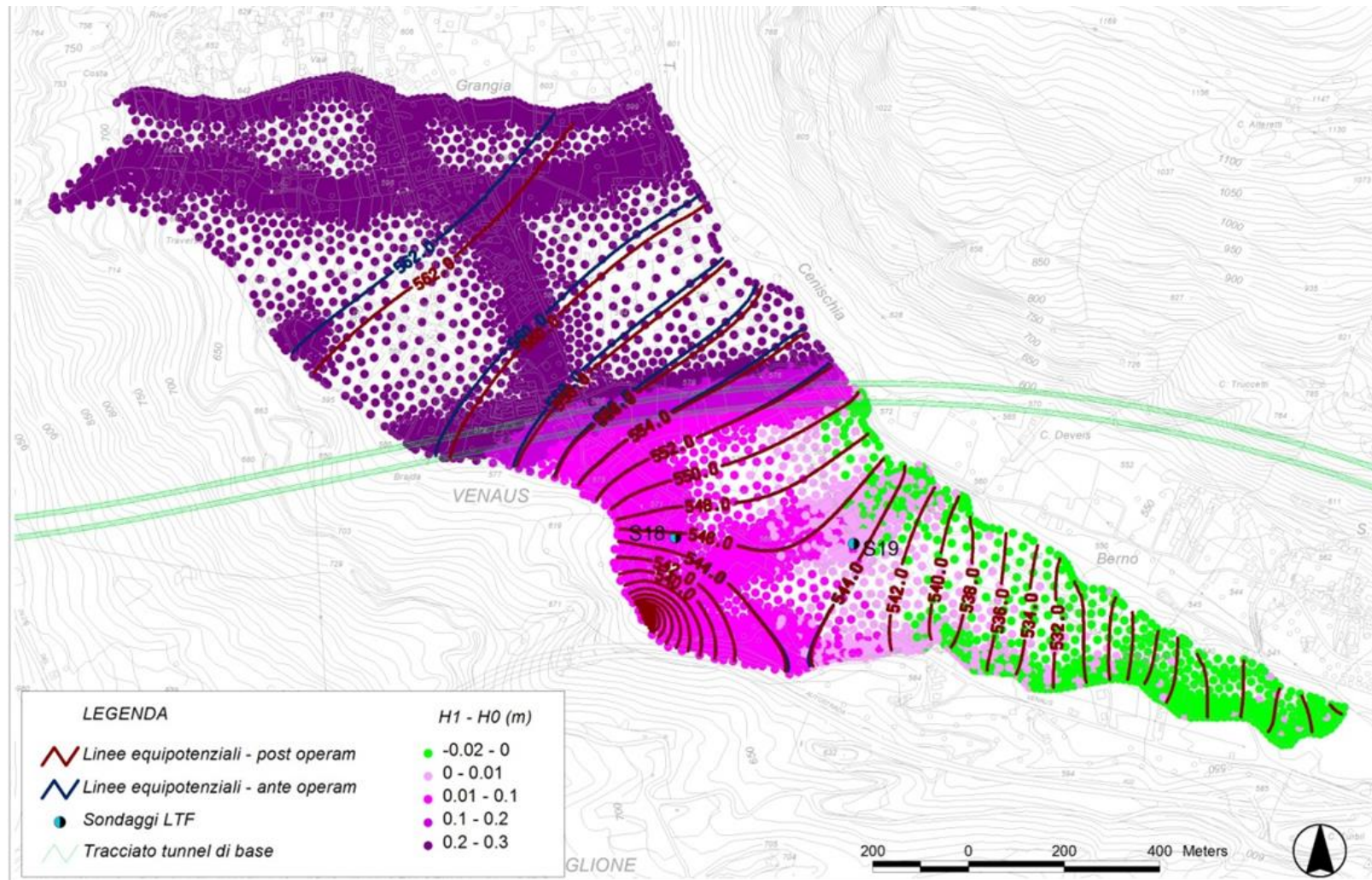


Figura 6 : Entità della variazione dell'andamento della falda freatica tra ante (H0) e post (H1) operam valutata in corrispondenza dei nodi della maglia utilizzata per il calcolo numerico.

In conclusione, si evince che l'effetto diga che causa una variazione del livello freatico in condizioni di esercizio del tunnel di base (post-operam) è di entità ridotta e inferiore alle variazioni stagionali dovute all'alimentazione della falda da parte delle precipitazioni meteoriche (piogge e scioglimento delle nevi) e dei regimi di irrigazione regolati tramite le derivazioni lungo i corsi d'acqua verso i canali irrigui che solcano il fondovalle.

In relazione alle conoscenze idrogeologiche attuali le variazioni risultano trascurabili e non si prescrivono misure di mitigazione degli effetti della presenza del tunnel di base sulla falda freatica del fondovalle Cenischia.

Tuttavia si ritiene necessario mettere in opera una rete di monitoraggio del livello piezometrico ante-operam e che continui durante e dopo la realizzazione degli scavi per un tempo sufficientemente lungo (almeno 2 anni).

#### **2.1.4 Zona Piemontese (PK 57+160 – 60+711)**

I calcescisti e gneiss della Zona Piemontese, affioranti in questo settore possono essere considerati come un complesso unico, dal momento che sono comunemente intercalati tra loro a tutte le scale; essi sono caratterizzati da permeabilità di grado basso eventualmente incrementato a medio e medio - alto in corrispondenza di fasce di fratturazione intensa. L'abbondanza in fillosilicati ha attribuito a questi litotipi un comportamento piuttosto plastico anche durante le fasi deformative fragili, e per tale motivo mediamente le fratture risultano più discontinue, irregolari e meno persistenti. Prove Lugeon su rocce di questo complesso sono state eseguite nel sito della costruenda centrale idroelettrica AEM di Pont Ventoux, e indicano permeabilità comprese tra  $1E-8$  e  $5E-9$  m/s (dati Pont Ventoux, rapporto RAT-STA-1654/97 dell'ISMES).

Nei sondaggi LTF S8, S9 e S42 la permeabilità varia tra  $1E-7$  e  $5E-10$  m/s. Benché la permeabilità resti sempre bassa, i dati sopra citati indicano che esistono tuttavia delle variazioni da punto a punto nell'ammasso roccioso. Ciò è in parte legato all'eterogeneità dei litotipi che costituiscono questa unità, in parte al fatto che i calcescisti, essendo litotipi carbonatici possono localmente essere interessati da fenomeni di dissoluzione che contribuiscono ad aumentare la permeabilità lungo le fratture.

A scala decametrico-ettometrica è comunque ipotizzabile che le variazioni di permeabilità locali si annullino e tendano ad un valore relativamente omogeneo che si colloca intorno ai  $1E-8$  m/s, valore medio tra quelli misurati nei vari sondaggi. La valutazione delle venute in galleria in questo settore è stata eseguita introducendo uno specifico Complesso Idrogeologico il CI 6b in modo da differenziare i calcescisti della Zona Piemontese meno permeabili dei Flysch della Zona Ultradelfinese ai quali, in APR, erano assimilati.

La falda in roccia non sembra connessa con i circuiti idrici superficiali che alimentano le sorgenti presenti lungo il versante sinistro della Val Cenischia. Le analisi chimiche evidenziano circuiti superficiali che si sviluppano perlopiù all'interno dei depositi quaternari.

Circolazioni lungo faglia non sono però da escludere. Infatti, ai piedi del versante, in corrispondenza dei conoidi principali, sono presenti sorgenti con impronta idrochimica di tipo bicarbonato-calcica debolmente solfatica e alcalina a salinità ionica intermedia le cui acque circolano probabilmente lungo le faglie con direzione  $N60^{\circ}E$  che caratterizzano l'ammasso roccioso e all'interno delle lenti o livelli di rocce evaporitiche (marmi dolomitici e carnirole) immerse nella massa di calcescisti e lungo il contatto di natura tettonica con le metabasiti dell'unità oceanica della Bassa Val di Susa. Questi circuiti, infatti, caratterizzano le sorgenti presenti lungo tale contatto come la sorgente AST033.



La temperatura della acque in questa tratta è stata valutata sulla scorta dei dati dei sondaggi S8 e S9 che indicano per coperture di circa 150 – 200 metri temperatura di circa 12 – 13°C mentre la soggiacenza media della falda in roccia rilevata nei due sondaggi è di circa 50 metri.

Il chimismo delle acque drenate in questo settore è generalmente bicarbonato – calcico talvolta debolmente solfatico e alcalino. Le concentrazioni medie di solfati, registrati nei sondaggi S8 e S9 sono inferiori a 50 mg/l. Ai fini della valorizzazione delle acque drenate in galleria, le acque di questo settore sono state considerate potabili.

### **2.1.5 Unità oceaniche – Settore di Mompantero (PK 60+711 - 61+087)**

La tratta finale del tunnel di base si caratterizza per la presenza di un complesso a bassa permeabilità costituito da rocce basiche e ultrabasiche (CI 4b). A questo complesso appartengono esclusivamente le masse maggiori di prasiniti, anfiboliti e serpentiniti delle unità di pertinenza oceanica della Zona Piemontese. Per tale complesso vale quanto già detto per la tratta dei calcescisti. Esso è stato tuttavia mantenuto separato poiché è costituito da rocce con chimismo diverso (maggior contenuto in elementi alcalino-terrosi), che potrebbero dare origine ad acque particolari dal punto di vista geochimico rispetto a quelle circolanti nel complesso costituito da rocce carbonatiche e silicatiche. Inoltre, il comportamento più rigido di questi litotipi determina una deformazione duttile - fragile in risposta agli stress tettonici aumentando la permeabilità delle bande di deformazione (contatti tettonici).

La permeabilità è quindi generalmente di grado basso ma può aumentare nei settori di fratturazione intensa come previsto in corrispondenza del contatto tra i calcescisti e le metabasiti (Zona di taglio di Mompantero) nell'intorno della pk 60+700. Lungo tale contatto tettonico (a medio angolo con direzione circa NNE-SSW) sono presenti sorgenti con impronta idrochimica di tipo solfato-bicarbonato-calcica talvolta alcalina a salinità ionica come la sorgente Murisi (AST033) in località Bianco. Strutture tettoniche come quelle connesse alla Zona di taglio di Mompantero costituiscono tipicamente delle direttrici di flusso in direzione longitudinale mentre compartimentano l'acquifero in direzione trasversale.

Questo circuito rappresenta una via di circolazione idrica sotterranea in senso circa nord-sud, la quale verso il basso è in connessione idraulica con l'acquifero in roccia costituito dalle unità di copertura del Massiccio Dora Maira (marmi dolomitici e calcescisti) che si trovano a quota più bassa, e con l'acquifero del conoide del rio Giandola.

I carichi idraulici al di sopra del tunnel raggiungono circa 100 metri se si presuppone continua la connessione tra le circolazioni in profondità con quelle in superficie e le temperature delle acque risulterebbero in equilibrio con le temperature in superficie. Le diagrafie del sondaggio S9 realizzato in località Cugno, mostrano temperature a quota galleria di circa 15 - 17°C. I gradienti geotermici valutati nei sondaggi S8 e S9 sono compresi tra 17 e 18 °C/km.

## **2.2 Piana di Susa**

Nel tratto della Piana di Susa (pk 61+189 ÷ 63+833), oltre ai portali del tunnel di base e la tratta in galleria artificiale (tra le pk 61+189 e 61+197), le opere previste sono all'aperto e connesse al nodo di Susa (Stazione Internazionale, stazione di soccorso, ponte sulla Dora) e i rilevati per la realizzazione della linea che si raccorda verso est con l'imbocco delle gallerie d'interconnessione.

Il fondovalle della Piana di Susa è costituito da depositi alluvionali e torrentizi recenti, non cementati, e da depositi alluvionali di conoide che presentano un coefficiente di permeabilità mediamente tra 1E-5 e 1E-6 m/s (prove Lefranc nei sondaggi S65, S66 e S67, Tabella 3).

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Sond.	Prova Lefranc (n°)	da (m)	a (m)	K (m/s)	Descrizione
S65	1	7	7.5	<b>2.26E-05</b>	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
	2	10.5	11	<b>1.42E-05</b>	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
	3	17.5	18	<b>3.30E-06</b>	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
	4	23.5	24	<b>8.12E-06</b>	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
S66	1	19.5	20	<b>2.58E-05</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	2	27	27.5	<b>1.22E-05</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	3	31.5	32	<b>4.25E-06</b>	ghiaia eterometrica e ciottoli con sabbia medio fine e matrice
	4	39.5	40	<b>2.30E-06</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	5	48	48.5	<b>2.43E-06</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	6	59	60	<b>1.63E-05</b>	conglomerato poligenico da poco a moderatamente cementato
	7	63	64	<b>2.20E-05</b>	conglomerato poligenico da poco a moderatamente cementato
	8	67	68	<b>3.70E-06</b>	conglomerato poligenico poco cementato
	9	75	76	<b>2.15E-06</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	10	89	90	<b>1.59E-06</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	11	94	95	<b>1.36E-06</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	12	104	105	<b>9.27E-07</b>	ghiaia eterometrica e ciottoli con sabbia medio-fine e matrice
S67	1	7.5	8	<b>3.41E-06</b>	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice
	2	14.5	15	<b>1.16E-05</b>	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa

**Tabella 3: Risultati delle prove idrauliche di tipo Lefranc realizzate nei sondaggi S65, S66 e S67.**

Durante le precedenti di progetto fasi di Revisione del PP e del PD, sono stati eseguiti 8 sondaggi geognostici con misurazione dei principali parametri idrogeologici, 4 durante la revisione del PP (S65, S66, S67 e S72) e 4 nell'ambito della revisione del PD ma solo nel novembre 2012 (S68, S68/2, S69 e S71). Sette di essi (S65, S66, S67, S68, S68/2, S69 e S71) sono ubicati nell'area dell'autoporto di Susa nel settore in cui saranno realizzate la maggior parte delle opere a cielo aperto connesse al progetto. In particolare:

- i sondaggi S65, S66 e S66 sono stati realizzati in corrispondenza della Stazione Internazionale di Susa;
- i sondaggi S68/2 e S68 in corrispondenza, rispettivamente, della spalla nord e sud del ponte sulla Dora;
- i sondaggi S69 e S71 in corrispondenza della Stazione di Sicurezza

Il sondaggio S72, al di fuori dell'autoporto, è stato realizzato in prossimità del cantiere dell'imbocco Traduerivi della galleria d'interconnessione.

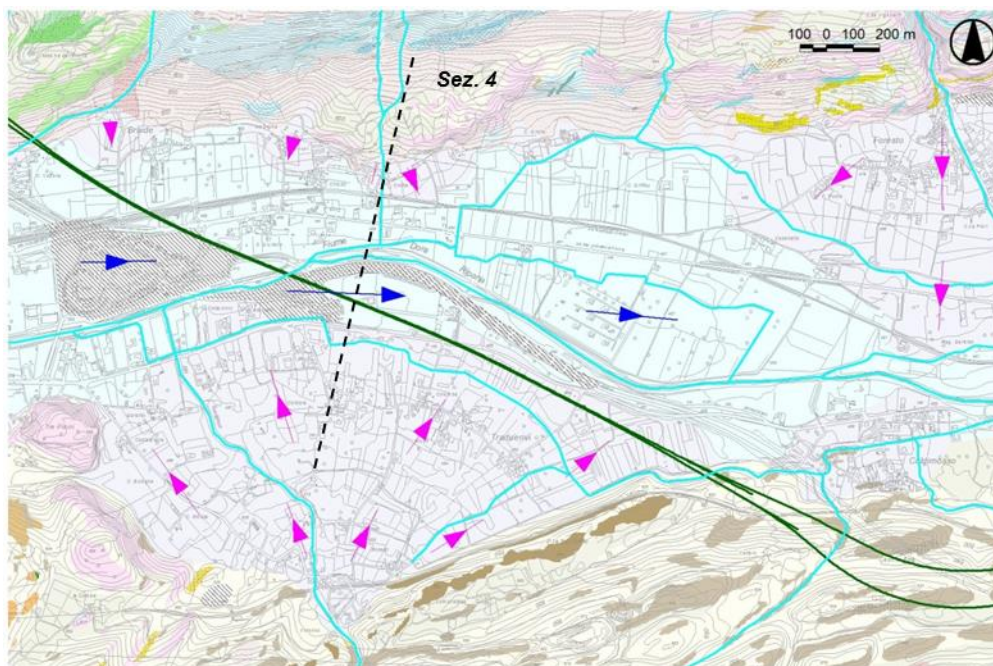
Nella stessa Piana di Susa è stata realizzata, inoltre, un'importante campagna di indagini geofisiche di tipo MASW per la determinazione dei parametri sismici (Vs30) dei terreni in corrispondenza delle opere principali.

Per quanto riguarda i sondaggi realizzati nel novembre 2012, nessuna ulteriore analisi dei dati è stata realizzata in questa fase di progetto; infatti, allo stato attuale si dispone di dati preliminari e incompleti. Essi saranno integrati nelle analisi che saranno eseguite nelle fasi di progetto successive.

I dati disponibili, quindi, permettono una ricostruzione fedele della stratigrafia dei terreni di fondazione delle opere non correnti in progetto e la loro caratterizzazione geotecnica e sismica. Nell'area di fondovalle è presente una falda libera con una soggiacenza media di

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

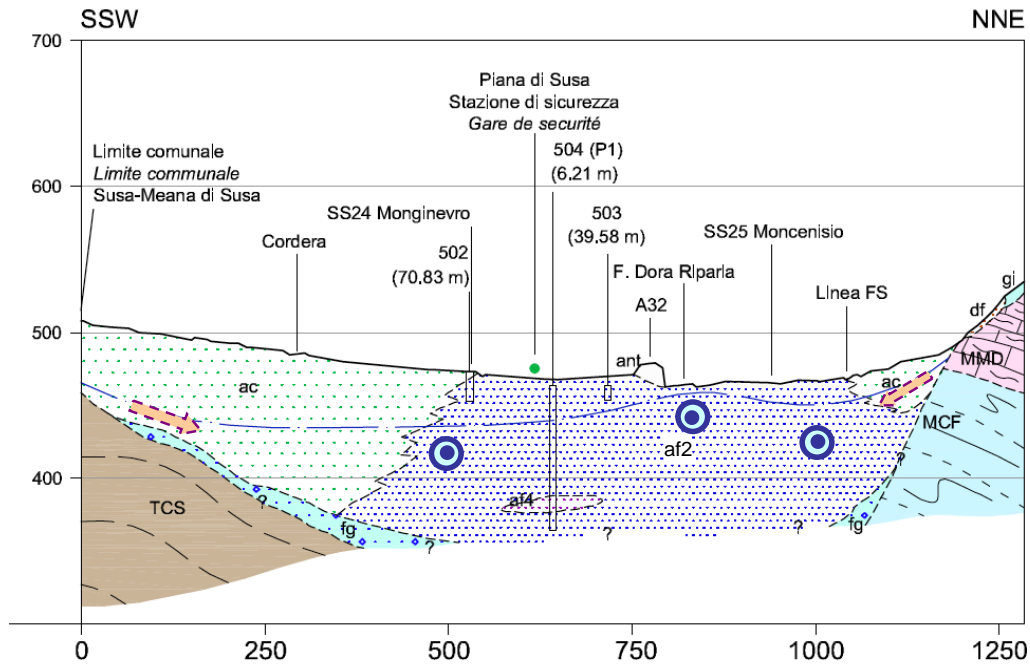
circa 30 m che appare alimentata sia dai corsi d'acqua laterali tributari della Dora Riparia e dalle acque provenienti dal versante, sia localmente dalla Dora Riparia stessa. È il caso delle alimentazioni provenienti dagli ampi conoidi che bordano il fondovalle (conoidi del rio Scaglione e del rio Giandula).



**Figura 7 : Linee di flusso che indicano i circuiti idrici principali riconoscibili nel settore della Piana di Susa. Le linee blu indicano la direzione di deflusso della falda di fondovalle. Le linee fucsia le linee di flusso associate ai flussi presenti nella vasta zona di conoide del rio Scaglione e degli altri conoidi laterali. La sezione idrogeologica indicata in figura con la dicitura Sez.4 è riportata in figura**

Le misure di soggiacenza della falda indicano che la direzione di deflusso coincide con l'asse vallivo principale. Come indicato in Figura 7 ed in Figura 8 sono ipotizzabili dei flussi provenienti dai conoidi laterali con direzione trasversale alla direzione di flusso della falda di fondovalle.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)



**Figura 8 : Sezione idrogeologica (Sez.4 di Figura 7). I cerchi blu con il punto centrale indicano flussi uscenti verso chi guarda la figura. Sono indicati con le frecce rosa i flussi trasversali all'asse vallivo e provenienti dai conoidi laterali.**

La complessa evoluzione quaternaria del settore di studio, ha contribuito all'eterogeneità verticale della sequenza stratigrafica caratterizzata dall'alternanza di livelli acquiferi prevalentemente sabbioso - limosi e sabbioso - ghiaiosi e livelli acquiclude limoso - argillosi.

In corrispondenza dello sbocco della Valle Cenischia nella Piana di Susa (Pietrastretta), la falda freatica è in equilibrio con il reticolo idrografico: i dati piezometrici indicano una soggiacenza generalmente di pochi metri e una probabile connessione diretta della falda superficiale con il Torrente Cenischia che avrebbe funzione alternativamente alimentante e drenante del deflusso idrico sotterraneo.

Spostandosi verso valle, le misure di soggiacenza indicano che la falda freatica dei depositi alluvionali di fondovalle della Dora Riparia è posta a profondità di circa 30 metri in corrispondenza del tracciato. Le misure sono realizzate periodicamente durante il monitoraggio dei piezometri localizzati nella stessa Piana di Susa (AST181, AST184 e AST684, Figura 7); di difficile interpretazione risulta quindi la determinazione del ruolo idrodinamico della Dora Riparia che, presumibilmente alimenta solo localmente la falda principale.

Nel settore di studio è quindi presumibile che l'alimentazione della falda freatica della Piana di Susa avvenga, oltre che dai versanti e dagli estesi conoidi alluvionali che raccordano i pendii con il fondovalle, anche dalla falda freatica della Val Cenischia che confluisce nel fondo vallivo principale della Valle di Susa in corrispondenza di Pietrastretta.

Si precisa che i dati stratigrafici profondi a disposizione nel settore di Susa (sondaggio S66) e di Venaus (sondaggi S19 e S20) evidenziano come la base dei depositi quaternari di riempimento del fondovalle si spinga oltre i 100 m di profondità testimoniando un'importante escavazione del fondo vallivo in roccia durante l'evoluzione glaciale.

Presupponendo una generale omogeneità del grado di permeabilità dei depositi di fondovalle, la differenza di quota della falda freatica tra la Val Cenischia e la Val di Susa (a Susa)

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

sembrerebbe influenzata soprattutto dalla chiusura a valle della Val Cenischia in corrispondenza di Pietrastretta (come si deduce anche dal toponimo) dove il basamento roccioso forma una sorta di soglia probabilmente incisa in forma di profonda forra durante l'evoluzione post-glaciale. In questo contesto la sezione di deflusso della falda di fondovalle del Cenischia verrebbe notevolmente ridotta di larghezza, determinando un innalzamento della superficie piezometrica, come testimoniato dalle letture piezometriche a monte del restringimento, in corrispondenza del sottoattraversamento del Cenischia da parte del tracciato del tunnel di base.

I depositi quaternari della Piana di Susa ricadono nel complesso idrogeologico *Q1 – Depositi alluvionali di fondovalle*. La realizzazione di ulteriori prove di permeabilità potrà fornire elementi di dettaglio rispetto alle caratteristiche idrodinamiche dei terreni attraversati. In particolare si verificherà l'opportunità di differenziare i depositi di fondovalle da quelli di conoide.

Dai dati di ultima acquisizione riguardanti la soggiacenza della falda (Figura 9), risulta che:

- la falda idrica ha il livello piezometrico posto tra le quote 430 e 445 m s.l.m. a poca distanza dalla Dora (punti di monitoraggio AST181, AST184 e AST684);
- la stratigrafia dei sondaggi presso i quali sono state effettuate le misure piezometriche è pressoché omogenea e costituita da ghiaie e sabbie con più o meno componente limosa; non è ipotizzabile pertanto la presenza di una falda idrica più superficiale di quella misurata se non isolate falde sospese minori;
- il F. Dora Riparia risulta perciò alimentante nei confronti della falda idrica oppure è sospeso rispetto ad essa;
- alla luce dei nuovi dati è confermato il modello concettuale illustrato sopra.

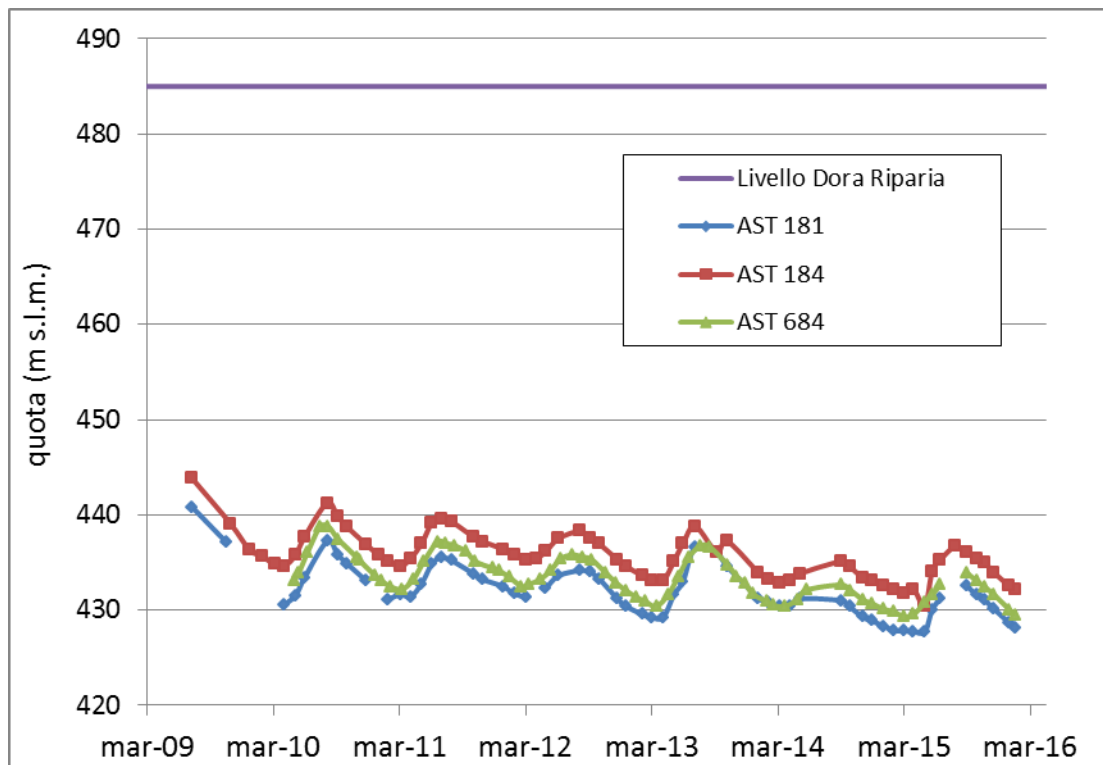


Figura 9 : Misure piezometriche realizzate nei punti di monitoraggio AST\_181, AST\_184 e AST\_684 tra agosto 2009 e febbraio 2016. È riportata altresì la quota del F. Dora Riparia in corrispondenza dei sondaggi.

### 2.3 Gallerie di Interconnessione

Le gallerie di interconnessione si sviluppano interamente in destra Dora con imbocco ovest localizzato in località Traduerivi (Com. di Susa) e imbocco est coincidente con l'imbocco di valle della galleria Tanze della linea ferroviaria Torino-Modane nel territorio comunale di Susa.

L'opera si compone di due gallerie di lunghezza compresa tra i circa 1850 metri del binario dispari e i circa 2150 metri del binario pari; i due tracciati è caratterizzato da posizione abbastanza parietale e le coperture massime dell'ordine di 160 – 170 metri sono registrate in corrispondenza della pk 0+800 del binario pari il cui tracciato è più interno al versante in modo da poter mantenere le pendenze utili e l'intersezione con le opere sotterranee già esistenti, le canne della galleria autostradale Prapontin e la galleria ferroviaria Tanze quelle di futura realizzazione, le canne del tunnel dell'Orsiera. Entrambe le canne sottopassano la galleria Prapontin mentre la canna pari sottopassa la galleria Prapontin ma è prevista a quota superiore di circa 10 metri rispetto al futuro tunnel dell'Orsiera. L'intersezione tra le due opere è prevista tra la pk 0+864 e 1+007 della canna pari della galleria d'Interconnessione.

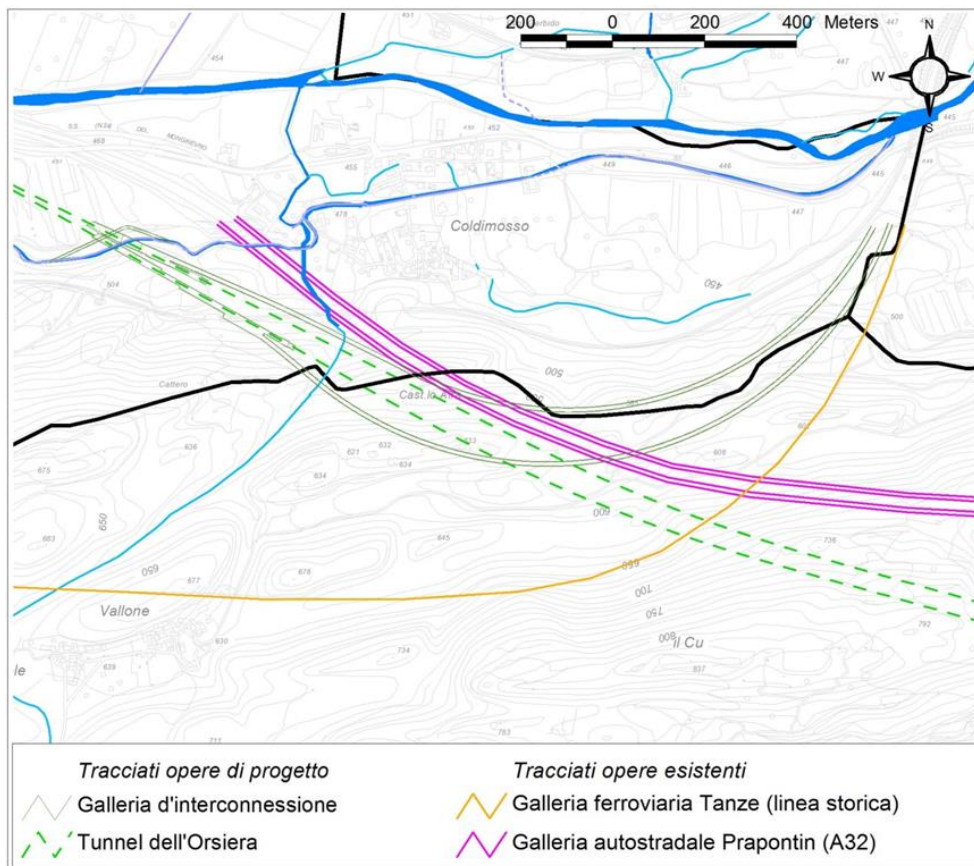


Figura 10 : Stralcio cartografico con indicazione dei tracciati delle opere di progetto e quelle esistenti

Dal punto di vista idrogeologico, le gallerie di interconnessione saranno realizzate quindi in un contesto idrodinamico già perturbato e drenato dalle opere esistenti. Nella fase di realizzazione della galleria d'interconnessione, quindi, essa costituirà l'elemento di drenaggio posto a quota inferiore dell'acquifero in roccia di questo settore del versante. Nella fase successiva con la realizzazione del Tunnel dell'Orsiera, i flussi drenati dalla galleria d'Interconnessione saranno potenzialmente drenati verso il tracciato dell'opera principale.

I carichi idraulici massimi attesi durante lo scavo delle gallerie d'interconnessione, quindi, saranno compresi ipoteticamente tra 5 e 10 bar considerando che la galleria Prapontin si trova a una quota di circa 40-50 metri al di sopra. E comunque ipotizzabile che, data la scarsa permeabilità del massiccio, la superficie piezometrica, seppur perturbata, non sia stata abbattuta fino alla quota della galleria esistente (vedi § 2.3.1).

Il tracciato delle gallerie d'Interconnessione si sviluppa completamente all'interno delle unità di copertura mesozoica del Massiccio Dora Maira. In particolare, i primi 300 metri circa dell'imbocco lato Traduerivi attraversano i paragneiss leucocratici e quarziti intercalati all'interno dei calcemicascisti dell'Unità Meana – M.te Muretto. Entrambi i litotipi sono stati inseriti nel complesso idrogeologico degli scisti e calcemicascisti (CI 6b) il cui grado di permeabilità per fratturazione è di grado basso e medio basso. In questo settore, non sono presenti sondaggi e misure dirette della permeabilità dell'ammasso roccioso. Per tale motivo, la definizione del grado di permeabilità è stata realizzata utilizzando i dati ottenuti dai sondaggi realizzati in formazioni sempre afferenti alle coperture del Massiccio Dora Maira (calcescisti, micascisti e scisti filladici) ma presenti sul versante sinistro di questa porzione della Valle di Susa. Si tratta dei sondaggi S8, S9, S12, S24 e S25.

I valori di permeabilità ottenuti dalle prove in foro restituiscono una permeabilità tra  $1E-9$  e  $1E-6$  m/s in relazione al grado di fratturazione dell'ammasso. In condizioni standard di fratturazione dell'ammasso, il valore di permeabilità caratteristico è di circa  $4E-8$  m/s.

I depositi quaternari delle zone d'imbocco si presentano estremamente eterogenei, sia da un punto di vista stratigrafico che idrogeologico. Questi sono inseriti all'interno dei complessi idrogeologici Q1 e Q3 a seconda che si tratti di depositi alluvionali o di depositi lacustri rispettivamente con grado di permeabilità di grado alto e basso. L'assetto stratigrafico delle aree di pianura è stato dedotto dai dati dei sondaggi S72 (imbocco Coldimosso) e S87 (Interconnessione Chiusa S. Michele).

Anche se non sono state rilevate in superficie porzioni di ammasso particolarmente fratturato, potenziali circolazioni idriche potranno verificarsi principalmente lungo le zone a maggior fratturazione associate alle strutture fragili anche minori che caratterizzano il versante. In particolare, lineamenti anche regionali sono stati osservati tramite analisi remote sensing e con direzione circa NNE – SSO e ENE – OSO ; lungo tali direttrici si è impostato il reticolo idrografico del versante (Rio Corrente e Rio Gerardo) e le forme di erosione glaciale che caratterizzano anche il settore di imbocco di Traduerivi.

Tali strutture, inoltre, possono essere in contatto idraulico con le vaste porzioni di versante interessate da DGPV che ne rappresentano le potenziali aree di alimentazione.

### **2.3.1 Ritorno d'esperienza della galleria autostradale Prapontin**

Lungo le canne della galleria autostradale Prapontin le venute d'acqua sono concentrate nel settore d'imbocco lato Susa (Traduerivi) all'interno dei depositi di conoide del Rio Corrente dove si registrano venute comprese tra 0.5 e 1.5 l/s (dati forniti da SITAF). Nel tratto scavato all'interno del Massiccio Dora Maira, la galleria presenta una sostanziale assenza di venute d'acqua e si registrano solamente stillicidi confermando bassa permeabilità del massiccio. Tuttavia, si osservano 2 venute puntuali in corrispondenza di settori di fratturazione e con portate stabilizzate tra 0.5 e 3.5 l/s. Tali portate sono registrate in un settore più a est compreso tra circa 500 e 1000 metri di distanza rispetto al punto in cui le canne della galleria d'interconnessione sottopassano le canne della Prapontin.

### 3. Valutazione delle venute d'acqua

#### 3.1 Approccio metodologico adottato per il Progetto Definitivo

In bibliografia sono presenti diverse soluzioni analitiche per la valutazione delle venute d'acqua in galleria. Queste equazioni si distinguono in due gruppi principali: i) quelle che restituiscono le portate stabilizzate ovvero a distanza di tempo dal termine degli scavi quando il sistema idrogeologico ha raggiunto uno stato di equilibrio, e ii) quelle che forniscono portate transitorie ovvero a breve distanza di tempo dall'inizio degli scavi in condizioni idrogeologiche non in equilibrio e di depressurizzazione del massiccio in corso.

In questa fase progettuale, le portate stabilizzate sono state valutate utilizzando un nuovo approccio metodologico rispetto all'APR e al PP2, che permette di considerare il decremento delle venute transitorie verso il regime permanente in funzione delle caratteristiche meccaniche delle rocce a quota tunnel. Tale approccio è stato sviluppato recentemente ed è stato pubblicato recentemente su un numero di RMRE (Rock Mechanics and Rock Engineering) <sup>1</sup>

Come altri approcci, anche in questo caso, la soluzione analitica alla base dello sviluppo del metodo è quella proposta da Goodman et al. (1965)<sup>2</sup>:

$$Q_i = \frac{2\pi K_i H_0}{\ln\left(\frac{2H_0}{r_0}\right)} L_i$$

dove  $Q_i$  è la portata drenata dal tratto  $i$  di tunnel,  $K_i$  è la conducibilità idraulica del tratto  $i$  di tunnel,  $H_0$  è il carico idraulico alla quota del tunnel e  $r_0$  è il raggio del tunnel. La portata globale drenata dal tunnel in regime permanente sarà pari alla sommatoria delle portate drenate da ogni tratto di tunnel con caratteristiche idrogeologicamente omogenee.

Tuttavia non è facile determinare le condizioni di equilibrio idrodinamico degli acquiferi attraversati durante lo scavo delle gallerie e la loro stabilizzazione a lungo termine.

Perrochet e Dematteis (2007) hanno proposto una soluzione analitica capace di simulare la portata transitoria  $Q(t)$  drenata durante lo scavo in un contesto idrogeologico eterogeneo. Di seguito è presentata la soluzione analitica nella sua forma non integrata:

$$Q(t) = 2\pi \sum_{i=1}^N H(t - t_i) \times \int_0^{v_i(t-t_i)} \frac{K_i s_i H(L_i - x)}{\ln \left[ 1 + \sqrt{\frac{\pi K_i}{S_i r_i^2} \left( t - t_i - \frac{x}{v_i} \right)} \right]} dx$$

Dove per ogni tratta di scavo  $i$ ,  $t$  è il tempo,  $t_i$  è il tempo al momento di inizio scavo della tratta  $i$ ,  $H(u)$  è la funzione di Heavyside,  $v_i$  è la velocità d'avanzamento dello scavo,  $s_i$  l'abbassamento della falda in asse al tunnel,  $L_i$  la lunghezza della tratta  $i$ ,  $x$  è la coordinata

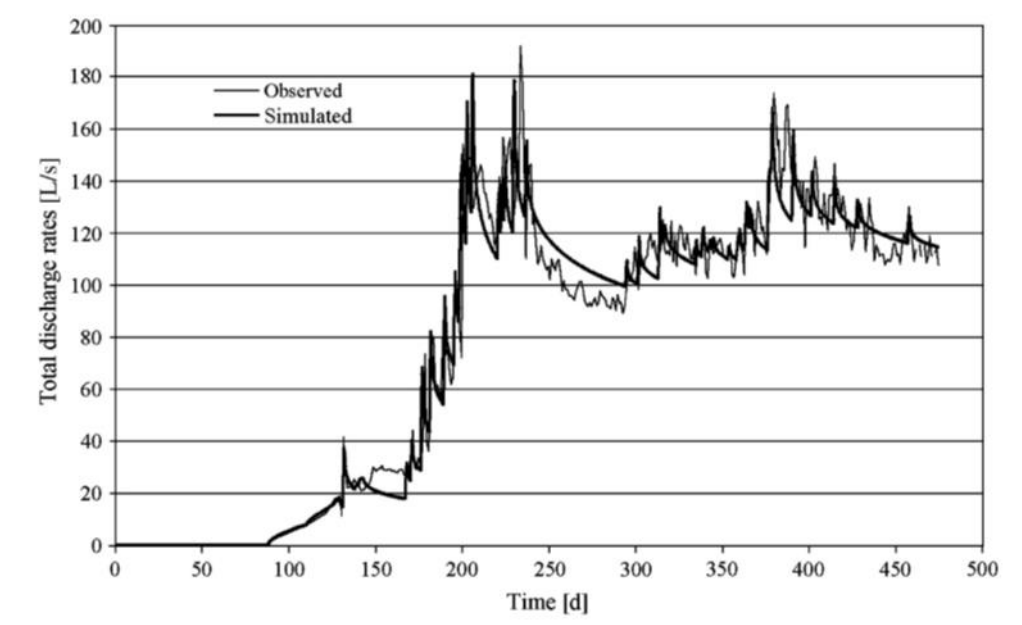
<sup>1</sup> Preisig g., Dematteis A., Torri R., Monin N., Perrochet P: Modelling Discharge Rates and Ground Settlement Induced by Tunnel Excavation. Rock Mechanics and Rock Engineering., Volume 47, Issue 3, pp 869–884 (May 2014).

