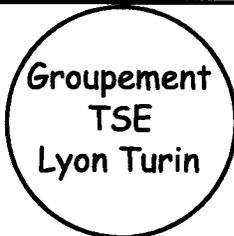




Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

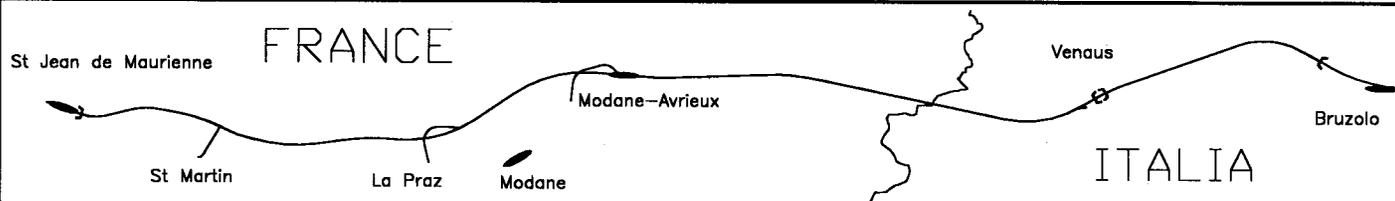


Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE**  
**NOUVELLE LIAISON FERROVIAIRE TRANSALPINE LYON - TURIN**  
**TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA - BRUZOLO**

**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE**  
**DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N°443/2001**



**PROGETTO PRELIMINARE**

**TUNNEL DI BASE DI BASE ZONA IMBOCCO LATO ITALIA E TUNNEL DI BUSSOLENO**  
**RELAZIONE GEOLOGICA GENERALE**

Scala

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
0	EMISSIONE PER PP	GATTI	28/10/2002	MAGNORFI	29/10/2002	OGNIBENE	31/10/2002	
A	EMISSIONE PER RAPPORTO FINALE	GATTI	29/01/2003	MAGNORFI	31/01/2003	OGNIBENE	05/02/2003	

Rif.Doc.	P	P	2	0	8	5	T	S	E	3	R	E	X	X	:	:	G	O	:	:	3	1	1	1	A
	fase	n° S.C.	emettente			tipo doc.	codice geografico			oggetto			n° doc.			indice									

## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	2
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	4
3	INQUADRAMENTO STRUTTURALE.....	6
4	GEOMORFOLOGIA.....	10
5	SISMICITA'.....	13
6	RADIOATTIVITA' NATURALE.....	14
7	IDROGEOLOGIA.....	16
7.1	Introduzione.....	16
7.2	Tunnel di Base.....	17
7.3	Tunnel Bussoleno.....	19
8	TUNNEL DI BASE – LATO ITALIANO.....	23
8.1	Descrizione tracciato.....	23
8.2	Distribuzione rischi lungo il lato Italia del Tunnel di Base.....	26
8.3	Imbocco Venaus.....	27
8.4	Pozzo della Val Clarea.....	27
9	TUNNEL BUSSOLENO.....	29
9.1	Descrizione tracciato.....	29
9.2	Distribuzione rischi lungo profilo tunnel Bussoleno.....	32
9.3	Imbocco lato Val Cenischia.....	35
9.4	Finestra Foresto Ovest.....	35
9.5	Imbocco lato Bruzolo.....	36
10	CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA.....	39
11	CONCLUSIONI.....	44
12	BIBLIOGRAFIA.....	46
13	ALLEGATI ALLA RELAZIONE.....	51

## 1 INTRODUZIONE

Il progetto di collegamento ferroviario a grande velocità Torino-Lione prevede per una lunga parte del tracciato la realizzazione di opere in sotterraneo. Il collegamento tra Saint Jean de Maurienne e Bussoleno, viene effettuato tramite lo scavo di due gallerie, il Tunnel di Base della lunghezza di circa 52,6 Km e la Galleria di Bussoleno della lunghezza di circa 12,1 Km.

La fase geognostica è stata eseguita basandosi su:

- Analisi di carte geologiche commissionate per l'opera e dati bibliografici preesistenti.
- Interpretazioni strutturali a grande scala, basate su interpretazioni di foto aeree e da satellite.
- Analisi geofisiche con stendimenti superficiali e prospezioni geofisiche in foro.
- Sondaggi a carotaggio continuo e esecuzione di prove geognostiche in situ.
- Caratterizzazione dei litotipi tramite prove di laboratorio.

Oltre ai dati sopraelencati si è inoltre considerato che:

- L'analisi di "case histories" di altri trafori alpini, permette - in una prima fase - di individuare un range di condizioni attese o possibili nella realizzazione di un traforo con elevate coperture, la cui applicabilità varia non solo in funzione delle condizioni geologiche e idrologiche ma anche del tipo di avanzamento previsto.
- L'esperienza di opere in sotterraneo eseguite nella stessa zona (condotta centrale elettrica di Pont Ventoux) eseguita in tempi molto recenti permette di valutare la rispondenza delle prove in situ effettuate alle condizioni effettivamente incontrate in fase di scavo.

In base all'esame della documentazione esistente è stata compilato un profilo geologico-geomeccanico che consente una previsione delle litologie attraversate e degli elementi macrostrutturali presenti, assieme ad una caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.

Il riferimento per la ricostruzione geologica del tracciato della galleria Bussoleno e del lato italiano del Tunnel di Base è costituito dalle carte e dalle sezioni alla scala 1: 10.000 prodotte

dall'Università degli studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE (1998) – (“Relazione geologica relativa all'area Bussoleno Nord” e “Relazione geologica relativa all'area Val Cenischia – Val Clarea”).

I documenti prodotti dal DST sono stati riprodotti e sintetizzati a scala 1: 25.000 per la cartografia e a scala 1: 20.000 per i profili geologici da Bonnard e Gardel (2000-2001); in generale la riduzione di scala non ha comportato una perdita di particolari al fine della caratterizzazione geologica e geomeccanica del mezzo attraversato dal tracciato.

Il presente documento si basa sia sull'analisi dei documenti prodotti dal DST che sul lavoro di sintesi degli elaborati presentati da Bonnard & Gardel (2000).

Per l'elenco dettagliato dei documenti esaminati si rimanda alla bibliografia, i principali documenti impiegati sono inoltre allegati al presente progetto preliminare.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

In generale il tracciato della galleria Bussoleno e della tratta italiana del tunnel di Base si impostano nelle unità di pertinenza piemontese e pennidica coinvolte nelle deformazioni alpine. Viene attraversata sia la copertura sedimentaria sia il sottostante basamento cristallino. La zona è soggetta a un debole metamorfismo regionale che coinvolge sia le unità della copertura sedimentaria, prevalentemente costituita da rocce di origine carbonatica, che il basamento cristallino costituito da micascisti e gneiss.

Le Alpi occidentali dal punto di vista dei domini geologici vengono distinte come Esterne nella zona occidentale e come Interne nella zona orientale, le due unità vengono separate tramite contatto di tipo tettonico da una delle maggiori linee di accavallamento alpino, riconosciuta come Fronte Pennidico. Le unità interne sottostanti al Fronte Pennidico sono costituite a loro volta dalla sovrapposizione di più falde tettoniche distinte come Zona Sub-Brianzonese, Brianzonese e Piemontese, spostandosi da Ovest verso Est.

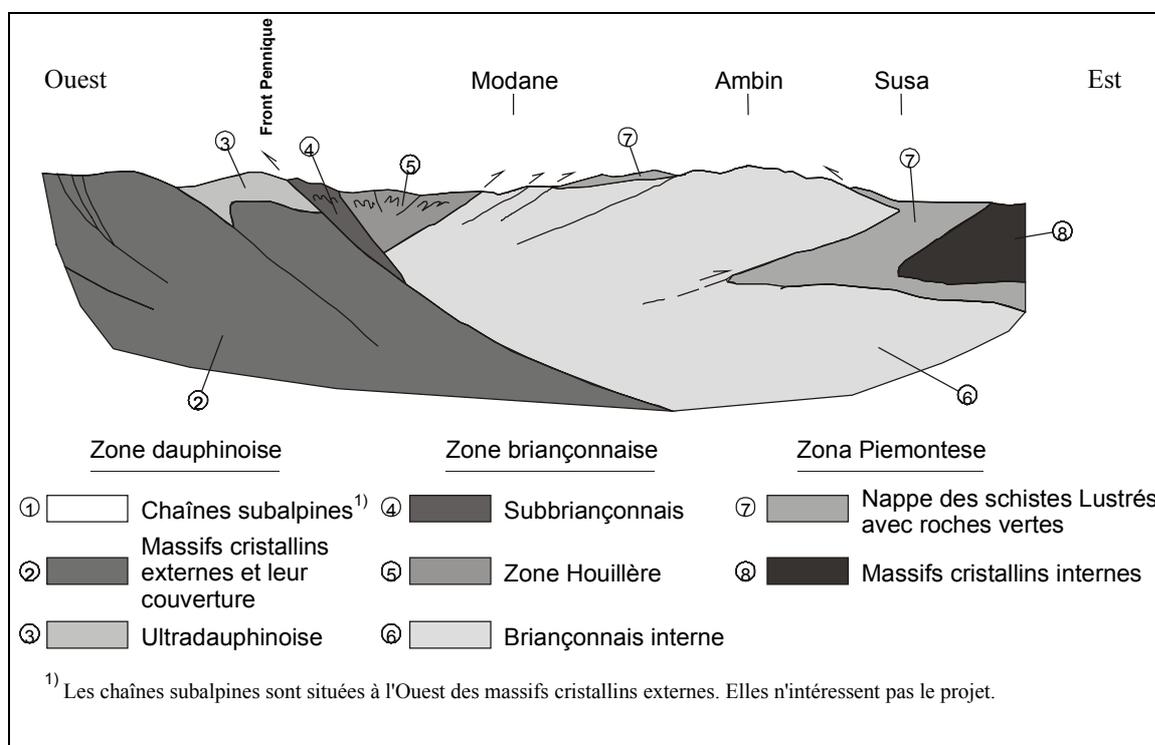


Fig. 1 - Sezione geologica regionale, in asse con il tracciato Alpetunnel, rappresentante le principali unità tettono-strutturali. Sezione ricostruita in base ai lavori di Miller e al. (1982), Bertrand et al. (1996), Caby (1996) e Gratier et al. (1989).