<sup>2</sup> Goodman, R., Moye, D., Van Schaikwyk, A., I., J.: Ground water inflows during tunnel driving. Bulletin of the International Association of Engineering Geologists 2(1), 39–56 (1965).



spaziale lungo l'asse del tunnel con origine all'inizio dello scavo,  $S_i$  è il coefficiente d'immagazzinamento specifico e  $N$  è il numero di tratte.

La validità di questa formula è stata testata attraverso la modellizzazione delle portate transitorie drenate dalla discenderia di Modane – Villarodin - Bourget (Figura 11).



**Figura 11 : Simulazione dettagliata (180 tratte) della portata transitoria durante lo scavo della discenderia di Modane – Villarodin – Bourget utilizzando la soluzione analitica proposta da Perrochet e Dematteis (2007). La linea continua sottile rappresenta le portate misurate quella spessa le portate simulate.**

Il risultato ottenuto dalla retro-analisi, sebbene dimostri un'ottima corrispondenza con i dati registrati è poi difficilmente replicabile alla scala dell'opera in progetto, perché necessita di troppi parametri da calibrare. Tuttavia si dimostra in maniera chiara che le soluzioni analitiche di uso corrente forniscono, generalmente, una sovrastima delle portate attese in regime stabilizzato. Questo, soprattutto, in conseguenza del fatto che esse non tengono in considerazione l'effetto della variazione delle pressioni effettive generata dal drenaggio degli acquiferi sui parametri idrogeologici e in particolare sulla permeabilità.

L'apertura delle fratture e la permeabilità del massiccio roccioso tendono a diminuire con l'aumentare delle pressioni effettive. La legge di Terzaghi (1923)<sup>3</sup> mostra che le pressioni effettive  $\sigma'$  aumentano per due ragioni: i) per l'aumento delle pressioni totali  $\sigma$ , ii) a causa della diminuzione della pressione d'acqua  $p$  (interstiziale)

$$\sigma' = \sigma - p$$

Nell'ambito delle valutazioni idrogeologiche connesse allo scavo dei tunnel profondi, la riduzione di permeabilità dell'ammasso roccioso e delle portate drenate è determinata da:

<sup>3</sup> Terzaghi, K.: Die berechnung der durchlässigkeitziffer des tones aus dem verlauf der hydrodynamischen spannungerscheinungen. Akad Wissensch Wien Sitzungsber Mathnaturwissensch Klasse IIa 142(3-4), 125-138 (1923).

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

- l'aumento dello sforzo totale  $\sigma$  e dello sforzo efficace  $\sigma'$  con l'aumento della profondità dell'opera (in corrispondenza di faglie, strutture verticali e di sforzi eterogenei ed anisotropi questo non è sempre vero);
- la diminuzione della pressione dell'acqua  $p$  seguente al drenaggio operato dalla galleria.

Questi effetti non possono essere introdotti nelle formule analitiche per il calcolo della portata poiché la riduzione della permeabilità è differente in ogni punto dell'ammasso roccioso. Nonostante ciò, la portata calcolata con un metodo analitico  $Q_0$  può essere moltiplicata per un fattore riduttivo  $\alpha$  che tiene conto dell'effetto della diminuzione di pressione dell'acqua sulla permeabilità, per ottenere la portata ridotta in funzione di essa:

$$Q_{rid} = Q_0 \alpha$$

A partire dalla legge di Louis (1969)<sup>4</sup>:

$$K(h) = K_0 e^{-3b(h_0-h)}$$

Perrochet ha sviluppato il seguente fattore di riduzione analitico:

$$\alpha = \frac{Q_{rid}}{Q_0} = \frac{1 - e^{-3b(h_0-h)}}{3b(h_0 - h)}$$

dove  $K(h)$  è la conducibilità idraulica in funzione del potenziale di pressione  $h$ ,  $K_0$  è la conducibilità idraulica quando il potenziale di pressione  $h$  corrisponde al potenziale iniziale  $h_0$  e  $b$  è un parametro che descrive la resistenza elastica delle fratture allo schiacciamento (per valori tipici di porosità ed elasticità di una roccia fratturata  $b = 0.001 \text{ m}^{-1}$ ).

L'equazione di Perrochet, basata sulla legge di Louis, tiene però conto della sola diminuzione di pressione dell'acqua e trascura l'effetto dello sforzo totale.

La formula seguente, derivata da simulazioni numeriche, prende in considerazione la dipendenza della conducibilità idraulica dallo sforzo efficace:

$$K(\sigma') = K_0 \left[ 1 - \left( \frac{\sigma'}{\sigma'_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right]^3$$

dove  $K_0$  è la conducibilità idraulica quando lo sforzo efficace  $\sigma'$  è nullo,  $\sigma'_0$  è lo sforzo efficace necessario alla chiusura delle fratture ed  $n$  è un parametro che caratterizza le fratture.

Nella Figura 12  $\lambda$  è il rapporto tra gli sforzi principali  $\lambda = \sigma_h / \sigma_v$  dove  $\sigma_h$  è lo sforzo orizzontale e  $\sigma_v$  è quello verticale.

In un mezzo elastico ed in assenza di sforzi tettonici, topografici o dovuti alla storia erosionale e/o glaciale del massiccio roccioso, lo sforzo orizzontale  $\sigma_h$  risulta dalla deformazione dell'ammasso sotto l'effetto dello sforzo verticale  $\sigma_v$  e del coefficiente di

<sup>4</sup> Louis, C.: A study of groundwater flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses. Tech. Rep. 9, Rock Mechanics, Imperial College, London, UK (1969).

Poisson  $\nu$ . In questo caso  $\lambda$  si calcola direttamente a partire dal coefficiente di Poisson:  
 $\lambda = \nu / (1 - \nu)$ .

Sotto l'effetto del coefficiente di Poisson, la pressione dell'acqua  $p$  dentro una faglia verticale completamente satura può compensare e perfino superare lo stress orizzontale di chiusura  $\sigma_h = p$ ;  $\sigma_h = \rho_r g Z \lambda$ ;  $p = \rho_w g h$

dove  $\rho_r$  è la densità della roccia sana,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $Z$  è la profondità,  $\rho_w$  è la densità dell'acqua e  $h$  il potenziale di pressione.

Per questa ragione una faglia verticale può essere aperta e permeabile anche a grandi profondità e la riduzione di permeabilità sarà quindi meno marcata rispetto ad una faglia suborizzontale in cui l'effetto di chiusura è massimo. Se la roccia è incompressibile, lo sforzo verticale non genera sforzi orizzontali. In questo caso  $\lambda$  tende a zero e implica un fattore di riduzione della permeabilità nullo per le faglie verticali.

Se l'ammasso roccioso è sottoposto a stress tettonici compressivi o ha subito erosione o ritiro glaciale il coefficiente  $\lambda$  può essere maggiore di 1 inducendo una forte riduzione della permeabilità.

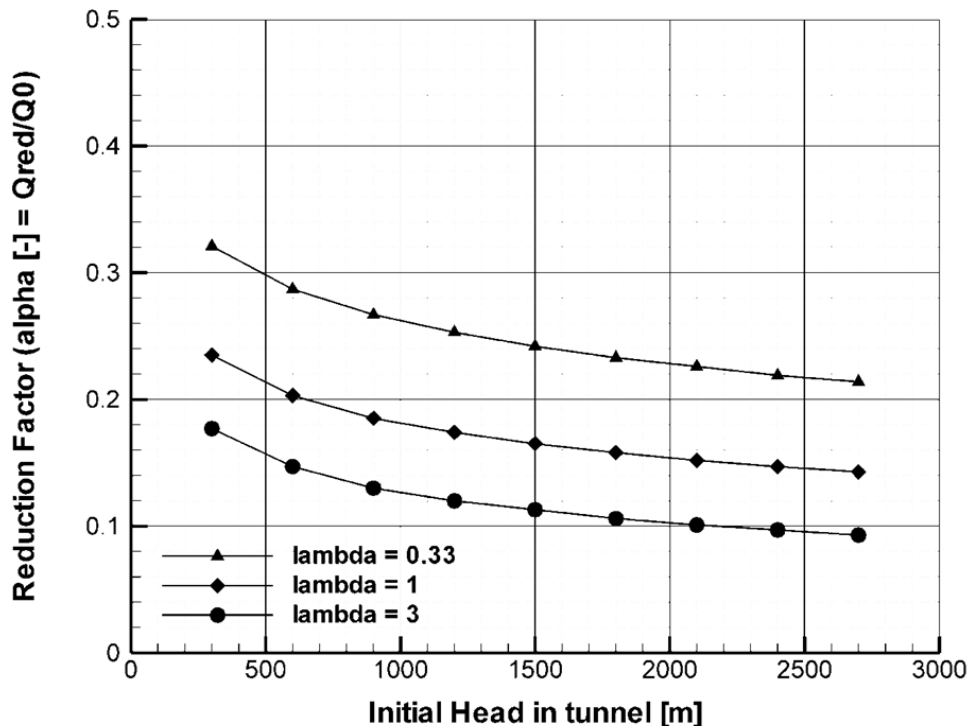


Figura 12 : Variazione del fattore di riduzione  $\alpha$  al variare del carico idraulico e per diversi valori di  $\lambda$ .

### 3.1.1.1 Utilizzazione e limiti del fattore di riduzione della permeabilità

La dipendenza della permeabilità di un mezzo fratturato dallo sforzo effettivo è un fenomeno fisico presente già nei primi metri del sottosuolo. A bassa profondità questo effetto è trascurabile mentre a profondità più elevate e pressioni maggiori l'effetto sulla conducibilità idraulica e sulle portate drenate dalla galleria è via via più grande. In un massiccio roccioso fratturato questo fenomeno deve essere tenuto in conto a partire dalla zona di decompressione del massiccio che si trova di norma tra 100 e 300 m di profondità.

### 3.1.2 Calcolo dei cedimenti dovuti al drenaggio

La chiusura delle fratture dovuta al drenaggio ed alla conseguente diminuzione della pressione dell'acqua in esse comporta la consolidazione dell'acquifero e l'abbassamento della superficie topografica. L'entità del cedimento è funzione dell'abbassamento della superficie piezometrica e della compressibilità dell'ammasso roccioso.

In una situazione di ammasso omogeneo ed isotropo il cedimento avviene con la formazione di una depressione lineare lungo l'asse del tunnel, confrontabile con la forma dell'abbassamento della superficie piezometrica. In ammassi rocciosi fratturati l'entità dei cedimenti è dell'ordine della decina di centimetri e nel caso in cui il tunnel coinvolga falde ospitate in depositi quaternari superficiali i cedimenti possono essere maggiori.

L'equazione più semplice che permette di calcolare la consolidazione di un acquifero è quella di Jacob (1940, 1950):

$$\Delta V = C_v \Delta s e$$

dove  $V$  è il cedimento (variazione dello spessore dell'acquifero),  $C_v$  è la compressibilità dell'acquifero:  $C_v = \rho_w g / E_s$  ( $\rho_w$ : densità dell'acqua;  $g$ : gravità;  $E_s$ : elasticità dell'acquifero),  $\Delta s$  è l'abbassamento ed  $e$  è lo spessore dell'acquifero.

Le ipotesi principali per la validità dell'equazione sono: l'acquifero si deforma in modo elastico e la deformazione è principalmente verticale e quella orizzontale è trascurabile. Queste due ipotesi sono accettabili per ammassi rocciosi fratturati poiché, approssimativamente, il rapporto tra la deformazione verticale e quella orizzontale è di circa 100 a 1.

### 3.2 Ripartizione delle venute d'acqua nelle due/tre canne

Coerentemente a quanto definito nell'ambito dell'APR 2006 e del PD2, la portata drenata da due canne poste ad una distanza costante di 40 metri l'una dall'altra è stata considerata pari a 30% in più rispetto al drenaggio di una singola canna.

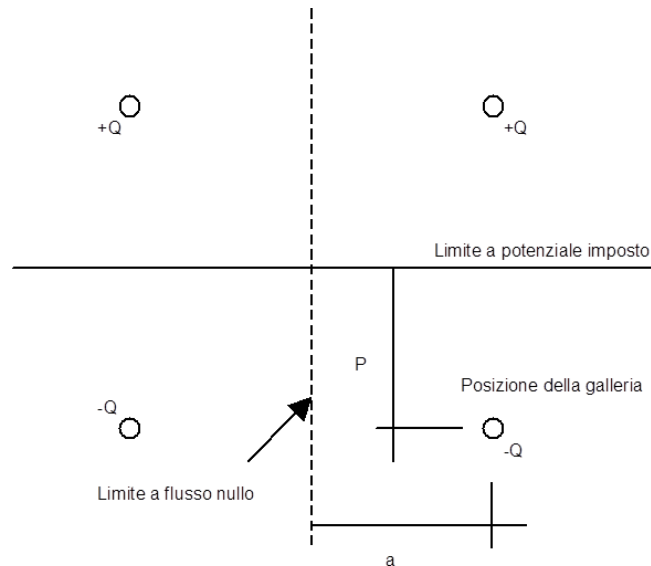
Tale assunzione è dimostrata analiticamente applicando il metodo dei pozzi immagine, due drenanti e due alimentanti, ciascuno sistemato in ognuno dei quattro quadranti come indicato in Figura 13.

La soluzione adottata prevede un mezzo omogeneo, bidimensionale, semi-infinito con limite superiore a carico costante posto sopra la galleria e limitato lateralmente (a sinistra) da un limite a flusso nullo ovvero impermeabile. Al fine di simulare la presenza di questi due limiti (superiore e laterale) è necessario prevedere la presenza di quattro pozzi immagine.

Il metodo, se pur utile a fornire gli ordini di grandezza degli incrementi di portata, rappresenta comunque un'estrema semplificazione delle condizioni idrogeologiche messe in evidenza nei settori di studio. Infatti, le geometrie degli acquiferi nella realtà risultano ben più complesse di quelle tenute in conto per la messa a punto della soluzione analitica (i.e. eterogeneità e anisotropia delle condizioni idrodinamiche, limiti geometrici dei sistemi di flusso, limiti delle aree di ricarica, etc).

Il metodo prevede quindi due tunnel che si trovano alla stessa quota e con raggio identico. Questo determina una semplificazione del sistema che risulta però poco influente ai fini del calcolo effettuato. Infatti queste differenze (dell'ordine del metro o di qualche metro) risultano trascurabili se paragonate a carichi idraulici generalmente assunti pari a qualche centinaio di metri e talvolta a mille metri come nel caso del tunnel di base.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)



**Figura 13 : Schema semplificato della geometria in sezione verticale trasversale ai tracciati dei tunnel utilizzato per il calcolo delle portate drenate da due tunnel. Con  $-Q$  sono indicati i tunnel (pozzi) drenanti, con  $+Q$  i tunnel (pozzi) alimentanti**

Il limite a flusso nullo introdotto nell'elaborazione non corrisponde a un limite dell'estensione dell'acquifero ma a un limite idraulico (partizione delle acque). Infatti, la presenza di due tunnel implica una simmetria delle linee di flusso da una parte e dall'altra della linea di partizione delle acque. È per questo principio che ci si è limitati a modellare metà del sistema e la soluzione è stata ottenuta tramite il metodo delle immagini.

Semplificando al massimo il sistema, quattro pozzi (tunnel) immagine sono stati utilizzati per riprodurre le condizioni ai limiti. La soluzione analitica adottata per il calcolo della portata drenata da ciascuna delle gallerie ( $Q$ ) è la seguente:

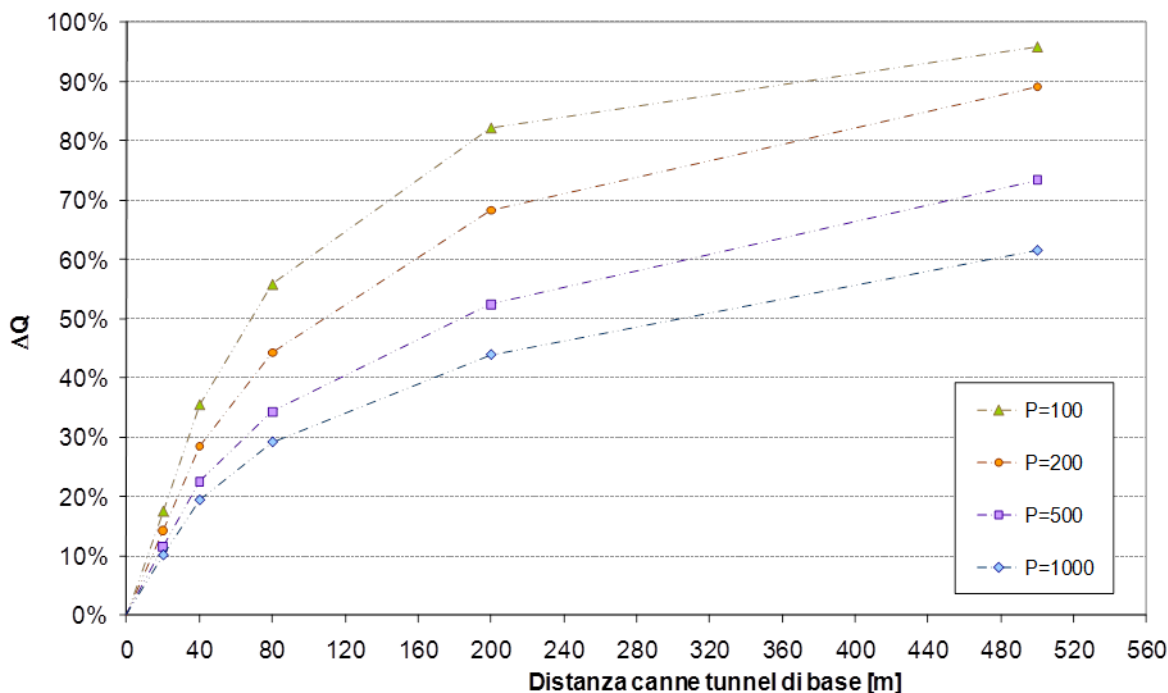
$$Q = \frac{4\pi TP}{\ln \left[ \frac{4P^2 + (2a - r)^2}{4a^2 - r^2} \right] + \ln \left[ \frac{(2P + r)^2}{r^2} \right]}$$

dove  $T$  è la trasmissività della sezione,  $P$  la distanza tra il tunnel e il limite a carico imposto, equiparabile al carico idraulico in asse alla galleria,  $r$  il raggio del tunnel e  $a$  la distanza tra il tunnel e il limite laterale sinistro ovvero la semi-distanza tra le due canne.

La portata drenata dall'insieme delle due canne sarà quindi uguale a  $2Q$  e influenzata dal carico idraulico oltre che dalla distanza tra le due canne del tunnel.

Nel grafico che segue è indicata la variazione percentuale tra la portata drenata da una sola canna e da due canne ( $\Delta Q$ ) per distanze differenti tra le due canne e per condizioni di carico idraulico crescente. Gli scenari presentati sono stati calcolati considerando una permeabilità media equivalente dell'acquifero pari a  $1^E-8$  m/s ovvero caratteristico per il contesto idrogeologico in cui saranno realizzate le opere sotterranee di progetto.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)



**Figura 14 : Schema semplificato della geometria in sezione verticale trasversale ai tracciati dei tunnel utilizzato per il calcolo delle portate drenate da due tunnel. Con -Q sono indicati i tunnel (pozzi) drenanti, con +Q i tunnel (pozzi) alimentanti**

Come si nota dal grafico della Figura 14, il valore considerato per un incremento di portata pari al 30% corrisponde al caso di due canne distanti 40 metri e un carico idraulico di circa 200 metri. Tale configurazione è rappresentativa del tunnel di base e comunque cautelativa se si considerano carichi idraulici maggiori.

La soluzione analitica, applicata a configurazioni particolari in cui alcuni termini tendono verso valori estremi (p.es. tunnel a contatto, distanza tra i tunnel molto elevata), restituisce risultati comparabili a quelli che si otterrebbero con altre soluzioni analitiche come quella utilizzata per il calcolo delle portate di una sola canna e presentata al § 3.1. I valori ottenuti presentano un'ottima approssimazione con uno scarto dello 0,1%.

L'applicazione del metodo permette, variando la distanza dei tunnel, di rappresentare la variazione delle portate totali in funzione della distanza tra le due gallerie e di ottenere il fattore d'incremento delle portate dovuto alla presenza dei due tunnel affiancati ma anche a distanza variabile come nel caso delle gallerie d'interconnessione.

Il metodo utilizzato fornisce quindi dei valori di massima utili a fornire delle stime delle portate drenate. Va comunque rimarcato che tali stime possono avere un grado d'incertezza elevato e i valori ottenuti devono essere presi come indicativi dell'ordine di grandezza delle portate drenate.

Nel caso del tratto in cui il cunicolo esplorativo si trova in posizione baricentrica rispetto alle due canne del tunnel di base, l'incremento della portata drenata dalle tre canne rispetto alla portata di una sola galleria risulta compatibile con l'incremento considerato per due canne parallele.

Dal grafico che segue, è possibile verificare come la configurazione di progetto con un interasse tra le due canne del tunnel di base pari a 80 metri e il cunicolo esplorativo della

Maddalena in posizione baricentrica, corrisponde a un incremento che varia tra 35% e 41% se si considera un carico idraulico compreso tra 500 e 1000 metri.

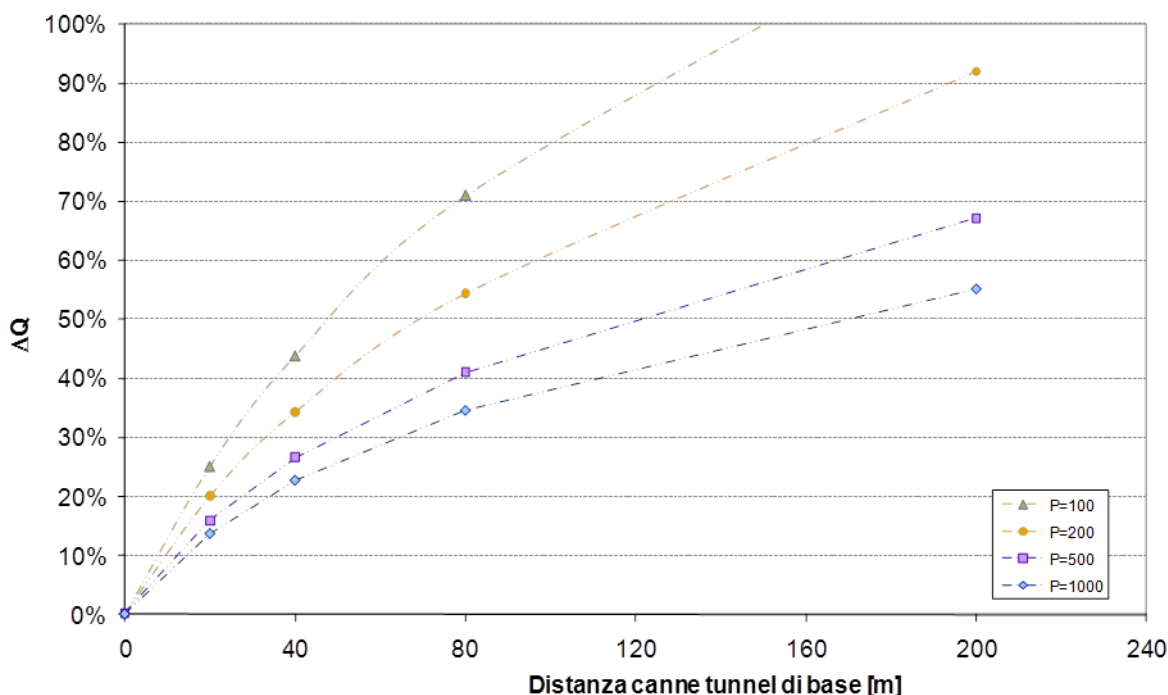


Figura 15 : Variazioni della portata (DQ) drenata da tre gallerie rispetto a quella drenata da una canna sola in funzione della distanza e del carico idraulico. I calcoli sono stati effettuati considerando una permeabilità pari a  $1E-8$  m/s.

#### 4. Acque drenate dal tunnel di base verso il portale di Susa (Lato Italia)

##### 4.1 Valutazione delle portate stabilizzate

L'approccio metodologico descritto è stato applicato considerando che le acque attese ai portali di S. Jean de Maurienne e Susa rappresentano il cumulo delle portate stabilizzate dal punto alto posizionato alla pk 34+170 circa in prossimità del piede della discenderia di Modane.

Il processo di valutazione delle portate stabilizzate drenate dalle opere sotterranee è stato portato a termine tramite l'analisi dei parametri idrogeologici e idrogeochimici ottenuti dalle prove in foro, dal monitoraggio dei punti acqua (sorgenti e piezometri) e dalle osservazioni realizzate nelle discenderie (St. Martin La Porte, La Praz, Villarodin-Bourget e Modane).

Per ultimo, la realizzazione del cunicolo esplorativo della Maddalena ha permesso di osservare, per la tratta di sovrapposizione con il Tunnel di Base (vedi Figura 1, pk 50-53 del TdB), le manifestazioni idriche nel massiccio d'Ambin.

I dati sono stati interpretati anche in funzione delle più recenti campagne di rilevamento geologico di terreno e valorizzando le conoscenze acquisite durante oltre che lo scavo delle discenderie sul lato francese anche delle opere sotterranee già realizzate in prossimità delle opere in progetto. Ci si riferisce alle gallerie della centrale idroelettrica di Pont Ventoux alle quali il tracciato del tunnel di base si sovrappone nel settore della Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus e per un tratto del Massiccio d'Ambin (tra le pk 52 e 56 circa) e alle gallerie autostradali di Mompantero e di Prapontin rispettivamente realizzate nel tratto d'imbocco del tunnel di base tra Mompantero e Susa e nel settore delle gallerie d'interconnessione.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Coerentemente a quanto realizzato nella precedente fase di revisione del PD2, i litotipi lungo il tracciato sono stati raggruppati in complessi idrogeologici. La definizione adottata nella fase di Progetto Definitivo Approvato (PD2) è stata mantenuta invariata.

Infine, le stime sono state calcolate considerando che il progetto della Nuova Linea Ferroviaria Torino - Lione si basa sul principio di minimizzare il drenaggio indotto dalle opere sotterranee sui circuiti idrici sotterranei. A questo scopo sono stati previsti gli interventi di trattamento e impermeabilizzazione full round per le tratte ove la pressione d'acqua a tergo del rivestimento superi i 10 bar di pressione rendendo nullo il drenaggio.

Questo per due ragioni principali:

- Minimizzare l'impatto sulla risorsa idrica sotterranea;
- Minimizzare le criticità legate alle venute d'acqua in galleria in corso di scavo e di esercizio della linea.

Nella figura seguente è indicata la tratta per la quale è previsto l'installazione di sistema di impermeabilizzazione full round (360°) del tunnel di base e della galleria d'interconnessione. In particolare, tale accorgimento è previsto per l'intera lunghezza delle due canne della galleria d'interconnessione e per la tratta del tunnel di base compresa tra l'imbocco di Susa e la pk 54+800 circa ovvero al contatto tra la Zona a Scaglie Tettoniche e le unità del Massiccio d'Ambin.

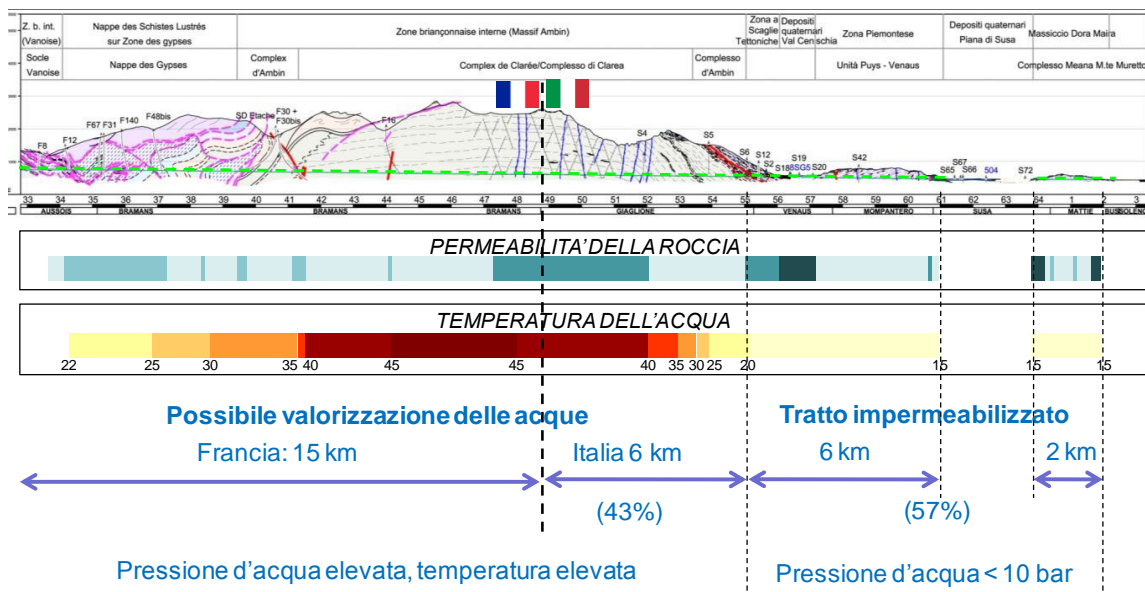


Figura 16 : Profilo idrogeologico con indicazione schematica delle tratte per le quali è prevista l'impermeabilizzazione full-round. Il grado di permeabilità e la temperatura dell'ammasso aumenta per colori più scuri.

Pertanto gli elementi seguenti sono stati definiti per procedere alla valutazione delle portate drenate tratta per tratta:

- definizione dei carichi idraulici in asse alle opere;
- individuazione delle tratte da impermeabilizzare;
- valutazione delle portate in regime stabilizzato per le tratte in cui il rivestimento delle opere sotterranee non prevede l'impermeabilizzazione (tratte a forti coperture). A tal fine, si è proceduto ad eseguire:
  - ✓ l'analisi delle portate specifiche misurate nelle discenderie francesi e nelle gallerie esistenti sul lato italiano del progetto (Pont Ventoux e A32);



Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

- ✓ la definizione delle portate puntuali connesse ai livelli di carniole in funzione delle osservazioni realizzate nella discenderia Modane e nelle gallerie di Pont Ventoux;
- ✓ la verifica del modello geotermico e idrogeochimico, sulla base delle misure nei sondaggi realizzati in territorio francese dopo l'APR, nelle discenderie francesi e per ultimo con i dati registrati durante lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena;
- ✓ la verifica dell'attribuzione dei litotipi nei complessi idrogeologici (CI) con comportamento idrodinamico omogeneo;
- ✓ la ridefinizione degli intervalli di variazione della permeabilità per ciascuno dei complessi idrogeologici definiti;
- ✓ la definizione per ogni complesso idrogeologico del parametro  $\alpha$  che permette di tenere in considerazione la resistenza elastica delle fratture alla schiacciamento ( $b$ ) e dunque alla diminuzione di permeabilità del massiccio con l'aumento degli sforzi effettivi;

Come detto in precedenza, i dati misurati tramite il monitoraggio del cunicolo esplorativo hanno sostituito quelli calcolati in precedenza (fase del Progetto Definitivo Approvato) nel calcolo del totale delle acque drenate e convogliate al portale Susa. I dati sono stati così utilizzati:

- i dati misurati con cadenza bimestrale nelle sezioni di monitoraggio lungo il cunicolo (portata, temperatura e conducibilità) sono stati utilizzati per quantificare la portata stabilizzata per 1 canna; le ultime due letture (maggio e luglio 2016) hanno sostanzialmente confermato la stabilizzazione delle portate, che sono state dunque considerate come dati massimi per una canna. Il valore minimo è stato assunto pari al 70% della portata misurata;
- la portata per due canne (scenario di min e max) è stata calcolata, applicando un fattore incrementale pari a 1.3 alle portate stabilizzate minime e massime per una canna (ref. § 3.2).

Comparando (Figura 17) le venute stabilizzate per le due canne della precedente fase di Progetto Definitivo Approvato, con quelle attualmente ricalcolate grazie alle osservazioni del cunicolo esplorativo, si osservano poche differenze, nella sostanza legate alla mancanza di portate potenzialmente maggiori a 10 l/s, come ipotizzato nel PD Apprv. alla pk 52.7 circa. Questo dato è una conferma della corretta interpretazione del modello geologico/geostrutturale alla base dello studio idrogeologico e dell'approccio analitico utilizzato per calcolare le venute d'acqua.

I dati raccolti hanno evidenziato come le manifestazioni idriche in galleria (tratta pk 50-53 ca.) sono tutte riconducibili a percolazioni diffuse, senza l'identificazione di strutture idrogeologiche con portata elevata. In definitiva, considerando la tratta a partire dalla pk 50+000 fino all'inizio della tratta impermeabilizzata full-round (54+800). La tabella seguente evidenzia la riduzione di incertezza ottenuta dall'osservazione dei dati di monitoraggio del cunicolo esplorativo della Maddalena.

<i>Tratta TdB 50+000 – 54+800</i>	<i>Intervallo portate stabilizzate min ÷ max (due canne)</i>
Previsioni PD Approv. (PD2)	17 ÷ 66 l/s
Previsioni ricalcolate PRV	34 ÷ 48 l/s

**Tabella 4.: Confronto delle previsioni di portata stabilizzata, Tunnel di Base settore pk 50+000 ÷ 54+800**

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

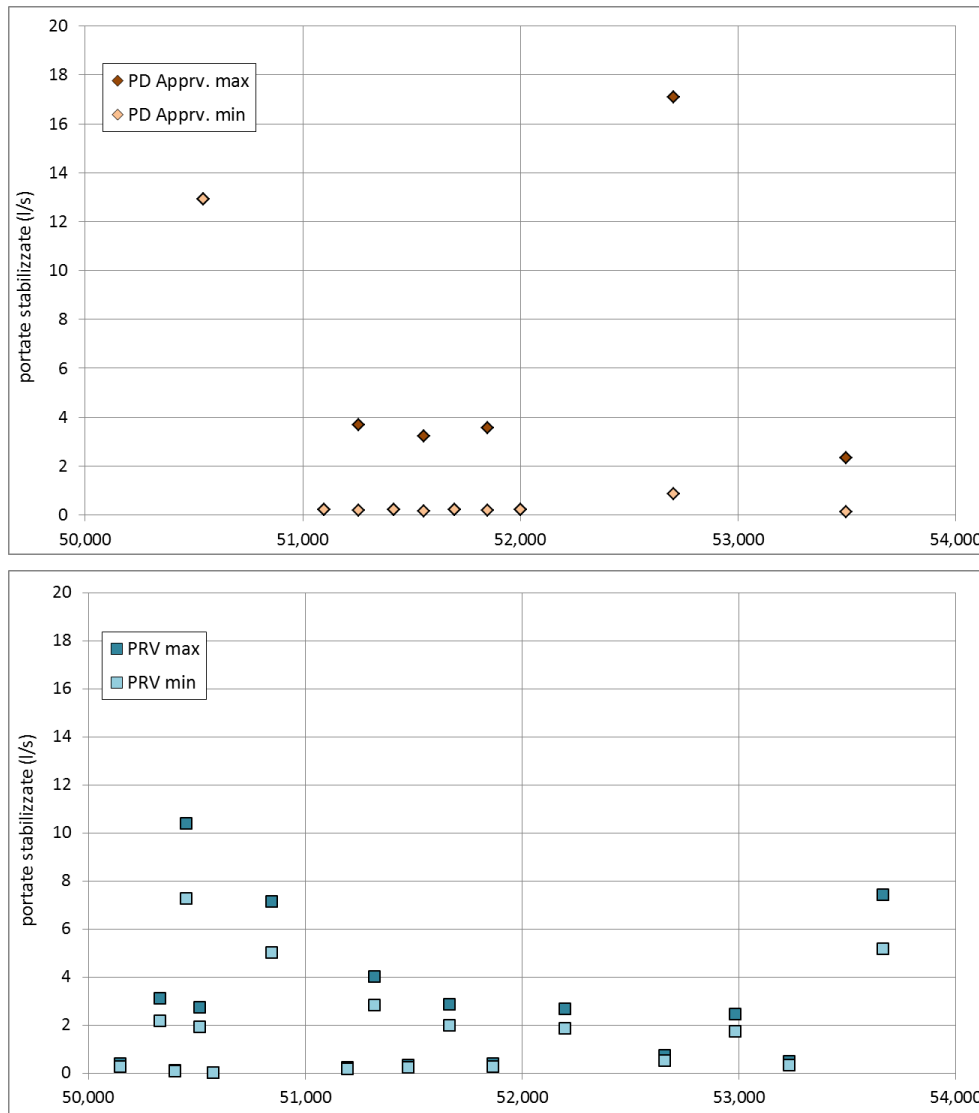


Figura 17 : Portate stabilizzate nel TdB tra pk 48 e 54. Sopra valori calcolati nel Progetto Definitivo Approvato, sotto i valori ricalcolati secondo le osservazioni fatte nel cunicolo esplorativo della Maddalena

#### 4.2 Valutazione delle temperature delle acque drenate

Per quel che riguarda la temperatura delle acque potenzialmente drenate dalle opere sotterranee, una temperatura specifica è stata attribuita ad ogni venuta coerentemente a quanto definito nel modello geotermico lungo il tracciato. La temperatura delle acque al portale è il risultato del bilancio di massa dell'insieme delle venute.

Sono state quindi separate le venute d'acqua con temperatura maggiore di 25°C per valutare la possibilità di valorizzare il calore delle acque per fini energetici. La temperatura di 25°C è, secondo le normative in vigore sia in Italia<sup>5</sup> che in Francia<sup>6</sup>, il valore limite perché le acque siano considerate potabili.

<sup>5</sup> D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 30/2009, Allegati 3 e 5.

<sup>6</sup> Arrêté du 11 janvier 2007, Annexe I, Partie II, Tableau B relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique3at6 ta35a

### 4.3 Dati riassuntivi

La tratta del tunnel di base che drena le acque verso il portale di Susa si sviluppa in parte in territorio francese. In particolare, a partire dal punto alto (pk 34+170) le acque intercettate durante e dopo lo scavo della Falda dei Gessi e del Massiccio d'Ambin saranno dirette verso l'Italia.

La definizione delle portate drenate dal tunnel di base lato Italia riguarda quindi circa 21 km circa dell'opera principale di cui 15 in territorio francese (dal punto alto al confine di Stato) e 6 in Italia (confine di Stato alla pk 54+800 circa). Inoltre, il sistema di evacuazione delle acque del tunnel di base sarà utilizzato per la gestione delle acque del cunicolo esplorativo e la galleria di Maddalena 2 a lei affiancata, nonché delle opere a loro connesse (connessioni 1 e 2).

Le portate totali cumulate attese al portale di Susa (compresi gli apporti delle opere secondarie), secondo quanto valutato in questa fase di progetto, dovrebbero essere comprese tra 246 e 437 l/s. come sintetizzato dalla tabella che segue:

	Portate stabilizzate al portale di Susa					
	Venute puntuali		Venute diffuse su 2 canne		Temperature delle acque	
	-		min	max	max	min
	l/s		l/s	l/s	°C	°C
Venute puntuali (A)	73		-	-	36	32
Venute diffuse (B)	-		147	312		
Portata al portale (somma A + B)			220	385		
Contributo delle opere accessorie (cunicolo esplorativo della Maddalena e Galleria Maddalena 2) (C)	28	50	-		20	25
Portata totale al portale (somma A+B+C) Le temperature al portale qui indicate risultano dalla media ponderata delle temperature drenate dal tunnel di base e delle gallerie della Maddalena	-		246	437	34	31

**Tabella 5 : Portate drenate dal tunnel di base e dalle gallerie della Maddalena.**

La tabella distingue l'apporto del Tunnel di Base e le opere accessorie, il cunicolo esplorativo e la galleria Maddalena 2, che permetterà di scavare il sito di sicurezza di Clarea e il Tunnel di Base fino al portale Susa.

Le due gallerie dell'area della Maddalena saranno, in fase definitiva, quasi totalmente impermeabilizzate full-round per lo stoccaggio delle pietre verdi provenienti dallo scavo e dunque, in quelle tratte non si prevedono infiltrazioni di acqua che andranno ad aumentare la portata totale afferente al portale Susa. Nel dettaglio si prevede:

- cunicolo esplorativo: impermeabilizzazione *full-round* per la tratta dalla pk 2+220 fino al termine (pk 7+021). Drenante tra la pk 1+550 e pk 2+220 e relativa connessione 1 al Tunnel di Base.;

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

- galleria Maddalena 2: impermeabilizzazione *full-round* nella curva di raccordo al TdB dalla pk 2+144 (Maddalena) a 53+500 (pk TdB). Drenante tra portale Maddalena e pk 2+035 e connessione 2.

Lo schema di Figura 18 illustra lo schema di drenaggio in fase di esercizio con le tratte impermeabilizzate per lo stoccaggio delle pietre verdi.

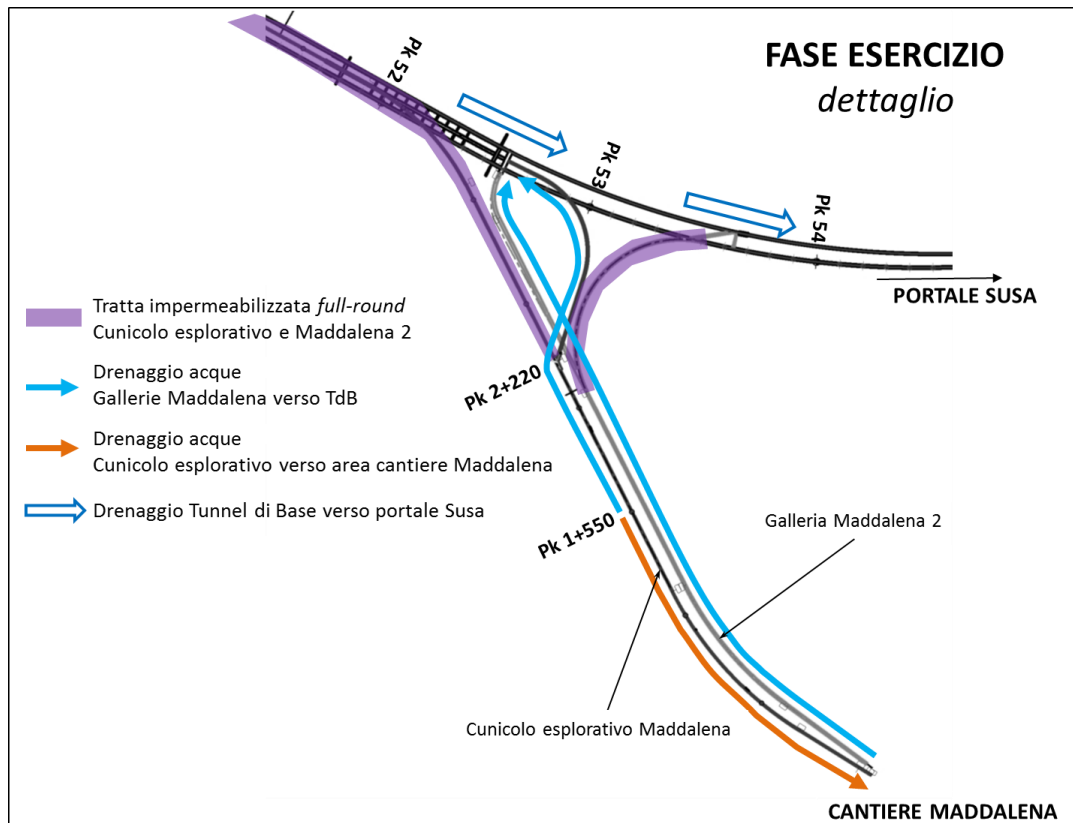


Figura 18 : Schema dei contributi delle opere connesse al TdB con direzione del drenaggio.

Gli apporti del cunicolo esplorativo sono stati calcolati utilizzando gli ultimi dati del monitoraggio bimestrale (luglio 2016), che confermano una sostanziale stabilizzazione delle portate, dividendo secondo lo schema di drenaggio gli apporti al cantiere Maddalena e quelli al TdB.

Le portate della Maddalena 2 e relative connessioni sono state valutate tenendo conto dell'effetto drenante già instaurato dal cunicolo assunte pari al 70% delle portate misurate. Occorre evidenziare che la tratta dei primi 600m circa per entrambe le gallerie (vedi grafico di Figura 20), data la ridotta copertura, è quella che maggiormente influisce sulla portata complessiva delle opere.

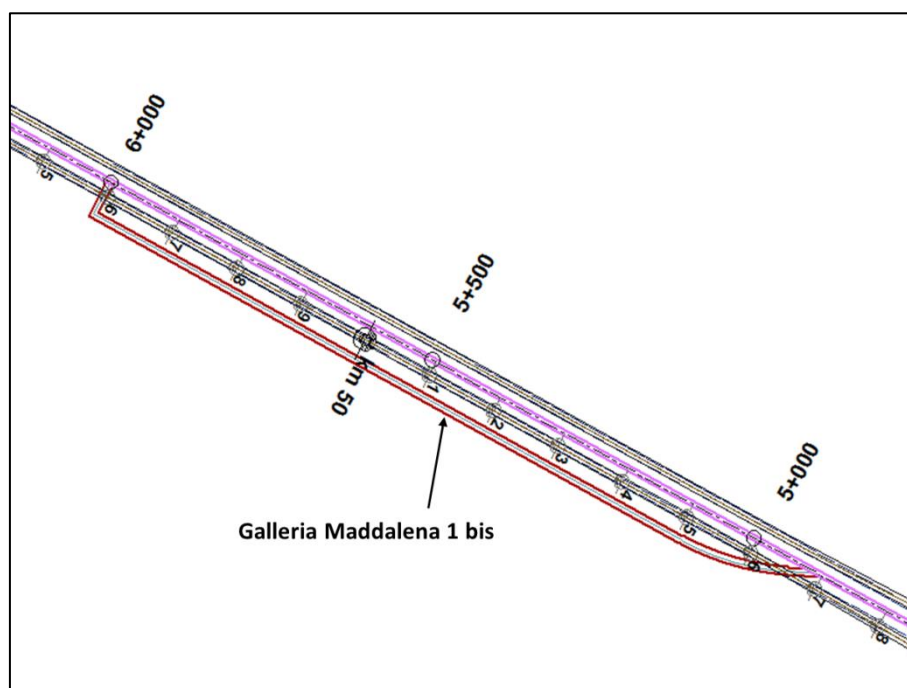
La tabella seguente riassume i dati relativi agli apporti stabilizzati calcolati per le opere accessorie dell'area della Maddalena, sulla scorta delle osservazioni fatte nello scavo del cunicolo (aggiornamento ai dati di agosto 2016).

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Opera	Q (l/s)	T (°C)
Cunicolo esplorativo Maddalena 1 – connessione 1 al TdB	7 ÷ 15	24 ÷ 26
Galleria Maddalena 2 – connessione 2 al TdB	21 ÷ 35	19 ÷ 21
Portata totale	28 ÷ 50	

**Tabella 6: Contributi in termini di portate e temperatura delle acque delle gallerie della Maddalena e relative connessioni al TdB.**

Per quanto riguarda la galleria Maddalena 1 bis (Figura 19), che sarà scavata a fianco del cunicolo esplorativo ad una distanza di 50m per una lunghezza complessiva di 1100m, sarà destinata allo stoccaggio del marino proveniente dallo scavo delle tratte in pietre verdi, per cui è prevista la sua totale impermeabilizzazione e dunque non contribuirà ad aumentare il totale delle acque drenate.



**Figura 19 : Galleria Maddalena 1 bis.**

Relativamente al totale afferente al portale Susa, le venute puntuali rappresentano circa 73 l/s e sono attribuite ai settori in cui è previsto lo scavo di zone di faglia, di intensa fratturazione e/o soggette a dissoluzione chimica con lo sviluppo di reticoli carsici o pseudo-carsici.

Le acque evacuate al portale di Susa costituiscono un mélange d'acque con concentrazioni variabili in solfati in funzione del contesto geologico attraversato e soprattutto per la presenza di orizzonti potenzialmente in dissoluzione all'interno dei gessi e anidriti della Falda dei Gessi e della zona di scollamento tettonico di Venaus (Zona a Scaglie Tettoniche). Questi settori, infatti, presentano circuiti idrici diversamente saturi in SO<sub>4</sub> che potrebbero essere aggressivi se a contatto con i calcestruzzi utilizzati per i rivestimenti delle gallerie. Per quanto riguarda la Zona a Scaglie Tettoniche, le venute d'acqua in regime stabilizzato sono annullate in seguito alla messa in opera di rivestimento impermeabilizzato full-round.

**Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)**

---

In linea generale sono previsti sistemi di evacuazione tali, se tali condizioni sussistono, permettono di separare le acque con buone caratteristiche di qualità da quelle ricche ad esempio in solfati.

Il dettaglio delle previsioni eseguite tratta per tratta è riportato nella tabella che segue in cui sono localizzate le tratte nelle quali sono attese venute di tipo diffuso e quelle in cui sono attese venute puntuali. Sono altresì indicati i punti in cui è prevista l'adduzione nelle condutture per lo smaltimento delle acque dei contributi in arrivo dalle opere accessorie e le relative portate drenate in regime stabilizzato.

In corrispondenza dei tratti in cui è prevista l'impermeabilizzazione full-round le portate stabilizzate sono state considerate nulle.

Basandosi su questo principio, sono state descritte le quantità e qualità delle acque che si prevede di drenare nei tratti con pressione d'acqua superiore a 10 bar. In particolare, sono stati presi a riferimento parametri chimici che maggiormente influenzano l'aggressività e potabilità dell'acqua (solfati e cloruri) e la temperatura dell'acqua, che può raggiungere localmente, oltre quaranta gradi nelle tratte a più elevata copertura, in conseguenza del gradiente geotermico locale.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

PK		Complesso Idrogeologico / Complex Hydrogéologique	Lunghezza tratta / Longueur tronçon	Portate stabilizzate / Débits stabilisés					
da / de	a / à			Venute puntuali / Venues ponctuelles		Venute diffuse su 2 canne / Venues diffusées pour 2 tubes		Temperatura dell'acqua / Température des eaux	
m	m			min	max	min	max	max	min
		-	m		l/s	l/s	l/s	°C	°C
Punto alto / Point haut									
34170	34212	8-2	42			0.3	1.3	22	22
34212	34238	8 F-K	26	0.8				22	22
34238	35289	8 f	1051			3.9	9.0	22	22
35289	35309	8-2 F-f-K	20	1.7				22	22
35309	35491	8-2	182			2.1	8.5	22	22
35491	35511	8 F-f-K	20	0.6				22	22
35511	35674	8	163			0.1	0.9	22	22
35674	35726	8-2 F-f-K	52	5.0				22	22
35726	35788	8	62			0.0	0.4	22	22
35788	35808	8 F-f-K	20	0.6				22	22
35808	35872	8	64			0.0	0.4	22	22
35872	35988	8-2 F-f-K	116	8.5				23	23
35988	36111	8	123			0.1	0.7	23	23
36111	36205	8-2 F-f-K	94	3.6				24	23
36205	36833	8-2	628			6.6	26.1	24	24
36833	36853	2-8 F-f-K	20	1.7				24	24
36853	38363	8-2-4a-5	1510			10.4	94.8	26	26
38363	38403	5-4a F	40	21.0				26	26
38403	39423	4a-2-8	1020			3.6	24.0	27	27
39423	39443	8-4a F	20	1.6				27	27
39443	39610	4a	167			1.8	1.8	27	27
39610	39665	4a F	55	8.6				27	27
39665	41119	4a-5	1454			3.4	16.1	27	27
41119	41129	5 F	10	0.2				27	27
41129	41262	5	133			0.1	1.5	28	28
41262	41272	5 F	10	0.1				28	28
41272	41361	5	89			0.1	1.0	28	28
41361	41464	5 f	103	1.6				28	28
41464	44012	5	2548			28.3	28.3	31	29
44012	44052	5 F	40	0.8				31	29
44052	47527	5	3475			39.0	39.0	35	31
47527	47998	5 F-f	471	5.4				36	31
47998	50440	5	2442			25.8	27.0	37	32
50440	50565	5 F-f	125	11				37	32
50565	52400	5	1835			12.4	17.7	37	33
<b>CONTRIBUTO CUNICOLO MADDALENA 1 pk (1+500 - 2+220) + connessione 1</b>				<b>7</b>	<b>15</b>				
<b>CONTRIBUTO GALLERIA MADDALENA 2 pk (0+000 - 2+035) + connessione 2</b>				<b>21</b>	<b>35</b>				
52400	54824	5-4a	2424			9.4	13.5	36	32
54824	54954	4a	130						
54954	54974	4a F	20						
54974	55167	4a-6b	193						
55167	55735	6b-1 K-F-f	568						
55735	55765	6b	30						
55765	55821	1 K	56						
55821	56058	6b	237						
56058	57175	Q	718						
57175	57926	6b	751						
57926	57966	6b F	40						
57966	58475	6b	509						
58475	58495	6b f	20						
58495	59655	6b	1160						
59655	59675	6b f	20						
59675	60345	6b	670						
60345	60365	6b f	20						
60365	60691	6b	326						
60691	60731	6b-4b F	40						
60731	60888	4b	157						
60888	60908	4b f	20						
60908	61087	4b	179						
61087	61189	Q	102						
Tratta impermeabilizzata / Tronçon imperméabilisé									
				Portate stabilizzate / Débits stabilisés					
				Venute puntuali / Venues ponctuelles		Venute diffuse per 2 canne / Venues diffusées pour 2 tubes		Temperature delle acque / Température des eaux	
				min	max	min	max	max	min
				l/s		l/s	l/s	°C	°C
Venute puntuali / Venues ponctuelles				73	-	-	-	36	32
Venute diffuse / Venues diffusées				-	-	147	312	-	-
Contributo delle discenderie / Contribution des descenderies				28	50	-	-	20	25
Portate al portale di Susa / Débits au portail de Suse				-	-	246	437	34	31

Tabella 7 – Portate tratta per tratta drenate dal tunnel di base con evidenza della tratta impermeabilizzata full round.

In grigio chiaro le venute puntuali  
 f: zone di fratturazione intensa

F: zone di faglia

K: carsismo

In grigio scuro, le tratte nei depositi quaternari (Q) e i contributi della galleria Maddalena 1 e 2

## 4.4 Portate attese tratta per tratta

### 4.4.1 Settore transfrontaliero

#### 4.4.1.1 Falda dei Gessi (pk 34+170 – 37+255)

Il modello geologico alla base delle analisi idrogeologiche riporta per questo settore diverse zone di fratturazione in corrispondenza delle quali è possibile che si verifichino delle venute puntuali anche se di portata modesta e compresa tra 1 e 9 l/s in regime stabilizzato.

Il grado di affidabilità delle previsioni idrogeologiche per questo settore resta generalmente basso comportando una valutazione delle portate attese per questo settore caratterizzata da una sostanziale differenza tra le portate minime e massime: la portata stabilizzata valutata per due canne è quindi compresa tra 35 e 75 l/s.

La portata specifica delle venute diffuse è mediamente pari a 0.7 l/s/100m e possono aumentare fino a 4 l/s/100m nelle tratte in cui sono più probabili fenomeni di dissoluzione. Questi si verificherebbe in corrispondenza delle zone di deformazione fragile più marcate. Tuttavia, nel caso di circolazioni idriche profonde non sono da escludere fenomeni di micro (o pseudo)-carsismo che determina un modellamento per dissoluzione delle superfici di fratturazione.

Il carico idraulico è stato valutato variabile tra 400 e 1000 metri in funzione delle coperture al di sopra del tunnel di base. In questa tratta, le misure piezometriche eseguite nel sondaggio F140 considerato forniscono un carico idraulico alla quota galleria di 117 bar.

Sempre nel sondaggio F140 sono state misurate tramite diagrafie in foro le temperature che forniscono un gradiente geotermico di 23°C/km e una temperatura alla quota galleria di 22 – 23°C.

Le acque circolanti all'interno dell'acquifero in roccia sono caratteristicamente mineralizzate per interazione con la matrice rocciosa. È stato quindi attribuito un tenore in solfati medio di 500 mg/l e nessun tipo di valorizzazione è prevista. Le acque intercettate in questa tratta saranno quindi evacuate verso il portale di Susa e indirizzate all'impianto di trattamento delle acque.

#### 4.4.1.2 Coperture del Massiccio d'Ambin (pk 37+255 - 39+916)

Le portate attese per l'insieme delle due canne del tunnel di base variano in questa tratta tra circa 50 e 150 l/s. L'affidabilità bassa delle previsioni idrogeologiche è influenzata dalla complessità del modello geologico-strutturale e dalle coperture al di sopra del tunnel superiori a 1000 metri e dalle difficoltà oggettive di indagine a tali profondità. Le incertezze riscontrate hanno quindi una conseguenza diretta sull'ampiezza dell'intervallo tra le portate minime e massime previste, nello specifico piuttosto importante.

Le portate specifiche variano tra 1 e 4 l/s/100m in relazione al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso. Venute di tipo puntuale sono state valutate: la loro portata stabilizzata è compresa tra 2 e 20 l/s (pk 38+400, 39+430, 39+640). Inoltre, è previsto di attraversare bande di anidriti potenzialmente soggette a dissoluzione chimica. Tuttavia, le osservazioni realizzate nella discenderia di Modane alla quota del tunnel di base hanno permesso di constatare come le anidriti, a tale profondità, si presentino chiuse e in assenza di fenomeni di dissoluzione. Per tale ragione, nessuna venuta puntuale è stata prevista in contesti simili a quelli di Modane.

Il massiccio roccioso è comunque caratterizzato da diffuse anidriti che “iniettano” le rocce circostanti: qualora si dovessero sviluppare circolazioni idriche, quindi, è possibile che queste siano caratterizzate da tenori in solfati importanti.



Le misure di temperatura eseguite nei sondaggi F140 (a ovest) e F16 (a est), indicano valori crescenti da ovest verso est tra 25 e 33°C.

#### 4.4.1.1 Massiccio d'Ambin (pk 39+916 – 55+029)

Questo settore è caratterizzato dalla presenza di acque calde con temperature superiori a 25°C. Secondo il modello geotermico elaborato, le temperature iniziano ad aumentare già a partire dal contatto con la Falda dei Gessi (pk 36+889) da 25°C fino a 47°C nel cuore del massiccio alla pk 47+500 circa. Al di là della pk 47, si ipotizza che le temperature del massiccio e delle acque che vi circolano tendano a decrescere in relazione alla presenza di circolazioni discendenti lungo i corridoi di fratturazione osservati in superficie nel settore del Colle delle Savine e nella Val Clarea.

Tali condizioni di fratturazione sono state osservate in profondità sia durante lo scavo del canale derivatore F2-Pont Ventoux che ancora più in profondità nel sondaggio S4. I caratteri idrogeochimici mostrano un fenomeno 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 un'effettiva continuità delle strutture fragili in profondità.

Questa ipotesi ha trovato una prima conferma dai dati raccolti dallo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena, come evidenziato dal grafico di Figura 20, dove si evidenzia la tratta in sovrapposizione tra cunicolo e tunnel di base.

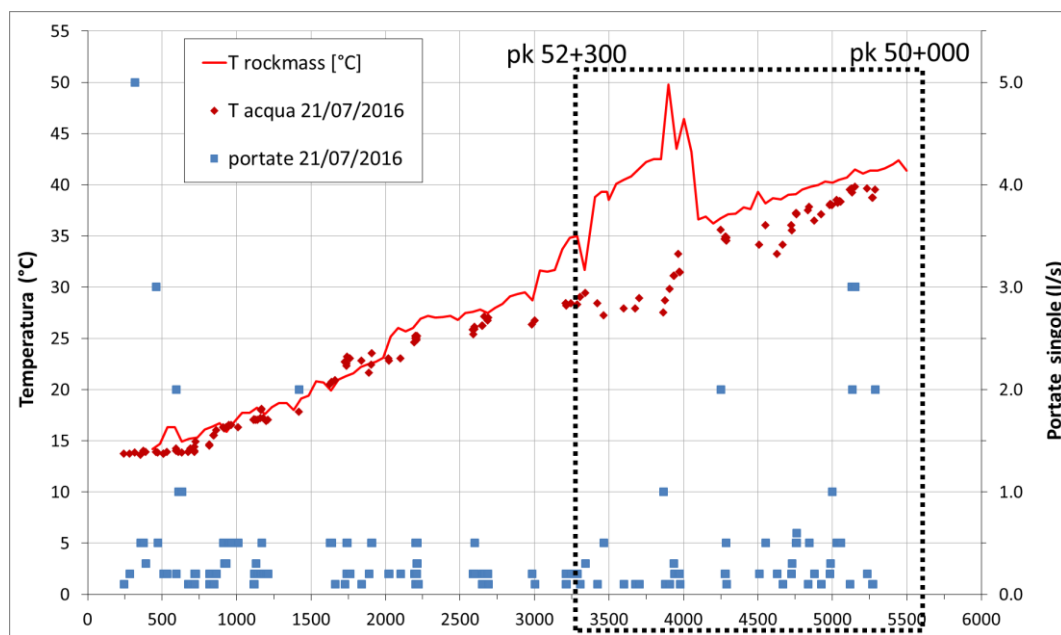


Figura 20 : Portate e monitoraggio della temperatura (roccia e infiltrazioni d'acqua) registrate nel cunicolo (luglio 2016) con evidenza della tratta in asse al Tunnel di Base (pk in alto).

I dati relativi alla tratta in comune evidenziano che:

- le infiltrazioni aumentano localmente raggiungendo valori di circa 2-3 l/s
- le temperatura dell'acqua si discostano da quelle dell'ammasso indicando il miscelamento di acque "fredde" (provenienti dalla ricarica diretta) con quelle più calde della circolazione profonda.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Le valutazioni delle portate, nella tratta di sovrapposizione, sono state aggiornate sui dati misurati nel cunicolo esplorativo (dati aggiornati a fine luglio 2016) che possono considerarsi come sostanzialmente stabilizzati. Un confronto tra le previsioni fatte (per una canna) in fase di PD2 sono sostanzialmente in linea con le portate stabilizzate ora misurate, a conferma sia del modello idrogeologico ipotizzato sia del metodo di calcolo adottato.

Le valutazioni delle portate sono state eseguite considerando che nello scenario definitivo, nella tratta tra le pk 48 e 52 circa, le due canne del tunnel di base saranno affiancate in posizione interassiale dal cunicolo esplorativo, che tuttavia sarà totalmente impermeabilizzata poiché sarà adibita allo stoccaggio del marino proveniente dallo scavo di rocce verdi.

Dai dati misurati, le manifestazioni idriche in galleria sono per la maggior parte riconducibili a stillicidi più o meno diffusi che localmente aumentano fino a venute in coincidenza delle fasce maggiormente fratturate. In fase di scavo sono state osservate venute fino a 20-25 l/s (come totale per tratte di 100-150m) legate allo svuotamento della rete di fratture comunicanti, che nell'arco di circa 20-30 giorni hanno diminuito il loro contributo del 90%.

I dati finora osservati (fino a pk 50) non evidenziano la presenza di forti venute, a conferma che alla profondità di oltre 1000m le fratture sono relativamente chiuse per il carico litostatico.

Tra le pk 39+950 e e 44+050, sono state ipotizzate alcune venute puntuali ma di portata ridotta (circa 1 – 2 l/s) sulla scorta dei dati dei sondaggi F30bis e F16.

Il chimismo delle acque è sodico-bicarbonatico con un contenuto in cloruri non troppo elevato (intorno a 0.5 meq/l). L'associazione sodio-bicarbonato è tipica delle acque che interagiscono a lungo con contenenti fillosilicati e feldspati sodici, mentre il basso tenore di cloruri potrebbe essere dovuto a un maggior miscelamento tra acque profonde a lenta circolazione e acque fresche di ricarica diretta, nonostante l'elevata copertura (circa 1000m).

Per quanto riguarda il contenuto in solfati, le acque drenate (dati analisi chimiche del cunicolo esplorativo) hanno un contenuto in solfati di 50-60 mg/l e dunque, se opportunamente raffreddate, ipoteticamente idonee al consumo umano.

È dunque ipotizzabile avanzare l'ipotesi di realizzare una captazione specifica per la loro valorizzazione nel momento in cui si intercettasse una o più venute puntuali con le caratteristiche descritte.

#### **4.4.2 Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus (pk 55+029 – 56+058)**

Le venute in galleria di questa tratta sono principalmente di tipo puntuale connesse all'attraversamento degli orizzonti di carnirole e le associate zone di fratturazione dell'ammasso.

L'entità delle portate stabilizzate attese è stato stimato in circa 95 - 100 l/s interamente attribuita a venute di tipo puntuale e considerando il battente idraulico lungo l'intera tratta in equilibrio con il drenaggio attualmente esercitato sull'acquifero in roccia dalle gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux; in queste condizioni, il carico al di sopra delle canne del tunnel di base sarebbe inferiore a 100 metri. Questo elemento, rende fattibile, secondo le ipotesi progettuali, l'impermeabilizzazione del tunnel di base. In questo scenario, le portate totali attese in questa tratta in regime stabilizzato risulterebbero nulle.

#### **4.4.3 Acquifero poroso del fondovalle Cenischia (PK 56+058 – 56+776)**

Lo scavo di questa tratta sarà realizzato in condizioni non drenanti, ovvero con confinamento della pressione idrostatica al fronte e messa in opera di rivestimento definitivo impermeabilizzato.

Nessuna venuta d'acqua è stata quindi prevista.

#### **4.4.4 Zona Piemontese e Unità oceaniche – Settore di Mompantero (PK 56+776 – 61+087)**

All'interno di questa tratta è prevista l'intersezione di due zone di faglia: la faglia di Venaus (pk 57+960 circa) e la zona di taglio di Mompantero (pk 60+710 circa). La prima, nota in letteratura per il ruolo idrogeologico importante riscontrato all'intersezione con la galleria di accesso alla centrale di Pont Ventoux in sponda destra del Cenischia, in questo settore in sponda sinistra è stata prevista, anche se dalle evidenze di superficie parrebbe assumere caratteristiche idrogeologiche diverse, essendo chiusa, poco estesa in larghezza e, di conseguenza, con permeabilità modesta. La zona di taglio di Mompantero, alla quale è associato un sistema di flusso idrico sotterraneo, che alimenta anche importanti sorgenti in superficie, è attraversata con copertura modesta, e quindi con modesti carichi idraulici.

Il battente idraulico al di sopra del tunnel di base è stato valutato in funzione delle coperture e considerando che nei sondaggi S8 e S9 realizzati lungo lo stesso versante la soggiacenza media della falda in roccia è di circa 50 metri. Il battente idraulico dovrebbe quindi rimanere al disotto di 10 bar, consentendo l'adozione di scavo con confinamento della pressione idrostatica al fronte e messa in opera di rivestimento definitivo impermeabilizzato. Non si prevedono, quindi, venute d'acqua in fase di scavo.

Le temperature delle acque, in equilibrio con quelle dell'ammasso sono generalmente basse e non superiori ai 15°C: un valore medio di 12°C è stato attribuito alle venute previste per questa tratta.

Non si prevedono tenori in solfati rilevanti.

### **5. Acque drenate dalle gallerie d'interconnessione**

Le gallerie d'interconnessione (binario pari e binario dispari) attraversano lo stesso contesto idrogeologico. Esse hanno tracciati affiancati ma con distanza interassiale variabile, ravvicinata in corrispondenza dei portali ma maggiore nella tratta centrale.

Dal punto di vista idrogeologico, le gallerie di interconnessione saranno realizzate quindi in un contesto idrodinamico caratterizzato da permeabilità di grado da medio-basso a basso e già perturbato e drenato dalle opere in sottterraneo esistenti (galleria ferroviaria Tanze a fianco ed alla stessa quota e Galleria autostradale Prapontin). I battenti idraulici sono stati stimati inferiori a 10 bar.

In queste condizioni, pur non essendo prevedibili venute d'acqua al di sopra di quantità trascurabili, in linea con i criteri progettuali del tunnel di base anche nel tunnel dell'interconnessione sarà posta in opera l'impermeabilizzazione full round delle due canne e quindi le portate in regime stabilizzato saranno nulle.

### **6. Portate attese in corso di scavo**

#### **6.1 Portate transitorie e fasi di scavo**

La valutazione delle portate in fase transitoria è un esercizio che per i molteplici fattori coinvolti (scenario idrogeologico, tipologia di scavo, velocità di avanzamento, scavo su fronti paralleli o distanziati, lavorazioni al fronte, etc...) comporta un'alea di incertezza variabile e difficile da quantificare. Inoltre, le tempistiche di scavo molto lunghe (anni) comportano la possibilità che possano attivarsi apporti di natura transitoria che si andranno a sommare ad altri eventi in via di stabilizzazione, rendendo difficile la quantificazione dell'evento di massima intensità. Tuttavia, questa valutazione è importante per progettare correttamente le installazioni di cantiere che dovranno trattare le acque drenate dalle opere in sottterraneo, così come le opere di drenaggio provvisorio presenti lungo lo scavo delle gallerie.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Secondo il planning di riferimento per la costruzione (doc. PRV C30 TSE3 0086 e 0087), le aree di recapito delle acque drenate durante lo scavo sono due (Figura 21):

- cantiere di Villarodin-Bourget/Modane, in Francia, per lo scavo delle due canne del TdB da Modane fino al limite nord dell'area di Clarea posto a pk 51+700 ca.;
- area cantiere di Maddalena per lo scavo del TdB e le opere a lui connesse fino al portale di Susa.

In fase di esercizio, le acque drenate (pompe) verso Modane saranno invece convogliate per gravità verso il portale di Susa, alle quali si aggiungeranno i contributi oramai stabilizzati delle gallerie scavate dal cantiere della Maddalena e le opere accessorie di collegamento (Figura 22 e anche Figura 18 per i dettagli).

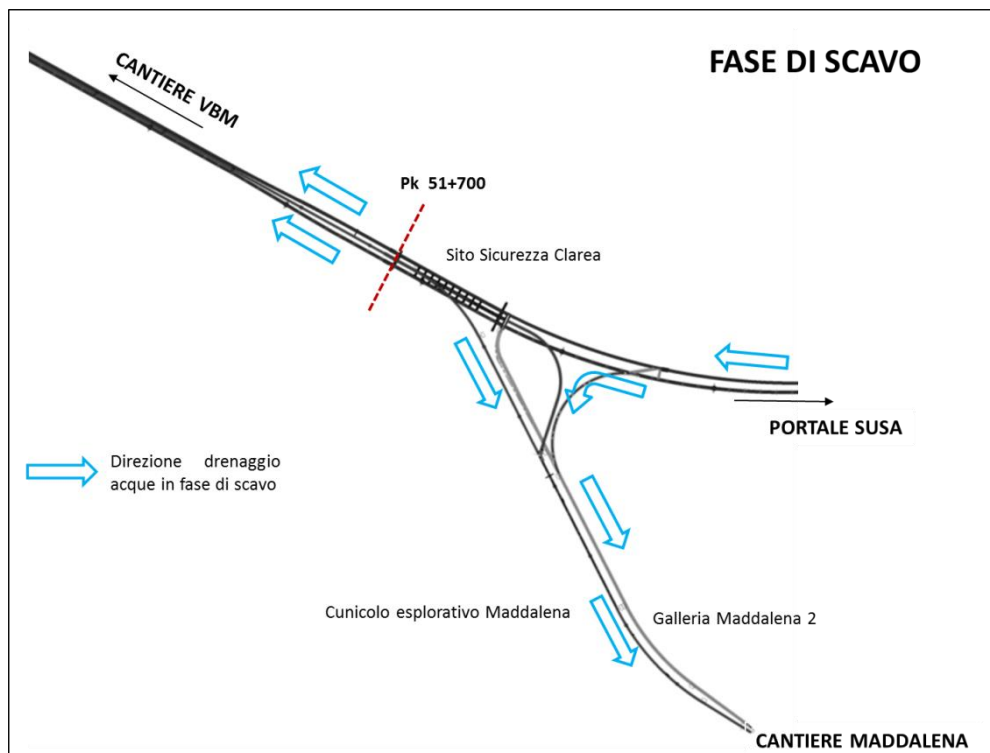


Figura 21 : Schema delle aree di recapito della fase di scavo del TdB e delle opere a lui connesse.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

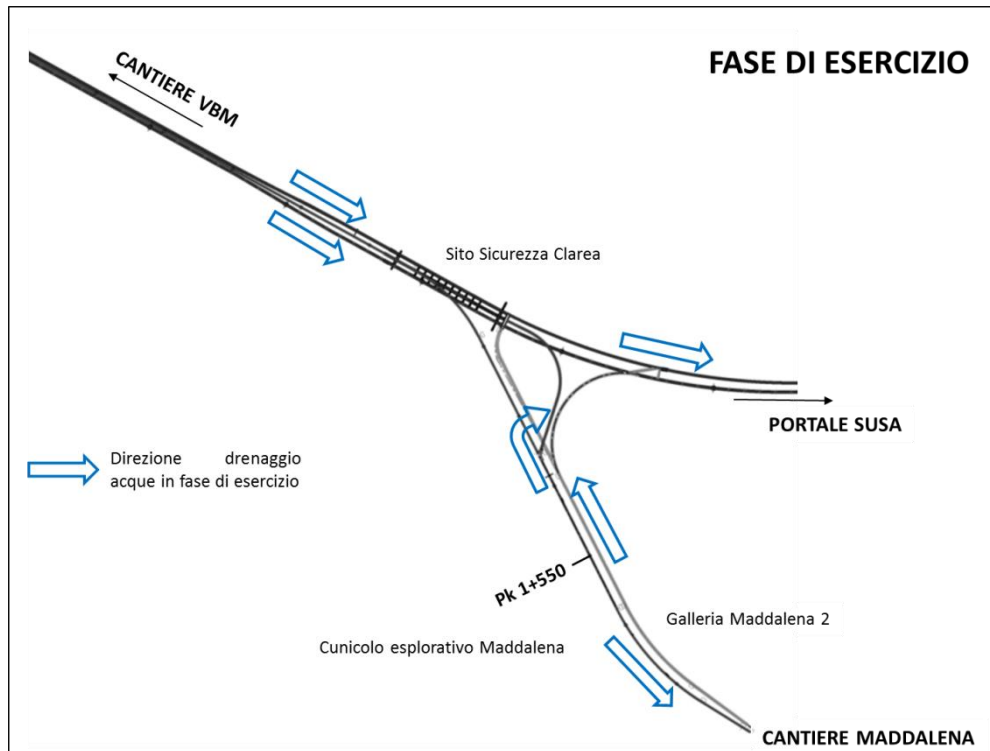


Figura 22 : Schema delle aree di recapito della fase di esercizio del TdB e delle opere connesse.

Per la valutazione delle portate transitorie convogliate al portale della Maddalena, occorrerà inoltre considerare il contributo aggiuntivo del drenaggio del cunicolo esplorativo già scavato che apporterà una portata (oramai stabilizzata) al totale crescente delle opere in via di esecuzione.

Nella valutazione delle portate transitorie, sono inoltre stati valutati i seguenti aspetti costruttivi:

- l'esecuzione sistematica di sondaggi in avanzamento permette di monitorare preventivamente la presenza di venute d'acqua e di poter eseguire misure di mitigazione in avanzamento quali drenaggio controllato per le tratte a forti coperture (tunnel di base dove non previsto l'avanzamento in pressione e impermeabilizzazione full-round) e trattamento dell'ammasso roccioso tramite iniezioni per le tratte a più deboli coperture (tunnel di base dalla pk 54+800 circa verso il portale Susa e gallerie d'interconnessione) in funzione dell'impermeabilizzazione delle gallerie;
- i dati del monitoraggio delle portate eseguito in fase di scavo del cunicolo, per quanto riguarda la circolazione idrogeologica nel CI 5 (Massiccio d'Ambin), che hanno evidenziato una diminuzione tra portate al fronte e stabilizzate variabile da 50 a 90% in circa tre mesi di tempo;
- per le tratte che prevedono l'impermeabilizzazione full-round, i processi di realizzazione delle opere sotterranee permettono quindi di minimizzare il drenaggio anche in fase transitoria. In particolare:
  - ✓ per quanto riguarda il settore di attraversamento della Val Cenischia, l'utilizzo di metodologia di scavo meccanizzato con confinamento delle pressioni idrostatiche al fronte di scavo permette di annullare le venute d'acqua già in fase di scavo;
  - ✓ i settori scavati con metodo meccanizzato (calcescisti della Zona Piemontese e Zona a Scaglie Tettoniche) permettono l'installazione del rivestimento definitivo impermeabilizzato a tergo del fronte di scavo; l'esecuzione sistematica di sondaggi in avanzamento permettono di individuare condizioni di eventuale criticità come la

presenza di zone d'intensa fratturazione a cui possono essere associate venute puntuali e il loro trattamento preventivo.

## 6.2 Tunnel di base

Secondo le fasi di scavo delineate nel paragrafo precedente, è stata fatta una valutazione delle portate transitorie suddivisa per i due punti di recapito in fase di scavo (area cantiere di VBM e area cantiere Maddalena). Queste stime sono finalizzate a fornire le indicazioni utili alla gestione delle acque drenate.

### 6.2.1 Drenaggio verso il cantiere di Villarodin-Bourget / Modane

Lo scavo meccanizzato, inizialmente in salita fino al punto alto (34+170) e poi in discesa, partendo dall'area VBM, dei due fronti del tunnel di base fino all'entrata del sito di Clarea è stato valutato durare complessivamente circa 50 mesi per 17,600 km circa (doc. PRV C30 TSE3 0086 e 0087).

Le due TBM avanzeranno con un teorico sfasamento di circa 5-7 mesi. Questo determina che la prima TBM drencherà la maggior parte dell'acqua potenzialmente drenabile dall'ammasso roccioso, mentre la seconda TBM incontrerà una situazione già parzialmente in via di stabilizzazione.

Considerando che il totale stabilizzato (per le due canne) è valutato in  $205 \div 360$  l/s, si può ipotizzare una condizione transitoria massima di  $150 \div 200$  l/s, per la prima canna, mentre la seconda canna, incontrando uno scenario idrogeologico parzialmente drenato dopo alcuni mesi, potrebbe registrare portate di  $100 \div 150$  l/s. Queste stime incorporano necessariamente una certa percentuale di errore e sono da utilizzare come riferimento per dimensionare le misure di drenaggio e pompaggio dell'acqua.

### 6.2.2 Drenaggio verso il cantiere della Maddalena

Al portale dell'area di cantiere della Maddalena, coerentemente al planning di riferimento per la costruzione (doc. n°PRV C30 TS3 0086), si prevede che afferiscano le acque drenate durante lo scavo delle seguenti opere:

- scavo della Galleria Maddalena 2 fino al raccordo con il TdB;
- scavo della Connessione 1 e 2;
- 2 fronti di scavo con TBM verso Susa da pk 53+650 a 54+800 (da pk 54+800 la TBM lavora a pressione per cui non si prevedono venute idriche);
- scavo del Sito di Sicurezza di Clarea da pk 51+700 a 52+600 e della caverna tecnica;
- 2 fronti di scavo in D&B del Tunnel di Base a valle dell'area di sicurezza da pk 52+600 a pk 53+417 (BP) e pk 53+650 (BD).

Alle portate, prima transitorie poi in via di stabilizzazione, che queste opere determineranno, si dovrà aggiungere la portata del cunicolo esplorativo di Maddalena oramai ultimato che apporta circa 80 l/s nella sua totalità. Questa portata differisce da quella computata per la fase di esercizio ( $7 \div 15$  l/s in aggiunta al totale del TdB verso il portale Susa) in quanto non considera la tratta che sarà successivamente impermeabilizzata per lo stoccaggio delle pietre verdi e la quota parte che è convogliata per gravità al portale Maddalena.

Il totale di apporto di 80 l/s, considerato per il cunicolo esplorativo, comprende inoltre eventuali apporti transitori che potranno verificarsi nello scavo della galleria Maddalena 1bis (impermeabilizzata nel rivestimento definitivo) nella fase di scavo e avanzamento, prima della realizzazione dell'impermeabilizzazione.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

La somma dei diversi apporti permette di quantificare il totale della portata in arrivo all'area di cantiere della Maddalena al fine dimensionare gli impianti di trattamento e le opere di drenaggio.

La seguente tabella, partendo dalle valutazioni fatte per la condizione stabilizzata, elenca i contributi transitori ipotizzati delle varie opere e i tempi di realizzazione in accordo al planning costruttivo. I contributi transitori sono valutati partendo dalle stime di quelli stabilizzati, per tener conto del maggior drenaggio che si realizza nella fase di scavo.

Opere	Portate stabilizzate	Portate transitorie considerate per la fase di scavo	Mesi
Cunicolo esplorativo Maddalena	80	80	già realizzata
Galleria Maddalena 2	30-40	60	15
Connessione 1	2 ÷ 5	10	9
Connessione 2	3 ÷ 6	15	14
Caverna tecnica	n.d.	5	4
Sito sicurezza Clarea	3 ÷ 5	15	38
D&B BP pk 52+600-53+417	7 ÷ 11	20	5
D&B BD pk 52+600-53+650		10	7
TBM BP pk 53+650-54+800	3 ÷ 4	10	7
TBM BD pk 53+650-54+800		5	9

**Tabella 8 – Valutazione delle portate transitorie suddivise per opera.**

Il grafico seguente riporta la cumulata delle portate sul numero dei mesi del cantiere, partendo dall'inizio delle attività di "Anno 1" secondo il documento "*Cronoprogramma dei Lavori – Planning di Riferimento per la Costruzione*" (PRV C30 TS3 0086).

Secondo tale planning i lavori che determineranno l'accumulo delle portate iniziano con lo scavo della connessione 1 e termineranno con il fine scavo dell'area di sicurezza di Clarea.