La parte più orientale del Tunnel di Base è situata sul lato italiano del versante e si imposta nel massiccio d'Ambin costituito da un basamento polimetamorfico (Gruppo d'Ambin) e dalla copertura sedimentaria soggetta a metamorfismo alpino (Gruppo della Val Clarea). A questo settore seguono con contatto tettonico le unità piemontesi costituite prevalentemente da calcescisti.

Il tracciato della Galleria Bussoleno, sempre dal punto di vista geologico regionale, si trova interamente all'interno delle unità della Zona Piemontese. L'area è stata soggetta ad una forte tettonica compressiva con importanti raccorciamenti ed è affetta in generale da un metamorfismo regionale di basso grado (facies degli scisti sericitici o scisti verdi).

La geologia del tracciato della galleria Bussoleno e del lato italiano del Tunnel di Base è ricostruita nelle carte e dalle sezioni alla scala 1:10.000 prodotte dall'Università degli studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE (1998) – (“Relazione geologica relativa all'area Bussoleno Nord” e “Relazione geologica relativa all'area Val Cenischia – Val Clarea”). Le carte presentate nella sintesi di Bonnard e Gardel (2000-2001) sono derivate da quelle del DST con una riduzione di scala.

Nel presente documento per ragioni sia di scala di rappresentazione che di ottimizzazione delle suddivisioni litologiche finalizzate alla caratterizzazione geomeccanica del tracciato, i profili geologici prodotti sono basati sulle sintesi di Bonnard e Gardel alla scala 1:20.000.

Per assicurare la conservazione di tutte le informazioni fino ad ora raccolte viene allegata integralmente come documento di riferimento la documentazione originale prodotta dal DST.

### 3 INQUADRAMENTO STRUTTURALE

Dal punto di vista delle macrostrutture geologiche, i lineamenti strutturali possono essere suddivisi in due gruppi a seconda della loro genesi e della loro differente influenza sul progetto. I due differenti tipi principali di deformazioni a comportamento fragile sono i seguenti:

**Fronti di accavallamento di età alpina:** lineamenti compressivi con estensione prevalentemente chilometrica, caratterizzati, almeno per i fronti di accavallamento che coinvolgono unità appartenenti a diversi domini strutturali, da una fascia di rocce estremamente fratturate o cataclastiche di estensione ettometrica; l'estensione della fascia disturbata risulta di spessore decametrico considerando i lineamenti che attraversano la stessa unità strutturale con limitate dislocazioni. L'inclinazione dei piani di accavallamento varia da 25 a 40° e solitamente immerge verso Ovest.

- Contatto tra zona Piemontese e zona Brianzonese. Il movimento delle unità va dalle zone interne verso le zone esterne, cioè da Est verso Ovest. Il lineamento accavalla le unità Piemontesi sopra il Massiccio di Ambin. La fascia di taglio vera e propria è accompagnata da una spessa fascia di rocce tettonizzate, già interessate da precedenti fasi deformative a carattere prevalentemente fragile. Gli orizzonti di deformazione si impostano lungo dei piani di debolezza rappresentati dalle rocce evaporitiche della copertura sedimentaria. La zona descritta è caratterizzata dalla presenza di elementi litici anche di grosse dimensioni, costituiti da marmi e calcescisti inglobati in una matrice costituita da carnioli. La geometria di questa fascia tettonizzata è ben indagata grazie allo scavo delle gallerie per la centrale elettrica di Pont Ventoux, la fascia tettonizzata presenta un'inclinazione di 25-40° ed un'immersione verso E (N30.N60). La loro presenza costituisce una problematica di scavo, sono localizzate tra le progressive 53,3 e 53,85 (Progressive profilo Alpetunnel, 2000), e verranno affrontate con un avanzamento in tradizionale prevedendo interventi di consolidamento. Una più precisa individuazione di questa fascia deriverà dalla realizzazione della galleria geognostica di Venaus.
- Fascia di contatto intorno alle rocce verdi. Il contatto Calcescisti-Rocce Verdi presso la progressiva 58,100 del Tunnel Bussoleno (Progressive profilo Alpetunnel, 2000), è

accompagnato da una fascia di rocce estremamente fratturate di spessore decametrico, mentre il contatto Rocce Verdi – Calcescisti viene definito come netto, si ritiene, in questo caso, che la fascia di fratturazione sia di spessore metrico. La zona viene indagata dal sondaggio S9, rimangono alcune incertezze sulla localizzazione delle strutture.

- Faglia di Falcimagna. Attraversa il tracciato del tunnel Bussoleno presso la progressiva 63,300 è caratterizzata da una fascia di rocce estremamente fratturate estesa per circa 120-130 m. Non viene intercettata da nessuno dei sondaggi e la sua posizione risulta pertanto maldefinita.

E' possibile una stima dell'età delle deformazioni metamorfiche (DST-Alpetunnel GEIE, 1999) subite dai protoliti in quest'area. Lo studio tramite il metodo delle tracce di fissione su cristalli di apatite (fission tracks) indica una chiusura al di sotto dei 120° C del sistema costituito dalle rocce dell'Unità di Ambin e dell'Unità Dora Maira tra i 19 e i 34 milioni di anni con differenze tra il lato destro e sinistro della valle che indicano differenti tempi di raffreddamento,

### **Lineamenti post-alpini:**

Questi lineamenti a carattere prevalentemente distensivo sono caratterizzati da un'elevata inclinazione compresa tra 60 e 80°. Si presentano solitamente in fasci di faglie ravvicinate caratterizzate da limitate fasce cataclastiche. Nel settore del tunnel di Base presentano immersione verso E ed ESE, presso il margine occidentale e orientale del tracciato del tunnel di Bussoleno presentano direzione N-S, e immersione verso Ovest. Queste strutture si localizzano con immersioni opposte intorno a zone tettonicamente ribassate come la Val Cenischia.

Nel settore italiano del tunnel di Base vengono identificate delle zone interessate da faglie normali tra le progressive PK<sub>ligne</sub> 47,35-48,1, 48,3 48,8 e 54,2-54,3. Nel tunnel Bussoleno vengono identificate delle zone interessate da faglie normali tra le progressive PK<sub>ligne</sub> 58-59 e 65,9. La loro effettiva presenza e la loro ubicazione presentano alcune incertezze dovute alle elevate coperture e alla mancanza di riscontri diretti.

Il fattore di interesse principale legato a queste strutture è riguardo al loro stato di attività; alcuni di questi lineamenti risultano interessati da attività neotettonica e sono attualmente

attivi. Il rischio legato a queste strutture non è tanto legato alla presenza di zone instabili in fase di scavo ma risulta connesso alla possibilità di lesionare il manufatto nel lungo periodo.

- Faglia di Venaus. Lineamento normale, localizzato intorno alla progressiva 53,4 del Tunnel di Base. Il lineamento viene riconosciuto da evidenze nei sondaggi e nello scavo di una delle gallerie dell'impianto di Pont Ventoux. Il lineamento presenta una geometria subverticale con inclinazione 60-80° immergente verso SE. La faglia è caratterizzata da una fascia di rocce cataclastiche di spessore metrico. Non vengono segnalati indizi di attività neotettonica ma non viene neanche esclusa in via categorica.
- Zona di taglio di Mompantero. Fascia di lineamenti distensivi con direzione circa N-S immergenti verso Ovest con un'inclinazione da media a elevata costituiscono una zona ettometrica caratterizzata da faglie parallele. Vengono segnalati indizi di attività neotettonica lungo questi lineamenti.

L'analisi della tettonica recente viene descritto nella relazione SEA-Alpetunnel GEIE del 1999.

- Viene distinta una prima **fase D1** con prevalente componente di trascorrenza destra lungo lineamenti subverticali con direzione da NNE-SSO a ENE-OSO, a livello regionale i lineamenti nella zona della Val Clarea si dispongono prevalentemente con direzione 60-240 e immersione verso E.
- La successiva **fase D2** presenta caratteristiche distensive, Nella zona della Val Clarea riattiva alcune delle discontinuità orientate da NNE-SSO a ENE-OSO originate durante la precedente fase con movimento normale. Questi lineamenti riattivati dislocano depositi pliocenico-quadernari. Nella zona tra Venaus e la Val Cenischia sono presenti delle faglie con direzione ENE-OSO che tendono a interrompere i lineamenti della fase precedente. Nel settore Mompantero sono riconosciute faglie principali con direzione N-S immergente verso O, questa fascia di faglie costituisce una fascia di taglio caratterizzata da elevata persistenza. Nel settore più orientale rispetto a Mompantero, le evidenze di neotettonica si riducono drasticamente fino a scomparire.

Per quanto riguarda la distribuzione degli sforzi all'interno dell'ammasso roccioso sono disponibili alcuni dati dal lato italiano del Tunnel di Base. Nei sondaggi S4 e S16 (riguardanti

il lato italiano del Tunnel di Base) viene misurata una spinta orizzontale minore della verticale, ( $\sigma_h/\sigma_v = 0,5$ ); il carico verticale è circa corrispondente al carico litostatico e le spinte orizzontali misurate in direzioni perpendicolari sono simili ( $\sigma_h/\sigma_H = 0,7-0,8$ ). In zone più prossime alla Val Cenischia, nei sondaggi S5 e S23, viene misurata una spinta orizzontale maggiore della verticale, il carico verticale è ridotto rispetto al carico litostatico atteso ( $\sigma_v/\gamma_h = 0,6-0,8$ ) e le spinte orizzontali misurate perpendicolarmente alla valle sono maggiori di quelle misurate parallelamente ( $\sigma_h/\sigma_H = 0,6-0,8$ ).

#### 4 GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico la forma dei versanti indica una morfologia prevalentemente di origine glaciale. I principali lineamenti vallivi risultano impostati su direttrici di origine strutturale. I depositi superficiali risultano distribuiti prevalentemente nel settore di fondovalle, dove raggiungono i massimi spessori. Il tracciato del tunnel di Bussoleno ed il lato italiano del Tunnel di Base attraversano depositi superficiali limitatamente alle zone degli imbocchi.

I depositi di copertura riconosciuti risultano attribuibili ad alcune tipologie.

- Depositi fluviali e di piana alluvionale: sono costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie limose e limi con ciottoli, localmente limi argillosi
- Conoidi: depositi formati da sabbie limi e ghiaie, si formano alla base delle aste torrentizie in corrispondenza della rottura del pendio.
- Depositi di versante: depositi prevalentemente monogenetici con granulometria prevalentemente decimetrica.
- Tilliti, depositi glaciali: depositi marcatamente eterometrici costituiti da blocchi e ciottoli, immersi in matrice siltoso-sabbiosa. Localmente possono essere presenti dei blocchi litoidi di dimensione metrica.
- Materiale di riporto: nel caso particolare si individua una discarica di materiale derivante dallo smarino di gallerie AEM in corrispondenza dell'imbocco del Tunnel di base a Venaus. Il deposito è costituito da elementi litici con pezzatura prevalentemente decimetrica.

Vengono nel seguito prese in considerazione le situazioni in cui l'analisi geomorfologica risulta interessante in maniera diretta il tracciato.

##### **Imbocco Pozzo Val Clarea – Tunnel di base**

L'imbocco attraversa depositi glaciali misti a depositi colluviali per uno spessore decametrico (valutazione approssimativa dalla cartografia), il substrato roccioso viene riportato come subaffiorante. Non viene considerato lo spessore dei depositi superficiali osservato nel

sondaggio S4, poiché questo attraversa dei depositi di conoide e dei depositi alluvionali di fondovalle.

### **Imbocco lato Venaus - Tunnel di Base**

Nei profili geomeccanici e nelle carte geologiche di progetto l'imbocco si imposta direttamente nei calcescisti. Dai sopralluoghi effettuati risulta che in questa area è presente una spessa (circa 20 m) bancata costituita da materiale di riporto derivante dallo smarino delle gallerie AEM. E' prevista in fase esecutiva l'asportazione dei depositi di riporto per effettuare l'imbocco direttamente nel substrato roccioso. La porzione circostante del versante presenta dei depositi glaciali o glaciocolluviali di limitato spessore con il substrato roccioso subaffiorante.

### **Imbocco lato Val Cenischia - Tunnel Bussoleno**

L'imbocco occidentale si imposta direttamente nei calcescisti affioranti nella parete rocciosa a NO della frazione di Berno. Nell'area dove viene localizzato l'imbocco non sono presenti depositi di versante, indice di una condizione di generale stabilità nella parete rocciosa sovrastante. Considerata l'estensione e l'altezza della parete devono essere prese in considerazione opere di difesa contro la caduta massi nell'area immediatamente intorno all'imbocco.

### **Imbocco finestra Foresto Ovest - Tunnel Bussoleno**

La presente localizzazione dell'imbocco è spostata di circa 100 m verso Ovest rispetto alla localizzazione preliminare. L'imbocco viene ad essere situato su una conoide di piccole dimensioni. Dall'imbocco, situato a Ovest dell'abitato di Foresto incontra prima una limitata fascia di depositi superficiali costituiti da sabbie con ghiaie con spessori stimati di 70 m.

### **Imbocco lato Bruzolo - Tunnel Bussoleno**

Presso l'imbocco orientale il tunnel di Bussoleno si imposta in una fascia di detriti prevalentemente alluvionali caratterizzata dall'evidenza morfologica del conoide sottostante l'abitato di Chianocco. La lunghezza di tunnel attraverso terreni composti da ghiaie e sabbie con ciottoli viene stimata in circa 500 m nel tracciato originale e si riduce di circa 100 m nel tracciato attualmente in esame (Ottobre 2002). La posizione del contatto tra depositi

superficiali e substrato roccioso, al momento ricavata dai sondaggi e dalle indagini geofisiche condotte in corrispondenza dell'imbocco, si ritiene debba essere meglio tarata con dei sondaggi aggiuntivi.

Nelle tratte di gallerie esaminate, questo è il settore dove vengono attraversate le sezioni più potenti di terreni sciolti.

**Frane** Lungo l'area interessata dal tracciato vengono attraversate delle zone soggette a fenomeni di dissesto quali frane e deformazioni gravitative profonde del versante (sakungen). I dissesti vengono localizzati in base ai dati della Regione Piemonte.

Lungo il tracciato del lato italiano del Tunnel di Base vengono individuati i seguenti elementi:

- Frana del forte di Santa Chiara, interessa il versante destra della Val Cenischia.
- Frana di Case La Dritta, ubicata in Val Clarea
- Zona tra Col Clepiere e M. Arià, estesa area a franosità diffusa probabilmente interessata da deformazioni gravitative profonde.

Lungo il tracciato del Tunnel di Bussoleno vengono individuati i seguenti elementi:

- Frana di Alpe Arcella, Valle del Rocciamelone a q. 2000 m s.m.
- Frana di Alpe Savine, Valle del Rocciamelone a q. 1800 m s.m.
- Borgata Seghino, a N di Mompantero tra q. 800 e 1.100 m s.m., caratterizzata da deformazioni gravitative profonde, presenza di numerose fratture aperte. Questo aspetto sarà da approfondire maggiormente in sede di progetto definitivo.

Nell'ambito del progetto, l'analisi di questi elementi in particolare e del contesto geomorfologico in generale non sono stati interessati da studi specifici. Viene ritenuto opportuno verificare l'estensione dei fenomeni già individuati e lo stato della loro dinamica geomorfologia, oltre a censire altre eventuali forme di dissesto meno evidenti o di estensione minore che possono comunque presentare delle interferenze o modificare il loro stato di attività in funzione dell'opera.

## 5 SISMICITA'

La normativa sismica italiana prevede la classificazione del territorio secondo differenti categorie. I comuni della regione Piemonte risultano, prevalentemente “non classificati”, nelle liste del 1982 ad eccezione di una ristretta area nella porzione occidentale della provincia di Torino che viene attribuita alla seconda categoria. In seguito ai primi studi del Progetto Finalizzato Geodinamica del Consiglio Nazionale delle Ricerche venne acquisita una conoscenza sulla distribuzione della sismicità sul territorio basata su un'analisi probabilistica degli eventi sismici e dei loro tempi di ritorno, la zonazione venne resa effettiva tramite decreti del Ministero dei Lavori pubblici.

In base al DM 4-02-1982 pubblicato sulla G.U. n 64 del 6 Marzo 1982, tutti i comuni del Piemonte vengono considerati sismici di seconda categoria. Vanno dunque presi in considerazione coefficienti sismici di seconda categoria

In genere la zona indagata presenta ridotte caratteristiche sismogenetiche. L'analisi dei dati storici dall'anno 1000 al 1984 non segnala epicentri noti nella porzione occidentale dell'area interessata dal progetto, costituita dalla Val di Susa e dal Massiccio di Ambin. Nella porzione orientale sono segnalati solo due epicentri nello stesso intervallo storico. Estendendo il raggio di indagini questi epicentri risultano allineati su un lineamento tettonico di importanza regionale (Zona di taglio Colle delle Finestre – Monpantero).

## 6 RADIOATTIVITA' NATURALE

Le rocce metamorfiche attraversate dal tracciato possono, come noto da dati di letteratura, presentare localmente mineralizzazioni uranifere, già oggetto di prospezioni, e possono fornire sempre localmente valori radiometrici di fondo mediamente più elevati rispetto alla media. Risultano necessarie delle valutazioni per definire i valori di fondo medi e per riconoscere eventuali anomalie in corso d'opera.

Le conoscenze sulla radioattività naturale dei litotipi interessati dal Tunnel di Base e dal tunnel di Bussoleno è basata su materiale bibliografico e su misure sia in foro che su carota appositamente effettuate nell'ambito del progetto Alpetunnel. Il punto di riferimento dello stato attuale delle conoscenze sono i due documenti: "Ricerca bibliografica sulla radioattività naturale in Valle di Susa" e "Misure di radioattività su campioni di roccia provenienti da sondaggi" compilate da Ismes – Alpetunnel GEIE nel 2000.

Una valutazione a scala regionale della distribuzione degli elementi radioattivi nel substrato roccioso viene effettuata tramite rilievo radiometrico da aereo. I rilievi spettrometrici elitrasmportati disponibili sono stati effettuate da società del gruppo Eni nell'ambito di ricerche minerarie tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni 80.

L'esito delle ricerche di minerali radioattivi nelle alpi orientali è sintetizzato nel "Rapporto finale" di Agip 1981 (inserito come allegato nelle ricerca bibliografica ISMES 2000). La trattazione della zona è più estesa nel rapporto Geomineraria Italiana del 1980 (inserito come allegato nelle ricerca bibliografica ISMES 2000).

- Nel massiccio di Ambin le mineralizzazioni uranifere sono state localizzate in lenti discontinue con tenori fino all'1% localizzati nella parte superiore della serie di Ambin; le host-rock delle manifestazioni uranifere sono sempre costituite da quarziti, scisti quarzosi e metaconglomerati fini, paraderivati da successioni permiane. Le località studiate sono le seguenti: Molaretto, M. Clopacà e M. Seguret. Nel caso di Molaretto, le mineralizzazioni presentano valori puntiformi superiori a 10.000 cps con valori radiometrici medi di 6.000 cps. Le mineralizzazioni di Molaretto presentano uno spessore di circa 1 decimetro.
- Nel Massiccio Dora Maira sono riportate frequenti segnalazioni spettrometriche, confermate da indizi minerari in solo due casi. I valori radiometrici medi delle rocce

granitoidi sono tra 120-150 cps. L'unica località con interesse esplorativo all'interno dell'Unità Dora Maira è l'Alpe Tartarea, esterna all'area considerata.