Sulla scorta di quanto osservato durante lo scavo del cunicolo, ai contributi transitori considerati sono stati aggiunti n.2 eventi transitori di 30 l/s ciascuno che si riducono in quattro mesi del 50%. La loro collocazione temporale è stata ipotizzata nel periodo di scavo della Maddalena 2 e dell'avanzamento in D&B 52+600-53+650.

In definitiva, nello scenario ragionevolmente cautelativo di considerare portate transitorie costanti (maggiori di quelle stabilizzate) per tutto il periodo di scavo e aggiungendo n. 2 eventi transitori che si dimezzano nell'arco di 4 mesi, il totale delle portate transitorie convogliate all'area di cantiere della Maddalena dovrebbe attestarsi intorno a 250 l/s.

E' ragionevole aspettarsi che la portata cumulata totale, potrà, nel corso del tempo stabilizzarsi su valori inferiori, con una tendenza generale ad avvicinarsi al totale delle portate stabilizzate riportate nella Tabella 8.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

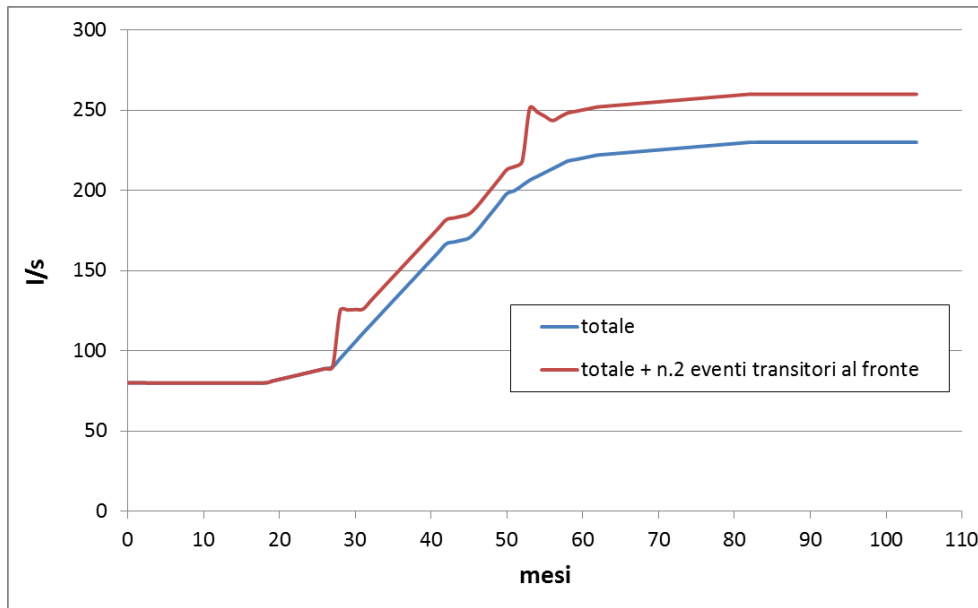


Figura 23 : Grafico delle portate transitorie in arrivo all'area di cantiere della Maddalena.

### 6.3 Gallerie di interconnessione

Le valutazioni descritte di seguito servono quindi a verificare la criticità per la fase transitoria prima che siano messi in opera i rivestimenti definitivi e per il dimensionamento dei sistemi di evacuazione delle acque che saranno drenate a tergo del paramento (rivestimento definitivo).

Infatti, più la distanza tra le gallerie è maggiore e quando questa è dello stesso ordine di grandezza del carico idraulico sulle opere, il fattore di moltiplicazione della portata drenata da una sola galleria aumenta in modo direttamente proporzionale.

#### 6.3.1 Binario dispari: Complesso Meana - M. Muretto (pk 0+180 – 1+920)

Il binario dispari sarà scavato in discesa dal portale ovest (Loc. Traduerivi) verso est con pendenza media di circa 0.3%. Le acque saranno quindi evacuate in corso di scavo tramite pompaggio e in fase di esercizio per gravità verso il portale di Bussoleno.

Le portate specifiche valutate per la fase di scavo per condizioni di ammasso roccioso normalmente fratturato sono generalmente inferiori a 0.2 l/s per 10 metri di galleria e si stabilizzeranno (fase di esercizio) tra 0.01 e 0.04 l/s per 10 metri di galleria (0.1 – 0.4 l/s/100m). Tali portate sono in linea a quanto osservato nella galleria autostradale Prapontin (cfr. § 2.3.1)

Coerentemente a quanto osservato nella stessa galleria Prapontin e in assenza di dati di nuova acquisizione, per la previsione delle portate sono state considerate 2 venute puntuali in corrispondenza di due ipotetici settori di fratturazione. La presenza di tali strutture è attualmente solo presunta e in superficie non sono state osservate zone d'intensa fratturazione; tuttavia, circolazioni idriche potranno verificarsi principalmente lungo le strutture fragili anche minori con direzione circa NNE – SSO e ENE – OSO che caratterizzano il versante; lungo le quali si è impostato il reticolo idrografico (Rio Corrente e Rio Gerardo) e le forme di erasazione glaciale.

La loro portata è stata stimata pari 6 l/s ciascuna. La loro posizione è stata presunta nel tratto in cui sono previste le coperture maggiori (tra circa 80 e 130 metri) nel settore in cui i dati di terreno indicano la presenza di lineamenti strutturali persistenti.



### **6.3.2 Binario pari: Complesso Meana - M. Muretto (pk 63+917 – 1+890)**

Il binario pari sarà scavato in salita dalla pk del tunnel dell'Orsiera 63+900 circa fino al punto alto (pk 0+800) con una pendenza di 0.55% e in discesa fino al portale est con pendenza media di circa 0.6%. Le acque saranno quindi evacuate in corso di scavo a gravità per il primo tratto e per pompaggio il secondo. In fase di esercizio (a scavi terminati), le acque saranno evacuate per gravità.

La valutazione delle portate è stata eseguita come per la canna del binario dispari considerando il ritorno di esperienza della galleria Prapontin (cfr. § 2.3.1).

Le portate specifiche valutate per la fase di scavo per condizioni di ammasso roccioso normalmente fratturato sono generalmente inferiori a 0.2 l/s per 10 metri di galleria e si stabilizzeranno (fase di esercizio) tra 0.01 e 0.04 l/s per 10 metri di galleria (0.1 – 0.4 l/s/100m).

Anche per il binario pari, quindi, sono state ipotizzate 2 venute di tipo puntuale dell'ordine di 6 l/s ciascuna localizzate nella tratta a coperture maggiori (tra circa 100 e 170 metri) e coerentemente alla presenza di lineamenti morfostrutturali in superficie.

## **7. Valutazione dei cedimenti potenziali in superficie in relazione al drenaggio in galleria**

Sulla base di quanto esposto nei capitoli precedenti, è stata eseguita una valutazione dei potenziali cedimenti che potrebbero verificarsi in superficie in asse alle opere sotterranee in seguito al drenaggio degli acquiferi attraversati durante lo scavo.

Infatti, è noto in letteratura<sup>7</sup> ed è stato osservato direttamente durante lo scavo delle discenderie connesse al tunnel di base<sup>8</sup> che il fenomeno di cedimento del terreno è in relazione con la compressibilità dell'acquifero e l'abbassamento del livello freatico.

L'analisi dei dati di letteratura ha permesso di valutare la correlazione tra i cedimenti in superficie e l'abbassamento della falda freatica in seguito alla realizzazione di opere in sotterraneo sia in contesto di depositi sciolti che in roccia (Figura 24).

<sup>7</sup> Louis C. (1969) – Study of groundwater flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses. Tech. Rep. 9, Rock Mechanics, Imperial College, London, UK.

Zangerl C., Eberhardt E., Loew S. (2003) – Ground settlements above tunnels in fractured crystalline rock: numerical analysis of coupled hydromechanical mechanisms. Hydrogeology Journal 11, 162-173.

<sup>8</sup> Lassiaz P., Previtali I. (2007) – Descenderie et Galerie de reconnaissance de Modane/Villarodin-Bourget. Suivi et auscultation géodésique. Tech. Rep., Lyon Turin Ferroviare, Chambéry Cedex France.

Dzikowski M., Villemin T. (2009) – Rapport d'expertise: hydrogéologie et géodésie de la discenderie de La Praz. Tech. Rep., Lyon Turin Ferroviare, Chambéry Cedex France.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

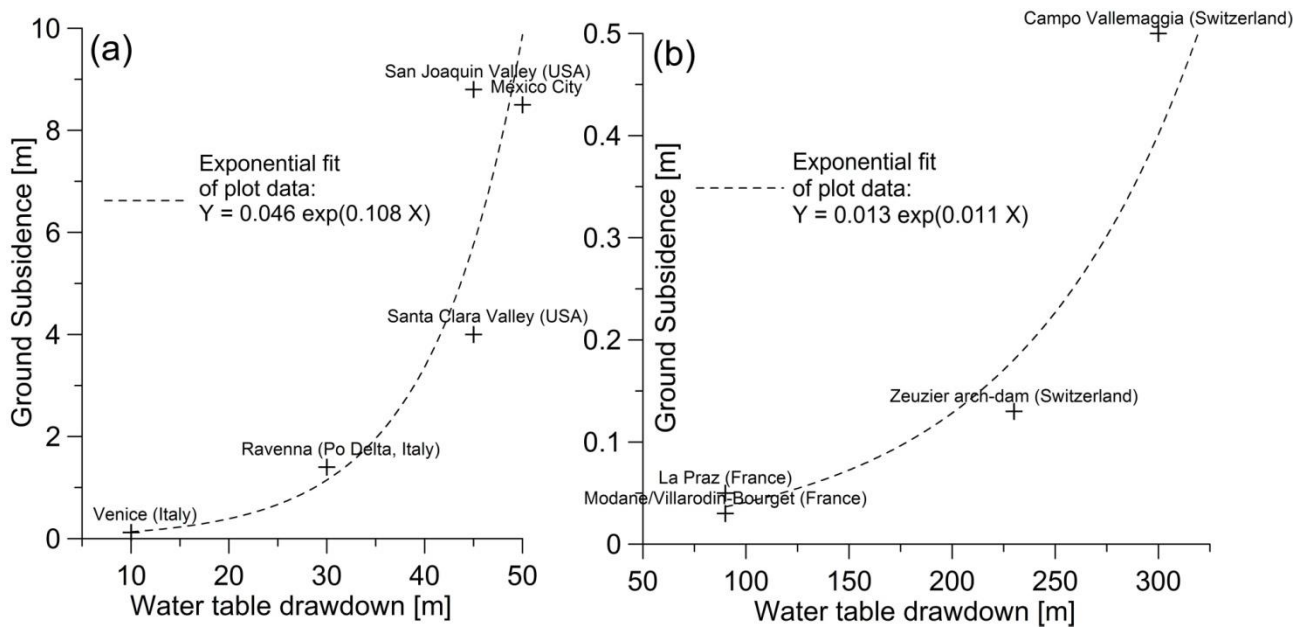


Figura 24 – Correlazione tra i valori di cedimento in superficie in asse a opere sotterranee e l’abbassamento della falda in seguito al drenaggio profondo. A sinistra la curva di correlazione per l’effetto osservato in contesto di depositi sciolti, a destra per contesti di opere realizzate in roccia.

Considerando la teoria del consolidamento dell’acquifero in seguito al suo parziale o totale svuotamento per pompaggio (Jacob, 1940<sup>9</sup>), il cedimento in superficie in asse al tunnel è dato dalla seguente relazione<sup>10</sup>:

$$\Delta V_{max} = C_v s e$$

Dove  $C_v$  è la compressibilità dell’acquifero in funzione dell’elasticità dell’acquifero assimilabile all’elasticità della roccia ( $C_v = \rho_w g E_s$ ),  $s$  l’abbassamento del livello piezometrico ed  $e$  lo spessore dell’acquifero.

Non conoscendo l’abbassamento in asse al tunnel, in questo studio si è proceduto considerando il cedimento massimo ovvero quello che si verificherebbe teoricamente nel caso in cui, in seguito al drenaggio profondo, l’abbassamento della falda corrispondesse allo spessore dell’acquifero (ovvero  $s = e$ ).

Tuttavia, tale fenomeno non è realistico: il potenziale di drenaggio di un’opera sotterranea, infatti, diminuisce con l’aumentare della copertura topografica per effetto dell’aumento del carico litostatico e della conseguente maggiore chiusura delle fratture o, nel caso dei depositi sciolti, della maggiore compattazione. In questi contesti le pressioni interstiziali sono trascurabili e l’effetto di drenaggio non si traduce in un cedimento in superficie.

L’effetto di tale fenomeno, tuttavia, potrebbe non essere trascurabile per condizioni particolari di fratturazione dell’ammasso (zone di faglia o intensa fratturazione, orizzonti di dissoluzione in profondità) come evidenziato dalla Figura 24. Questi settori sono caratterizzati da condizioni meccaniche dell’ammasso e proprietà elastiche sfavorevoli.

<sup>9</sup> Jacob C. (1940) – On the flow of water in an elastic artesian aquifer. American Geophysical Union 21.

<sup>10</sup> Preisig G., Dematteis A., Torri R., Monin N., Perrochet P: Modelling Discharge Rates and Ground Settlement Induced by Tunnel Excavation. Rock Mechanics and Rock Engineering., Volume 47, Issue 3, pp 869–884 (May 2014).

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

In questi contesti, è possibile che si intercettino venute d'acqua importanti con conseguente diminuzione delle pressioni interstiziali e aumento delle pressioni effettive; tali variazioni del campo di stress possono tradursi in cedimenti in superficie.

Al fine di considerare tali effetti si è proceduto con la definizione di un fattore di riduzione della compressibilità dell'acquifero ( $C_r$ ) in funzione della copertura topografica (Tabella 9).

Copertura topografica		$C_r$
da m	a m	
0	50	1
50	100	0.75
100	150	0.5
150	300	0.1
300	500	0.01
>	500	0.001

**Tabella 9 – Fattore di riduzione della compressibilità dell'acquifero ( $C_r$ ) in funzione della copertura topografica.**

Nel grafico seguente sono quindi rappresentati i cedimenti valutati in asse al tunnel di base e alla galleria d'interconnessione. Le valutazioni sono state eseguite considerando che le opere sotterranee siano completamente drenanti. Per questo motivo non sono state escluse le tratte con carico idraulico inferiori a 10 bar (100 m) per le quali è prevista la messa in opera di rivestimento impermeabilizzato.

Le valutazioni eseguite, devono essere considerate non tanto in valore assoluto ma piuttosto con il fine di individuare le tratte che risultano più soggette ai possibili cedimenti in superficie.

In quest'ottica, sono state definite 4 classi che descrivono la possibilità di occorrenza del fenomeno (Tabella 10).

Cedimenti in superficie		Classe
da m	a m	
<	0.01	TRASCURABILE
0.01	0.05	BASSO
0.05	0.2	MEDIO
>	0.2	ALTO

**Tabella 10 – Definizione delle classi che esprimono la possibilità di occorrenza dei cedimenti in funzione della magnitudo dei cedimenti stessi.**

Nel grafico della Figura 25 e della Figura 26 sono rappresentati i risultati delle valutazioni eseguite. Si nota come le tratte che presentano possibilità di occorrenza più forte sono quelle comprese tra le PM 54500 e 61100 (Tabella 11).

Cedimenti in superficie	Tratta	Classe
-------------------------	--------	--------

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

da PM	a PM		
54950	55000	Zona di faglia (quarziti coperture Ambin)	BASSO
55000	56060	Zona a Scaglie Tettoniche di Venaus	BASSO/MEDIO
56060	57170	Val Cenischia	ALTO
57170	60650	Zona Piemontese (basse coperture)	BASSO/MEDIO
60650	61100	Zona di taglio Mompantero	BASSO/MEDIO

Tabella 11 – Possibilità di occorrenza dei cedimenti tratta per tratta del tunnel do base.

Tuttavia, se si analizzano i risultati in funzione dei valori assoluti dei cedimenti (Figura 25 e Figura 26), solo la tratta scavata in depositi sciolti della Val Cenischia presenta una possibilità alta di cedimenti. Tale condizione è giustificata dal fatto che lo scavo avverrà in depositi incoerenti all'interno di un acquifero libero permeabile per porosità primaria e quindi particolarmente soggetto a fenomeni di cedimenti. **In questa tratta sono previsti interventi di impermeabilizzazione del cavo e modalità di scavo con confinamento delle pressioni al fronte in modo da annullare l'effetto di drenaggio e il conseguente cedimento in superficie.**

Per le tratte scavate in roccia sia del tunnel di base che della galleria d'interconnessione, le tratte con possibilità d'occorrenza media presentano comunque valori che si attestano in prossimità del limite inferiore della classe con cedimenti che sono, nel peggiore dei casi, dell'ordine di qualche centimetro (< 10 cm). **In queste tratte sono anche previsti interventi di impermeabilizzazione e/o iniezione a secondo della pressione in modo da annullare l'effetto di drenaggio e il conseguente cedimento in superficie.**

In conclusione, si può affermare che i risultati ottenuti sono coerenti con quanto osservato in contesti simili e con quanto riportato nei grafici di Figura 24.

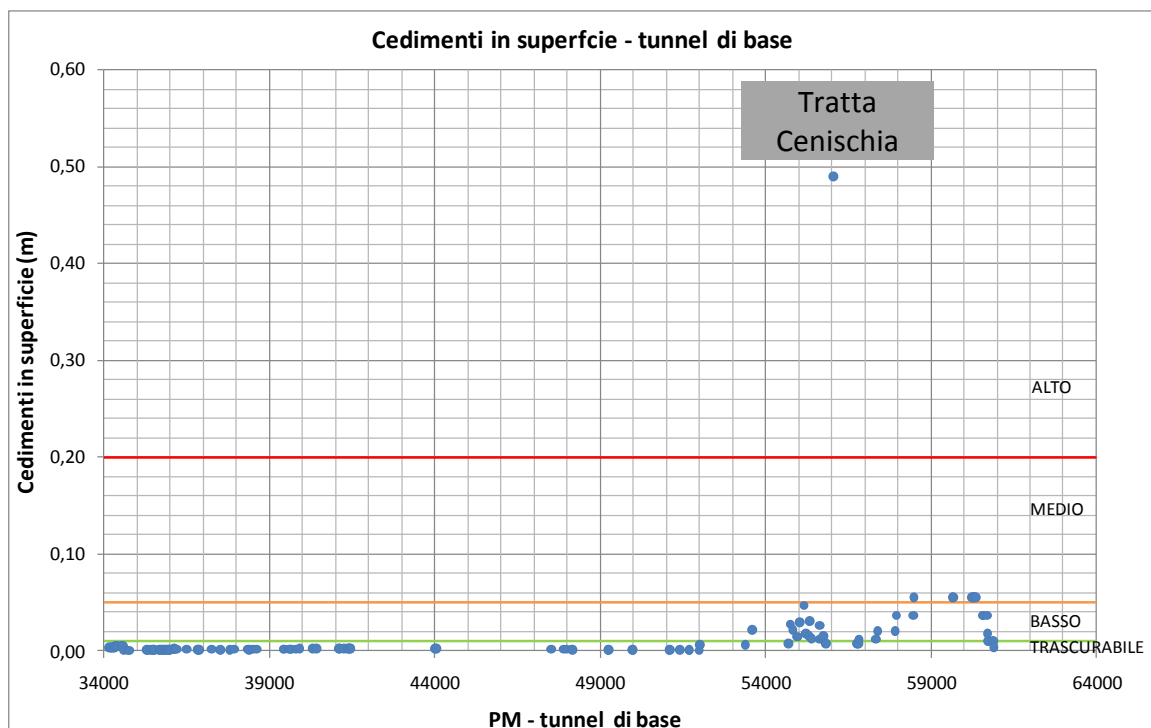


Figura 25 – Andamento della possibilità di occorrenza di fenomeni di cedimento in asse al tunnel di base

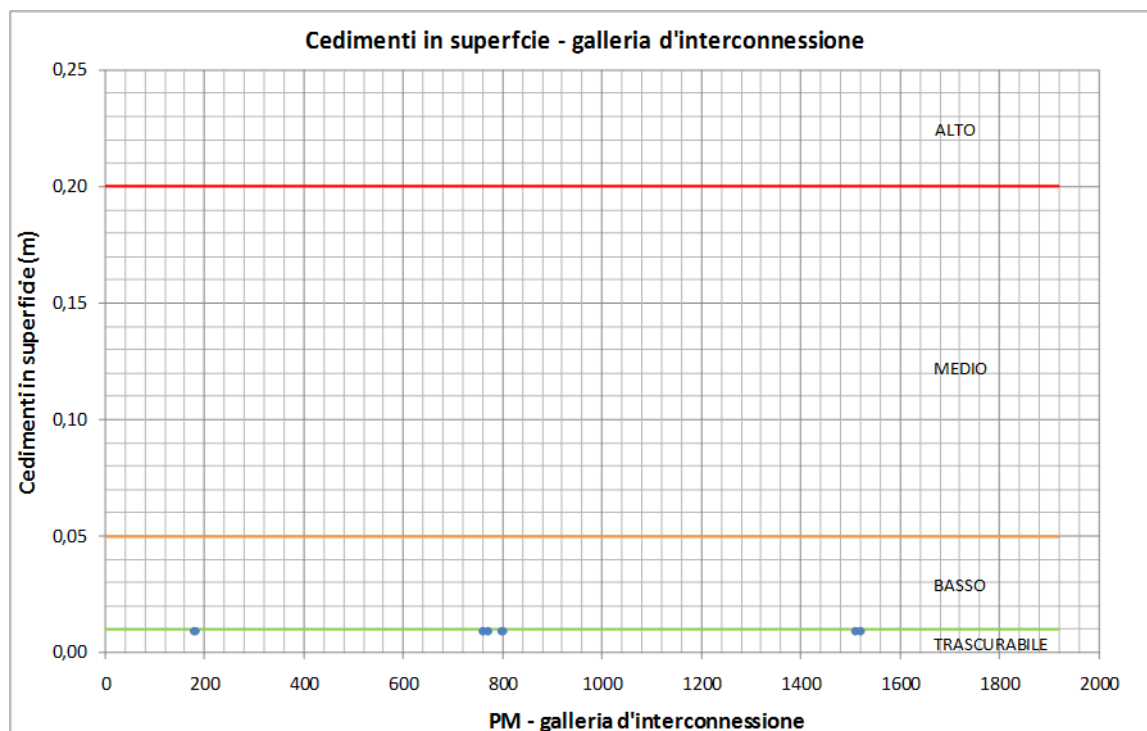


Figura 26 – Andamento della possibilità di occorrenza di fenomeni di cedimento in asse alla galleria d'interconnessione

## 8. Chimismo delle acque drenate dal tunnel di base

Il ritorno di esperienza dello scavo delle discenderie, in particolare quella di Modane, e delle opere sotterranee realizzate nel settore di studio come quelle connesse alla centrale idroelettrica di Pont Ventoux, oltre che le analisi chimiche delle acque prelevate nei sondaggi di prospezione, mostrano come le acque che saranno evacuate attraverso il portale del tunnel di base a Susa costituiscono un *mélange* di acque caratterizzate da tenori variabili di mineralizzazione totale, ed in particolare in solfati e cloruri, che rappresentano gli elementi maggiori più sensibili nel determinare l'aggressività delle acque.

A queste conoscenze si aggiungono i dati delle indagini chimiche realizzate nel cunicolo esplorativo della Maddalena e, in particolare, quelle realizzate nella tratta in asse al tunnel di base.

Infatti, a seconda del contesto geologico, durante lo scavo saranno attraversati settori di gessi e anidriti potenzialmente soggette a dissoluzione chimica; saranno intercettati circuiti idrici più o meno potenzialmente saturi in SO<sub>4</sub> che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi (Tabella 12).

da PK	a PK	litotipo	Tenore in SO <sub>4</sub> (mg/l)
34+170 (punto alto)	37+255	Falda dei Gessi – Anidriti	500 - 2000
55+030	56+058	Zona a Scaglie Tettoniche - Carniole	2000

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

**Tabella 12 – Tratte del tunnel di base per le quali si attendono tenori in solfati che potrebbero risultare aggressivi nei confronti dei calcestruzzi.**

Ai restanti settori sono state attribuite concentrazioni in solfati pari a 50 mg/l in coerenza con i tenori misurati nei sondaggi realizzati nel Massiccio d'Ambin (sondaggi S4) e nella Zona Piemontese (S8 e S9). Le analisi chimiche eseguite di recente (cunicolo Maddalena) hanno evidenziato un tenore in solfati maggiore (80 mg/l) in un tratto del cunicolo proiettabile (da un punto di vista idrogeologico) alla pk 53+800. Si tratta tuttavia di un valore puntuale che comunque è stato considerato nel bilancio dei solfati per la tratta di riferimento.

Per quanto riguarda la galleria d'interconnessione, nessuna criticità connessa alla concentrazione di solfati è stata evidenziata.

Considerando che gli apporti di ciascuna venuta si diluiscano nel totale delle acque attese al portale di Susa drenate dall'insieme delle opere connesse al Tunnel di Base (doppia canna + contributi di gallerie della Maddalena), le concentrazioni potenziali allo stesso portale sono date dal rapporto tra la somma dei singoli contributi e le portate totali drenate.

Nella tabella che segue sono riportate le concentrazioni in solfati attese al portale di Susa in regime stabilizzato nel caso in cui le acque solfatiche non siano isolate dal resto delle venute. In questo caso, quindi, non sono considerate le tratte impermeabilizzate e quindi non è considerata la tratta della Zona a Scaglie Tettoniche. Il contributo in solfati con concentrazioni maggiori a 50 mg/l è quindi dovuto al drenaggio della tratta della Falda dei Gessi in territorio francese.

<b>Nessuna separazione</b>		
<i>Portale di Susa del tunnel di base</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
Portate cumulate (l/s)	246	437
Concentrazioni in solfati (mg/l)	69	71

**Tabella 13 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque solfatiche non siano isolate dal resto delle venute.**

Separando i contributi delle venute potenzialmente ricche in solfati (Falda dei Gessi), le seguenti concentrazioni si osserverebbero al portale di Susa :

<b>Separazione delle acque ricche in solfati</b>		
<i>Portale di Susa del tunnel di base</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
Portate cumulate (l/s)	36	70
Concentrazioni in solfati (mg/l)	164	175

**Tabella 14 – Concentrazioni in solfati attese al portale di Susa nel caso in cui le acque ricche in solfati siano isolate dal resto delle venute.**

Le restanti acque drenate sarebbero caratterizzate dai seguenti valori :

<b>Separazione delle altre acque</b>		
<i>Portale di Susa del tunnel di base</i>	<i>da</i>	<i>a</i>
Portate cumulate (l/s)	210	367
Concentrazioni in solfati (mg/l)	52	54

**Tabella 15 – Concentrazioni in solfati delle acque attese al portale di Susa nel caso in cui le acque ricche in solfati siano isolate dal resto delle venute.**

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

L'effetto della diluizione determina che la concentrazione maggiore in solfati si riferisce al valore di portata minima e viceversa.

Per quel che riguarda l'aggressività delle acque nei confronti dei calcestruzzi, la normativa in vigore (Norma UNI-EN-206-1) pone i limiti inferiore e superiore delle classi di aggressività dovuta al contenuto in solfati dell'acqua nel terreno secondo quanto riportato nel Prospetto 1 (Classi di esposizione ad attacco chimico) e Prospetto 2 (Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno) di cui la tabella che segue riporta gli elementi principali.

<b>Classe</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Limite inferiore (mg/l)</b>	<b>Limite superiore (mg/l)</b>
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	>=200	<=600
XA2	Ambiente chimico modestamente aggressivo	>600	<=3000
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	>3000	<=6000

**Tabella 16 – Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno secondo la norma UNI-EN-206-1.**

È dunque ragionevole ritenere che le acque in uscita al portale di Susa possano contenere concentrazioni in solfati inferiori ai limiti indicati nella normativa vigente anche nel caso in cui si separino le acque povere in solfati da quelle ricche in solfati per una loro possibile valorizzazione ad uso idropotabile. È comunque necessario prevedere l'utilizzo di calcestruzzi adatti al contesto idrochimico.

Per quanto concerne la normativa italiana in materia di acque potabili<sup>11</sup>, il valore limite per i solfati è pari a 250 mg/l. Tale valore soglia determina che, in caso di valorizzazione per il consumo umano, le acque evacuate al portale di Susa si pongano al di sotto di tale limite. Si evidenzia che il tenore in solfati delle analisi chimiche realizzate nel cunicolo, nel tratto di sovrapposizione con il TdB, è risultato variabile da 24 a 70 mg/l.

Parallelamente alla definizione dei tenori in solfati, le acque sono state caratterizzate anche in funzione dei tenori in cloruri. La stessa normativa italiana fissa il limite per l'acqua destinata al consumo umano a 250 mg/l. Le concentrazioni indicate nella tabella che segue sono state associate alle venute d'acqua dei complessi idrogeologici lungo il tracciato delle opere sotterranee.

<b>CI</b>	<b>Litologia / lithologie</b>	<b>SO<sub>4</sub> (mg/l)</b>	<b>Cl (mg/l)</b>
1	Carniole / Cargneules	2.000	100
2	Rocce carbonatiche / Roches carbonatiques	50	0-10
3	Scisti carbonatici (IT) / Schistes carbonatiques (IT)	50	0-10
4a	Quarziti / Quartzites	50	0-10
4b	Metabasiti / Métabasites	50	0-10
5	Gneiss e micascisti / Gneiss et micaschistes	50–500*	10-20**

<sup>11</sup> D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 30/2009 (Allegati 3 e 5).





**Figura 27 : Settore compreso tra il cunicolo della Maddalena (oltre la pk2+000) e il tunnel di base.**

In sintesi, i dati acquisiti durante lo scavo del cunicolo della Maddalena hanno permesso di evidenziare che un settore del TdB a valle del sito di sicurezza di Clarea ed esteso fino alla pk 54+000 circa possa intercettare circolazioni idriche profonde con tenori di cloruri e sodio potenzialmente superiori ai limiti di legge per il consumo urbano. Tuttavia, il totale delle portate stabilizzate di questa tratta si attesta in circa 7 ÷ 12 l/s (totale 2 canne) e una miscelazione con acque meno cariche, provenienti dalle tratte poste a monte, potrebbe facilmente abbassare i tenori di cloruri e sodio puntualmente presenti e risolvere il problema.

Gli altri complessi sono caratterizzati da tenori deboli se non nulli sia in solfati che in cloruri.

### 8.1 Potenziale valorizzazione

Il potenziale di valorizzazione è stato applicato secondo i criteri seguenti:

<b>Criteria</b>	<b>Valore</b>	<b>Valorizzabile per il consumo umano</b>	<b>Valorizzabile per energia termica</b>
Tenore in solfati*	< 250 mg/l	si	-
	> 250 mg/l	no	-
Tenore in cloruri*	< 250 mg/l	si	-
	> 250 mg/l	no	-
Tipo di venuta d'acqua	venuta puntuale	si	si
	venuta diffusa	no	si
Temperatura dell'acqua*	< 25°C	si	no
	> 25°C	no	si

\* I valori limite indicati in tabella sono quelli definiti secondo la normativa in vigore sia in Italia<sup>12</sup> che in Francia<sup>13</sup>.

**Tabella 18 – Criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee**

Per quanto riguarda la possibilità di valorizzare le acque per il consumo umano, bisogna sottolineare che, se si escludono le tratte ricche in solfati (Falda dei Gessi tra il punto alto e la pk 37 e la Zona a Scaglie Tettoniche tra le pk 55 e 56 circa, vedere Tabella 12), le venute puntuali intercettate dal tunnel di base sono o di debole portata (settore della Zona Piemontese) o sono caratterizzate da temperature elevate (Massiccio d'Ambin), che necessitano d'essere raffreddate.

<sup>12</sup> D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 30/2009 (Allegati 3 e 5).

<sup>13</sup> Arrêté du 11 janvier 2007, Annexe I, Partie II, Tableau B relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Sulla base dei criteri di valorizzazione descritti nella precedente tabella sono stati individuati i settori del tunnel di base che rispondono alle condizioni ritenute utili ai fini della valorizzazione delle acque in termini di consumo umano e per il recupero del calore ai fini energetici.

Secondo il tipo di valorizzazione che s'intende perseguire (idropotabile o termico o entrambi), nella tabella seguente si riportano i due scenari di riferimento generale, entro i quali diverse situazioni intermedie possono essere dettagliate. A tal riguardo, si rimanda alla relazione PRV TS3 C3B 00 05 01 10 02 0105 “Studio di valorizzazione delle venute d'acqua calda in galleria”.

da PK	a PK	Tipo venuta	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Tmedia(°C)	Q (l/s)	Valorizzazione
47+000	52+000	puntuale	50	100	37	45-55	Idropotabile / termico
34+140	54+800	puntuale / diffusa	50 - 500	10-100	31-34	246-437	termico

**Tabella 19 – Tratte del tunnel di base che soddisfano i criteri per la definizione del potenziale di valorizzazione delle acque drenate dalle opere sotterranee.**

Il secondo scenario della Tabella 19 considera tutto il potenziale idrico drenabile compresi gli apporti delle gallerie della Maddalena che saranno evacuati tramite il tunnel di base rispettivamente alle pk 52+600 e 53+500 (Tabella 20).

Opera	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Q (l/s)	T (°C)
Cunicolo esplorativo Maddalena + connessione	50	100	7 - 15	25
Galleria La Maddalena 2 + connessione	50	100	21 - 35	20
<i>Portata totale / temperatura media</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>28 - 50</i>	<i>22</i>

**Tabella 20 – Caratteri delle acque drenate dalle gallerie della Maddalena in funzione della loro potenziale valorizzazione.**

I valori di temperatura previsti indicano che il potenziale termico delle due gallerie della Maddalena non hanno caratteristiche ideali alla valorizzazione, tuttavia il contributo in termini di portata fornisce un potenziale comunque sfruttabile. Inoltre, nel caso di una captazione delle portate diffuse, tramite il collettore principale, occorre evidenziare che questo è presente dal punto alto pk 34+170 fino al portale Susa e non sarà pertanto possibile escludere alcune tratte poiché caratterizzate da temperature < 25 °C (fino alla pk 35+800).

Per quanto riguarda le acque delle gallerie di interconnessione, esse non presentano interesse per la loro valorizzazione : le temperature sono basse (tra 10 e 15°C), le scarse portate valutate in regime stabilizzato (tra 25 e 32 l/s) e la loro vulnerabilità rendono, allo stato attuale delle conoscenze, la risorsa poco valorizzabile.

In conclusione, bisogna considerare che solamente in regime stabilizzato e con i lavori terminati sarà possibile valutare l'effettiva valorizzazione delle acque drenate dal tunnel di base. Infatti, a seconda delle condizioni idrogeologiche incontrate durante lo scavo, le acque che saranno oggetto di captazione dovranno mantenere nel tempo le caratteristiche valorizzabili. Sarà quindi necessario, a seconda dello scenario di valorizzazione, mettere in atto i monitoraggi stabiliti dai protocolli della normativa vigente e dalla buona norma progettuale.



Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

---

- Realizzazione di una captazione provvisoria: durante lo scavo della galleria principale una volta intercettata una venuta puntuale ritenuta valorizzabile. Essa sarà finalizzata alla messa in opera di un programma di monitoraggio della venuta d'acqua;
- Realizzazione del monitoraggio in continuo della portata, della conducibilità elettrica, della temperatura e del pH per un periodo di almeno un anno;
- Realizzazione del monitoraggio della qualità delle acque (parametri idrogeochimici, batteriologici, isotopici e radiometrici) tramite analisi di laboratorio per almeno un anno e comunque secondo le normative vigenti a seconda del tipo di utilizzo previsto.

Sulla base dei dati raccolti durante il monitoraggio, sarà realizzato uno studio idrogeologico di dettaglio in cui, tra l'altro, saranno definiti:

- La struttura geologica – idrogeologica a cui è connessa la venuta d'acqua (p.es. faglia);
- Il tipo e il bacino di alimentazione della venuta;
- La sua persistenza nel tempo della venuta d'acqua;
- La vulnerabilità della venuta d'acqua.

Il Progetto prevede, quindi il collettamento separato delle acque con caratteristiche geotermiche rilevanti ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ), mediante apposite tubazioni, finalizzato al loro possibile sfruttamento diretto o per il recupero di energia.

E' confermata la fattibilità di alcune concrete possibilità di utilizzo dell'acqua calda proveniente dal tunnel e resa disponibile all'imbocco del Tunnel di Base:

- riscaldamento della Piscina Comunale di Susa
- Impianto di teleriscaldamento
- riscaldamento/raffrescamento degli edifici ferroviari (opzione in caso di eccedenza)
- eventuali altre iniziative del territorio (allevamenti ittici, serre, ecc.)

Le portate drenate dalle opere sotterranee previste dal progetto sono annullate nelle gallerie di interconnessione e nei primi 6 km del tunnel di base grazie ad un rivestimento definitivo impermeabile.

Queste tratte impermeabilizzate sono quelle a copertura più bassa ed a temperatura più fredda, ove le pressioni d'acqua in galleria sono minori ( $< 10$  bar).

Di conseguenza, sono minimizzati gli impatti sulle risorse idriche di superficie (sorgenti e pozzi).

I dettagli dello studio di valorizzazione delle acque drenate dal tunnel di base sono descritti nella relazione PRV TS3 C3B 00 05 01 10 02 0105 “*Studio di valorizzazione delle venute d'acqua calda in galleria*” a cui si rimanda.