Sono inoltre state effettuate sia delle misure di radioattività in foro nei sondaggi S4, S5, S11, S23. Le misure sono state effettuate tramite Gamma Ray Log; il log fornisce dei picchi in corrispondenza di concentrazioni di minerale radioattivo nelle rocce attraversate; i dati sono espressi in unità radiometriche API (American Petroleum Industries).

Sulle carote dei sondaggi S1, S4, S5, S8, S11, S12, S14, S23 sono state effettuate delle misure di radioattività tramite scintillometro, strumento caratterizzato da elevata sensibilità e usato nelle campagne di prospezione, con misura dei colpi (particelle che colpiscono il cristallo allo ioduro di sodio) registrati per secondo (cps). Le misurazioni sono state effettuate ogni 0,5 m. I valori cps registrati per le varie carote sono i seguenti.

Sondaggio	S1	S4	S5	S8	S11	S12	S14	S23
<b>Fondo radiometrico medio (cps)</b>	40	41	36	43	33	36	42	40
<b>Punte radiometriche (cps)</b>	90	68	Assenti	73	45	50	52	80

Sono state effettuate delle misure di radioattività su affioramenti rocciosi con la stessa strumentazione ed hanno fornito i seguenti risultati: Micascisti Val Clarea 80-100 cps, Gneiss Val Clarea 120-150 cps, Micascisti Foresto 100-120 cps. Valori elevati pari a 3.000 cps sono stati riscontrati solo in corrispondenza delle concentrazioni della località di Moleretto, già nota dalle prospezioni minerarie.

Un confronto diretto tra misure effettuate in foro e misure su carota non risulta possibile anche considerando gli stessi sondaggi a causa delle differenti unità di misura utilizzate (unità API e unità cps).

Le indagini effettuate hanno comunque indicato sia per i sondaggi che per la carote, l'assenza di mineralizzazioni uranifere, i dati considerati rappresentano dei punti di indagine puntuale che rientrano nella media considerata per queste litologia. Nonostante ciò, considerata la estrema localizzazione delle mineralizzazioni in livelli decimetrici isolati, non si può escludere completamente la loro presenza nell'ambito del tracciato.

## 7 IDROGEOLOGIA

### 7.1 *Introduzione*

Sia per la galleria Bussoleno che per la tratta italiana del Tunnel di Base vengono attraversate prevalentemente delle formazioni rocciose con differenti gradi di fratturazione in condizioni di elevata copertura.

In generale la permeabilità delle rocce attraversate risulta debole, restano comunque probabili venute d'acqua importanti localizzate in fasce maggiormente fratturate legate alla presenza di accidenti geologici.

Considerate le elevate coperture vengono previste delle alte pressioni idrostatiche (teoricamente, in assenza di drenaggio, fino a 150 bar).

Considerando le esperienze pregresse nei tunnel alpini, le portate d'acqua osservate mostrano un'estrema variabilità da un tunnel all'altro. Per le unità del basamento cristallino, il campo medio osservato in fase di scavo, per le zone prive di accidenti, varia tra 0,01 e 25 litri/secondo per 100 m di lunghezza di galleria, con una media di 4 litri/secondo sempre per 100 m di lunghezza. Nelle rocce sedimentarie, secondo l'esempio del traforo del Sempione, il campo medio osservato in fase di scavo, per le zone prive di accidenti, varia tra 8 e 20 litri/secondo per 100 m di lunghezza, con una media di 18 litri/secondo sempre per 100 m di lunghezza.

Lo scavo di gallerie geognostiche, aventi funzione anche di drenaggio una volta scavate, risulta il metodo più sicuro per la previsione dei rischi idrogeologici e per il controllo delle venute d'acqua; nel caso in esame è previsto lo scavo di una galleria di prospezione presso il portale di Venaus, che permetterà di investigare in particolare le condizioni idrauliche della zona caratterizzata da carnioli e micascisti alquanto fratturati.

Oltre alle incertezze legate alla possibile formazione di rilasci connessi a venute d'acqua improvvise, devono essere prese in considerazione anche l'influenza dello scavo sull'equilibrio globale delle condizioni idrogeologiche. Altri fattori che devono essere considerati sono:

- la presenza di acque selenitose, solitamente collegata alla presenza di anidriti, che possono risultare aggressive verso i cementi; in questo caso il rischio rimane generalmente assente o localmente debole lungo tutto il tracciato esaminato;
- lisciviazione dei cementi ad opera di acque poco mineralizzate;
- ostruzione dei dreni in presenza di acque carbonatate; questo rischio può essere localmente presente data la diffusione dei litotipi carbonatici.

Il modello idrogeologico di riferimento viene ritenuto quello proposto da DST-SEA nel 1999 (Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST), SEA – Alpetunnel GEIE - Giugno 1999 – Idrogeologia rapporto finale, Tunnel di Base e Tunnel di Bussoleno.)

In merito al quadro idrogeologico, quanto riportato nel seguito fornisce prime indicazioni di carattere generale; per un approfondimento dell'argomento, si rimanda ad uno specifico studio specialistico commissionato dalla LTF (EEG-SIMECSOL, SEA, Silène, Baptendier – LTF Lyon Turin Ferroviarie Dic. 2002 – Etudes hydrogéologiques 2002-2004 – Rapport d'étape Parte italiana).

Da questo studio la portata attesa al portale di Venaus (considerando 21,5 Km di galleria in salita) è pari a 600 l/s; mentre al portale di Bruzolo del Tunnel di Bussoleno sono attesi 750 l/s.

I due tunnel, separati dalla Val Cenischia presentano condizioni geologiche indipendenti l'uno dall'altro e possono essere trattati in modo separato. La descrizione dell'idrogeologia lungo il tracciato viene ripresa da Bonnard & Gardel 2000-2001 (Mission M1 Contexte hydrogéologique per il Tunnel di Base e Mission M1.6 Contexte hydrogéologique per il Tunnel di Bussoleno) e da Aletunnel GEIE Giugno 2000 "Sezione internazionale - Sintesi Geologica per settori".

## 7.2 Tunnel di Base

Le venute d'acqua attese per il Massiccio Maurienne -Ambin, in base alla portate misurate ai portali dei trafori del Monte Bianco, Loetschberg e Sempione e a prove di permeabilità effettuate nei sondaggi eseguiti, indicano - in fase stabilizzata, fuori dalle zone di

avanzamento, e esclusa la presenza di accidenti idrogeologici - una portata tra 0,5 e 5 litri/secondo per 100 m di lunghezza di galleria.

Nella zona del Massiccio di Ambin (zona Brianzonese Interna) nella tratta lato Italia, partendo dall'imbocco di Venaus, le condizioni idrogeologiche sono influenzate dalla presenza della galleria AEM. La galleria presenta un rivestimento drenante per tutta la lunghezza, costituito da lamierino di protezione e spritz, ad eccezione delle fasce di galleria all'interno delle carnirole, che presentano un rivestimento impermeabile.

Un'altra possibilità di drenaggio viene offerta dalla galleria geognostica di Venaus che verrà comunque realizzata in anticipo rispetto allo scavo del Tunnel di Base.

Dal punto di vista del chimismo delle acque sono state individuate tre diverse caratterizzazioni, dipendenti essenzialmente dalle litologie attraversate. Una decina di venute d'acqua nelle gallerie AEM presentano acque solfatiche, che indicano una circolazione lungo le fasce cataclastiche caratterizzate dalla presenza di carnirole e localmente da gessi e anidridi. Le sorgenti monitorate e le altre venute nella galleria AEM presentano acque bicarbonato calciche, sature o sovrasature in calcite, aragonite, dolomite e quarzo; la presenza di solfati e Magnesio indica che le acque hanno attraversato zone con la presenza di evaporati e gessi. Il sondaggio S4, localizzato nei Micascisti della Serie di Clarea presenta acque bicarbonato alcaline che indicano una circolazione limitata al massiccio di Ambin.

Le rocce metamorfiche del Massiccio d'Ambin risultano generalmente poco permeabili, non sono escluse comunque venute d'acqua localizzate in corrispondenza di zone di faglia o caratterizzate da elevata fratturazione. Sono presenti delle zone caratterizzate dalla presenza di fratture subverticali tra le progressive PK 48,3-48,8e PK 47,35-48,1 (con riferimento alle progressive del profilo Alpetunnel, 2000). Le fratture vengono caratterizzate da una notevole estensione (chilometrica) quindi la zona da cui possono essere alimentate risulta molto estese e probabilmente risulta anche esterna al bacino idrografico della Val Clarea.

Dalla progressiva PK 48,8 alla progressiva PK 53,4 le venute d'acqua sono previste di bassa entità e localizzate in corrispondenza di zone fratturate. Le portate massime osservate in occasione della costruzione della centrale di Pont Ventoux sono tra 2 e 5 l/sec. Per questa tratta le portate previste sono di 20 litri/secondo per Km. Le misure effettuate nei sondaggi S4

e S5 sono di circa 80-90 bar. In questa fascia tra le progressive PK 48,8 e 52,6 è possibile incontrare delle acque sature in carbonati.

Dalla progressiva PK 54,1 fino alla progressiva 54,5 sono previste delle rocce caratterizzate da bassa permeabilità; mentre tra la progressiva PK 53,4 e 54,1 il tunnel attraversa delle rocce permeabili ma a un livello superiore a quello della falda.