## **ALLEGATO 1 - Test di permeabilità**

Code sondage	Code essai	Intervallo testato		Lunghezza intervallo	Permeabilità	Complesso idrogeologico	Litologia
		da m	a m	m	(m/s)	CHy	
F5	F5-1	150.51	159.70	9.19	6.0E-08	5	Gneiss du sapey
F5	F5-2	158.70	169.70	11	3.0E-08	5	Gneiss du sapey
F5	F5-3	167.00	189.05	22.05	9.0E-08	5	Gneiss du sapey
F5	F5-4	179.80	190.00	10.2	1.0E-08	5	Gneiss du sapey
F5	F5-5	185.55	200.70	15.15	2.0E-08	5	Gneiss du sapey
F10		166.60	170.00	3.40	2.79E-03	4a	breches de Quartzites et conglomerats
F10		174.00	177.15	3.15	9.52E-04	4a	breches de Quartzites et conglomerats
F10		184.00	225.09	41.09	2.09E-05	4a	Quartzites/ quartzomiscistes
F10		185.00	190.00	5.00	5.20E-04	4a	breches de Quartzites et conglomerats
F10		220.00	222.00	2.00	1.60E-04	5	Quartzites/ quartzomiscistes
F10		222.00	225.15	3.15	3.81E-04	5	Quartzites/ quartzomiscistes
F10		254.00	255.00	1.00	4.80E-04	5	Quartzites/ quartzomiscistes
F10		440.00	587.00	147.00	1.00E-10	5	Micaschistes
F13	F13-2	275.00	352.00	77.00	9.61E-07	7a	Houiller greseux
F13	F13-2	275.00	352.00	77.00	7.66E-07	7a	Houiller greseux
F13	F13-1	325.00	352.00	27.00	3.85E-07	7a	Houiller greseux
F13	F13-5	402.00	425.00	23.00	2.35E-06	7a	Houiller greseux
F13	F13-4	442.00	468.00	26.00	6.85E-08	7a	Houiller greseux
F13	F13-3	564.00	592.00	28.00	6.43E-08	7a	Houiller greseux
F13	F13-3	564.00	592.00	28.00	4.89E-08	7a	Houiller greseux
F13	F13-4	442.50	468.00	25.5	6.3E-07	7a	Grés
F13	F13-4	442.50	468.00	25.5	5.9E-07	7a	Grés
F13	F13-4	442.50	468.00	25.5	7.1E-07	7a	Grés
F17		220.00	577.00	357.00	1.00E-10	5	
F17		220.00	577.00	357.00	1.00E-10	5	
F17	F17	220.00	577.00	357	5.6E-12	5	Quartzite - Micaschiste
F20	F20-2	606.80	668.50	61.70	1.85E-08	4a	quartzites
F20	F20-2	606.80	668.50	61.70	1.10E-07	4a	quartzites
F20	F20-2	606.80	668.50	61.70	1.86E-08	4a	quartzites
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.50	1.24E-07	8b	Calcaires + niveaux d'anydrites et dolomies
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.50	4.53E-07	8b	Calcaires + niveaux d'anydrites et dolomies
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.50	8.05E-07	8b	Calcaires + niveaux d'anydrites et dolomies
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.50	8.05E-07	8b	Calcaires + niveaux d'anydrites et dolomies
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.5	1.4E-06	2	Calcaire
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.5	1.6E-06	2	Calcaire
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.5	2.4E-06	2	Calcaire
F20	F20-1	1135.20	1155.70	20.5	9.3E-06	2	Calcaire
F20	F20-2	606.80	668.50	61.7	1.1E-07	4a	Quartzite
F20	F20-2	606.80	668.50	61.7	5.3E-07	4a	Quartzite
F21	F21-1	338.10	384.30	46.20	2.16E-05	4a	quartzites
F21	F21-1	338.10	384.30	46.20	2.64E-06	4a	quartzites
F21	F21-4	412.90	427.00	14.10	1.04E-06	5	micascistes
F21	F21-5	427.40	441.50	14.10	1.04E-06	5	micascistes
F21	F21-3	475.40	796.00	320.60	1.00E-10	5	micascistes quartzitiques, conglomerats
F21	F21-3	475.40	796.00	320.60	1.00E-10	5	micascistes quartzitiques, conglomerats
F21	F21-2	729.50	738.40	8.90	2.79E-10	5	micascistes
F21	F21-2	729.50	738.40	8.9	1.2E-10	5	Micaschistes
F21	F21-3	475.40	796.00	320.6	5.6E-11	5	Micaschiste - Quartzite
F22		202.80	226.40	23.60	9.66E-10	4a	Quartzites
F22		202.80	226.40	23.60	8.64E-09	4a	Quartzites
F22		202.80	226.40	23.60	1.33E-06	4a	Quartzites
F22		202.80	226.40	23.60	1.95E-06	4a	Quartzites
F22		202.80	226.40	23.60	1.82E-06	4a	Quartzites
F22		202.80	226.40	23.60	8.18E-07	4a	Quartzites
F22		295.00	318.60	23.60	1.05E-07	4a	Quartzites
F22		295.00	318.60	23.60	7.37E-06	4a	Quartzites
F22		295.00	318.60	23.60	2.86E-08	4a	Quartzites
F22		295.00	318.60	23.60	4.96E-06	4a	Quartzites
F23	F23-1	435.00	487.00	52	3.5E-09	5	micascistes verts, conglomerats
F23	F23-2	506.80	556.74	49.94	2.4E-09	5	quartzites/conglomerats
F23	F23-3	570.00	619.94	49.94	2.6E-09	5	quartzites/conglomerats/micaschistes
F24	F24-1	100.00	200.00	100	6.0E-06	4a	quartzites, schistes, fillades et carnieules
F24	F24-2	393.83	443.73	49.9	3.8E-09	5	quartzites et fillades
F25	F25-2	270.00	350.70	80.7	1.0E-07	4a	quartzites
F25	F25-1	309.50	350.70	41.2	1.8E-07	4a	quartzites
F30	F30-1	305.80	341.70	35.90	8.86E-08	5	Quartzites/micascistes
F30	F30-1	305.80	341.70	35.90	1.96E-07	5	Quartzites/micascistes
F30-bis	F30bis-3	1295.20	1450.00	154.8	1.00E-10	5	micascistes
F30-bis	F30bis-2	1350.70	1450.00	99.3	1.00E-10	5	micascistes
F30-bis	F30bis-1	1398.80	1450.00	51.2	1.00E-10	5	micascistes

Code sondage	Code essai	Intervalle testato		Lunghezza intervallo	Permeabilità	Complesso idrogeologico	Litologia
		da m	a m				
F31	F31-1	901.30	958.00	56.7	1.00E-10	8a	anhydrites
F31	F31-2	1002.20	1057.70	55.5	1.00E-10	8a	anhydrites + dolomies + anhydrites
F31	F31-3	1146.40	1200.00	53.6	1.00E-10	8a	anhydrites
F32	F32-1	310.80	325.95	15.15	6.93E-06	7	Houiller greseux
F32	F32-2	592.00	646.00	54.00	1.00E-09	7	Grès micacés
F32	F32-3	592.00	646.00	54.00	9.81E-07	7	Grès micacés
F32	F32-4	592.00	646.00	54.00	1.31E-06	7	Grès micacés
F32	F32-5	592.00	646.00	54.00	1.58E-06	7	Grès micacés
F32	F32-2	592.00	646.00	54	2.4E-07	7	Grès micacés
F32	F32-2	592.00	646.00	54	7.2E-08	7	Grès micacés
F33	F33-2	320.80	355.50	34.7	1.0E-09	5	quartzites fillades
F48bis	F48b-4	603.20	613.79	10.59	1.0E-10	8b	dolomie calcaire
F48bis	F48b-3	615.20	625.79	10.59	3.8E-08	8b	dolomie calcaire
F48bis	F48b-2	648.20	658.79	10.59	5.9E-08	8b	dolomie calcaire
F48bis	F48b-1	1170.15	1296.75	126.6	1.0E-10	8b	dolomie calcaire
F53bis	F53bis-4	403.00	414.76	11.76	6.6E-07	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-4	403.00	414.76	11.76	9.5E-08	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-3	433.20	444.96	11.76	7.6E-07	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-3	433.20	444.96	11.76	1.1E-07	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-2	455.32	467.08	11.76	3.7E-06	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-2	455.32	467.08	11.76	7.1E-07	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-1	468.50	621.16	152.66	1.5E-07	2	calcaires du trias
F53bis	F53bis-1	468.50	621.16	152.66	7.8E-08	2	calcaires du trias
F54-1	F54-1	533.40	541.00	7.6	6.4E-06	7b	
F54-2	F54-2	569.40	577.00	7.6	1.7E-05	7b	
F54-3	F54-3	899.00	946.00	47	1.7E-11	7b	Schistes sombres
F54	F54_576	569.40	577.00	7.6	4.7E-04	7b	Grès – Schistes
F55-1	F55-1	467.35	473.02	5.67	3.90E-06	7a	Schistes noirs fracturés
F55-2	F55-3	498.17	503.84	5.67	1.10E-06	7a	
F55-3	F55-4	572.00	578.40	6.40	2.00E-06	7a	grès moyens, schistes noirs, conglomérats à la base
F55-4	F55-5	773.00	779.44	6.44	2.80E-07	7a	shistes gréseux conglomératiques
F55	F55_470	467.35	473.02	5.67	2.8E-05	7a	Séricito - schistes
F55	F55_575	572.00	578.44	6.44	2.6E-05	7a	Grès micacés
F55	F55_776	773.00	779.44	6.44	3.6E-06	7a	Schistes gréseux
F56	F56-1	401.20	445.40	44.2	1.0E-10	5	micaschistes / quartzites
F56	F56-2	446.00	495.60	49.6	1.0E-10	5	schistes et quartzites
F56	F56-4	500.45	610.00	109.55	1.0E-10	5	schistes et quartzites
F56	F56-3	551.50	610.00	58.5	1.0E-10	5	schistes et quartzites
F56	F56-5	602.20	649.20	47	1.0E-10	5	schistes et quartzites
F57	F57-1	79.20	88.35	9.15	1.0E-03	4a	quartzites massifs
F57	F57-2	89.45	149.85	60.4	1.0E-06	4a	micaschistes / quartzites
F57	F57-3	150.20	197.05	46.85	1.0E-08	4a	micaschistes / quartzites
F57	F57-5	192.10	300.00	107.9	1.0E-10	5	quartzites/ schistes /micaschistes
F57	F57-4	193.10	251.30	58.2	1.0E-09	5	quartzites/ schistes /micaschistes
F57	F57-6	302.10	350.60	48.5	1.0E-10	5	micaschistes
F57	F57-7	349.80	398.70	48.9	1.0E-10	5	micaschistes/quartzites
F57	F57-8	397.80	450.50	52.7	1.0E-10	5	quartzites et schistes
F57	F57-9	449.10	498.50	49.4	1.0E-10	5	micaschistes
F57	F57-10	497.00	550.10	53.1	1.0E-10	5	micaschistes
F57	F57-10	496.12	550.10	53.98	5.0E-09	5	Micaschistes
F66	F66_574	574.50	582.10	7.6	5.4E-05	7	Méta-grès ou grès schisteux
F66	F66_614	614.00	621.60	7.6	3.4E-06	7	Schistes
F67	F67-1	853.00	877.70	24.7	1.0E-10	8b	dolomies, schistes, anhydrites
F67	F67-2	1115.00	1139.70	24.7	1.1E-07	8a	anhydrites, schistes, calcaires
F66ter-1	F66-1	574.50	582.10	7.60	7.30E-06	7	
F66ter-2	F66-2	614.00	621.60	7.60	2.40E-06	5	quartzites, schistes séricitiques
F66ter-3	F66-3	654.40	662.00	7.60	6.60E-09	5	quartzites, schistes quartzeux
F66ter-4	F66-4	892.45	901.15	8.70	1.10E-09	5	schistes, argillites, conglomérats
F66ter-5	F66-5	1081.00	1089.70	8.70	5.10E-09	4a	quartzites, schistes verts
F68-1	F68-1	440.00	447.60	7.60	1.40E-08	7	
F68-2	F68-2	440.00	754.00	314.00	1.30E-08	7	
F68-3	F68-3	878.10	888.40	10.30	5.30E-08	7	Schistes sombres
F68-4	F68-4	930.00	1130.00	200.00	4.00E-12	7	Schistes noirs et grès fin
F70 1	test 1	105.24	110.76	5.52	3.10E-02	7	grès moyen
F70 2	test 1	105.24	110.76	5.52	3.85E-02	7	grès moyen
F70 3	test 2	110.24	115.76	5.52	3.10E-01	7	grès moyen
F70 4	test 2	110.24	115.76	5.52	5.10E-02	7	grès moyen
F71-1	test 2	269.00	274.50	5.50	1.76E-06	7a	grès moyen/schistes noirs
F71-2	test 3	373.50	379.00	5.50	2.84E-08	7a	grès moyen fins / schistes noirs
F71-3	test 3	373.50	379.00	5.50	2.69E-08	7a	grès moyens
F71-4	test 4	422.00	427.50	5.50	4.38E-06	7a	grès moyens
F71-5	test 4	422.00	427.50	5.50	4.93E-06	7a	grès moyens

Code sondage	Code essai	Intervallo testato		Lunghezza intervallo	Permeabilità	Complesso idrogeologico	Litologia
		da m	a m	m	(m/s)	CHy	
F72bis-1	test 1	434.50	440.40	5.90	2.60E-06	7a	grès moyens
F72bis-2	test 1	434.50	440.40	5.90	1.10E-06	7a	grès moyens
F72bis-3	test 2	502.25	507.75	5.50	3.17E-06	7a	grès fins
F72bis-4	test 2	502.25	507.75	5.50	3.00E-06	7a	grès fins
F74bis-1	test 1	141.46	143.30	1.84	5.54E-05	7a	grès
F74bis-2	test 1	141.46	143.30	1.84	2.57E-05	7a	grès
F74bis-3	test 1	141.46	143.30	1.84	2.32E-05	7a	grès
F74bis-4	test 1	141.46	143.30	1.84	3.10E-05	7a	grès
F74bis-5	test 1	141.46	143.30	1.84	8.98E-05	7a	grès
F74bis-6	test 2	137.58	139.42	1.84	5.82E-07	7a	grès
F74bis-7	test 2	137.58	139.42	1.84	3.56E-07	7a	grès
F74bis-8	test 2	137.58	139.42	1.84	3.19E-07	7a	grès
F74bis-9	test 2	137.58	139.42	1.84	3.43E-07	7a	grès
F74bis-10	test 2	137.58	139.42	1.84	5.11E-07	7a	grès
F74bis-11	test 2	137.58	139.42	1.84	8.21E-07	7a	grès
F74bis-12	test 2	137.58	139.42	1.84	8.28E-07	7a	grès
F74bis-13	test 2	137.58	139.42	1.84	1.09E-06	7a	grès
F74bis-14	test 2	137.58	139.42	1.84	1.66E-06	7a	grès
F74bis-15	test 3	131.08	132.92	1.84	3.91E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-16	test 3	131.08	132.92	1.84	2.46E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-17	test 3	131.08	132.92	1.84	1.94E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-18	test 3	131.08	132.92	1.84	1.70E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-19	test 3	131.08	132.92	1.84	1.52E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-20	test 3	131.08	132.92	1.84	1.55E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-21	test 3	131.08	132.92	1.84	1.74E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-22	test 3	131.08	132.92	1.84	2.19E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-23	test 3	131.08	132.92	1.84	3.47E-06	7	gès moyens avec lits schisteux
F74bis-24	test 4	63.00	64.94	1.94	3.40E-01	7	
F130	1	152.00	166.93	14.93	8.21E-06	6	Schistes noirs + grès micacés et passées argileuses
F130	2	152.00	200.60	48.60	1.56E-05	6	Schistes noirs + grès micacés et passées argileuses
F131	1	112.64	140.77	28.13	3.53E-05	6	grès calcaires +
F131	2	140.77	200.00	59.23	1.95E-05	6	Schistes noirs + grès micacés et passées argileuses
F132	1	92.65	141.10	48.45	5.70E-07	6	grès calcaires +
F132	2	147.55	196.00	48.45	5.50E-08	6	grès calcaires +
F133	F133-i1	790.00	811.70	21.70	5.99E-09	7b	Alternance grès schistes du Houiller
F134	F134-i3	935.00	985.00	50.00	5.20E-08	7b	Alternance grès (dominants) schistes du Houiller
F134	F134-i2	1000.00	1050.00	50.00	7.60E-10	7b	Alternance grès (dominants) schistes du Houiller
F134	F134-i1	1050.00	1105.50	55.50	1.10E-08	7b	Alternance grès schistes du Houiller
F135	F135-i1	792.00	875.00	83.00	3.98E-08	7b	Alternance grès schistes du Houiller
F135	F135-i2	792.00	807.30	15.30	1.37E-07	7b	Alternance grès schistes du Houiller
F136	1	412.00	432.01	20.01	1.25E-05		Alternance grès schistes du Houiller
F136	2	600.00	650.01	50.01	1.66E-08	7a	Alternance grès schistes du Houiller
F136	3	900.00	950.01	50.01	1.24E-09	5	Gneiss du Sapey
F140	1	1090.00	1106.51	16.51	1.24E-07	8	Dolomie grise encadrée par anhydrite
F140	1b	1090.00	1106.51	16.51	1.62E-07	8	
f140	2	1090.00	1261.00	171.00	1.78E-08	8	
F140	2B	1090.00	1261.00	171.00	1.84E-08	8	Anhydrite. schistes vert. calcaire. dolomie
SMP1	SMP1-i1	274.00	300.35	26.35	1.37E-10	7b	Alternance schistes pélitiques et charbonneux du Houiller et grès fins
SMP1	SMP1-i2	160.00	300.35	140.35	2.57E-09	7b	Alternance grès (dominants) et schistes du Houiller
SMP2	SMP2-i1	226.00	355.00	129.00	1.47E-08	7b	Alternance grès (dominants) et schistes du Houiller
LP1	LP1- i1	289.50	400.90	111.40	3.95E-07	7a	Alternance grès fins à grossiers et conglomérats
LP1	LP1- i2	235.00	256.08	21.08	4.74E-07	7a	Grès moyen à fin passant à des schistes gréseux
LP1	LP1- i3	205.00	226.08	21.08	1.38E-07	7a	Grès fin et grossier, conglomérat
LP1	LP1- i4	33.50	47.08	13.58	2.50E-07	7a	Schiste gris à noir grès micacé fin à grossier, quartz
SDA	4	1010.90	1167.10	156.20	1.90E-08	8b	breches tectoniques de dolomies
SDA		1010.90	1167.10	156.20	1.28E-08	8b	breches tectoniques de dolomies
SDA		1010.90	1167.10	156.20	3.71E-08	8b	breches tectoniques de dolomies
SDA	5	1166.10	1310.10	144.00	5.07E-10	8b	dolomies et anhydrites
SDA		1166.10	1310.10	144.00	9.72E-10	8b	dolomies et anhydrites
SDA		1166.10	1310.10	144.00	2.22E-09	8b	dolomies et anhydrites
SDA		1166.10	1310.10	144.00	5.69E-09	8b	dolomies et anhydrites
SDA		1166.10	1310.10	144.00	1.00E-10	8b	dolomies et anhydrites
SDA	6	1312.35	1395.70	83.35	1.07E-10	8a	anhydrites et dolomies
SDA		1312.35	1395.70	83.35	9.12E-10	8a	anhydrites et dolomies
SDA		1312.35	1395.70	83.35	1.00E-10	8a	anhydrites et dolomies
SDA		1312.35	1395.70	83.35	5.28E-10	8a	anhydrites et dolomies
SDA		1312.35	1395.70	83.35	1.99E-10	8a	anhydrites et dolomies
SDA		1312.35	1395.70	83.35	1.00E-10	8a	anhydrites et dolomies
SDA		1312.35	1395.70	83.35	6.43E-09	8a	anhydrites et dolomies
SDA	8	1549.15	1603.10	53.95	1.51E-10	8b	dolomies
SDA		1549.15	1603.10	53.95	1.26E-09	8b	dolomies
SDA		1549.15	1603.10	53.95	2.65E-09	8b	dolomies
SDA		1549.15	1603.10	53.95	2.72E-10	8b	dolomies



Code sondage	Code essai	Intervallo testato		Lunghezza intervallo	Permeabilità	Complesso idrogeologico	Litologia
		da m	a m	m	(m/s)	CHy	
SDA		1549.15	1603.10	53.95	1.35E-09	8b	dolomies
SDA	9	1604.44	1816.50	212.06	8.49E-08	8b	calcaires dolomitiques, dolomies, +anhydrites
SDA		1604.44	1816.50	212.06	3.39E-08	8b	calcaires dolomitiques, dolomies, +anhydrites
SDA		1604.44	1816.50	212.06	1.76E-08	8b	calcaires dolomitiques, dolomies, +anhydrites
SDA		1604.44	1816.50	212.06	5.00E-09	8b	calcaires dolomitiques, dolomies, +anhydrites
SDA	11	1681.40	1822.50	141.10	1.35E-07	8b	dolomies, anhydrites, scistes noirs
SDA		1681.40	1822.50	141.10	4.67E-08	8b	dolomies, anhydrites, scistes noirs
SDA		1681.40	1822.50	141.10	6.02E-08	8b	dolomies, anhydrites, scistes noirs
SDA		1681.40	1822.50	141.10	3.07E-08	8b	dolomies, anhydrites, scistes noirs
SDA		1681.40	1822.50	141.10	2.44E-08	8b	dolomies, anhydrites, scistes noirs
S4		550.00	555.00	5	9.0E-08	5	
S4		565.00	570.00	5	1.1E-07	5	
S4		575.00	580.00	5	1.1E-07	5	
S4		585.00	590.00	5	1.1E-07	5	
S4		700.00	705.00	5	1.0E-07	5	
S4		710.00	715.00	5	1.0E-07	5	
S4		720.00	725.00	5	1.3E-07	5	
S4		733.00	738.00	5	1.4E-07	5	
S5		511.00	516.00	5	7.9E-08	5	Gneiss aplitici
S5		535.00	540.00	5	6.0E-08	5	Gneiss aplitici
S5		560.00	565.00	5	7.6E-08	5	Gneiss aplitici
S5		585.00	590.00	5	8.8E-08	5	Gneiss aplitici
S5		719.00	724.00	5	5.8E-08	5	Gneiss aplitici
S5		738.00	743.00	5	4.8E-08	5	Gneiss aplitici
S5		776.00	781.00	5	1.2E-07	5	Gneiss aplitici
S5		788.00	793.00	5	7.8E-08	5	Gneiss aplitici
S8	prova 1	400.60	405.60	5	2.4E-09	6a	
S8	prova 2	406.50	411.50	5	1.8E-08	6a	
S8	prova 3	412.50	417.50	5	1.7E-08	6a	
S8	prova 4	418.80	423.80	5	1.2E-09	6a	
S8	prova 5	423.70	428.70	5	3.4E-08	6a	
S8	prova 6	428.00	433.00	5	3.0E-09	6a	
S8	prova 7	433.00	438.00	5	6.0E-10	6a	
S8	prova 8	439.90	444.90	5	6.1E-08	6a	
S8	prova 9	446.30	451.30	5	1.6E-08	6a	
S8	prova 10	452.30	457.30	5	1.8E-10	6a	
S8	prova 11	458.30	463.30	5	6.0E-10	6a	
S8	prova 12	464.30	469.30	5	1.8E-10	6a	
S8	prova 13	470.30	475.30	5	9.2E-08	6a	
S8	prova 14	476.20	481.20	5	6.0E-10	6a	
S8	prova 15	482.30	487.30	5	1.8E-10	6a	
S8	prova 16	488.30	493.30	5	2.5E-08	6a	
S8	prova 17	494.30	499.30	5	1.2E-08	6a	
S8	prova 18	500.10	505.10	5	2.6E-08	6a	
S8	prova 19	506.30	511.30	5	2.4E-09	6a	
S8	prova 20	512.30	517.30	5	1.8E-10	6a	
S9		294.50	299.50	5	7.2E-08	4b	
S9		315.10	320.10	5	5.8E-08	4b	
S9		336.30	341.30	5	2.6E-08	4b	
S9		355.20	360.20	5	1.0E-10	6a	
S9		373.90	378.90	5	1.0E-10	6a	
S9		395.00	400.00	5	1.6E-08	6a	
S11		241.50	245.00	3.5	3.6E-06	3	
S11		250.50	254.00	3.5		3	
S11		259.50	263.00	3.5		3	
S11		268.50	272.00	3.5		3	
S11		277.50	281.00	3.5		3	
S11		286.50	290.00	3.5	4.9E-06	3	
S11		295.50	299.00	3.5	1.6E-06	3	
S11		304.50	308.00	3.5	4.6E-06	3	
S11		313.50	317.00	3.5		3	
S11		322.50	326.00	3.5		3	
S11		331.50	335.00	3.5		3	
S11		340.50	344.00	3.5	2.5E-06	3	
S11		349.50	353.00	3.5		3	
S11		358.50	362.00	3.5		3	
S11		367.50	371.00	3.5		3	
S11		376.50	380.00	3.5	4.7E-06	3	
S11		385.50	389.00	3.5	6.0E-08	3	
S11		394.50	398.00	3.5	1.0E-06	3	
S11		403.50	407.00	3.5	1.4E-06	3	
S11		412.50	416.00	3.5	3.5E-06	3	
S11		421.50	425.00	3.5		3	

Code sondage	Code essai	Intervallo testato		Lunghezza intervallo m	Permeabilità (m/s)	Complesso idrogeologico CHy	Litologia
		da m	a m				
S11		421.50	425.00	3.5		3	
S11		430.50	434.00	3.5		3	
S11		439.50	443.00	3.5		3	
S11		448.50	452.50	4	9.8E-06	3	
S11		457.50	461.00	3.5	6.6E-06	3	
S11		466.50	470.00	3.5	1.9E-06	3	
S11		475.00	479.00	4	7.2E-07	3	
S11		484.50	488.00	3.5		3	
S11		493.50	497.00	3.5		3	
S11		502.50	506.00	3.5		3	
S11		511.50	515.00	3.5		3	
S11		520.50	524.00	3.5	4.2E-07	3	
S11		529.50	533.00	3.5	1.4E-06	3	
S11		532.50	542.00	9.5		3	
S11		547.50	551.00	3.5		3	
S11		560.50	564.00	3.5		3	
S11		569.50	573.00	3.5		3	
S11		578.50	582.50	4	9.6E-07	3	
S11		587.50	591.50	4	9.6E-07	3	
S11		596.50	600.00	3.5	4.5E-08	3	
S12	prova 1	155.20	170.20	15	5.3E-07	6b	calcescisti, gneiss
S12	prova 2	173.50	188.50	15	1.2E-07	6b	
S12	prova 3	188.10	203.10	15	2.7E-07	6b	gneiss minuti
S12	prova 4	199.20	214.20	15	7.8E-08	6b	
S12	prova 5	215.80	230.80	15	6.0E-07	6b	
S12	prova 6	230.20	245.20	15	3.1E-08	6b	
S12	prova 7	247.60	262.60	15	1.3E-08	6b	gneiss di Charbonnel
S15	prova 1	24.00	24.50	0.5	6.4E-05	Qg	Ghiaie eterometriche con livelli di sabbie e limo
S16	prova 1	24.00	25.10	1.1	8.8E-05	Qg	ghiaie eterometriche con ciottoli, sabbie, e sabbie limose
S16	prova 2	49.50	50.00	0.5	1.4E-06	Qs	sabbie debolmente limosa, ghiaiosa, rari ciottoli
S16	prova 3	69.00	70.00	1	7.3E-06	Qg	alternanze di ghiaie eterometriche, sabbie limose, rari ciottoli
S18	prova 1	49.00	50.00	1	3.7E-06	Qs	sabbie fini, ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa +/- limosa
S18	prova 2	59.00	60.00	1	4.5E-06	Qs	sabbie da fini a grossolane +/- limose
S19	prova 1	22.50	23.50	1	3.3E-06	Qg	ghiaie eterometriche localmente limose
S19	prova 2	52.30	53.00	0.7	1.6E-05	Qg	ghiaie eterometriche, sabbie medio fini, localmente limose
S19	prova 3	70.35	73.00	2.65	3.4E-07	Qs	sabbie ghiaiose con livelli di limi
S19	prova 4	87.50	89.00	1.5	3.8E-07	Qs	sabbie localmente limose, livelli di ghiaie
S20	prova 1	24.00	25.00	1	2.6E-06	Qg	ghiaie eterometriche, sabbie limose
S20	prova 2	49.50	51.00	1.5	2.1E-06	Qs	sabbie limose con ghiaie
S20	prova 3	75.00	76.50	1.5	6.1E-06	Ql	limo con sabbia, sabbie eterometriche limose
S22	prova 1	47.50	50.00	2.5	7.3E-01	Qg	ghiaie fini, sabbie limose
S23	prova 1	403.40	408.40	5	3.4E-08	5	gneiss aplitici
S23	prova 2	415.80	420.80	5	2.4E-09	5	gneiss aplitici
S23	prova 3	429.90	434.90	5	1.0E-10	5	gneiss aplitici
S23	prova 4	440.20	445.20	5	1.0E-10	5	gneiss aplitici
S23	prova 5	450.90	455.90	5	2.0E-08	5	gneiss aplitici
S23	prova 6	460.80	465.80	5	6.0E-10	5	gneiss aplitici
S23	prova 7	466.00	471.00	5	1.0E-10	5	gneiss aplitici
S23	prova 8	475.70	480.70	5	1.0E-10	5	gneiss aplitici
S23	prova 9	486.10	491.10	5	1.0E-10	5	gneiss aplitici
S24	prova 1	152.10	157.10	5	5.0E-08	6a	
S24	prova 2	161.30	166.30	5	6.0E-09	6a	
S24	prova 3	170.30	175.30	5	9.0E-10	6a	
S24	prova 4	179.00	184.00	5	4.2E-10	6a	
S24	prova 5	188.00	193.00	5	9.0E-10	6a	
S24	prova 6	195.00	200.00	5	1.0E-10	6a	
S25	prova 1	131.60	136.60	5	2.5E-08	6a	
S25	prova 2	140.10	145.10	5	1.9E-08	6a	
S25	prova 3	146.30	151.30	5	4.8E-08	6a	
S25	prova 4	154.40	159.40	5	5.8E-08	6a	
S25	prova 5	161.40	166.40	5	3.6E-08	6a	
S25	prova 6	168.50	173.50	5	4.1E-08	6a	
S25	prova 7	179.40	184.40	5	6.4E-08	6a	
S25	prova 8	185.50	190.50	5	4.3E-08	6a	
S25	prova 9	192.60	197.60	5	2.4E-07	6a	
S25	prova 10	197.40	202.40	5	3.5E-07	6a	

## ALLEGATO 2 - Circolazione idrica nel mezzo fratturato

### 1. Introduzione

Per la caratterizzazione della circolazione idrica nel mezzo fratturato, sono stati esplicitati i dati del rilevamento idrogeologico.

La documentazione di riferimento prodotta in ambito idrogeologico e riguardante le risorse idriche comprende i seguenti elaborati:

- Relazione idrogeologica di sintesi (PRV TS3 C3B 00 02 03 10 02 0095)
- Profilo idrogeologico di sintesi alla scala 1:100000 (PRV TS3 C3B 00 02 01 40 01 0053)
- Carta idrogeologica di sintesi alla scala 1:100000 (PRV TS3 C3B 00 02 01 30 01 0096)
- Relazione sui punti acqua e valutazione della loro probabilità d'impatto (PRV TS3 C3B 00 02 03 10 01 0097)
- Carta della probabilità d'impatto sulle sorgenti e sui principali corsi d'acqua (lato Italia) scala 1:25000 (PRV TS3 C3B 00 02 03 30 02 0099)
- Carta idrogeologica alla scala 1:25000 (PRV TS3 C3B 00 02 03 30 02 0098)
- Profilo idrogeologico lato Italia (Tunnel di base e gallerie di interconnessione) alla scala 1:25000 (PRV TS3 C3B 00 02 03 40 01 0056)
- Relazione ritorno di esperienza scavo Cunicolo Geognostico Maddalena (PRV TS3 C3B 26 48 01 10 01 7200)

La grande maggioranza dei dati utilizzati nel progetto deriva da studi realizzati prima da Alpetunnel GEIE e poi da LTF SA. I principali comprendono:

- Definizione del modello geologico, prodotto da Alpetunnel nell'anno 2000 a seguito di sondaggi, prospezione geofisica, prove in sito e analisi di laboratorio;
- Definizione del modello idrogeologico di riferimento attraverso uno progetto denominato "Etudes hydrogéologiques 2002-2004", affidato al raggruppamento ARCADIS, SEA Consulting, SILENE & Baptendier.

Per esaustività di seguito si riporta uno stralcio della relazione finale degli "Etudes hydrogéologiques 2002-2004"

#### 1.1 Dati storici (pre Etudes hydrogéologiques 2002-2004)

##### 1.1.1 Analisi sulle acque

Le analisi sulle acque degli acquiferi superficiali (sorgenti) provengono dall'impianto idroelettrico di Pont Ventoux e da ALPETUNNEL. Le analisi delle acque intercettate nei sondaggi provengono tutte da ALPETUNNEL.

##### 1.1.2 Misure di portata nei torrenti

Precedentemente al 2002 i torrenti minori del versante italiano sono stati oggetto di studi svolti per conto di Alpetunnel GEIE dalle società HYDRODATA e RISORSE IDRICHE.

**Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)**

---

Una unica misura di portata fu realizzata nel 1995, al piede dei corsi d'acqua intersecanti il tracciato della galleria di Bussoleno, vicino alla confluenza di questi con la Dora Riparia.

Nell'ambito di questo lavoro sono state riprese e sintetizzate le osservazioni riguardanti i torrenti Prebech (Orrido di Chianocco), Moletta (Bussoleno), Rocciamelone (Foresto), Giandula (Mompantero) e Clarea, considerati di particolare interesse per la comprensione del bilancio idrico del versante.

### ***1.1.3 Rete di monitoraggio delle sorgenti***

Nell'ambito delle indagini preliminari per la realizzazione del nuovo raccordo ferroviario ad alta velocità Torino-Lione, nel tratto in territorio italiano fu realizzato da RISORSE IDRICHE S.p.A. per conto di ALPETUNNEL GEIE uno studio idrogeologico volto alla definizione di un quadro idrogeologico di riferimento. All'interno di questo studio fu eseguito il primo censimento dei punti d'acqua. L'attività di censimento e sopralluogo dei corpi idrici sotterranei fu svolta nei mesi di settembre e ottobre 1995. I comuni interessati furono: Giaglione, Venaus, Susa, Mompantero, Gravera, Meana di Susa, Mattie, Bussoleno, S. Giorio di Susa, Chianocco, Bruzolo, S. Didero e Borgone di Susa. Questo lavoro portò all'identificazione di 259 corpi idrici. Inoltre, per ogni singolo punto d'acqua fu redatta una scheda monografica standard nella quale furono riportati in modo sintetico ed uniforme tutte le informazioni riguardanti tale punto.

Questa prima attività di censimento dei corpi idrici è stata seguita, a partire dall'anno 1997, dal monitoraggio mensile dei parametri di portata, temperatura (dell'acqua e dell'aria), conducibilità elettrica e pH su un totale di 66 sorgenti prescelte nei comuni di Bussoleno, Chianocco, Giaglione, Gravera, Meana, Mompantero e Venaus. Tale attività è proseguita in modo più o meno continuo fino alla fine dell'anno 2000.

L'ultima campagna eseguita da ALPETUNNEL GEIE è stata la IV campagna di monitoraggio mensile, svolta nel periodo gennaio-giugno 2001 da SEA Consulting su un totale di 53 punti d'acqua.

### ***1.1.4 Misure in sondaggi – prove di permeabilità***

Per quanto riguarda i sondaggi S15, S16, S18, S19, S20 e S22 realizzati in terreni sciolti quaternari, sono state eseguite delle prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico costante o a carico variabile. Le prove sono state eseguite tra il mese di ottobre 1996 ed il mese di aprile 1997 e i risultati sono sintetizzati nel rapporto redatto per conto di ALPETUNNEL GEIE dall'Area Sito Territorio e Ambiente dell'ISMES S.p.A.:

- “Lavori e prestazioni occorrenti per l'esecuzione delle indagini dirette relative al tunnel di base Murienne-Ambin, al tunnel di Bussoleno ed alla galleria geognostica in Val Cenischia (Venaus) della nuova linea A.V. Torino Lione. Lotto 6”, ISMES S.p.A., Doc. RAT-STA-1158/97.

Sui sondaggi in roccia S4, S5, S8, S9, S11, S12, S23, S24 e S25 sono state eseguite delle prove di tipo Lugeon. I dati riguardanti i sondaggi S4 e S5 provengono da:

- “Lavori e prestazioni occorrenti per l'esecuzione delle indagini dirette relative alla nuova linea A.V. Torino –Lione, Volume 3b”, Rapporto ISMES – COREIS – ME2i, Doc. RAT-STA-1444/97.

Le prove sui sondaggi S8, S9, S11, S12, S23, S24 e S25 sono state svolte da ME2i su richiesta della società Consonda e per conto di Alpetunnel GEIE. I risultati sono sintetizzati nei seguenti rapporti:

- “Indagini dirette relative al tunnel di base Maurienne-Ambin, al tunnel di Bussoleno ed alla galleria geognostica della nuova linea a.v. Torino Lione”, redatti per i Lotti 5, 7 e 8, Doc. ATG/CS/96.1.3, Doc. ATG/CS/96.2.3, Doc. ATG/CS/98.1.5, Doc. ATG/CS/96.3.3, Doc. ATG/CS/97.7.3, Doc. ATG/CS/97.8.3 e Doc. ATG/CS/97.9.3.

## 1.2 Dati Etudes hydrogéologiques 2002-2004

### 1.2.1 Prelievo e analisi sulle acque

Nel corso del periodo 2002-2004, sono state acquisite nuove analisi chimiche ed isotopiche delle acque. Si tratta in primo luogo di analisi effettuate su una selezione di sorgenti ed una venuta in galleria nell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux, rappresentativi dei differenti tipi di acquiferi superficiali presenti lungo il tracciato del tunnel di Base e di quello di Bussoleno.

### 1.2.2 Misure di portata nei torrenti

Per valutare gli scambi tra i deflussi superficiali e sotterranei, sono state eseguite delle misure di portata lungo i corsi d'acqua dell'area oggetto di studio. I torrenti che intersecano il tracciato ferroviario hanno sezioni dove è spesso difficile, se non impossibile, realizzare delle misure dirette o mediante l'utilizzo di correntometri. Pertanto, le misure sono state realizzate mediante tracciamento con l'iniezione di coloranti. Sono stati esaminati i seguenti torrenti, da ovest verso est:

- T. Clarea
- Rio Giandula
- Rio Rocciamelone
- Rio Moletta
- T. Prebech

Le misure di portata di questi corsi d'acqua sono state eseguite in periodo di magra invernale per il Clarea e il Prebech ed estiva per gli altri tre.

### 1.2.3 Rete di monitoraggio delle sorgenti

L'attività di monitoraggio delle principali sorgenti ricadenti nell'area interessata dal progetto del nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione, lato Italia, si è svolta in corrispondenza del versante sinistro della Valle di Susa e in Valle Cenischia, nel tratto compreso tra i comuni di Giaglione e Chianocco. Inoltre sono state selezionate due sorgenti presenti sul versante destro per tenere sotto controllo anche le variazioni dei parametri chimico-fisici di una situazione “indisturbata” e cioè sicuramente non alterata dalla futura opera in sottoterraneo, che interesserà il solo versante sinistro.

La rete di monitoraggio comprende 38 punti di misura localizzati nei comuni di Giaglione, Venaus, Mompantero, Bussoleno, Chianocco, Gravera e Meana di Susa. La selezione dei punti è stata realizzata in collaborazione con i comuni coinvolti. Di questi punti si sono misurati mensilmente i valori di conducibilità, temperatura dell'acqua e dell'aria, pH e portata. Inoltre di alcuni di essi sono stati prelevati campioni per le analisi chimiche ed isotopiche in laboratorio.

I punti d'acqua misurati sono stati selezionati sulla base dei risultati ottenuti dalla IV campagna di monitoraggio delle risorse idriche svolta nelle stesse aree nel periodo gennaio-giugno 2001. Sulla base dell'esperienza di questo lavoro, sono state inserite quattro sorgenti che non erano state considerate nella campagna di monitoraggio del 2001. Tali sorgenti si trovano nei comuni di Chianocco e Bussoleno e sono:

---

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

---

- sorgente Pietra Bianca (CH/SC/05)
- sorgente Gottrus (CH/SC/06)
- sorgente Falcimagna 2 (BU/SC/10)
- sorgente Addoi (BU/SC/09)

Si è cercato per quanto possibile di scegliere quelle sorgenti la cui emergenza si trova in prossimità del tracciato della galleria e quindi potenzialmente alimentate da acquiferi interessati dall'opera di scavo.

Una speciale attenzione è stata dedicata alla distribuzione areale delle sorgenti da monitorare in modo tale da garantire che tutti gli acquiferi che saranno attraversati dalla galleria siano rappresentati.

Questa selezione di punti d'acqua comprende una serie di sorgenti il cui accesso è vincolato ad un permesso dell'amministrazione da parte del Comune di appartenenza o da privati proprietari.

Per ogni punto d'acqua sono misurati mensilmente in situ i seguenti parametri chimico-fisici:

- Portata (l/s)
- Temperatura dell'acqua (°C)
- Temperatura dell'aria (°C)
- Conducibilità elettrica a 20°C (μS/cm)
- pH (concentrazione degli ioni H+).

### 1.3 Dati 2004-2014 (Fase di PD2)

Si segnala che successivamente sono stati realizzati studi idrogeologici supportati da:

- Nuove campagne indagini (cfr. Indagini esistenti PD2-C3B-TS3-0019)
- Censimento e monitoraggio dei punti acqua sotterranei e superficiali 2009-2014 da parte di SEA Consulting.
- Studio di approfondimento idrogeologico Chiomonte (PP2-MRI-SEA-0002-C)
- Rilievi geostrutturali delle zone di imbocco della galleria di interconnessione (allegati a questa nota).

#### 1.3.1 *Prelievo e analisi sulle acque e Rete di monitoraggio delle sorgenti*

I dati relativi allo studio di approfondimento idrogeologico nel comune di Chiomonte (2010) si riferiscono a 34 sorgenti segnalate dall'Ufficio Tecnico del Comune di Chiomonte. Per ogni punto d'acqua censito sono stati misurati sul terreno i principali parametri fisico – chimici. Per alcuni punti d'acqua ritenuti di particolare interesse, sia per quanto riguarda la portata, sia per quel che concerne le caratteristiche fisico – chimiche misurate su terreno, sono stati prelevati campioni sui quali sono state eseguite analisi più approfondite in laboratorio (chimiche ed isotopiche).

Dopo una prima attività di censimento dei corpi idrici eseguita nel 2009 da parte di SEA Consulting lungo il tracciato delle opere in progetto sul territorio italiano, è seguito un monitoraggio mensile dei parametri di portata, temperatura (dell'acqua e dell'aria), conducibilità elettrica e pH su un totale dei punti acqua individuati nella Rete Totale di Monitoraggio. Inoltre su alcuni punti vengono effettuate delle analisi chimiche di laboratorio a cadenza semestrale.

#### 1.3.2 *Misure in sondaggi – prove di permeabilità*

I dati utilizzati per la definizione del modello geologico, idrogeologico e geomeccanico lungo il tracciato delle opere della Nuova Linea Ferroviaria Torino – Lione derivano dalle campagne

**Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)**

---

di indagini geognostiche realizzate a cavallo del corridoio di studio nell'ambito del progetto LTF e della progettazione e realizzazione delle opere presenti nello stesso corridoio di studio; in particolare ci si riferisce all'autostrada A32 Torino-Bardonecchia (SITAF) e all'impianto idroelettrico di Pont Ventoux (IRIDE) e la galleria Prapontin.

Nella Tabella 1 sono riportati i codici delle indagini consultate e suddivise secondo i settori del progetto LTF, l'ente committente e la tipologia d'indagine.

#### **1.4 Dati 2014-2016 (Scavo del cunicolo esplorativo delle Maddalena - Fase di PRV)**

Durante lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena, tutt'ora in corso, una serie di misure e monitoraggi di parametri idrogeologici sono stati eseguiti. I dati hanno permesso di validare le ipotesi di circolazione idrica profonda nell'ammasso roccioso interessato dallo scavo del Tunnel di Base specificatamente per la parte che interessa lo scavo nelle rocce del basamento Pre-Triassico (Complesso d'Ambin e Complesso di Clarea).