### 7.3 *Tunnel Bussoleno*

Non sono stati attualmente realizzati degli appositi modelli idrogeologici e vengono pertanto adattati i modelli realizzati sul Tunnel di Base. Viene ipotizzato un acquifero debolmente permeabile o un acquifero fortemente permeabile ma drenabile.

Le venute d'acqua attese, in base alle prove di permeabilità effettuate nei sondaggi indicano in fase stabilizzata, fuori dalle zone di avanzamento, e esclusa la presenza di accidenti idrogeologici, una portata tra 0,1 e 5 litri/secondo. La valutazione degli incidenti idrogeologici non è supportata da metodi affidabili, tenendo conto dei dati disponibili, si ritiene che venute d'acqua localizzate possono essere possibili fino a valori massimi di 1000 litri/secondo. In sintesi per le due gallerie del tunnel Bussoleno viene prevista, in regime stabilizzato, una portata di 900 litri/secondo alla quale deve essere aggiunto in fase di scavo temporanee venute puntuali dovute ad accidenti, pari a 1000 litri/secondo.

Dal punto di vista del chimismo delle acque sono state individuate differenti caratterizzazioni, dipendenti essenzialmente dalle litologie attraversate. Le sorgenti in generale presentano acque bicarbonato calciche, vicine alla saturazione in calcite ma sottosature rispetto a quarzo gesso e anidride. La sottosaturazione in alcuni elementi indica un tempo di permanenza limitato nel substrato lapideo. Solo le sorgenti Galosat, Falcimagna e Gottrus presentano un tenore in solfati che indica l'attraversamento di livelli con gessi e anidridi. I sondaggi S10 e S25 presentano acque bicarbonato calciche, simili a quelle delle sorgenti. Il sondaggio S25 presenta acque con un maggior tenore in solfati che probabilmente indica un contatto limitato con livelli di gessi e anidridi.

- Tra l'imbocco Ovest alla progressiva PK 58,1 sono previste rocce a bassa permeabilità con venute di circa 15 litri/sec. per un Km di tratta: i dati provengono prevalentemente

dal sondaggio S8. Viene individuata una zona a maggior fatturazione al contratto fra calcescisti dell'unità Piemontese e l'unità della Dora Maira.

- Tra le progressive 58,1 e 59,5 il tunnel attraversa delle rocce fratturate con possibilità di venute localizzate (>10 litri/sec), data l'estensione del bacino di alimentazione sono attese portate costanti, il carico idraulico previsto è intorno a 40 bar.
- Tra la progressiva 59,5 e la 61 il tunnel rimane sopra al livello di falda (questa ipotesi viene menzionata in Bonnard & Gardel ma non viene citata nelle relazioni idrogeologiche successive)
- Tra le progressive PK 61 e PK 61,9, il carico idraulico decresce da E verso O, passando da 40 bar a 0 bar; in questa tratta non sono al momento possibili delle previsioni affidabili. Tra le progressive PK61,9 e PK63 sono presenti delle rocce permeabili formando venute localizzate, con pressione attesa di 40-50 bar. In generale tra le progressive PK61 e PK64 viene riconosciuta una zona con caratterizzazione carente.
- Tra le progressive 63 e 63,5 sono attese delle venute d'acqua localizzate, legate alla Faglia di Falcimagna, con portate maggiori di 10 litri/sec.
- Tra le progressive PK 63,5 e 64,6 si attendono delle venute d'acqua forti, la portata è destinata a decrescere rapidamente se la Faglia di Falcimagna isola questo settore
- Dalla progressiva 64,6 fino alla progressiva PK 65,6 vengono attraversate delle rocce poco permeabili, non sono previste venute di grossa portata, la pressione è tra 10 e 30 bar.
- Tra le progressive PK 65,6 e 66 il tracciato incontra la falda, eventuali afflussi saranno comunque limitati data la zona di alimentazione ristretta.
- Dalla progressiva PK 66 fino all'imbocco Est lato Bruzolo (PK ligne 67,7) l'opera è situata fuori falda; sono possibili apporti limitati di acque superficiali attraverso i contatti carsificati tra copertura e basamento (sondaggio S17).

Nell'ambito dell'Unità della Dora Maira dalla progressiva PK 58,1 alla progressiva 67,2 i maggiori problemi idrogeologici sono connessi a: a) Fascia tettonizzata al contatto tra Unità Piemontesi e Unità Dora Maira, b) difficoltà nella ricostruzione dell'andamento del contatto tra copertura prevalentemente carbonatica e basamento dell'Unità Dora Maira.

Possibilità di drenaggio di acquiferi superficiali da pare delle gallerie:

Lo scavo delle gallerie verrà ad intercettare e drenare alcuni acquiferi profondi ed esiste una possibilità più o meno elevata che comporti delle interferenze con le risorse idriche superficiali, riducendo o addirittura esaurendo la portata di sorgenti. A questo scopo sono state censite e studiate sistematicamente le sorgenti per conoscere il loro rapporto con la circolazione idrica profonda e le possibili conseguenze dello scavo. La situazione attuale viene sintetizzata in EEG-SIMECSOL, SEA, Silène, Baptendier – LTF Lyon Turin Ferroviarie Dic. 2002.

Tunnel di Base: Sono state prese in considerazione 10 sorgenti e per la maggior parte (8) viene riconosciuto un rischio di inaridimento basso. Il rischio basso viene riconosciuto per le seguenti sorgenti: Poisattoni, Supita, Portonero, Pratovecchio, Fontani, Arnot, S.Chiana, Praiano. Per la sorgente Boscodrino, situata in Val Clarea, viene riconosciuto un rischio medio-basso in funzione della connessione tra acquifero superficiale e profondo tramite faglie, non sono state osservate interferenze durante lo scavo della galleria AEM. Per la sorgente Supita (Rio Supita) la possibilità di inaridimento è bassa- media, la sorgente risulta prossima ad una faglia che può causare un'interferenza, lo scavo del tunnel nel tratto interessato risulta comunque sopra alla falda in roccia.

Tunnel di Bussoleno: Sono state prese in considerazione 16 sorgenti e solo per una parte (9) di queste viene riconosciuto un rischio di inaridimento basso. Il rischio basso viene riconosciuto per le seguenti sorgenti: Codrea-Iclia, Praletto1-2-3, Marzano1, Fogasso, Mocchietti, Galusat1, Cugno, Nicoletto-NicolettoBraidia, Labrun. Per la sorgente Torvasiera, viene riconosciuto un rischio medio-basso esistono possibilità che un drenaggio dell'acquifero profondo influenzi quello superficiale. Per le sorgenti Murisi, Santa Maria inf. e sup., Addoi viene riconosciuto un rischio di inaridimento medio legato ad un possibile drenaggio della galleria sull'acquifero profondo in roccia, che a può avere delle ripercussioni sull'acquifero superficiale. Un rischio di inaridimento medio-alto viene riconosciuto per le sorgenti Grangia e Gottrus; nel primo caso il drenaggio profondo viene a perturbare l'equilibrio idrodinamico della sorgente legata a un flusso superficiale all'interno di depositi glaciali, nel secondo caso la sorgente è legata a un acquifero profondo che verrà probabilmente drenato in fase di scavo. Infine per la sorgente Pietrabianca il rischio risulta alto poiché viene alimentata da un sistema profondo che verrà drenato dal tunnel.

PP2085TSE3RE::GO::  
3111 A

NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE  
TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA - BRUZOLO  
PROGETTO PRELIMINARE

Groupement  
TSE  
Lyon Turin

31/01/03

La situazione riscontrata per il tunnel di Bussoleno risulta più critica rispetto al Tunnel di base. Nella sintesi più recente per il tunnel di Bussoleno, 5 sorgenti già censite in un'analisi del 1996 vengono riconsiderate aumentando la probabilità del rischio di inaridimento.

## 8 TUNNEL DI BASE – LATO ITALIANO

### 8.1 Descrizione tracciato

Nel tracciato del tunnel di Base si incontrano prima delle rocce attribuite alle unità piemontesi interne costituite prevalentemente da calcescisti (scisti carbonatici filladici) e da gneiss. Il massiccio di Ambin risulta costituito da una “serie di Ambin”, costituita da un basamento polimetamorfico con protolito di età pre-permiana e una “serie della Val Clarea”, posta in posizione strutturalmente inferiore. La foliazione regionale della Val Clarea mostra una struttura a duomo, evidenziando la presenza di una struttura plicativa con asse SO-NE o SSO-NNE, con foliazioni suborizzontali in Val Clarea, che tendono a verticalizzarsi SE.

La geologia dei profili è derivata dai documenti prodotti dal DST nel 1998 alla scala 1:10.000 e sintetizzati da Bonnard & Gardel 2000-2001. La scelta di utilizzare i profili di Bonnard & Gardel come base grafica è motivata da una rappresentazione eccessivamente puntuale e dettagliata nei documenti 1:10.000, per una caratterizzazione geomeccanica generale di tutto il profilo. In particolare si è preferito considerare una zona tettonizzata più estesa, a favore della sicurezza, come considerato nelle sezioni di sintesi piuttosto che procedere ad una localizzazione puntuale di più accidenti ravvicinati.

Nel dettaglio partendo da Ovest il tunnel attraversa, con riferimento alle progressive del profilo geologico redatto da Alpetunnel (2000):

- Progressive 46,00 – 51,750 - Il tracciato attraversa i micascisti quarzosi del basamento pre-alpino della Serie Clarea (Massiccio d’Ambin); la Serie di Clarea è costituita da micascisti di colore grigio o verde scuro a grana fine, estremamente competenti e massivi; sono in genere caratterizzati da una foliazione evidenziata dalla isorientazione dei minerali fillosilicatici e da un layering compositivo di livelli millimetrico-centimetrici di quarzo. Nei micascisti possono essere presenti intercalazioni di metabasiti anfiboliche. La giacitura media della foliazione (dip/dip dir) è di 40.80/100-120 spesso risulta di difficile interpretazione la distinzione tra micascisti della Serie Clarea da quelli della Serie d’Ambin (il contatto è molto spesso poco marcato). Sono presenti delle faglie

distensive con giacitura 60-70/150. Il confine tra Italia e Francia passa circa alla progressiva 46,500.