Le attività di acquisizione di parametri idrogeologici hanno compreso:

- monitoraggio delle portate totali e per sezioni lungo la galleria per evidenziare l'evoluzione della portata delle infiltrazioni
- analisi chimiche delle infiltrazioni secondo tre tipologie di analisi:
  - analisi chimiche complete: (anioni e cationi maggiori e minori) secondo D. Lgs. N°152/2006, all. 5 Tab. 2);
  - contenuto di silice SiO<sub>2</sub>
  - analisi potabilità per consumo urbano: secondo D. Lgs. n. 31/2001
  - analisi isotopiche: O18 – deuterio
- monitoraggio termico dell'ammasso roccioso e delle acque di infiltrazione
- monitoraggio dei punti d'acqua superficiali (rete di monitoraggio della Maddalena) con cadenza mensile, considerando i seguenti parametri:
  - portata
  - soggiacenza (pozzi e piezometri)
  - temperatura acqua
  - conducibilità elettrica
  - pH
  - potenziale redox
  - ossigeno disciolto

La serie storica di misure mensili a disposizione copre un arco temporale che va da 2012 al 2016, mentre le attività di scavo del cantiere della Maddalena sono iniziate a fine gennaio 2013 (inizio scavo in tradizionale). L'analisi dei dati permetterà dunque di definire con chiarezza eventuali impatti o interferenze tra lo scavo in sotterraneo e il regime di variazione naturale delle risorse idriche superficiali.

Si rimanda alla Relazione ritorno di esperienza scavo Cunicolo Geognostico Maddalena (PRV TS3 C3B 26 48 01 10 01 7200) e ai documenti idrogeologici di fase PRV per l'analisi e il commento dei dati.

Relazione idrogeologica di sintesi (lato Italia) / Rapport hydrogéologique général (côté Italie)

Committenza / Campagna	Settore / opera	Tipo indagini	Codici sondaggi e indagini geofisiche				
			S1	S8	S19	S28	Sondage Dirigé Etache
LTF - Alpetunnel (1999 - 2005)	Tunnel di base	Sondaggi geognostici	S2	S9	S20	S29	
			S3	S10	S22	S30	
			S4	S11	S23	S42	
			S5	S12	S24	F16	
			S6	S14	S26	F30bis	
			S6bis	S18	S27	F31	
LTF - Alpetunnel (geofisica 1997 - 2005)	Tunnel di base	Rifrazione tomografica	1000	2000	3000	4000	4100
			4200	4300	5000	7000	8000
			9000	11000	12000	13000	14000
		Sismica a riflessione	4000	5000	6000	7000	
		Geoelettrica	10000				
LTF-2010	Piana di Susa	Sondaggi geognostici	S72	S67	S66	S65	
LTF-2011	Galleria Maddalena	Sondaggi geognostici	S90	S91	S92		
		Sismica a riflessione	SR1	SR2			
		MASW	PVs1	PVs2			
		SEV	SVs1				
LTF-2012	Piana di Susa	Sondaggi geognostici	S68/2	S68	S69	S71	
		MASW	P2	P3	P4	P5	
	MASW1		MASW2	MASW3	MASW4	caserma	
	P6		P6-2				
	P7						
	P8						
	P9						
	Galleria Maddalena	Sondaggi geognostici	S1	S2	S3	S4	S5
Sismica a riflessione		TSR 1	TSR 2	TSR 3			
SITAF A32	Tunnel di base	Sondaggi geognostici	P6	P14			
	Piana di Susa	Sondaggi geognostici	S19b	F6	P4	F8	F5
			P1	S20	F7	DA	P2
			F10	P3	F3	F9	F1
			F11	F2	F4	A22	A23
			B1	B2	B3	B4	B5
			B6				
	Galleria Maddalena	Sondaggi geognostici	P2	P5	S1	S2	
P12-A			P12-B	P9	SP1		
centrale idroelettrica Pont Ventoux AEM (ora IREN)	Tunnel di base	Sondaggi geognostici	BH1/VC	D3/VC	2S2	S2	S1
			S4	D5/VC	2S3	S3	7S1
			S5	PIA/VC	2S4	S4	4S5
			S6	PIB/VC	4S3	S5	7S2
			BH2/VC	PIC/VC	4S4	S6	6S2
			SPT1/VC	PIE/VC-D4	4S6	8SG5	6S1
			D1/VC	2S1	SC5	S2	4S7
			D2/VC	2S1 bis	S1	S3	4S1-4S2
Vari	G. d'interconnessione	Sondaggi geognostici	S3A	S3B	S3C	S3D	S3E
	Piana di Susa	Sondaggi geognostici	S1 (502)	S2 (503)	P1 (504)		

Tabella 1 : Elenco indagini realizzate lungo il corridoio di studio.



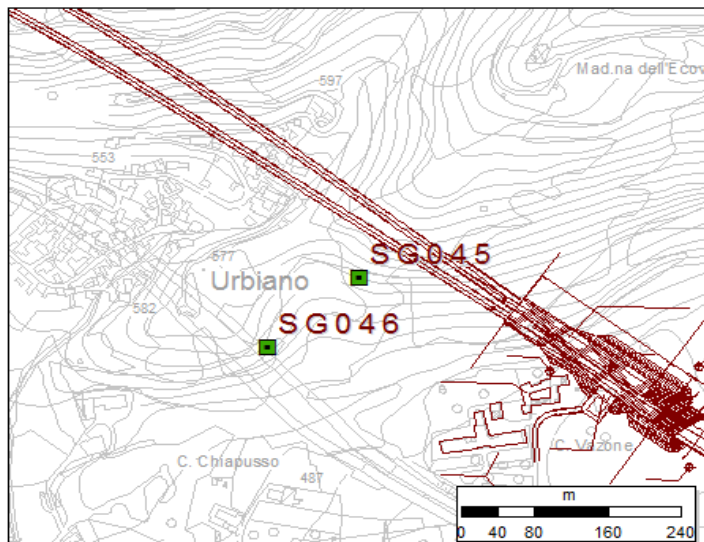
## **Rilievi geostrukturali delle zone di imbocco della Galleria di Interconnessione**

**RILIEVO GEOMECCANICO SG045**

**Ubicazione indagine**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Urbiano	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.224,417	5.000.478,617
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	548 ± 4 m	
<b>Data</b>	16/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano, alle spalle di Mompantero	

**Planimetria ubicazione del rilievo**



**RILIEVO GEOMECCANICO SG045**

**Scheda di rilievo**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Urbiano	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.224,417	5.000.478,617
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	548 ± 4 m	
<b>Data</b>	16/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano, alle spalle di Mompantero	

Condizioni generali dell'ammasso roccioso						
Giacitura del fronte di misura	[°/°]	180	50			
Giacitura generale del pendio	[°/°]	180	25			
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	11	5.0			
Volume roccioso unitario medio	[dimensioni] [forma]	[m x m x m]	1*1,5*1			
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia	[MPa]	69				
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	5	1			
Geologic strength index (stimato)		80				
Grado di alterazione dell'ammasso		non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto
Condizioni di umidità dell'ammasso		asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso



Affioramento e dettaglio della famiglia di giunti subverticali J2

<b>Litologia e descrizione geologica generale</b>
Scisto prasinitico ripiegato
NOTE:

Definizione delle componenti litologiche negli ammassi complessi:	lito1	-	-	-
	lito2	-	-	-
	%di lito 2 sul totale dell'ammasso			

Geometria delle linee di misura		
	Direz.	Lungh. [m]
Linea di misura 1	N100°W	11
Linea di misura 2	-	-

Schema delle famiglie di frattura individuabili in sito				
set	inclin.	imm.	spaz.	Pers. Lung.
(n°)	(°)	(°)	(m)	(m)
Sc	30	330	0.05 - 0.5	> 3
J1	55	160	< 1	1 - 3
J2	70	110	1 - 3	1 - 3

Sclerometro													
α	R1	R2	R3	R4	R4	R5	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
90	28	40	35	30	30								
90	40	35	48	40	30	35	30						
90	40	40	35	35	30	40	55						

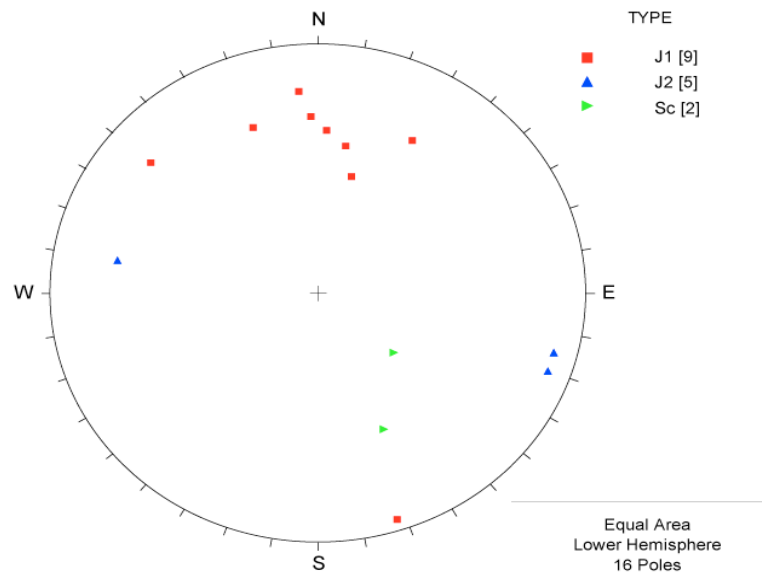
**RILIEVO GEOMECCANICO SG045**  
**Proiezioni stereografiche e analisi spaziate**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Urbiano	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.224,417	5.000.478,617
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	548 ± 4 m	
<b>Data</b>	16/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano, alle spalle di Mompantero	

Proiezione stereografica dei poli dei set di discontinuità misurati in affioramento

Sc = scistosità  
 J = giunto

Direzione media del tunnel      N055°W



TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano, alle spalle di Mompantero

SPAZIATURA	SET	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione		
							clas	Jr			Barton	clas	Ja
(cm)	1	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm				R = rigido, granul. P = plast., coesivo			
	2				B se 1 - 3	B se < 0.1							
	...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1							
	altro				D se 10-20	D se 1 - 5							
					E se > 20	E se > 5							

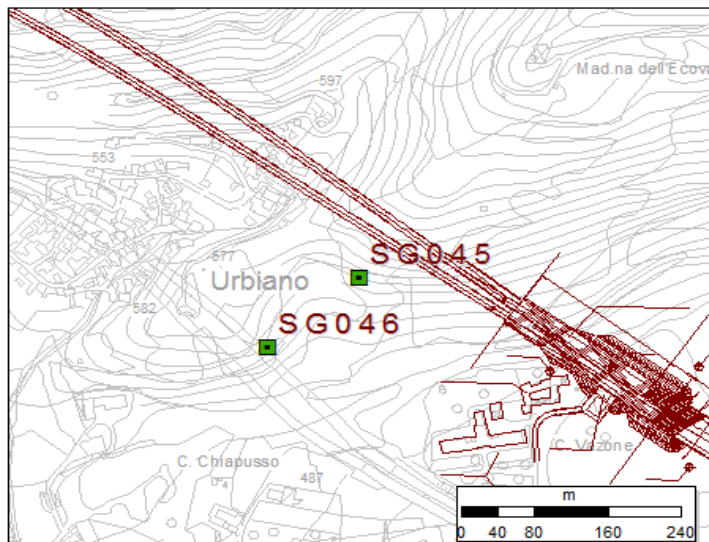
-	J1	175	70	0	A	E	B	3	2 - 4	-	C	2
44.15	J2	100	65	50	B	D	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
14.01	J1	178	60	50	C	E	B	3	2 - 4	-	C	2
47.63	J1	130	70	220	B	-	B	3	2 - 4	-	A	0.75
36.42	J1	160	60	350	C	-	B	3	2 - 4	-	C	2
87.50	Sc	310	30	350	E	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
36.42	J1	183	55	480	B	E	B	3	2 - 4	-	B	1
468.00	J2	285	80	580	C	E	B	3	6 - 8	-	B	1
36.42	J1	210	60	610	B	D	B	3	8 - 10	R	C	2
61.81	J2	290	80	650	B	D	B	3	8 - 10	R	C	2
11.21	J1	190	50	650	B	D	B	3	8 - 10	R	C	2
26.49	J2	290	80	680	B	C	B	3	6 - 8	R	B	1
35.32	J2	290	80	720	A	A	E	1.5	4 - 6	-	B	1
19.61	J1	342	85	720	C	E	B	3	8 - 10	-	B	1
147.50	Sc	336	50	940	E	A	C	2	2 - 4	-	A	0.75
78.45	J1	195	40	1000	C	D	E	1.5	4 - 6	-	B	1

**RILIEVO GEOMECCANICO SG046**

**Ubicazione indagine**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Urbiano	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.123,985	5.000.394,923
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	545 ± 8 m	
<b>Data</b>	16/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano	

**Planimetria ubicazione del rilievo**



**RILIEVO GEOMECCANICO SG046**
**Scheda di rilievo**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Urbiano	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.123,985	5.000.394,923
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	545 ± 8 m	
<b>Data</b>	16/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano	

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°°]	090	82
Giacitura generale del pendio	[°°]	090	82
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	10.5	7.0
Volume roccioso unitario medio	[dimensioni] [forma]	[m x m x m]	>4*2*2
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia	[MPa]	80	
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	4	1
Geologic strength index (stimato)		80	
Grado di alterazione dell'ammasso		non alterato	debolm. alterato
			moder. alterato
			molto alterato
			decomposto
Condizioni di umidità dell'ammasso		asciutto	umido
			bagnato
			stillicidio
			flusso


**Litologia e descrizione geologica generale**

Prasiniti; blocchi unitari stretti. A due fasce di deformazione fragile marcata corrispondono piani di taglio con gouge/breccia di faglia di riempimento (20-30 cm max)

NOTE: La scistosità è pervasiva ma generalmente non origina giunti.

Definizione delle componenti litologiche negli ammassi complessi:

lito1

lito2

%di lito 2 sul totale dell'ammasso

-

-

0

**Geometria delle linee di misura**

	Direz.	Lungh. [m]
Linea di misura 1	N180°	10.5
Linea di misura 2	-	-

**Schema delle famiglie di frattura individuabili in sito**

set	inclin.	imm.	spaz.	Pers. Lung.
(n°)	(°)	(°)	(m)	(m)
J1	72	E-W	0.05 - 0.5	> 3
J2	72	N-S	1 - 3	1 - 3
F	74	160	> 3	1 - 3

**Sclerometro**

α	R1	R2	R3	R4	R4	R5	R5	R6	R7	R8	R9	R10
90	40	15	25									
90	42	48	48	48	58	40	52	50				
90	40	40	40	38	35	50	52					

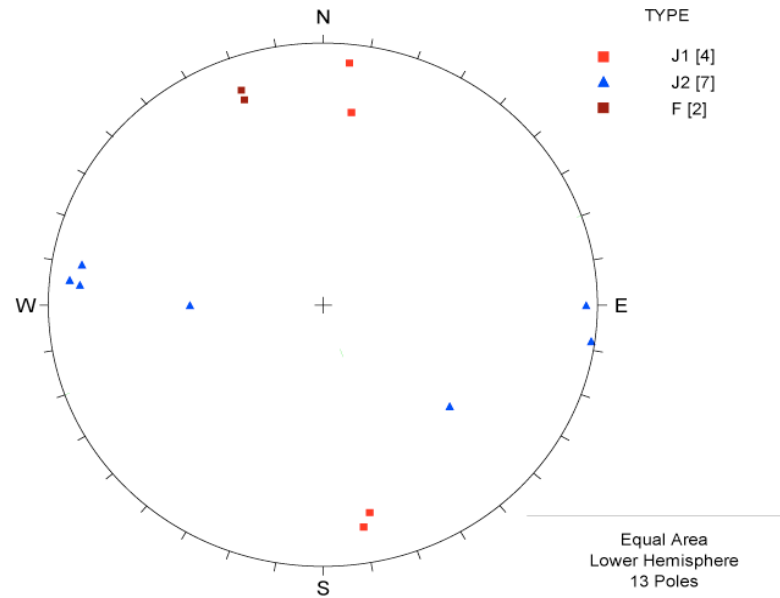
**RILIEVO GEOMECCANICO SG046**  
**Proiezioni stereografiche e analisi spaziate**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD
<b>Località</b>	Urbiano
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.123,985      5.000.394,923
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	545 ± 8 m
<b>Data</b>	16/03/2012
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano

Sc = scistosità
F = faglia
J = giunto

Direzione media del tunnel      N055°W

Proiezione stereografica dei poli dei set di discontinuità misurati in affioramento





TdB imbocco E - versante a N di frazione S. Giuliano

SPAZIATURA	SET	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione		
(cm)	1	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm	clas	Jr	Barton	R = rigido, granul. P = plast., coesivo	clas	Ja	
	2				B se 1 - 3	B se < 0.1							
	...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1							
	altro				D se 10-20	D se 1 - 5							
					E se > 20	E se > 5							

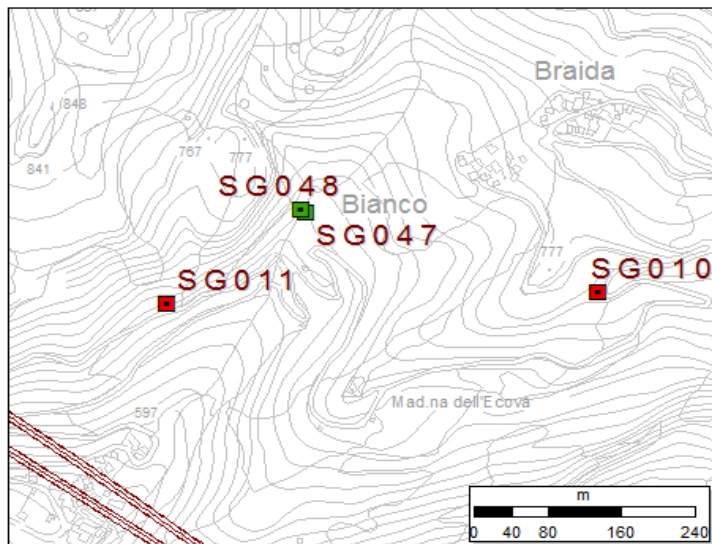
-	J1	350	75	0	B	E	B	3	-	-	C	2
-	J2	270	85	0	B	-	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
114.13	J1	348	70	120	B	E	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
31.11	J2	90	40	120	B	-	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
294.83	J1	186	82	430	C	D - E	B	3	12 - 14	-	A	0.75
82.95	J2	96	82	440	D	-	B	3	6 - 8	-	A	0.75
25.92	J2	310	50	540	B	D	B	3	8 - 10	-	A	0.75
25.92	J2	95	78	540	D	-	B	3	6 - 8	-	A	0.75
569.07	F	160	76	620	C	E (20 cm)	B	3	6 - 8	R: breccia cataclastica	C	2
25.92	J2	278	88	640	D	-	B	3	6 - 8	-	A	0.75
351.89	J1	188	63	800	C	A	B	3	12 - 14	-	B	1
41.48	J2	100	78	800	C	E	B	3	6 - 8	-	A	0.75
379.38	F	160	72	1050	C	E (30 - 60 cm)	E	1.5	6 - 8	R: breccia cataclastica	B	1

**RILIEVO GEOMECCANICO SG047**

**Ubicazione indagine**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD
<b>Località</b>	Mompantero, frazione Bianco
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.366,409                      5.000.948,458
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	711 ± 8 m
<b>Data</b>	16/03/2012
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Affioramenti lungo il torrente Giandula

**Planimetria ubicazione del rilievo**



**RILIEVO GEOMECCANICO SG047**

**Scheda di rilievo**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Mompantero, frazione Bianco	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.366,409	5.000.948,458
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	711 ± 8 m	
<b>Data</b>	16/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Affioramenti lungo il torrente Giandula	

Condizioni generali dell'ammasso roccioso					
Giacitura del fronte di misura	3a: [°/°]	320	70		
	3b: [°/°]	270	70		
Giacitura generale del pendio	[°/°]	270	60		
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	6.7	2.0		
Volume roccioso unitario medio	[dimensioni]	[m x m x m] 0.2*0.2*0.2			
	[forma]	[-]			
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia	[MPa]	25			
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	>10	1		
Geologic strength index (stimato)		20			
Grado di alterazione dell'ammasso	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decomposto
		X			
Condizioni di umidità dell'ammasso	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso
	X				



Dettaglio della famiglia di giunti paralleli alla scistosità visibili in affioramento.

Litologia e descrizione geologica generale
Affioramento caratterizzato da fratturazione molto pervasiva; a fasce più deformate con andamento parallelo alla scistosità media e ampiezza <1 m corrispondono piani di taglio
NOTE: Contatto per faglia tra calcescisti filladici dell'unità Puys-Venaus (GCC) e scisti prasinitici (OMB) dell'unità oceanica DM.

Definizione delle componenti litologiche negli ammassi complessi:	lito1	GCC calcesc. filladici	-	70-60%	-
	lito2	OMB serp., scisti pras.	-	30-40%	-
	%di lito 2 sul totale dell'ammasso		30-40%		

Geometria delle linee di misura		
	Direz.	Lungh. [m]
Linea di misura 1	N020°E	3
Linea di misura 2	N220°	3.7
	-	-

Schema delle famiglie di frattura individuabili in sito																	
set	inclin.	imm.	spaz.	Pers. Lung.	Sclerometro												
					α	R1	R2	R3	R4	R4	R5	R5	R6	R7	R8	R9	R10
J1	73	219	0 - 1		90	21	0	22	10								
J2	54	110	< 1		90	20	28	25	25	40	25	30	25	20	30		
J3	67	287	-		90	25	20	35	15	20	30	20	20				

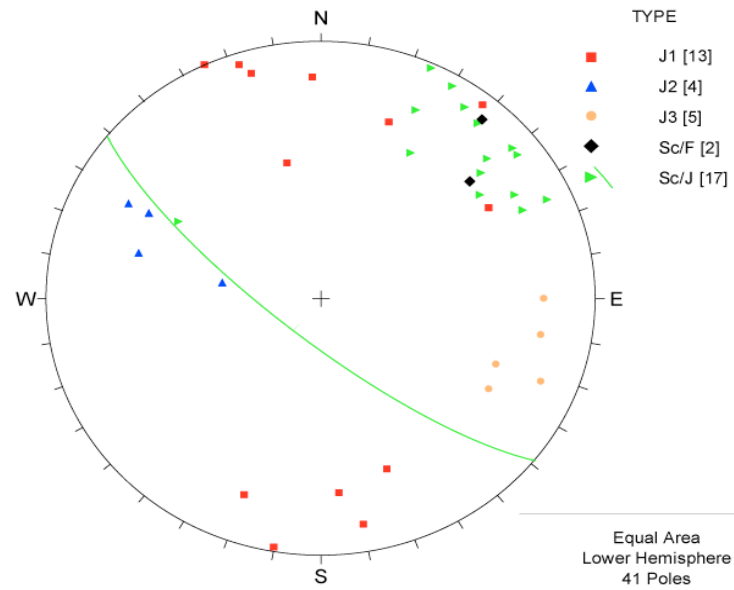
**RILIEVO GEOMECCANICO SG047**  
**Proiezioni stereografiche e analisi spaziatore**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD
<b>Località</b>	Mompintero, frazione Bianco
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.366,409      5.000.948,458
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	711 ± 8 m
<b>Data</b>	16/03/2012
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Affioramenti lungo il torrente Giandula

Sc = scistosità  
 F = faglia  
 J = giunto

Direzione media del tunnel      N055°W

Proiezione stereografica dei poli dei set di discontinuità misurati in affioramento e ciclografica della scistosità media



Mompantero, frazione Bianco, affioramenti lungo il torrente Giandola

SPAZIATURA	SET	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
							clas	Jr			Barton	clas
(cm)	1	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm				R = rigido, granul.		
	2				B se 1 - 3	B se < 0.1				P = plast., coesivo		
	...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1						
	altro				D se 10-20	D se 1 - 5						
					E se > 20	E se > 5						

Linea di misura 1

-	Sc/J	220	78	0	C	E	E	1.5	12 - 14	-	D	3
-	J1	355	65	0 - 10	A	A	E	1.5	6 - 8	-	D	3
9.39	Sc/J	220	78	10	C	E	B	3	-	P: argilla	D	3
18.77	Sc/F	220	80	10 - 70	E	E	-	-	12 - 14	R: cataclasite con gouge	-	-
18.77	Sc/F	230	60	involuppo piani di scistosità	A	D	-	-	12 - 14	R: persistenza cm.ca	-	-
56.32	Sc/J	230	65	70	C	E	E	1.5	12 - 14	P	D	3
67.88	J1	155	90	70 - 110	B	A	E	1.5	6 - 8	-	D	3
37.55	Sc/J	228	70	110	C	E	E	1.5	12 - 14	-	D	3
44.50	J2	118	68	110 - 140	A	A	E	1.5	4 - 6	P	D	3
39.93	J1	20	70	140	B	E	E	1.5	6 - 8	gouge sabbiosa	D	3
12.14	J2	118	60	140 - 190	A	A	B	3	4 - 6	-	D	3
39.93	J1	10	88	190	A	E	E	1.5	-	R	D	3
20.23	J2	105	58	190 - 220	A	A	B	3	4 - 6	P	D	3
103.26	Sc/J	210	85	220	B	C	E	1.5	12 - 14	P	D	3
110.56	J3	292	75	220 - 250	A	D	E	1.5	4 - 6	P	D	3
28.16	Sc/J	204	88	250	B	D	E	1.5	-	-	D	3
15.08	J3	270	70	250 - 270	A	C	E	1.5	4 - 6	-	D	3
63.89	J1	350	78	270	A	D	E	1.5	6 - 8	R	D	3
23.47	Sc/J	235	60	270 - 280	A	D	E	1.5	12 - 14	-	D	3
7.99	J1	164	80	280	A	D	E	1.5	6 - 8	R	D	3
15.08	J3	292	58	280 - 300	A	D	E	1.5	-	P	D	3
23.47	Sc/J	215	80	300	B	E	E	1.5	12 - 14	-	D	3

Linea di misura 2

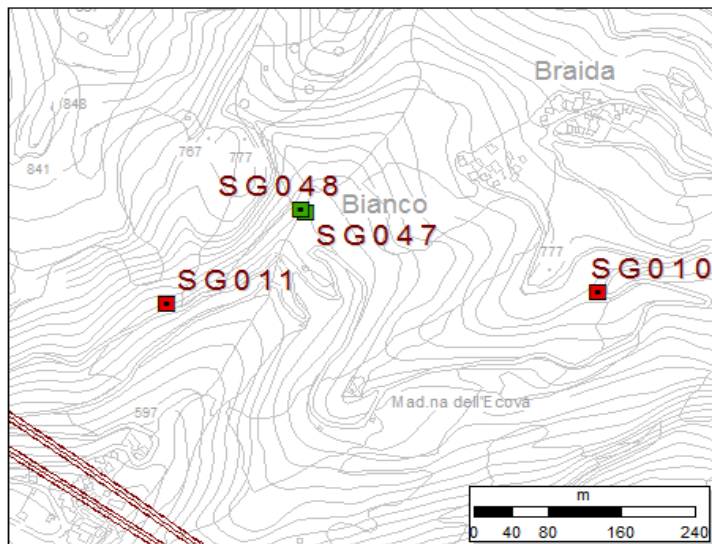
5.31	J3	280	70	300 - 320	A	A	E	1.5	4 - 6	-	D	3
22.30	Sc/J	120	50	320 - 340	A	A	E	1.5	12 - 14	P	D	3
54.78	J1	218	85	340	B	E	B	3	6 - 8	P	D	3
9.13	J1	178	75	340 - 360	A	E	B	3	6 - 8	R: qtz	D	3
22.30	Sc/J	230	80	360	B	E	B	3	12 - 14	R: sb	D	3
11.15	Sc/J	230	80	370 - 380	A	A	B	3	14 - 16	R: sb	D	3
27.39	J1	162	85	380	A	D	E	1.5	6 - 8	-	D	3
18.58	Sc/J	245	80	380 - 420	B	A	B	3	12 - 14	-	D	3
31.83	J3	300	60	420 - 440	A	A	E	1.5	4 - 6	R	D	3
29.73	Sc/J	205	70	440	B	A	E	1.5	12 - 14	-	D	3
69.18	J2	100	30	440 - 460	A	D	E	1.5	4 - 6	-	D	3
26.01	Sc/J	232	80	460 - 490	C	A	E	1.5	-	-	D	3
104.99	J1	200	62	490 - 500	A	D	E	1.5	6 - 8	-	D	3
18.58	Sc/J	245	70	500	B	A	B	3	12 - 14	R	D	3
3.72	Sc/J	210	55	500 - 510	A	D	B	3	12 - 14	-	D	3
13.69	J1	240	60	510	B	A	E	1.5	-	-	D	3
9.13	J1	340	60	510 - 530	A	C	E	1.5	6 - 8	-	D	3
13.69	J1	167	45	530 - 540	A	A	E	1.5	6 - 8	P	D	3
26.01	Sc/J	240	70	540 - 670	B	A	B	3	-	R	D	3

**RILIEVO GEOMECCANICO SG047**

**Ubicazione indagine**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD
<b>Località</b>	Mompantero, frazione Bianco
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.358,905                      5.000.954,230
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	707 ± 8 m
<b>Data</b>	16/03/2012
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Affioramenti lungo il torrente Giandula

**Planimetria ubicazione del rilievo**



**RILIEVO GEOMECCANICO SG048**

**Scheda di rilievo**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD
<b>Località</b>	Mompantero, frazione Bianco
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.358,905      5.000.954,230
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	707 ± 8 m
<b>Data</b>	16/03/2012
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Affioramenti lungo il torrente Giandula



Dettaglio delle famiglie di giunti visibili in affioramento.

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura											
Giacitura generale del pendio											
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]      3.0    7.5										
Volume roccioso unitario medio	[dimensioni] [m x m x m]      0.5*0.5*0.5										
	[forma] [-]										
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia	[MPa]      35										
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]      10    1										
Geologic strength index (stimato)	40										
Grado di alterazione dell'ammasso	<table border="1"> <tr> <td>non alterato</td> <td>debolm. alterato</td> <td>moder. alterato</td> <td>molto alterato</td> <td>decom. posto</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decom. posto		X			
non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decom. posto							
	X										
Condizioni di umidità dell'ammasso	<table border="1"> <tr> <td>asciutto</td> <td>umido</td> <td>bagnato</td> <td>stillicidio</td> <td>flusso</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso	X				
asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso							
X											

**Litologia e descrizione geologica generale**

GCC/OMB, scistosità pervasiva; prossimità contatto per faglia come per SG047

NOTE: contatto parallelo a sistema giunti J1, ondulazioni/piegamenti localizzati - zona di deformazione fragile-duttile ampia c. 2.5 m

**Definizione delle componenti litologiche negli ammassi complessi:**

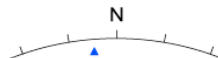
lito1	GCC	-	60%	-
lito2	OMB	-	40%	-
%di lito 2 sul totale dell'ammasso		40		

**Geometria delle linee di misura**

	Direz.	Lungh. [m]
Linea di misura 1	N340°	7.5
Linea di misura 2	-	-

**Schema delle famiglie di frattura individuabili in sito**

set	inclin.	imm.	spaz.	Pers. Lung.
(n°)	(°)	(°)	(m)	(m)
J1	68	227	0.1 - 1	3
J2	73	157	0.05 - 0.5	3 - 10
J3	59	97	0.1 - 1	< 1



**Sclerometro**

α	R1	R2	R3	R4	R4	R5	R5	R6	R7	R8	R9	R10
90	30	30	30	40	30	38	30	40				
90	35	30	30	25	42	45	35	45	35	48	40	
90	20	30										

TYPE

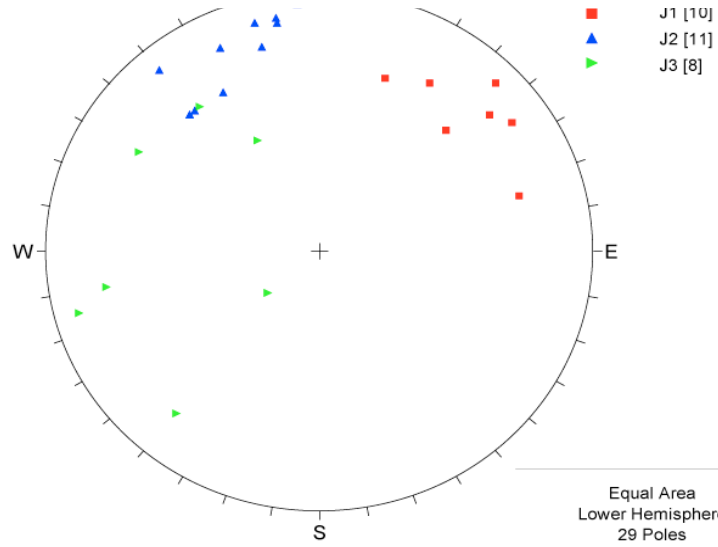
- 11 11 03

**RILIEVO GEOMECCANICO SG048**  
*Proiezioni stereografiche e analisi spaziate*

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD
<b>Località</b>	Mompalano, frazione È
<b>Coordinate [WGS84]</b>	348.358,905
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	707 ± 8 m
<b>Data</b>	16/03/2012
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Affioramenti lungo il ton

Sc = scistosità
J = giunto

Direzione media del tunnel      N055°W



unità misurati in affioramento



Mompantero, frazione Bianco, affioramenti lungo il torrente Giandula

SPAZIATURA	SET	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione		
(cm)	1	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm	clas	Jr	Barton	R = rigido, granul. P = plast., coesivo	clas	Ja	
	2				B se 1 - 3	B se < 0.1							
	...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1							
	altro				D se 10-20	D se 1 - 5							
					E se > 20	E se > 5							

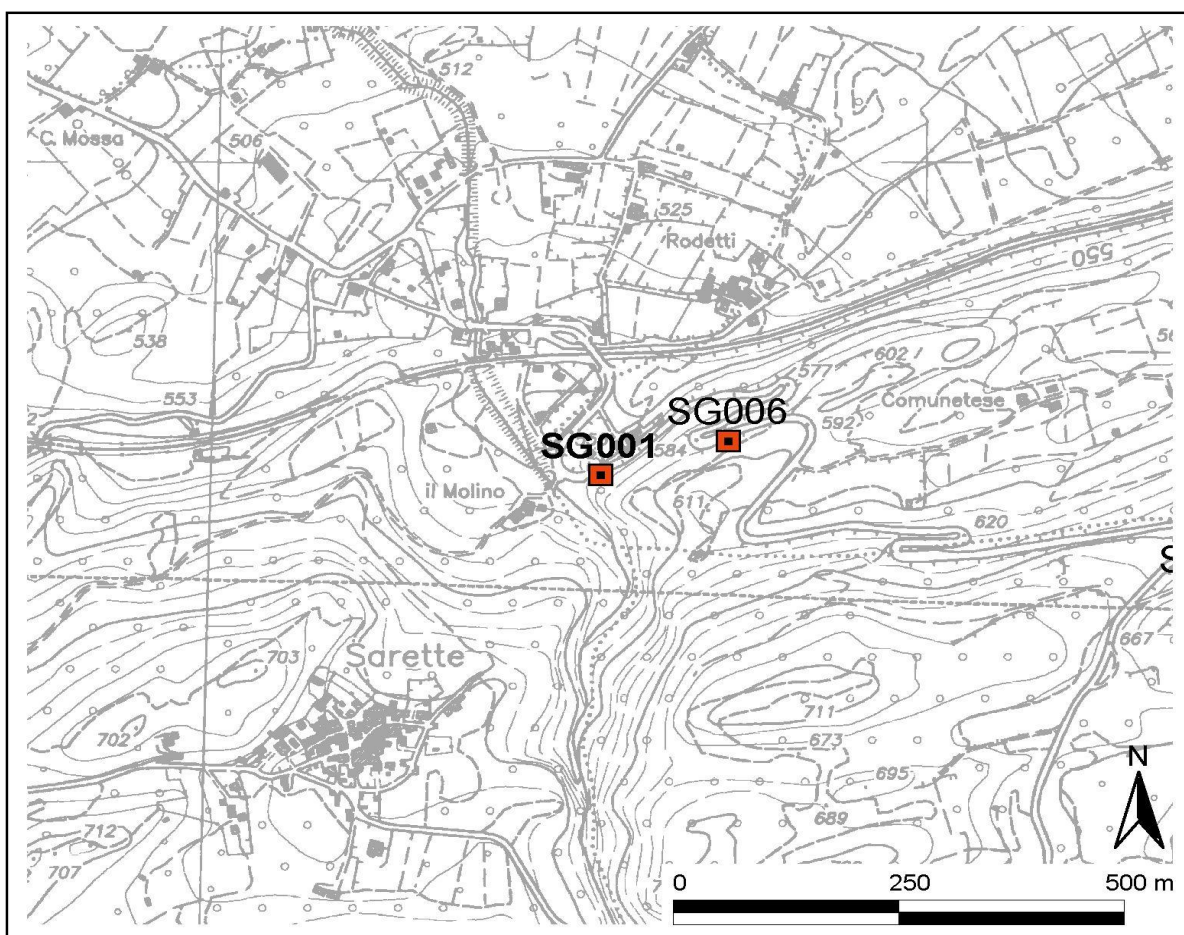
-	J1	225	80	0	B	E	F	1	6-8	P	C	2
-	J2	140	60	0 - 60	B	E	B	3	4-6	P	C	2
51.25	J1	225	55	60	C	E	E	1.5	6-8	P	C	2
3.37	J2	138	60	60 - 140	A	E	B	3	4-6	P	C	2
68.33	J1	212	65	140	B	E	E	1.5	6-8	P	C	2
4.49	J2	140	80	140 - 160	A	E	B	3	4-6	P	C	2
17.08	J1	230	70	160	B	D	B	3	8-10	P	C	2
1.12	J2	155	75	160 - 200	A	D	B	3	4-6	P	C	2
34.16	J1	235	75	200	C	E	E	1.5	6-8	P	C	2
2.24	J2	170	78	200 - 240	A	D	E	1.5	4-6	P	C	2
183.30	J3	50	20	240 - 260	A	D	E	1.5	4-6	-	A	0.75
3.37	J2	155	75	260 - 280	A	E	E	1.5	4-6	P	C	2
68.33	J1	230	70	280	B	C	E	1.5	6-8	P	C	2
1.12	J2	165	70	280 - 320	A	E	B	3	4-6	-	C	2
34.16	J1	230	70	320	B	E	E	1.5	6-8	-	C	2
2.24	J2	150	60	320 - 360	A	E	B	3	4-6	P	C	2
91.65	J3	40	70	360	B	E	E	1.5	6-8	-	A	0.75
2.24	J2	175	85	360 - 380	A	E	E	1.5	6-8	-	C	2
51.25	J1	230	70	380	B	D	E	1.5	6-8	P	C	2
15.27	J3	80	68	380 - 420	A	E	B	3	8-10	-	A	0.75
30.55	J3	152	40	420 - 440	A	B	B	3	8-10	-	A	0.75
51.25	J1	200	60	440	C	E	B	3	8-10	P	C	2
-	J1	Z. deformazione		440 - 560	B	C	B	3	8-10	P	C	2
106.92	J3	142	60	560 - 600	A	E	B	3	8-10	-	A	0.75
30.55	J3	120	65	600 - 650	A	E	E	1.5	6-8	-	A	0.75
16.83	J2	165	80	660	A	E	E	1.5	6-8	P	C	2
45.82	J3	75	80	660 - 670	A	E	E	1.5	6-8	-	A	0.75
0.56	J2	170	80	670	B	E	B	3	4-6	P	C	2
7.64	J3	120	65	670 - 710	A	E	B	3	6-8	-	A	0.75
239.15	J1	254	65	720	A	E	B	3	6-8	-	C	2

## RILIEVO GEOMECCANICO SG001

### Ubicazione indagine

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Mattie
<b>Data</b>	27/02/'09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Borgata Rodetti