- Progressive 51,750 – 53,150 - L'ammasso roccioso è costituito da micascisti della copertura sedimentaria paleozoica metamorfosata della Serie d'Ambin (Massiccio d'Ambin); la Serie di Ambin è costituita da micascisti e gneiss minuti leucocratici intercalati a micascisti conglomeratici-arenacei e metabasiti anfiboliche. La giacitura media della foliazione (dip/dip dir) è di 40-50/130;
- Progressive 53,150 – 53,300 - L'ammasso roccioso è costituito dalla copertura sedimentaria autoctona o paraautoctona indifferenziata costituita da gneiss, micascisti, calcescisti, quarziti, marmi dolomitici e carnirole (copertura sedimentaria del Massiccio d'Ambin, unità Brianzonese interna).
- Progressive 53,300 – 54,513 - L'ammasso roccioso in questa parte terminale del tunnel di base (lato Italia) è costituito da terreni appartenenti alla Zona Piemontese, costituiti da calcescisti filladici e Gneiss di Charbonnel. Il contatto tettonico tra le unità piemontesi e le sottostanti unità brianzonesi a grande scala risulta discordante rispetto alle due unità. In quest'ultima tratta l'ammasso roccioso è interessato da numerosi livelli di carnirole (brecce tettoniche) di spessore da decametrico a pluridecametrico. A contatto con le unità brianzonesi si forma una fascia costituita da scaglie tettoniche costituite da brecce tettoniche, carnirole, gessi e anidriti, con fenomeni di dissoluzione. L'assetto di queste brecce tettoniche, con spessori da decametrici a pluridecametrici, è costituito da grossi blocchi di calcescisti e marmi immersi in una matrice più fine vacuolare, con numerosi frammenti di anidriti rielaborati, e soggetta a diffusi fenomeni carsici. Le brecce sono associate a dei piani di taglio con inclinazione da 15 a 35° verso SE, la geometria di queste discontinuità risulta contraria alla direzione di avanzamento da Venaus, e quindi viene considerata sfavorevole. Nella zona piemontese s.s. costituita prevalentemente da calcescisti e gneiss, la scistosità talora coincidente con la stratificazione originaria, presenta una giacitura media di 70/330.

PK Torino	linea Lione	Unità litostutturali	Litologia predominante
46,000 – 51,750		Serie di Clarea	Micascisti
51,750 – 53,150		Serie di Ambin	Micascisti
53,150 – 53,300		Copertura sedimentaria del Massiccio di	Micascisti, quarziti e

	Ambin	conglomerati
53,300 – 53,850	Zona piemontese, zone tettonizzate	Calcescisti, carniolo, gneiss di Charbonnel
53,850 – 54,513	Zona piemontese	Calcescisti, carniolo, gneiss di Charbonnel

Le macrostrutture riconosciute lungo il profilo sono le seguenti:

- Le faglie normali tra le progressive PK 47,35-48,1 PK 48,3 - 48,8 sono accompagnate da limitate fasce di maggiore fratturazione.
- La zona tettonizzata al contatto del fronte di accavallamento tra unità piemontesi e unità brianzonesi interne, tra le progressive PK 53,3 –53,85.
- Nell'intervallo tra la PK 54,2 e 54,3 la presenza di una faglia normale ad alto angolo e la presenza di un fronte di accavallamento interno ai calcescisti dell'unità piemontese.

I litotipi riconosciuti lungo il tracciato risultano i seguenti:

- LT 2 - Rocce molto fratturate e estremamente fratturate
- LT 6.1 - Calcescisti. Rocce scistose foliate, di colore grigio-bruno, spesso intercalati a scala dm/m a filladi carbonatiche o marmi micacei saccaroidi.
- LT 6.2 - Calcescisti tettonizzati
- LT 7.1 e LT 7.2 - Micascisti e gneiss. Rocce a grana medio-fine, foliate; presso il contatto con gli gneiss apolitici del basamento, sottili intercalazioni carbonatiche ed elementi di marmi dolomitici biancastri.
- LT 7.3 - Gneiss Aplitici
- LT 9.1 - Quarziti e conglomerati

Considerando la classificazione RMR'89 il tracciato del tunnel risulta prevalentemente inquadrabile nella classe III, classi inferiori (IV e V) sono previste prevalentemente localizzate all'interno delle fasce tettonizzate al contatto tra unità piemontesi e unità brianzonesi.

## 8.2 Distribuzione rischi lungo il lato Italia del Tunnel di Base

Considerando le litologie presenti, le condizioni strutturali, le condizioni idrauliche e il comportamento allo scavo all'interno del tunnel di Base, zona imbocco lato Italia, vengono riconosciute o ritenute possibili i seguenti tipi di problematiche:

- 1 – Flambage:
- 2 - Fronte instabile
- 3 - Decompressione violenta
- 4 – Forti convergenze
- 5 – Fluage
- 6 – Rigonfiamento
- 7 – Venute d'acqua perenni con portate elevate
- 8 – Venute d'acqua improvvise con pressioni elevate
- 9 - Acque aggressive (selenitose)
- 10 – Fenomeni di dissoluzione
- 11 – Danneggiamento falda
- 12 - Gas tossici o esplosivi
- 13 – Neotettonica (possibilità di rottura di taglio dell'opera)

Dal punto di vista dell'approccio allo studio dei rischi si prevede una trattazione più generale individuando tratte ritenute omogenee rispetto ad una determinata problematica, ed attribuendo a queste tratte la possibilità del verificarsi degli incidenti indagati. La suddivisione per classi di rischio, rispetto alle singole problematiche, viene presentata nel profilo geomeccanico e in assenza di nuovi elementi, riprende le classificazioni precedentemente proposte.

Un'analisi più puntuale viene effettuata individuando e localizzando sul tracciato i maggiori problemi riconosciuti come certi o ritenuti possibili in base alle ricostruzioni effettuate oppure ritenuti possibili per mancanza di indagini e possibilità di controllo diretto. La distribuzione dei degni accidenti geologici viene ripresa dal profilo di Bonnard e Gardel (Aprile 2000) e dalle sintesi dei vari tipi di rischi prodotte dagli stessi autori.

- Progressiva 53,3 e 53,6, **incidenti n°16a e 16b**: in corrispondenza del piano di sovrascorrimento principale sono presenti delle fasce di carniole e di rocce fortemente tettonizzate. I problemi riconosciuti sono legati a venute d'acqua in pressione e di venute a lungo termine con portate elevate, oltre ai problemi di instabilità del fronte in avanzamento. Viene considerata una media probabilità di incontrare venute d'acqua problematiche per l'avanzamento e un rischio medio di situazioni di instabilità del fronte nel caso, tenendo presente l'attuale scelta dei rivestimenti della galleria di Pont Ventoux, di tipo drenante. Nel caso in cui il rivestimento della condotta AEM della centrale di Pont Ventoux risulti impermeabile, condizione limitata ai tratti che attraversano le carniole, dovrebbero essere presi in considerazione scenari differenti, con elevato rischio di incontrare delle venute d'acqua violente in pressione, non ancora adeguatamente abbattute.

### 8.3 *Imbocco Venaus*

Nei profili geomeccanici l'imbocco si imposta direttamente nei calcescisti. Dai sopralluoghi effettuati risulta che in questa area è presente una spessa (circa 20 m) bancata costituita da materiale di riporto. E' prevista in fase esecutiva l'asportazione dei depositi di riporto per effettuare l'imbocco direttamente nel substrato roccioso.

### 8.4 *Pozzo della Val Clarea*

La finestra imbecca a q. 1112 m s.m. a Sud della località c. Pietra Porchera sul lato destro (occidentale) della Val Clarea e si sviluppa con una pendenza del 8,5% per una lunghezza di circa 5590 m fino a raggiungere il Tunnel di base a 10 Km dall'imbocco lato orientale, (intorno alla progressiva PK ligne 44,25 Km). Le informazioni per la ricostruzione sono state ricavate dai seguenti documenti:

- a) Carta geologico strutturale della bassa e media Val Clarea scala 1:5.000 (SEA);
- b) Carta geologica scala 1:25.000 Nuova linea ferroviaria transalpina Torino -Lione;
- c) Sondaggio S4 incl 45°.

La stratigrafia del sondaggio S4 risulta la seguente: 0-104,45 m (circa 73 m in verticale) depositi superficiali, ciotoli in matrice sabbioso ghiaiosa. 104,46-750 m (circa 550 m in verticale) micascisti più o meno quarzosi, micascisti biotitici o granatiferi del Gruppo della Clarea. Sono state attraversati filoni e vene, con riempimento di cementi silicei o carbonatici. Sono presenti venute di acque calde con portata di 20 l/minuto.

Lo scavo attraversa, a partire dall'imbocco, depositi superficiali per uno spessore di ordine decametrico (da valutazioni approssimative dalla cartografia; si noti che il substrato roccioso viene riportato nelle carte come subaffiorante). Non viene considerato lo spessore dei depositi superficiali individuato nel sondaggio S4, poiché questo - attraversando depositi di conoide - non viene ritenuto significativo ad inquadrare la zona di imbocco della finestra.

La parte successiva del tracciato attraversa il basamento cristallino del massiccio di Ambin, costituito da micascisti. Dal profilo geologico si ricava una disposizione della foliazione e dei contatti litologici contraria alla direzione di avanzamento e con bassa inclinazione (30-40°). Dall'esame della cartografia al 25.000, risulta possibile che il tracciato attraversi dei corpi lentiformi di spessore metrico di rocce verdi. I micascisti sono a grana fine o medio fine, di colore grigio, azzurro scuro. Localmente sono presenti degli scisti filladici. Sono presenti inoltre dei filoni di rocce verdi costituite da metabasiti anfibolitiche e prasiniti. Dalla distribuzione osservata sulle carte geologiche, la percentuale di rocce verdi risulta inferiore al 5%. Le giaciture della scistosità dei micascisti in superficie risultano molto disperse, e non permettono previsioni sull'andamento alla quota del tunnel; anche le giaciture delle lenti di rocce verdi risultano disperse, e non permettono previsioni attendibili sul loro andamento all'interno del versante.

## 9 TUNNEL BUSSOLENO

La geologia dei profili è derivata dai documenti prodotti dal DST nel 1998 alla scala 1:10.000 e sintetizzati da Bonnard & Gardel 2000-2001. La scelta di utilizzare i profili di Bonnard & Gardel è motivata da una rappresentazione eccessivamente puntuale e dettagliata nei documenti 1:10.000, per una caratterizzazione geomeccanica generale di tutto il profilo.

### 9.1 *Descrizione tracciato*

Partendo dall'imbocco Ovest, e con riferimento alle progressive del profilo geologico redatto da Alpetunnel (2000), il tunnel attraversa:

- Tra le progressive 55,693 – 55,743 il tracciato attraversa dei depositi superficiali, sedimenti alluvionali della Val Cenischia. La lunghezza dei depositi da attraversare viene valutata in circa 50 m. Da sopralluoghi risulta che la fascia di detrito di versante in corrispondenza dell'imbocco è assente o poco sviluppata, in corrispondenza dell'imbocco della galleria, e che previa costruzione di una rampa può essere ipotizzato un attacco diretto in roccia.
- Tra le progressive 55,750 – 58,100 l'ammasso roccioso è costituito da unità della zona piemontese. E' rappresentato prevalentemente da calcescisti con limitati intervalli, prevalentemente lentiformi, di gneiss quarziticci (Gneiss di Charbonnel) e rare lenti di rocce verdi.
- Tra le progressive 58,100 – 58,400 è presente, come scaglia tettonica, una serie di rocce verdi costituita da prasiniti e serpentiniti, localmente estremamente fratturate o cataclastiche. Il contatto con i calcescisti sottostanti risulta netto.
- Tra le progressive 58,400 – 61,900 si ha la copertura sedimentaria del massiccio della Dora Maira, interessata da numerose pieghe serrate a piccola e media scala. Sono costituite da marmi, marmi dolomitici e calcescisti arenacei, localmente queste litologie non vengono distinte e si conosce una copertura sedimentaria indifferenziata. Questa tratta è interessata da brecce tettoniche collegate a faglie normali o a rocce milonitizzate.
- Tra le progressive 61,900 – 63,350 si ha il basamento cristallino paleozoico della Dora Maira, costituito da gneiss e micascisti. In questa zona viene attraversata una faglia

(Faglia di Falcimagna); la tratta attraversata è costituita da una o più scaglie tettoniche. La fascia di rocce disturbate, connesse alla faglia, risulta relativamente ampia e viene stimata interessare il tracciato tra i 120-130 m, essenzialmente in base alle sue condizioni geometriche. L'attraversamento della fascia di contatto tra basamento e copertura sedimentaria può risultare problematica, per via delle forte probabilità di incontrare delle fasce tettonizzate e degli orizzonti carsici. Questa zona risulta quella in cui si concentrano le maggiori incertezze di ordine geologico; la posizione del contatto basamento-copertura risulta estremamente maldefinita e necessita di una campagna geognostica integrativa.

- Tra le progressive 63,350 – 64,600: copertura sedimentaria del massiccio della Dora Maira, interessata da numerose pieghe serrate a piccola e media scala. Sono costituite da marmi, marmi dolomitici e calcescisti arenacei, localmente queste litologie non vengono distinte e si conosce una copertura sedimentaria indifferenziata.
- Tra le progressive 64,600 – 65,650: basamento cristallino della Dora Maira costituito da micascisti e gneiss. Connessi al contatto con la copertura sedimentaria sono presenti degli orizzonti carsici, risulta inoltre possibile la presenza di carnioli subordinatamente ai marmi dolomitici.
- Tra le progressive 65,650 – 67,200: copertura sedimentaria del massiccio della Dora Maira. Queste rocce sono costituite da marmi, marmi dolomitici e calcescisti arenacei. Nell'ultimo tratto, si evidenzia la presenza di coperture limitate, non superiori ai 25 m. Oltre alla presenza di fasce cataclastiche localizzate, si individua la presenza di un solco erosivo (tra le progressive 66,450 e 66,500) con riempimento di depositi superficiali. Al contatto tra basamento cristallino e copertura sedimentaria si evidenzia la possibile presenza di orizzonti carsici e di dissoluzione.
- Tra le progressive 67,200 – 67,743: vengono attraversati dei depositi di conoide costituito da materiale eterometrico con blocchi da decimetrici a metrici con matrice costituita da sabbie, limi e ghiaie.

PK linea Lione Torino	Unità litostrutturali	Litologia predominante
55,700 – 55,750	Depositi di copertura	Depositi alluvionali
55,750 – 58,400	Calcescisti e rocce verdi	Calcescisti, gneiss di Charbonnel, rocce verdi
58,400 – 61,900	Copertura sedimentaria prevalentemente carbonatica di età triassica del Massiccio della Dora Maira	Marmi, marmi dolomitici, calcescisti arenacei
61,900 – 63,500	Basamento del massiccio della Dora Maira	Gneiss, micascisti
63,500 – 64,000	Copertura sedimentaria prevalentemente carbonatica di età triassica del Massiccio della Dora Maira	Marmi, marmi dolomitici, calcescisti arenacei
64,00 – 65,600	Basamento del massiccio della Dora Maira	Gneiss, micascistes
65,600 – 67,200	Copertura sedimentaria prevalentemente carbonatica di età triassica del Massiccio della Dora Maira	Marmi, marmi dolomitici, calcescisti arenacei
67,200 – 67,750	Depositi di copertura	Conoide

Le macrostrutture riconosciute lungo il profilo sono le seguenti:

- Il contatto Calcescisti-Rocce Verdi presso la progressiva 58,100 è accompagnato da una fascia di rocce estremamente fratturate di spessore decametrico
- Il contatto Rocce Verdi – Calcescisti viene definito come netto, si ritiene che la fascia di fratturazione sia di spessore metrico
- Le faglie normali tra le progressive PK58 e PK59 sono accompagnate da limitate fasce cataclastiche o milonitiche.
- La Faglia di Falcimagna presso la progressiva 63,300 è caratterizzata da una fascia di rocce estremamente fratturate estesa per circa 120-130 m

I litotipi riconosciuti lungo il tracciato risultano i seguenti:

- LT 1 - Depositi di copertura costituiti prevalentemente da depositi fluviali sull'imbocco occidentale in Val Cenischia e da un conoide che si innesta su depositi fluviali sul lato E. I sedimenti sono costituiti comunque da sabbie, limi e ghiaie, con frequenti blocchi di

dimensioni da decimetriche a metriche. La permeabilità fornita dalle prove in situ risulta tra  $2 \text{ e } 6 * 10^{-6} \text{ m/s}$ .

- LT 2 - Rocce molto fratturate e estremamente fratturate.
- LT 6.1 - Calcescisti. Rocce scistose foliate, di colore grigio-bruno, spesso intercalati a scala dm/m a filladi carbonatiche o marmi micacei saccaroidi.
- LT 6.2 - Calcescisti tettonizzati.
- LT 7.1 e LT 7.2 - Micascisti e gneiss. Rocce a grana medio-fine, foliate; presso il contatto con gli gneiss apolitici del basamento, si evidenziano sottili intercalazioni carbonatiche ed elementi di marmi dolomitici biancastri.
- LT 8.2 - Marmi, marmi dolomitici e marmi arenacei. Aspetto debolmente metamorfico, di colore grigio chiaro a grigio-rosato, con tessitura da massiccia a foliata.
- LT 10 - Rocce verdi, prasiniti, metabasiti. Grana fine e tessitura da foliata a listata .

Considerando la classificazione RMR'89 il tracciato del tunnel risulta prevalentemente inquadrabile nella classe III, classi inferiori sono previste prevalentemente localizzate all'interno delle fasce di rocce verdi e dei contratti tra il basamento della Dora Maira e la sua copertura sedimentaria costituita prevalentemente da rocce carbonatiche soggette a metamorfismo regionale di basso grado.

## ***9.2 Distribuzione rischi lungo profilo tunnel Bussoleno***

Considerando le litologie presenti, le condizioni strutturali, le condizioni idrauliche e il comportamento allo scavo all'interno della galleria Bussoleno vengono riconosciute o ritenute possibili i seguenti tipi di problematiche:

- 1 – Flambage:
- 2 - Fronte instabile
- 3 - Decompressione violenta
- 4 – Forti convergenze
- 5 – Fluage
- 6 – Rigonfiamento

- 7 – Venute d'acqua perenni con portate elevate
- 8 – Venute d'acqua improvvise con pressioni elevate
- 9 - Acque aggressive (selenitose)
- 10 – Fenomeni di dissoluzione
- 11 – Danneggiamento falda
- 12 - Gas tossici o esplosivi
- 13 - Neotettonica (possibilità di rottura di taglio dell'opera)

Dal punto di vista dell'approccio allo studio dei rischi si prevede una trattazione più generale individuando tratte ritenute omogenee rispetto ad una determinata problematica, ed attribuendo a queste tratte la possibilità del verificarsi degli incidenti indagati. Ad esempio, il rischio di forti convergenze lungo il tracciato viene collegato essenzialmente alla presenza delle rocce verdi e la possibilità del verificarsi di questo problema con rischio medio è limitata tra le progressive 58,10 a 58,4.