### Planimetria ubicazione del rilievo





**RILIEVO GEOMECCANICO SG001**

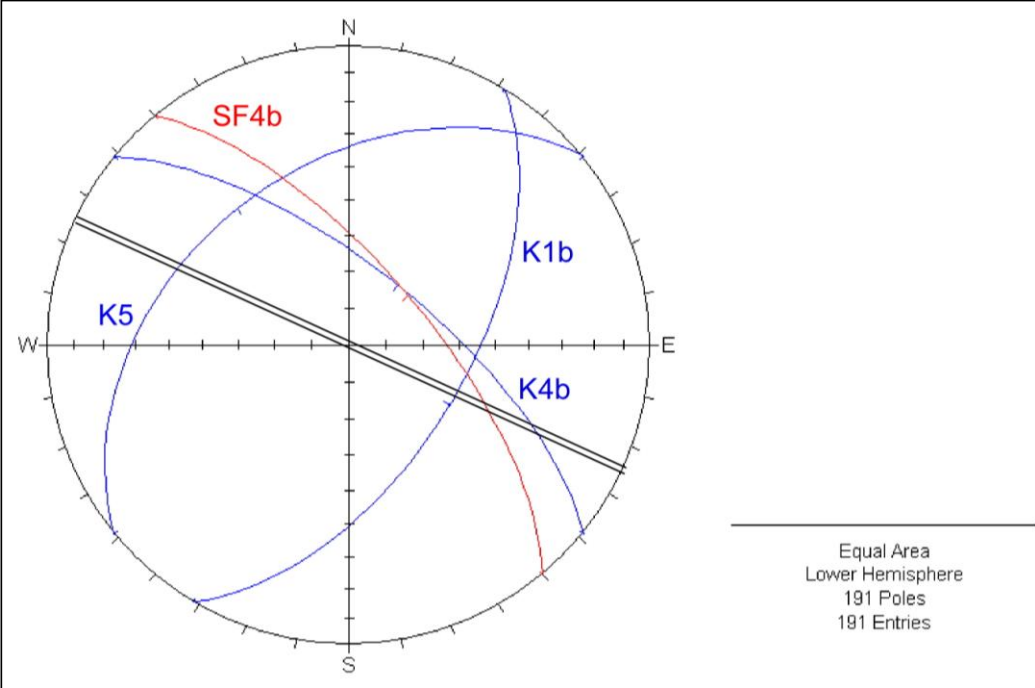
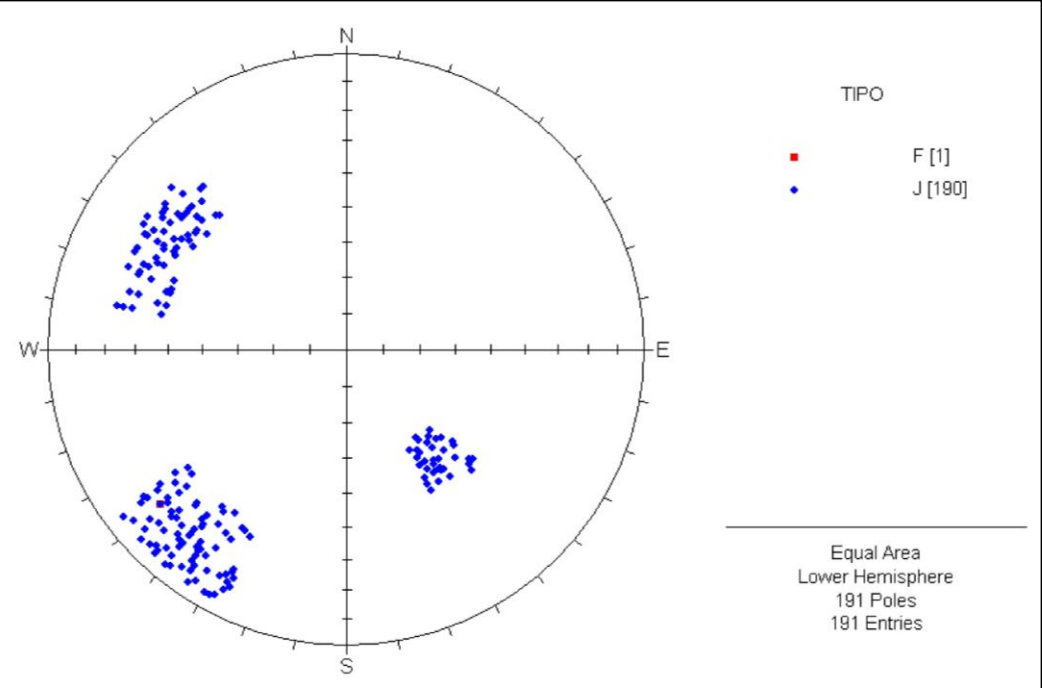
**Proiezioni stereografiche**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Mattie
<b>Coordinate (x/y)</b>	00111222 - 36149028
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	567 m
<b>Data</b>	27/02/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Borgata Rodetti

Proiezioni stereografiche dei poli e delle ciclografiche dei set di discontinuità

J = giunto  
F = faglia

/// Direzione media del tunnel



TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm	clas	Jr	Barton	R = rigido,	clas	Ja
<b>Sc</b>				B se 1 - 3	B se < 0.1				granul.		
...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1				P = plast,		
<b>altro</b>				D se 10-20	D se 1 - 5				coesivo		
				E se > 20	E se > 5						

Riga di esempio

	235	32	235	D	7	I	1	9	R	L	6
--	-----	----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

J	40	70	0	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	120	60	10	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	28	83	18	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	122	69	25	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	37	58	38	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1,00
J	123	58	48	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	27	80	62	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	320	40	75	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	33	82	96	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	139	62	83	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	45	69	105	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	324	42	110	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	37	70	118	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	122	65	132	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	37	72	142	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	120	56	157	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	26	75	170	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	124	56	187	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	43	70	210	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	322	43	215	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	39	66	220	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	322	31	228	D	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	36	62	259	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	311	47	246	D	C	F	1	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	34	56	290	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	119	55	300	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	312	40	302	D	C	F	1	8 - 10	Vuoto	B	1
J	126	65	315	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	49	63	320	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	129	67	338	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	325	45	340	D	C	F	1	8 - 10	Vuoto	B	1
J	36	77	342	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	A	0,75
J	133	60	359	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	47	75	360	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	129	54	399	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	39	65	410	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	325	34	422	D	B	F	1	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	45	82	450	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	326	40	459	D	B	F	1	8 - 10	Vuoto	B	1
J	132	55	464	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	40	74	478	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	104	52	496	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	29	59	500	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	113	63	516	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	47	83	520	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr			Barton	clas
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se < 1 m	<b>A</b> se = 0 mm				<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1						
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5						
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5						
J	121	56	524	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	27	72	526	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	120	67	553	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	29	76	566	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	329	44	571	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	51	81	589	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
F	50	70	590	C	E	B	3		gouge	F	4
J	49	60	595	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	128	54	604	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	329	46	615	D	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	113	63	628	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	38	57	632	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	108	52	641	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	319	34	644	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	134	65	650	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	328	38	654	D	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	53	75	659	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	120	66	689	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	37	81	700	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	314	49	715	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	40	76	729	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	116	67	748	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	40	80	768	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	113	61	788	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	27	73	810	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	115	59	810	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	31	64	818	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	136	53	835	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	54	73	849	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	46	67	850	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	315	35	861	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	30	84	888	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	111	63	891	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	54	60	915	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J/Sc	323	40	923	D	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	36	73	942	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	A	0,75
J	124	52	950	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	34	73	1002	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	138	62	1015	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	40	62	1050	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	101	67	1059	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	328	33	1064	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	51	56	1077	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	128	66	1085	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	322	42	1089	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	43	82	1093	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	124	69	1100	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr			Barton	clas
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se < 1 m	<b>A</b> se = 0 mm				<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1						
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5						
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5						
J	43	83	1119	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	126	62	1123	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	36	75	1135	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	313	47	1151	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	30	59	1174	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	A	0,75
J/Sc	316	39	1179	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	42	79	1188	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	42	73	1190	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	123	62	1201	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	52	62	1210	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	322	32	1215	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	40	71	1229	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	131	60	1238	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	36	72	1274	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	136	59	1280	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	47	69	1295	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	312	46	1301	D	C	F	1	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	101	65	1315	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	33	69	1338	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	315	43	1349	D	B	F	1	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	43	70	1358	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	101	53	1376	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	46	70	1398	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	110	63	1400	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	48	80	1415	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J/Sc	313	36	1421	D	C	F	1	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	28	75	1429	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	112	52	1448	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	40	84	1470	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	115	67	1474	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	35	80	1495	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	105	61	1518	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	325	38	1523	D	B	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	54	66	1530	B	D	E	2	8 - 10	Vuoto	B	1
J	109	52	1540	A	B	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	33	82	1549	B	D	E	2	6 - 8	Vuoto	B	1
J	53	83	1552	B	D	E	2	6 - 8	Vuoto	B	1
J	125	54	1569	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	33	63	1584	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	319	36	1595	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	49	68	1610	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	329	42	1617	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	40	70	1628	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	327	36	1630	D	C	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	119	59	1632	A	B	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	44	62	1670	B	D	E	2	8 - 10	Vuoto	B	1
J	105	64	1664	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr			Barton	clas
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se <1 m	<b>A</b> se = 0 mm				<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1						
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5						
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5						
J	45	75	1679	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	129	62	1681	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	32	77	1685	B	D	E	2	6 - 8	Vuoto	B	1
J	108	53	1694	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	35	78	1705	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	130	60	1628	A	B	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	49	76	1734	B	D	E	2	6 - 8	Vuoto	B	1
J	127	66	1740	A	B	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	40	64	1759	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	126	55	1765	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	314	32	1770	D	C	F	1,0	8 - 10	Vuoto	B	1
J	116	60	1777	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	53	56	1781	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	110	59	1794	A	B	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	39	83	1801	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	312	46	1822	D	C	F	1,0	8 - 10	Vuoto	B	1
J	53	68	1844	B	C	E	2	6 - 8	Vuoto	B	1
J	111	67	1859	A	C	E	2	10 - 12	Vuoto	B	1
J	40	80	1876	B	D	E	2	6 - 8	Vuoto	B	1
J	120	62	1899	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J/Sc	311	39	1911	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	44	61	1920	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	115	57	1929	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	49	76	1945	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	104	55	1951	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	50	70	1964	B	E	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	101	62	1984	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	44	81	2015	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	104	55	2028	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	133	69	2035	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	26	78	2044	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	322	39	2053	D	C	F	1,0	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	29	84	2062	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	132	60	2078	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	37	70	2095	B	C	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J	137	52	2119	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	27	60	2123	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	317	33	2138	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	A	0,75
J	27	77	2150	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J	129	60	2160	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	41	74	2164	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	321	43	2151	D	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1
J	53	72	2191	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1
J/Sc	325	42	2201	D	C	F	1,0	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	50	67	2240	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1
J/Sc	325	35	2278	D	B	F	1,0	8 - 10	Vuoto	A	0,75
J	40	68	2285	B	D	E	1,5	6 - 8	Vuoto	B	1



TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza			JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr	Barton			clas	Ja
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se < 1 m	<b>A</b> se = 0 mm					<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1							
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1							
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5							
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5							
<b>J</b>	132	57	2301	A	B	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1	
<b>J</b>	53	56	2325	B	C	E	1,5	8 - 10	Vuoto	A	0,75	
<b>J</b>	130	51	2340	A	C	E	1,5	10 - 12	Vuoto	B	1	
<b>J</b>	34	84	2350	B	D	E	1,5	8 - 10	Vuoto	B	1	
<b>J/Sc</b>	321	46	2445	D	C	F	1,0	8 - 10	Vuoto	A	0,75	

clas.	Alterazione delle superfici di giunto	Ja
-------	---------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO	A	contatto ben saldo tra le superfici di giunto	0,75
	B	pareti del giunto non alterate, superfici ossidate	1
	C	pareti del giunto leggermente alterate, coperte da un sottile strato di minerali non ammorbidenti tipo particelle sabbiose o particelle di roccia fratturata	2
	D	sottile strato con frazione argillosa limitata	3
	E	strato superficiale di materiali argillosi ammorbidenti o a bassa resistenza attritiva (anche mica, clorite, talco, gesso, grafite, ecc.)	4

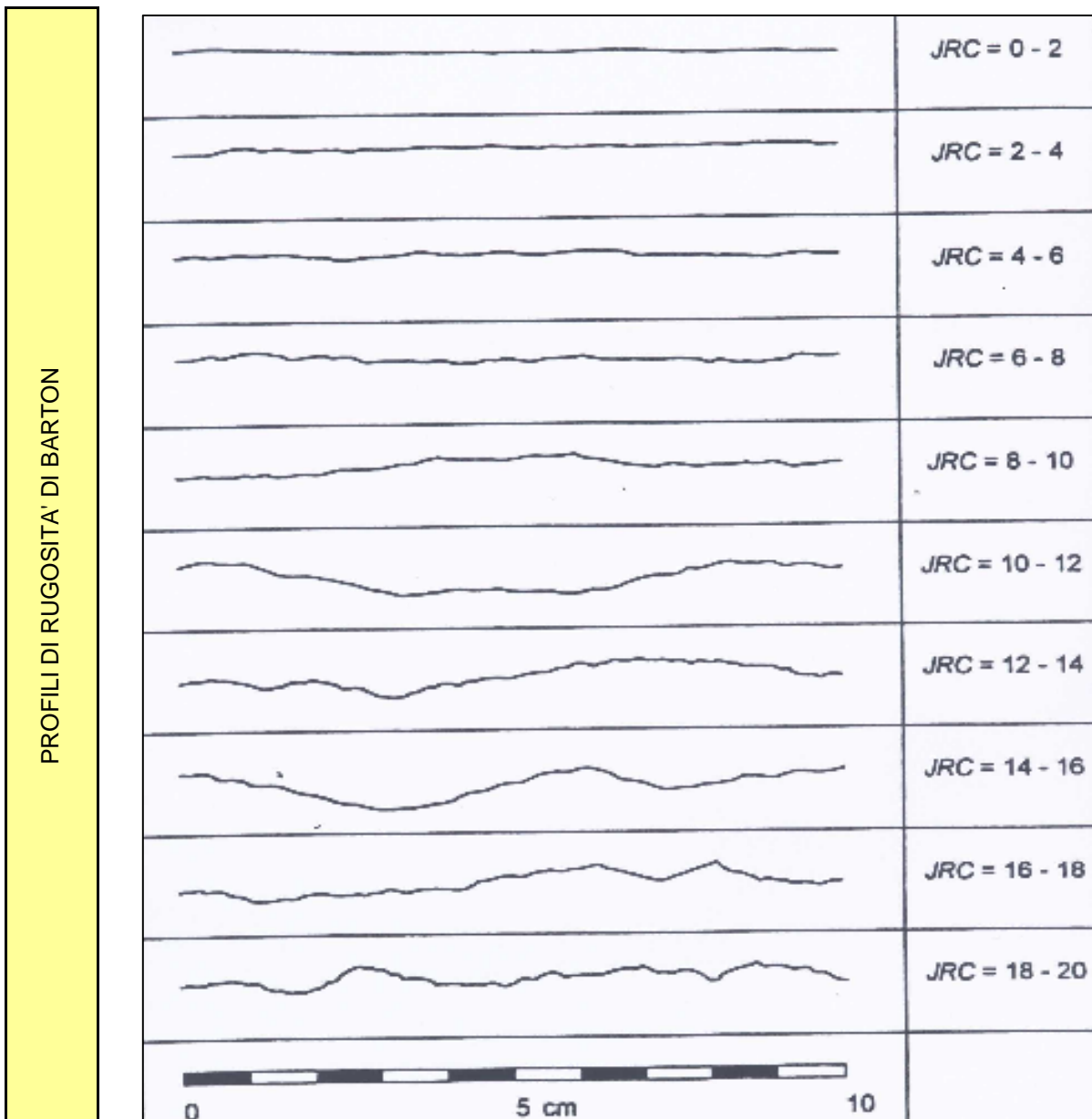
SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	F	riempimento di particelle sabbiose, materiali di disgregazione della roccia privi di particelle argillose	4
	G	riempimento di minerali argillosi non ammorbidenti fortemente sovraconsolidati, con spessori <5 mm	6
	H	riempimento di minerali argillosi ammorbidenti, con spessori <5 mm	8
	I	riempimento di minerali argillosi rigonfianti, con spessori <5 mm (min. se ho poca % rigonfiante e poca acqua, max. se ho molti rigonfianti ed eccesso d'acqua)	8 - 12

ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI DI GIUNTO ANCHE A SEGUITO DI SCORRIMENTI	L	zone o bande di roccia disgregata	6
	M	zone o bande di roccia macinata	8
	N	zone o bande di roccia macinata e con argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	8 - 12
	O	zone o fasce di argilla limosa o sabbiosa non ammorbidente	10
	P	zone continue e spesse con fasce di argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	10 - 20

clas.	Scabrezza delle superfici di giunto	Jr
-------	-------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO, O A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	A	giunti discontinui	4
	B	scabri o irregolari, ondulati	3
	C	lisci, ondulati	2
	D	levigati, ondulati	1,5
	E	Scabri o irregolari, piani	1,5
	F	Lisci, piani	1
	G	Levigati, piani	0,5

ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI, ANCHE NEL CASO DI SCORRIMENTI	H	minerali argillosi di riempimento con spessore sufficiente a prevenire il contatto tra le superfici	1
	I	zona sabbiosa o brecciata con spessore sufficiente a prevenire il contatto fra le superfici	1

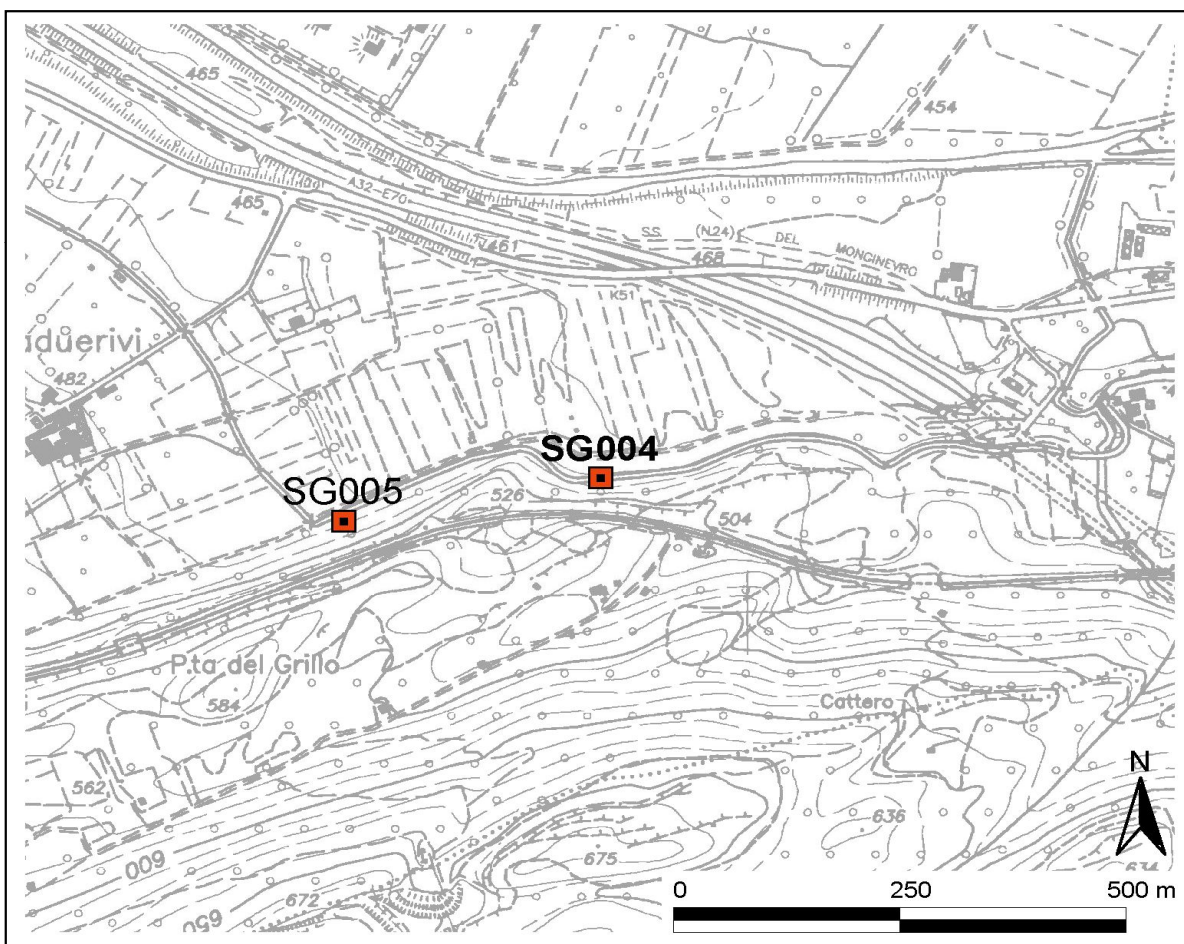


## RILIEVO GEOMECCANICO SG004

Ubicazione indagine

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Coldimosso
<b>Data</b>	2/03/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Coldimosso

### Planimetria ubicazione del rilievo





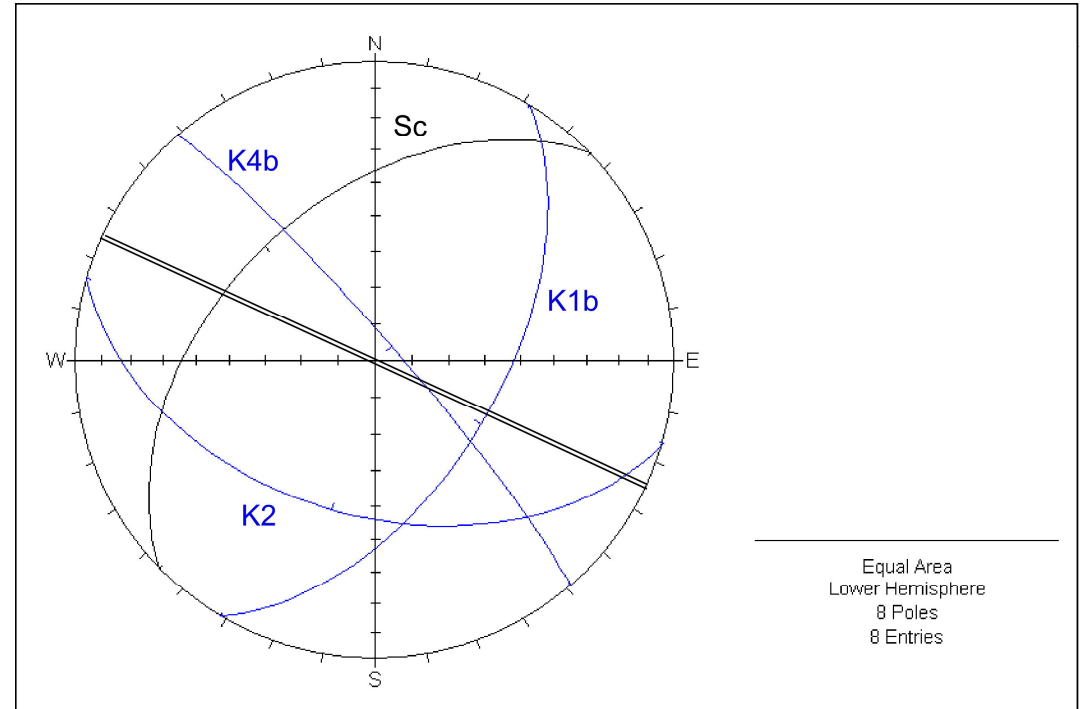
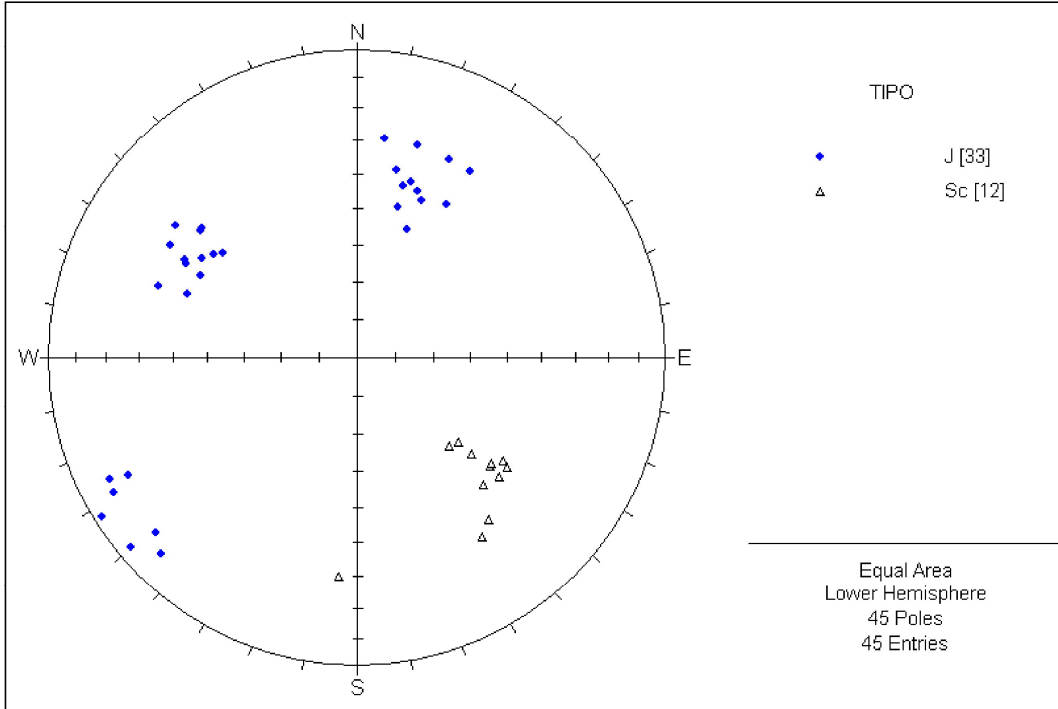
**RILIEVO GEOMECCANICO SG004**  
**Proiezioni stereografiche**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Coldimosso
<b>Coordinate (x/y)</b>	0350744 - 4999192
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	470 m
<b>Data</b>	2/03/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Coldimosso

Proiezioni stereografiche delle ciclografiche dei set di discontinuità

Sc = scistosità  
 J = giunto

/// Direzione media del tunnel



TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza			JRC	Riempim.	alterazione	
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se <1 m	<b>A</b> se = 0 mm	clas	Jr	Barton	<b>R</b> = rigido,	clas	Ja	
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1				granul.			
...				<b>C</b> se 3 -10	<b>C</b> se 0.1 -1				<b>P</b> = plast,			
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5				coesivo			
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5							

Riga di esempio

	235	32	235	D	7	I	1	9	R	L	6
--	-----	----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Sc	5	60		B	C	F	1	6-8		A	0.75
Sc	310	40									
Sc	310	35									
Sc	325	60									
J	110	58		B	D	E	1.5	6-8		A	0.75
J	130	55									
J	200	48		B	A	E	1.5	10-12		A	0.75
J	50	85		B	B	E	1.5	6-8		A	0.75

clas.	Alterazione delle superfici di giunto	Ja
-------	---------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO	A	contatto ben saldo tra le superfici di giunto	0.75
	B	pareti del giunto non alterate, superfici ossidate	1
	C	pareti del giunto leggermente alterate, coperte da un sottile strato di minerali non ammorbidenti tipo particelle sabbiose o particelle di roccia fratturata	2
	D	sottile strato con frazione argillosa limitata	3
	E	strato superficiale di materiali argillosi ammorbidenti o a bassa resistenza attritiva (anche mica, clorite, talco, gesso, grafite, ecc.)	4

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	F	riempimento di particelle sabbiose, materiali di disgregazione della roccia privi di particelle argillose	4
	G	riempimento di minerali argillosi non ammorbidenti fortemente sovraconsolidati, con spessori <5 mm	6
	H	riempimento di minerali argillosi ammorbidenti, con spessori <5 mm	8
	I	riempimento di minerali argillosi rigonfianti, con spessori <5 mm (min. se ho poca % rigonfiante e poca acqua, max. se ho molti rigonfianti ed eccesso d'acqua)	8 - 12

ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI DI GIUNTO ANCHE A SEGUITO DI SCORRIMENTI	L	zone o bande di roccia disgregata	6
	M	zone o bande di roccia macinata	8
	N	zone o bande di roccia macinata e con argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	8 - 12
	O	zone o fasce di argilla limosa o sabbiosa non ammorbidente	10
	P	zone continue e spesse con fasce di argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	10 - 20



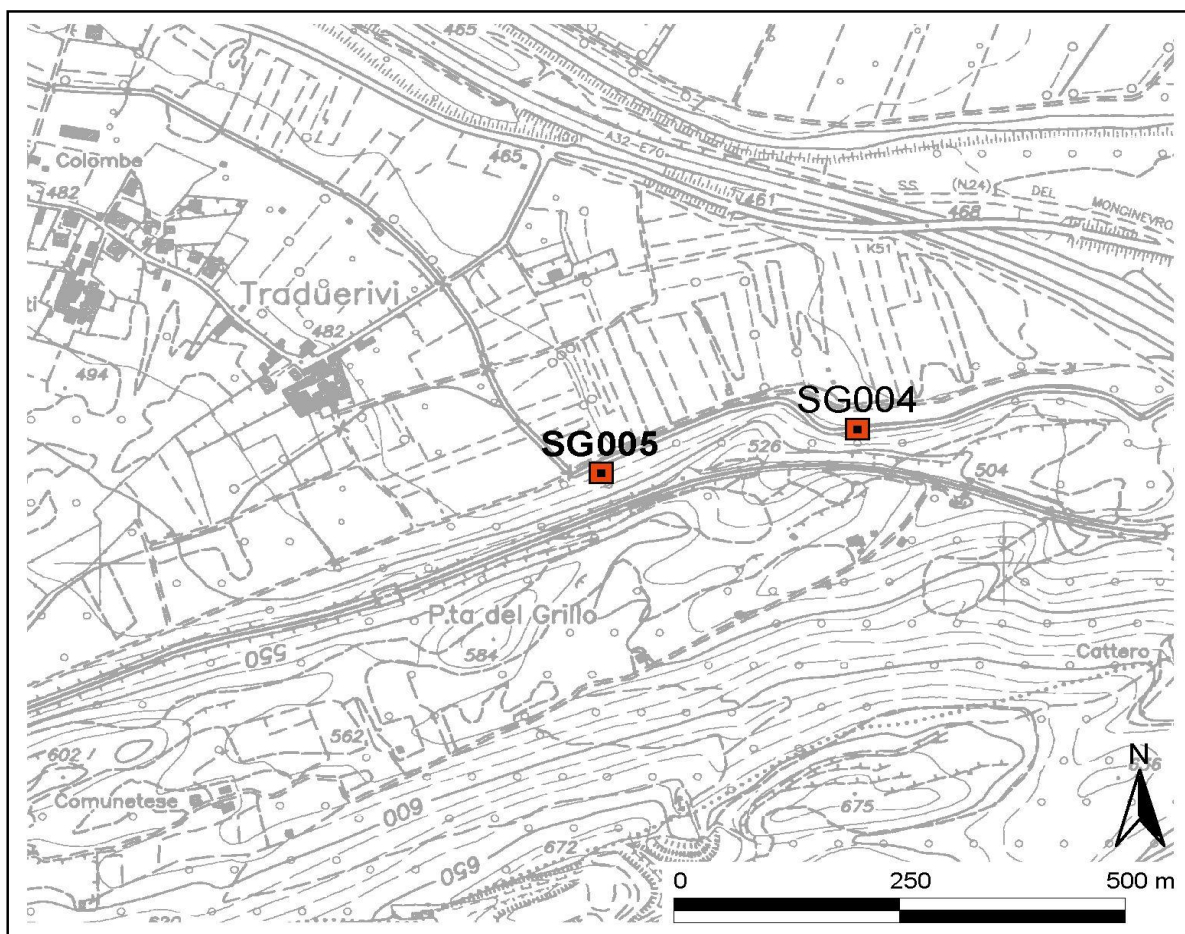


## RILIEVO GEOMECCANICO SG005

### Ubicazione indagine

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Coldimosso
<b>Data</b>	2/03/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Coldimosso

### Planimetria ubicazione del rilievo





**RILIEVO GEOMECCANICO SG005**

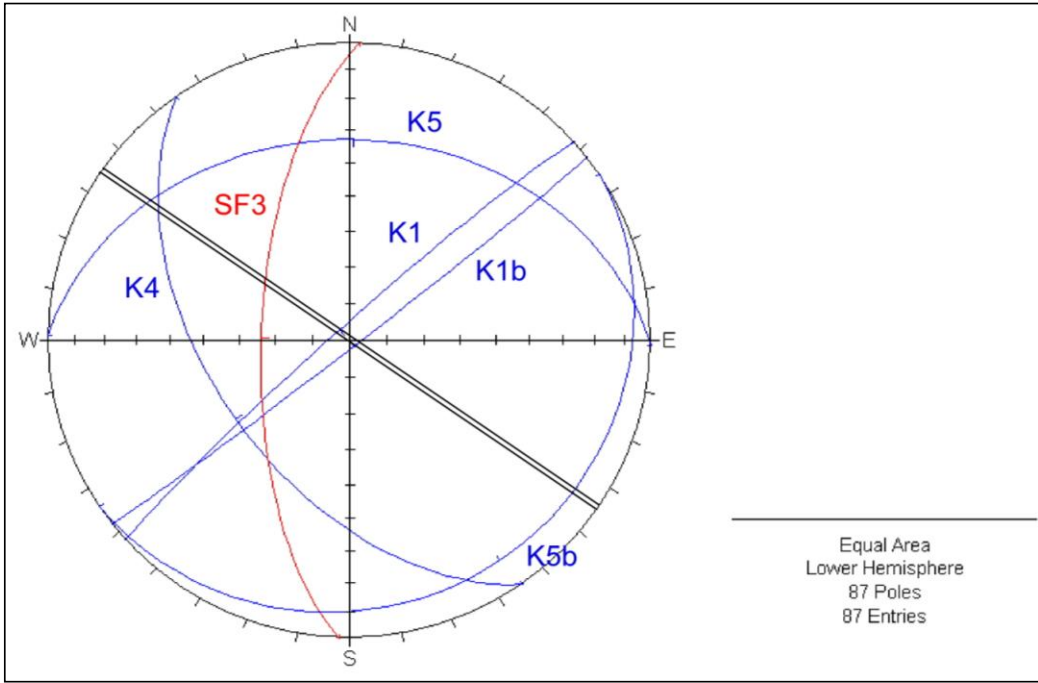
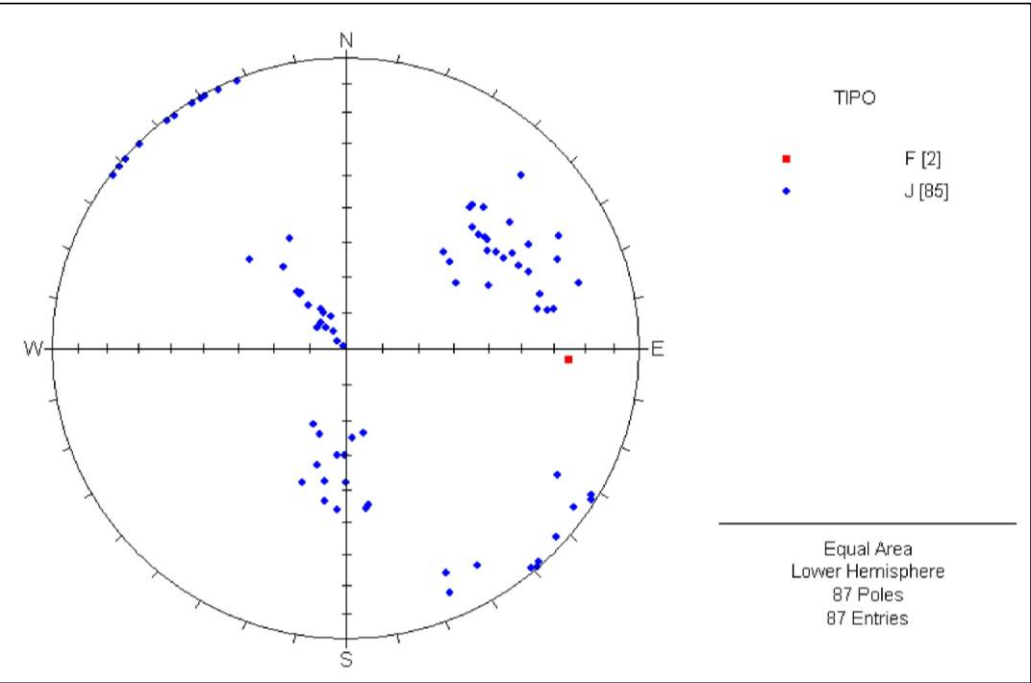
**Proiezioni stereografiche**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Coldimosso
<b>Coordinate (x/y)</b>	35053189 - 499908650
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	490 m
<b>Data</b>	2/03/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Coldimosso

Proiezioni stereografiche dei polo e delle ciclografiche dei set di discontinuità

J = giunto  
F = faglia

/// Direzione media del tunnel



TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm	clas	Jr	Barton	R = rigido, granul. P = plast, coesivo	clas	Ja
<b>Sc</b>				B se 1 - 3	B se < 0.1						
...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				D se 10-20	D se 1 - 5						
				E se > 20	E se > 5						

Riga di esempio

	235	32	235	D	7	I	1	9	R	L	6
--	-----	----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

J	232	60	4	C	D	E	1,5	8-10		B	1
J	158	89	14	B	B	F	1	4-6		B	1
J	244	55	20	C	C	F	1	4-6		B	1
J	151	89	27	B	B	F	1	4-6		B	1
J	5	30	30	B	D	E	1,5	6-8		A	0,75
F	273	65	34	D	E	F	1	2-4		L	6
J	240	55	36	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	142	20	82	B	C	E	1,5	8-10		A	0,75
J	5	30	82	A	C	F	1	4-6		A	0,75
J	144	89	85	C	B	F	1	4-6		B	1
J	142	89	98	B	B	E	1.5	6-8		B	1
J	229	50	112	D	D	E	1,5	6-8		B	1
J	148	89	121	B	B	F	1	2-4		B	1
J	259	61	123	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	148	89	135	C	C	F	1	2-4		B	1
J	246	44	138	C	D	E	1,5	8-10		B	1
J	14	34	147	B	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	140	20	149	B	B	E	1,5	10-12		A	0,75
J	254	58	151	C	C	E	1,5	6-8		B	1
J	137	10	203	B	D	F	1	6-8		A	0,75
J	131	89	226	B	B	E	1,5	4-6		B	1
J	150	89	237	B	B	F	1	2-4		B	1
J	129	89	252	B	C	F	1	2-4		B	1
J	8	44	255	B	D	F	1	4-6		A	0,75
J	239	36	256	D	D	E	1,5	6-8		B	1
J	127	89	273	C	B	E	1,5	2-4		B	1
J	235	49	273	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	131	3	275	B	C	E	1,5	8-10		A	0,75
J	1	30	295	B	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	3	46	318	C	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	140	16	333	C	D	E	1,5	8-10		A	0,75
J	247	57	335	C	D	F	1	4-6		B	1
J	231	51	350	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	221	54	357	B	C	E	1,5	6-8		B	1
J	225	73	362	C	B	B	3	8-10		B	1
J	154	89	369	B	B	F	1	2-4		B	1
J	5	25	369	B	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	158	89	385	B	B	F	1	2-4		B	1
J	156	10	389	B	B	E	1,5	10-12		A	0,75
J	133	37	399	D	C	B	3	8-10		B	1
J	135	89	413	A	C	F	1	2-4		B	1
J	320	88	429	B	B	E	1,5	2-4		B	1
J	258	56	436	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	348	24	438	B	C	E	1,5	8-10		A	0,75
J	247	67	462	C	D	F	1	4-6		B	1

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr			Barton	clas
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se <1 m	<b>A</b> se = 0 mm				<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1						
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5						
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5						
J	148	12	463	C	C	F	1	6-8		A	0,75
J	0	38	471	B	D	F	1	4-6		A	0,75
J	259	59	477	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	230	38	489	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	232	51	505	D	B	F	1	4-6		B	1
J	137	8	513	B	C	E	1,5	10-12		A	0,75
J	320	88	517	B	B	F	1	2-4		B	1
J	221	55	523	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	302	88	531	B	B	F	1	2-4		B	1
J	9	38	543	C	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	337	80	557	A	C	F	1	2-4		B	1
J	143	6	575	B	C	E	1,5	8-10		A	0,75
J	352	45	594	B	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	312	86	625	B	C	F	1	2-4		B	1
J	301	73	633	D	B	C	2	4-6		B	1
J	127	1	643	B	C	F	1	6-8		A	0,75
J	329	76	648	B	B	F	1	2-4		B	1
J	242	71	652	C	D	E	1,5	8-10		B	1
J	23	23	658	B	C	F	1	4-6		A	0,75
J	318	88	665	B	B	F	1	2-4		B	1
J	226	50	678	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	237	51	692	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	126	10	701	C	D	E	1,5	10-12		A	0,75
J	18	40	713	A	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	319	89	730	B	B	E	1,5	2-4		B	1
J	153	35	732	C	C	C	2	4-6		B	1
J	356	25	743	B	C	F	1	4-6		A	0,75
J	305	84	746	D	B	F	1	4-6		B	1
J	225	39	760	B	C	E	1,5	6-8		B	1
J	224	57	776	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	140	21	777	C	C	E	1,5	8-10		A	0,75
J	254	71	801	C	D	F	1	4-6		B	1
J	240	61	816	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	337	80	832	B	C	F	1	6-8		B	1
J	240	52	834	B	A	E	1,5	6-8		B	1
J	147	13	835	B	C	F	1	4-6		A	0,75
J	5	30	841	C	D	E	1,5	6-8		A	0,75
J	336	73	848	B	B	F	1	4-6		B	1
J	301	87	865	C	B	F	1	4-6		B	1
J	353	46	879	A	D	E	1,5	8-10		A	0,75
J	143	29	882	B	B	E	1,5	8-10		A	0,75
<b>F</b>	273	65	894	D	E	F	1	2-4		L	6

clas.	Alterazione delle superfici di giunto	Ja
-------	---------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO	A	contatto ben saldo tra le superfici di giunto	0,75
	B	pareti del giunto non alterate, superfici ossidate	1
	C	pareti del giunto leggermente alterate, coperte da un sottile strato di minerali non ammorbidenti tipo particelle sabbiose o particelle di roccia fratturata	2
	D	sottile strato con frazione argillosa limitata	3
	E	strato superficiale di materiali argillosi ammorbidenti o a bassa resistenza attritiva (anche mica, clorite, talco, gesso, grafite, ecc.)	4

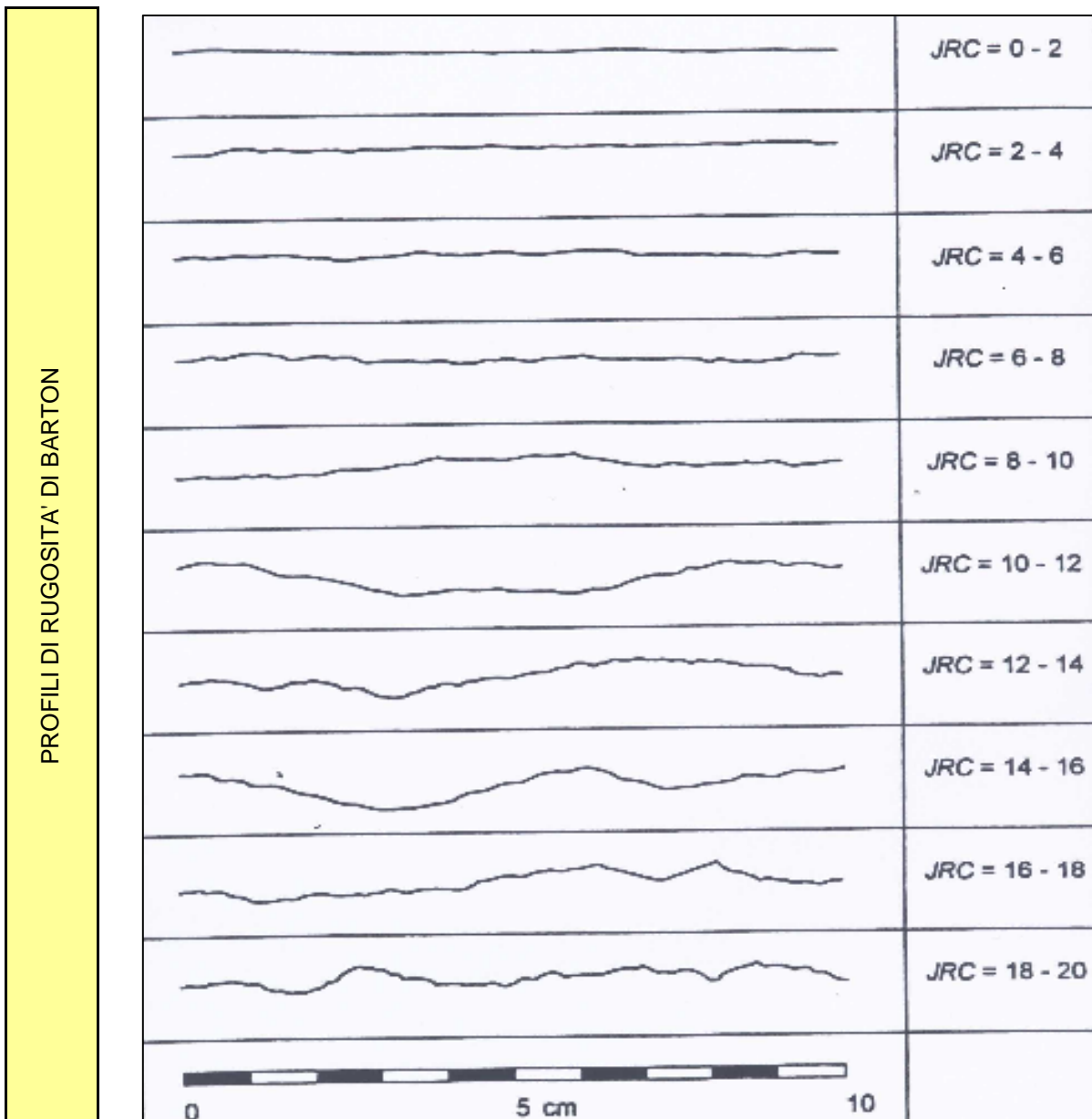
SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	F	riempimento di particelle sabbiose, materiali di disgregazione della roccia privi di particelle argillose	4
	G	riempimento di minerali argillosi non ammorbidenti fortemente sovraconsolidati, con spessori <5 mm	6
	H	riempimento di minerali argillosi ammorbidenti, con spessori <5 mm	8
	I	riempimento di minerali argillosi rigonfianti, con spessori <5 mm (min. se ho poca % rigonfiante e poca acqua, max. se ho molti rigonfianti ed eccesso d'acqua)	8 - 12

ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI DI GIUNTO ANCHE A SEGUITO DI SCORRIMENTI	L	zone o bande di roccia disgregata	6
	M	zone o bande di roccia macinata	8
	N	zone o bande di roccia macinata e con argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	8 - 12
	O	zone o fasce di argilla limosa o sabbiosa non ammorbidente	10
	P	zone continue e spesse con fasce di argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	10 - 20

clas.	Scabrezza delle superfici di giunto	Jr
-------	-------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO, O A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	A	giunti discontinui	4
	B	scabri o irregolari, ondulati	3
	C	lisci, ondulati	2
	D	levigati, ondulati	1,5
	E	Scabri o irregolari, piani	1,5
	F	Lisci, piani	1
	G	Levigati, piani	0,5

ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI, ANCHE NEL CASO DI SCORRIMENTI	H	minerali argillosi di riempimento con spessore sufficiente a prevenire il contatto tra le superfici	1
	I	zona sabbiosa o brecciata con spessore sufficiente a prevenire il contatto fra le superfici	1



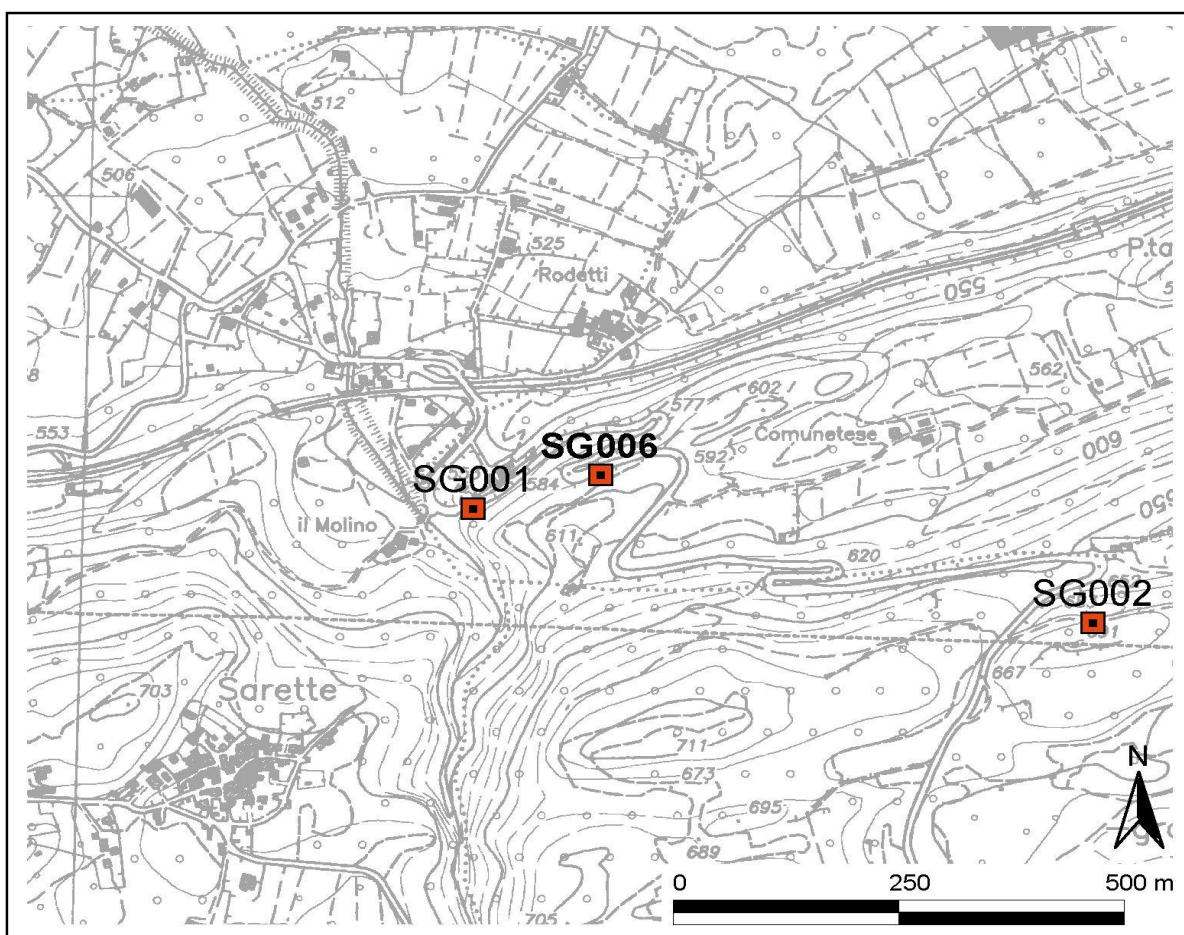


## RILIEVO GEOMECCANICO SG006

### Ubicazione indagine

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Mattie
<b>Data</b>	2/03/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Comunetese

### Planimetria ubicazione del rilievo



**RILIEVO GEOMECCANICO SG006**

**Scheda di rilievo**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	08-112	LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Mattie	
<b>Coordinate (x/y)</b>	34976148 - 4999864290	
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	593 m	
<b>Data</b>	2/03/09	
	Comunetese	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>		



**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	N52°E
Giacitura generale del pendio	[°/°]	320/40
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	24x4
Volume roccioso unitario medio	[dimensioni] [forma]	[m x m x m] [-]
		0,5x0,4x0,3
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia	[MPa]	113
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	15

Geologic strength index (stimato) 50-60

Grado di alterazione dell'ammasso	non alterato	debolm. alterato	moder. alterato	molto alterato	decom- posto
		X			
Condizioni di umidità dell'ammasso	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	flusso
				X	

**Litologia e descrizione geologica generale**

Paragneiss quarziti fortemente fratturati, appartenenti all'Unità Dora Maira

NOTE: in affioramento la scistosità principale dà origine ad un clivaggio pervasivo e nell'analisi strutturale viene indicata come una famiglia di discontinuità, in particolare la famiglia K5.

Definizione delle componenti lito logiche negli ammassi complessi:	lito1	-	-	-	-	-	-
	lito2	-	-	-	-	-	-
	%di lito 2 sul totale dell'ammasso						

**Geometria delle linee di misura**

	lcl. [°]	lmm. [°]	Lungh. [m]
Linea di misura 1			
Linea di misura 2			
Linea di misura 3			
Linea di misura 4			

**Schema delle famiglie di frattura individuabili in sito**

set (n°)	inclin. (°)	imm. (°)	spaz. (m)	Pers. Lung. (m)	Sclerometro										
					α	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
K5	25	311	0,14	D	90°	48	48	52	45	35	35	50	42		
K4	83	215	0,16	B	90°	40	44	44							
K4b	72	21	0,08	C	90°	44	60	48	35	42	50	55	38		

**RILIEVO GEOMECCANICO SG006**

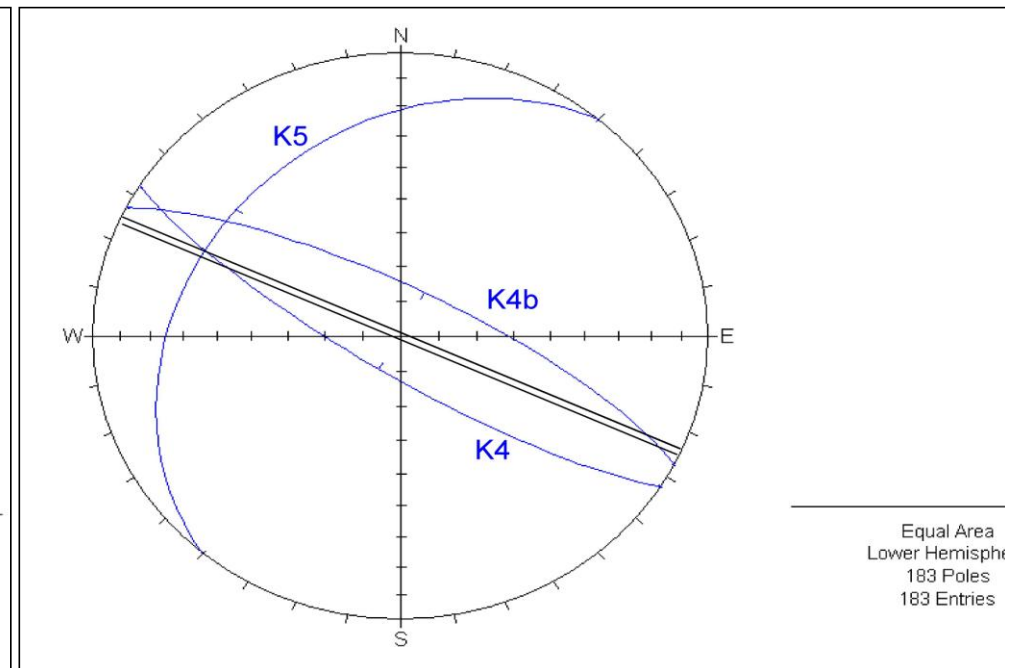
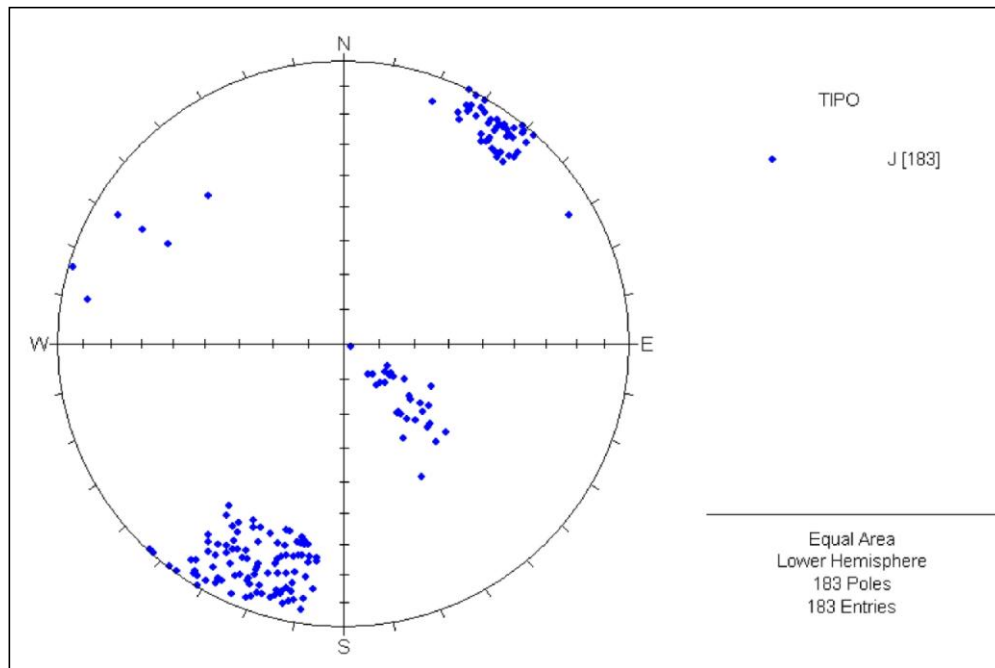
**Proiezioni stereografiche**

<b>Committente</b>	LTF
<b>Commessa</b>	08-112 LTF_GEO_ITA
<b>Località</b>	Mattie
<b>Coordinate (x/y)</b>	34976148 - 4999864290
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	593 m
<b>Data</b>	2/03/09
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Comunetese

Proiezioni stereografiche dei poli e delle ciclografiche dei set di discontinuità

J = giunto

/// Direzione media del tunnel



TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm	clas	Jr	Barton	R = rigido, granul. P = plast, coesivo	clas	Ja
<b>Sc</b>				B se 1 - 3	B se < 0.1						
...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				D se 10-20	D se 1 - 5						
				E se > 20	E se > 5						

Riga di esempio

	235	32	235	D	7	I	1	9	R	L	6
--	-----	----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

J	21	72	12	C	C	B	3	8-10		B	1
J/Sc	286	2	35	C	D	B	3	4-6		A	0,75
J	35	82	36	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	330	45	51	D	D	C	2	4-6		A	0,75
J	17	68	51	C	C	B	3	8-10		B	1
J/Sc	300	20	67	D	D	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	328	32	83	C	D	C	2	4-6		A	0,75
J	24	72	92	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	310	25	102	D	C	E	1,5	4-6		A	0,75
J	17	58	112	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	315	34	117	D	D	C	2	4-6		A	0,75
J	19	79	123	B	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	321	11	135	C	D	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	311	39	149	C	C	E	1,5	4-6		A	0,75
J/Sc	321	26	164	E	D	C	2	4-6		A	0,75
J	29	65	171	D	D	B	3	6-8		B	1
J/Sc	317	15	181	D	C	E	1,5	4-6		A	0,75
J	23	65	186	C	D	C	2	8-10		B	1
J/Sc	317	30	193	C	D	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	321	15	210	D	D	B	3	4-6		A	0,75
J	7	66	216	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	304	14	224	C	D	E	1,5	4-6		A	0,75
J	25	79	231	C	D	C	2	8-10		B	1
J/Sc	306	30	245	E	C	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	311	30	259	D	C	B	3	6-8		A	0,75
J	27	70	263	B	D	B	3	6-8		B	1
J/Sc	304	16	275	D	D	C	2	4-6		A	0,75
J/Sc	320	28	295	D	C	B	3	4-6		A	0,75
J	12	78	303	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	296	14	307	C	D	E	1,5	4-6		A	0,75
J	21	72	321	D	D	B	3	6-8		B	1
J/Sc	321	25	326	D	D	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	313	34	339	D	C	B	3	6-8		A	0,75
J	35	71	351	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	317	12	355	C	D	E	1,5	4-6		A	0,75
J	21	80	363	B	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	296	28	371	D	D	B	3	4-6		A	0,75
J	15	66	382	B	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	308	28	387	C	D	C	2	6-8		A	0,75
J	138	60	403	B	A	E	1,5	6-8		A	0,75
J	120	60	417	B	A	E	1,5	6-8		A	0,75
J	120	80	437	B	A	E	1,5	6-8		A	0,75
J	11	65	441	C	D	C	2	6-8		B	1
J	106	88	449	B	A	E	1,5	6-8		A	0,75
J	100	80	464	B	A	E	1,5	6-8		A	0,75

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr			Barton	clas
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se < 1 m	<b>A</b> se = 0 mm				<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1						
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5						
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5						
J	20	84	471	C	D	C	2	8-10		B	1
J	120	70	482	B	A	E	1,5	6-8		A	0,75
J	14	80	487	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	322	25	495	D	D	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	317	39	515	D	C	E	1,5	6-8		A	0,75
J	9	67	522	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J	27	83	531	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	309	24	533	E	D	B	3	4-6		A	0,75
J	12	61	546	C	D	B	3	8-10		B	1
J/Sc	313	16	547	D	D	B	3	4-6		A	0,75
J/Sc	304	17	563	C	C	E	1,5	6-8		A	0,75
J	27	59	572	C	D	E	1,5	6-8		B	1
J/Sc	302	16	579	D	D	B	3	6-8		A	0,75
J	15	79	591	C	D	B	3	8-10		B	1
J	11	81	619	D	D	C	2	8-10		B	1
J	200	80	621	C	C	B	3	6-8		B	1
J	11	60	633	C	D	B	3	8-10		B	1
J	206	90	638	B	D	B	3	6-8		B	1
J	25	69	651	E	D	C	2	8-10		B	1
J	240	80	657	B	C	B	3	8-10		B	1
J	215	83	674	B	D	B	3	6-8		B	1
J	215	78	689	B	C	E	1,5	6-8		B	1
J	13	77	694	C	D	B	3	6-8		B	1
J	217	75	706	C	B	B	3	4-6		B	1
J	9	72	718	C	D	B	3	8-10		B	1
J	221	77	723	B	C	B	3	6-8		B	1
J	215	76	741	A	C	E	1,5	4-6		B	1
J	215	81	757	B	B	B	3	6-8		B	1
J	210	82	774	B	C	E	1,5	6-8		B	1
J	213	77	793	C	D	B	3	4-6		B	1
J	207	84	808	A	C	B	3	6-8		B	1
J	30	71	814	C	D	C	2	6-8		B	1
J	215	84	826	B	C	B	3	6-8		B	1
J	206	80	844	C	C	E	1,5	4-6		B	1
J	210	89	855	B	C	B	3	6-8		B	1
J	207	78	872	B	B	B	3	6-8		B	1
J	219	74	894	B	C	E	1,5	4-6		B	1
J	219	89	909	B	C	B	3	6-8		B	1
J	216	84	924	C	B	E	1,5	4-6		B	1
J	208	85	945	B	C	B	3	6-8		B	1
J	222	85	958	B	C	C	2	6-8		B	1
J	208	89	974	C	D	B	3	6-8		B	1
J	21	76	984	C	D	B	3	8-10		B	1
J	221	74	997	B	C	B	3	6-8		B	1
J	210	86	1010	C	A	C	2	6-8		B	1
J	208	82	1027	B	C	B	3	4-6		B	1
J	215	77	1045	D	C	E	1,5	6-8		B	1

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione	
						clas	Jr			Barton	clas
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se < 1 m	<b>A</b> se = 0 mm				<b>R</b> = rigido, granul. <b>P</b> = plast, coesivo		
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1						
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1						
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5						
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5						
J	214	75	1064	B	B	B	3	4-6		B	1
J	218	82	1084	B	D	B	3	6-8		B	1
J	222	80	1097	C	C	C	2	6-8		B	1
J	222	78	1116	C	D	B	3	6-8		B	1
J	219	83	1130	C	C	E	2	4-6		B	1
J	216	85	1147	B	B	B	3,0	6-8		B	1
J	214	85	1165	C	D	B	3,0	6-8		B	1
J	218	86	1183	B	C	B	3,0	4-6		B	1
J	218	82	1195	B	C	B	3	6-8		B	1
J	28	83	1202	C	D	B	3	8-10		B	1
J	220	87	1215	C	C	C	2	4-6		B	1
J	14	80	1225	C	D	B	3	8-10		B	1
J	218	83	1237	B	D	B	3	6-8		B	1
J	12	82	1248	C	D	B	3	8-10		B	1
J	213	82	1251	B	C	B	3	4-6		B	1
J	213	84	1266	B	C	B	3	6-8		B	1
J	220	87	1284	C	C	E	2	6-8		B	1
J	220	88	1307	B	C	B	3,0	4-6		B	1
J	33	76	1318	C	D	E	1,5	8-10		B	1
J	217	84	1323	B	D	C	2,0	6-8		B	1
J	218	75	1335	B	C	B	3	6-8		B	1
J	219	76	1352	C	D	C	2,0	4-6		B	1
J	10	61	1365	C	D	B	3	8-10		B	1
J	211	85	1369	C	C	B	3	6-8		B	1
J	26	61	1377	C	D	C	2	8-10		B	1
J	222	89	1386	C	C	B	3,0	4-6		B	1
J	208	83	1403	B	D	B	3,0	6-8		B	1
J	14	79	1411	C	D	B	3,0	8-10		B	1
J	21	73	1478	C	D	B	3	8-10		B	1
J	16	82	1524	D	D	B	3,0	8-10		B	1
J	12	75	1543	D	D	C	2	6-8		B	1
J	27	76	1571	C	D	B	3	8-10		B	1
J	13	61	1592	B	C	B	3	8-10		B	1
J	31	76	1636	C	D	B	3,0	8-10		B	1
J	14	72	1663	B	D	C	2	6-8		B	1
J	16	63	1712	C	D	B	3,0	8-10		B	1
J	7	65	1753	C	D	B	3,0	8-10		B	1
J	28	85	1801	C	D	B	3,0	8-10		B	1
J	11	61	1822	C	D	C	2,0	8-10		B	1
J	7	76	1868	C	D	B	3,0	8-10		B	1
J	18	82	1916	D	C	B	3,0	8-10		B	1
J	21	74	1984	C	C	B	3,0	8-10		B	1
J	9	65	2028	B	C	C	2,0	8-10		B	1
J	24	78	2094	B	E	B	3,0	6-8		B	1
J	18	74	2143	C	D	C	2,0	8-10		B	1
J	38	89	2164	B	C	B	3,0	8-10		B	1
J	43	89	2301	C	C	C	2,0	8-10		B	1

TIPO	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza			JRC	Riempim.	alterazione	
<b>J</b>	(°)	(°)	(cm)	<b>A</b> se < 1 m	<b>A</b> se = 0 mm	clas	Jr	Barton	<b>R</b> = rigido,	clas	Ja	
<b>Sc</b>				<b>B</b> se 1 - 3	<b>B</b> se < 0.1				granul.			
...				<b>C</b> se 3 - 10	<b>C</b> se 0.1 - 1				<b>P</b> = plast,			
<b>altro</b>				<b>D</b> se 10-20	<b>D</b> se 1 - 5				coesivo			
				<b>E</b> se > 20	<b>E</b> se > 5							
<b>J</b>	31	89	2388	C	D	C	2,0	8-10		B	1	

clas.	Alterazione delle superfici di giunto	Ja
-------	---------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO	A	contatto ben saldo tra le superfici di giunto	0,75
	B	pareti del giunto non alterate, superfici ossidate	1
	C	pareti del giunto leggermente alterate, coperte da un sottile strato di minerali non ammorbidenti tipo particelle sabbiose o particelle di roccia fratturata	2
	D	sottile strato con frazione argillosa limitata	3
	E	strato superficiale di materiali argillosi ammorbidenti o a bassa resistenza attritiva (anche mica, clorite, talco, gesso, grafite, ecc.)	4

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	F	riempimento di particelle sabbiose, materiali di disgregazione della roccia privi di particelle argillose	4
	G	riempimento di minerali argillosi non ammorbidenti fortemente sovraconsolidati, con spessori <5 mm	6
	H	riempimento di minerali argillosi ammorbidenti, con spessori <5 mm	8
	I	riempimento di minerali argillosi rigonfianti, con spessori <5 mm (min. se ho poca % rigonfiante e poca acqua, max. se ho molti rigonfianti ed eccesso d'acqua)	8 - 12

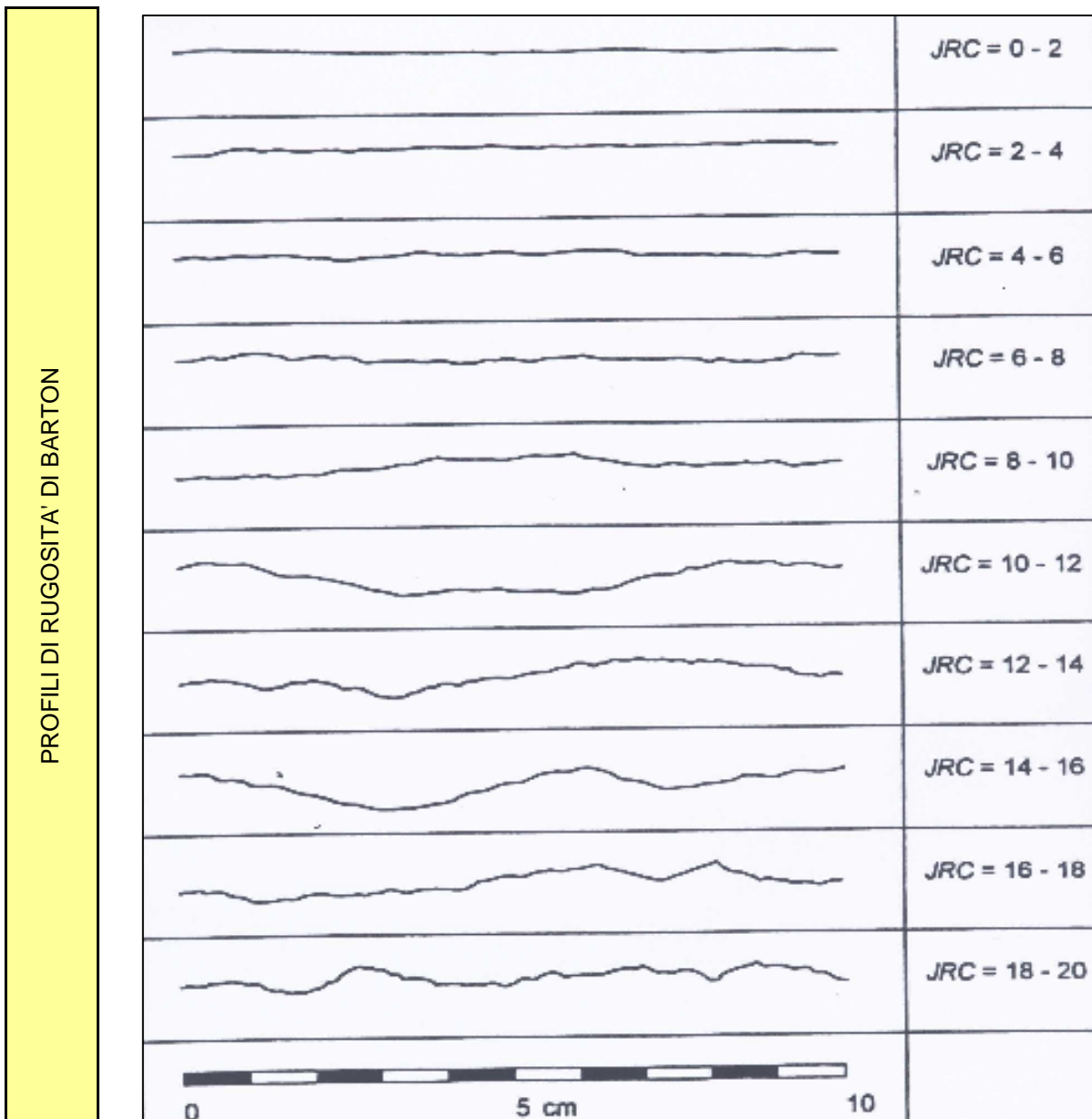
ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI DI GIUNTO ANCHE A SEGUITO DI SCORRIMENTI	L	zone o bande di roccia disgregata	6
	M	zone o bande di roccia macinata	8
	N	zone o bande di roccia macinata e con argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	8 - 12
	O	zone o fasce di argilla limosa o sabbiosa non ammorbidente	10
	P	zone continue e spesse con fasce di argilla (min. se non ammorbidente, max. se rigonfiante)	10 - 20



clas.	Scabrezza delle superfici di giunto	Jr
-------	-------------------------------------	----

SUPERFICI DI GIUNTO A CONTATTO, O A CONTATTO PER SCORRIMENTI <10 CM	A	giunti discontinui	4
	B	scabri o irregolari, ondulati	3
	C	lisci, ondulati	2
	D	levigati, ondulati	1,5
	E	Scabri o irregolari, piani	1,5
	F	Lisci, piani	1
	G	Levigati, piani	0,5

ASSENZA DI CONTATTO FRA LE SUPERFICI, ANCHE NEL CASO DI SCORRIMENTI	H	minerali argillosi di riempimento con spessore sufficiente a prevenire il contatto tra le superfici	1
	I	zona sabbiosa o brecciata con spessore sufficiente a prevenire il contatto fra le superfici	1

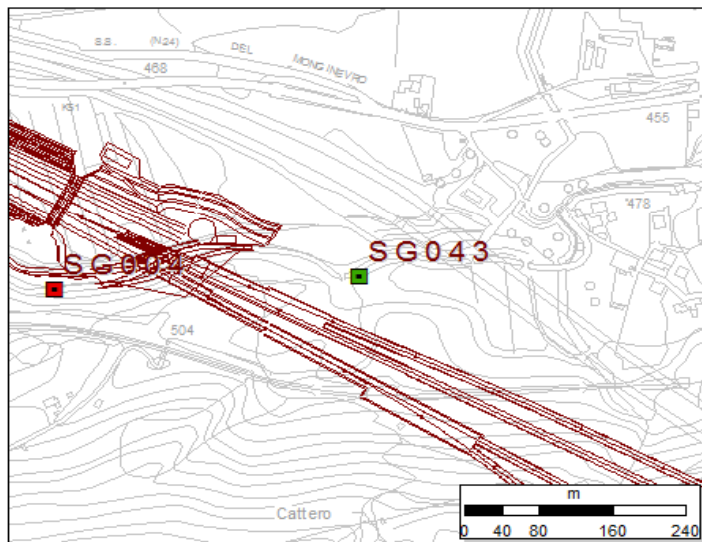


**RILIEVO GEOMECCANICO SG043**

**Ubicazione indagine**

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Traduerivi	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	351.144,828	4.999.159,223
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	479 ± 3 m	
<b>Data</b>	08/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Interconnessione Imbocco W - Traduerivi	

**Planimetria ubicazione del rilievo**



**RILIEVO GEOMECCANICO SG043**

Scheda di rilievo

<b>Committente</b>	LTF	
<b>Commessa</b>	11-124 LTF_C3_PD	
<b>Località</b>	Traduerivi	
<b>Coordinate [WGS84]</b>	351.144,828	4.999.159,223
<b>Quota (m.s.l.m)</b>	479 ± 3 m	
<b>Data</b>	08/03/2012	
<b>Area di rilievo geomeccanico</b>	Interconnessione Imbocco W - Traduerivi	

**Condizioni generali dell'ammasso roccioso**

Giacitura del fronte di misura	[°/°]	350	65
Giacitura generale del pendio	[°/°]	-	-
Dimensioni dell'area di rilievo geomeccanico	[m x m]	20	2
Volume roccioso unitario medio	[dimensioni]	0.5*0.5*0.5	
	[forma]	[-]	
Resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia	[MPa]	80	
Numero di discontinuità per metro cubo d'ammasso - J <sub>v</sub>	[n°/m <sup>3</sup> ]	5	1
Geologic strength index (stimato)		70 - 0	
Grado di alterazione dell'ammasso		non alterato	deboim. alterato
		moder. alterato	molto alterato
			decom. posto
Condizioni di umidità dell'ammasso		asciutto	umido
		bagnato	stillicidio
			flusso



Litologia e descrizione geologica generale	
Calcemicascisti Dora Maira	
NOTE: J2 non pervasivo	

Definizione delle componenti litologiche negli ammassi complessi:	lito1	-	-	-
	lito2	-	-	-
	%di lito 2 sul totale dell'ammasso			

Geometria delle linee di misura		
	Direz.	Lungh. [m]
Linea di misura 1	N062°E	20
Linea di misura 2	-	-

Schema delle famiglie di frattura individuabili in sito				
set	inclin.	imm.	spaz.	Pers. Lung.
(n°)	(°)	(°)	(m)	(m)
<b>Sc/J</b>	65	344	30	20
<b>J1</b>	70	90	0.2 - 3.5	1 - 3
<b>J2</b>	50	225	> 1	> 1

Sclerometro												
α	R1	R2	R3	R4	R4	R5	R5	R6	R7	R8	R9	R10
90	40	38	30	30	40	30	40	40	30	30	40	35
90	50	30	30	45	48	40	45	46	50	40	40	52
90	25	20	45	40	40	45						

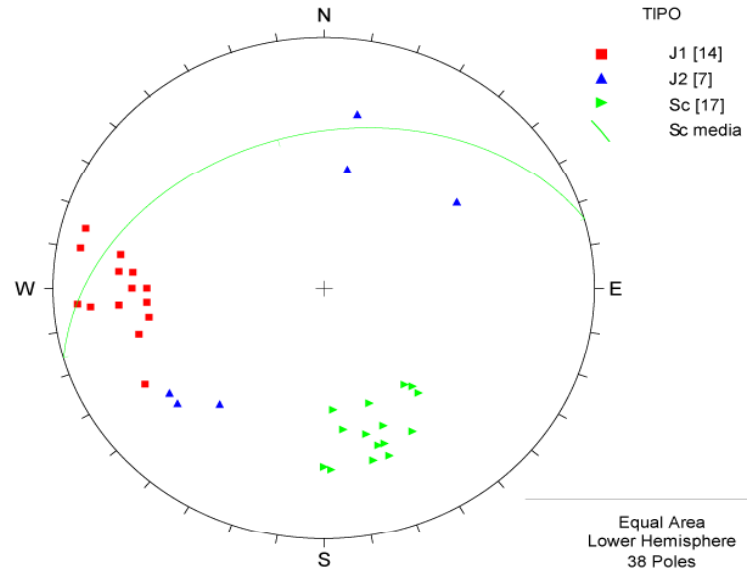
Proiezioni stereografiche e analisi spaziate

Committente	LTF	
Commessa	11-124 LTF_C3_PD	
Località	Traduerivi	
Coordinate [WGS84]	351.144,828	4.999.159,223
Quota (m.s.l.m)	479 ± 3 m	
Data	08/03/2012	
Area di rilievo geomeccanico	Interconnessione Imbocco W - Traduerivi	

Proiezione stereografica dei poli dei set di discontinuità misurati in affioramento e ciclografica della scistosità media

Sc = scistosità  
J = giunto

Direzione media del tunnel N290°



Interconnessione Imbocco W - Traduerivi

SPAZIATURA	SET	IMM.	INCL.	DISTANZA	lunghezza	Apertura	scabrezza		JRC	Riempim.	alterazione		
							clas	Jr			Barton	clas	Ja
(cm)	1	(°)	(°)	(cm)	A se < 1 m	A se = 0 mm				R = rigido, granul. P = plast., coesivo			
	2				B se 1 - 3	B se < 0.1							
	...				C se 3 - 10	C se 0.1 - 1							
	altro				D se 10-20	D se 1 - 5							
						E se > 20	E se > 5						

-	J2	40	50	0	B	-	B	3	4 - 6	-	A	0.75
15.24	Sc/J	340	60	120	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
75.30	J2	54	60	120	B	C	B	3	2 - 4	-	A	0.75
6.35	Sc/J	320	42	170	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
31.38	J2	50	60	170	B	E	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
12.70	Sc/J	322	40	270	D	A	E	1.5	4 - 6	R	A	0.75
249.86	J1	105	80	270	B	C	E	1.5	2 - 4	-	A	0.75
3.81	Sc/J	345	50	300	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
27.76	J1	90	60	300	B	C	E	1.5	2 - 4	-	A	0.75
3.81	Sc/J	330	55	330	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
27.76	J1	85	55	330	B	C	E	1.5	2 - 4	-	A	0.75
8.89	Sc/J	340	60	400	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
144.33	J2	190	40	470	A	B	B	3	6 - 8	-	A	0.75
13.97	Sc/J	340	40	510	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
166.57	J1	100	65	510	B	B	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
69.03	J2	190	60	690	B	B	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
166.57	J1	95	65	690	B	C	B	3	2 - 4	-	A	0.75
43.19	Sc/J	320	45	850	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
148.07	J1	85	65	850	B	B	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
12.70	Sc/J	0	60	950	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
92.54	J1	95	60	950	B	B	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
276.10	J2	235	50	980	B	C	B	3	2 - 4	-	A	0.75
30.48	Sc/J	340	55	1190	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
222.10	J1	86	80	1190	B	D	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
5.08	Sc/J	338	49	1230	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
37.02	J1	85	75	1230	B	B	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
40.65	Sc/J	345	60	1550	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
376.50	J2	190	40	1600	B	B	B	3	8 - 10	-	A	0.75
342.40	J1	90	55	1600	B	C	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
26.67	Sc/J	342	55	1760	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
157.32	J1	60	65	1770	B	B	E	1.5	8 - 10	-	A	0.75
1.27	Sc/J	356	40	1770	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
18.51	J1	75	60	1790	B	B	B	3	8 - 10	-	A	0.75
2.54	Sc/J	358	61	1790	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
27.76	J1	100	80	1820	B	A	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
3.81	Sc/J	340	40	1820	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75
83.29	J1	80	55	1910	B	A	E	1.5	6 - 8	-	A	0.75
11.43	Sc/J	353	47	1910	D	A	E	1.5	4 - 6	-	A	0.75