La suddivisione per classi di rischio rispetto alle singole problematiche viene presentata nel profilo geomeccanico e in assenza di nuovi elementi, riprende le classificazioni precedentemente proposte.

Un'analisi più puntuale viene effettuata individuando e localizzando sul tracciato i maggiori problemi riconosciuti come certi o ritenuti possibili in base alle ricostruzioni effettuate oppure ritenuti possibili per mancanza di indagini e possibilità di controllo diretto.

Lungo il profilo del tunnel viene individuata una serie di situazioni particolari in cui la possibilità che si verifichi un incidente tra quelli sopra elencati risulta decisamente maggiore rispetto al resto del tracciato. La distribuzione dei degni incidenti geologici viene ripresa dal profilo di Bonnard e Gardel (Aprile 2000) e dalle sintesi dei vari tipi di rischi prodotte dagli stessi autori.

- Progressiva 58,4 **incidente n°17**: contatto tettonico tra calcescisti e scisti verdi, medio rischio di instabilità del fronte e di venute d'acqua improvvise ad elevata pressione, basso rischio di venute d'acqua perenni con elevate portate. Possibili fenomeni di convergenza legati alla presenza di rocce verdi.
- Progressiva 61,9 **incidente n°18**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra copertura sedimentaria e basamento cristallino, entrambi appartenenti al massiccio della

Dora Maira. Medio rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate. Elevato rischio di venute d'acqua improvvise con pressioni elevate.

- Progressiva 63,3 **incidente n°19**: Disturbo legato alla Faglia di Falcimagna. Forte rischio di instabilità del fronte e di venute d'acqua perenni con elevata portata, sia che di venute improvvise ad elevata pressione.
- Progressiva 64,6 **incidente n°20**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra copertura sedimentaria e basamento cristallino, entrambi appartenenti al massiccio della Dora Maira. Medio rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate. Elevato rischio di venuta d'acqua improvvise con pressioni elevate
- Progressiva 65,65 **incidente n°21**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra basamento e copertura sedimentaria, entrambi appartenenti al massiccio della Dora Maira. Medio rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate. Elevato rischio di venuta d'acqua improvvise con pressioni elevate
- Progressiva 65,9 **incidente n°22**: Contatto tettonico all'interno della copertura sedimentaria. Basso rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate. Medio rischio di venuta d'acqua improvvise con pressioni elevate.
- Progressiva 66,05 **incidente n°23**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra copertura sedimentaria e basamento cristallino, entrambi appartenenti al massiccio della Dora Maira. Basso rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate. Medio rischio di venuta d'acqua improvvise con pressioni elevate.
- Progressiva 66,10 **incidente n°24**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra copertura sedimentaria e basamento cristallino, entrambi appartenenti al massiccio della Dora Maira. Basso rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate. Medio rischio di venuta d'acqua improvvise con pressioni elevate
- Progressiva 66,45 **incidente n°25**: sovraerosione riempita da depositi alluvionali prossima al tracciato. Elevato rischio di instabilità del fronte e di venute d'acqua improvvise. Basso rischio di venute d'acqua perenni con portate elevate.
- Progressiva 66,75 **incidente n°26**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra copertura sedimentaria e basamento cristallino, entrambi appartenenti al massiccio della Dora Maira. Basso rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate sia di venute d'acqua improvvise con pressioni elevate.

- Progressiva 66,80 **incidente n°27**: possibilità di orizzonti carsificati al contatto tra copertura sedimentaria e basamento cristallino, entrambi appartenenti al massiccio della Dora Maira. Basso rischio di instabilità del fronte e di venute perenni con elevate portate sia di venute d'acqua improvvise con pressioni elevate.

### 9.3 *Imbocco lato Val Cenischia*

Presso l'imbocco occidentale il tunnel interessa una parete rocciosa a NO della frazione di Berno. La roccia è costituita da calcescisti con prevalenza di piani di scistosità a franappoggio con inclinazione (20-30°) minore rispetto al pendio. Non si osserva la presenza di significative porzioni di detrito di versante nella zona interessata dall'imbocco; modesti spessori di detriti di versante sono possibili nella fascia più bassa della parete colonizzata da vegetazione. La limitata presenza di depositi di versante al piede delle pareti induce a ritenere le pareti fondamentalmente stabili, resta comunque necessaria, vista l'altezza delle pareti in roccia, mettere in opera delle protezioni dalla caduta massi nell'area immediatamente prospiciente all'imbocco, sia in fase costruttiva che a lungo termine. Probabilmente, per l'accesso all'imbocco, risulta necessaria la realizzazione di un riporto di materiale alla base della parete.

### 9.4 *Finestra Foresto Ovest*

La finestra Foresto Ovest è situata in zona baricentrica rispetto al Tunnel Bussoleno, la sua funzionalità risulta principalmente di galleria di servizio connessa alla ventilazione del tunnel di Bussoleno.

La sua direzione risulta circa perpendicolare rispetto al tracciato del tunnel e la lunghezza prevista risulta di circa 1900 m. La copertura nella finestra cresce gradualmente dall'imbocco fino alla progressiva 800 m, poi resta stabile intorno ai 350 m per il resto del tracciato. La ricostruzione è basata sui seguenti documenti:

- a) Stralcio carta geologica con traccia sezione finestra d'imbocco dx Rocciamelone (Finestra Foresto Ovest) scala 1:10.000;

- b) Profilo interpretativo scala 1:10.0000,
- c) Carta geologica scala 1:10.000 DST – Alpetunnel GEIE
- d) Carta geologica scala 1:25.000 Nuova linea ferroviaria transalpina Torino –Lione.

Dall'imbocco, situato a Ovest dell'abitato di Foresto, la finestra incontra prima una limitata fascia di depositi superficiali con spessori stimati di circa 70 m. Seguono, fino alla progressiva 800, ammassi costituiti da marmi-marmi dolomitici, appartenenti alla copertura sedimentaria della Dora Maira con stratificazione immergente verso N con inclinazione tra 35 e 50°. All' interno di questa zona, costituita da marmi, è presente una fascia di rocce verdi, che presumibilmente verrà incontrata tra le progressive 350 e 450. Dalla progressiva 800 fino alla progressiva 1.270 il tracciato attraversa il basamento cristallino dell' Unità Dora Maira, costituito prevalentemente da micascisti. Segue una fascia caratterizzata da forte tettonizzazione fino alla progressiva 1790 circa. Questa fascia risulta costituita da marmi dolomitici e calcescisti e fasce di rocce tettonizzate costituite da carnirole, con immersi elementi delle litologie carbonatiche. In questo tratto si prevede di attraversare una fascia fortemente tettonizzata con presenza di breccie tettoniche, carnirole e fenomeni di dissoluzione: tale tratto, secondo la classificazione RMR '89, presenta caratteristiche geomeccaniche ascrivibili alla classe IV. Dopo queste fasce tettonizzate il tracciato attraversa unità costituite da calcescisti fino ad incrociare il tracciato previsto per il tunnel di Bussoleno.

Pur non disponendo di dati diretti, per analogia con le caratteristiche degli ammassi previsti per il tracciato del tunnel Bussoleno, la maggior parte della finestra - considerando la classificazione RMR '89 - è attribuibile alla classe III con locali zone di classe IV.

### **9.5 Imbocco lato Bruzolo**

Presso l'imbocco orientale il Tunnel Bussoleno si imposta in una fascia di detriti prevalentemente alluvionali. La lunghezza di tunnel attraverso terreni composti da ghiaie e sabbie con ciottoli viene stimata in circa 500 m. Nel sondaggio S25 il contatto roccia, costituita da marmi dolomitici, e copertura si situa circa a 9,4 m da piano campagna.

Indagini geofisiche di tipo down-hole eseguite nello stesso sondaggio indicano una velocità delle onde P (VP) compresa tra 2,56 e > 5 Km/sec per l'ammasso roccioso, e una velocità tra 0,52 e 1,71 Km/s per i depositi superficiali, il confronto diretto tra litologia e velocità sismica costituisce un buon termine di riferimento per l'interpretazione delle prospezioni geofisiche.

Prove di tipo down-hole sono state eseguite anche nel sondaggio S17 dove il contatto depositi superficiali substrato roccioso si situa intorno a 39 m di profondità da piano campagna. Per i depositi superficiali in questo caso sono state riportate velocità comprese tra 0,44 e 1,94 Km/sec; mentre il substrato roccioso, costituito da rocce calcareo dolomitiche nella parte indagata, presenta velocità comprese tra 2,18 e 3,47 Km/sec che indicano la presenza di un ammasso roccioso molto fratturato o cataclastico.

Nella zona a NO di Chianocco sono stati eseguiti tre stendimenti a rifrazione (C\_1, C\_2 e C\_3) disposti quasi ortogonalmente al tracciato, le prove down-hole eseguite nel sondaggio S25 sono state utilizzate come taratura prendendo la  $VP = 3$  Km/s come limite tra depositi superficiali e substrato roccioso. Le indagini indicano un approfondimento localizzato (fino a 30 m rispetto ai 10-15 del versante) del contatto depositi-substrato e indicano per l'area in esame (intorno al sondaggio S25), alla quota progetto (circa 440 ms.m.), la presenza del substrato roccioso con coperture formata da ammasso roccioso per spessori tra 110 e 235 m.

Nel settore Bussoleno-Chianocchio sono stati effettuati uno stendimento longitudinale (Linea 12000) e tre trasversali (linee 11000, 13000 e 14000) rispetto al tracciato della galleria.

In base alla griglia realizzata con questi 4 stendimenti, sono state realizzate elaborazioni tomografiche che restituiscono la distribuzione della velocità delle onde di compressione (VP). Dalle sezioni sismiche verticali si ricava che nelle sezioni 11000, 14000 a quota di progetto, q. 440 m s.m., il tracciato si imposta in depositi superficiali con VP tra 1 e 2,5 Km/sec, mentre nella sezione 13000 il tracciato sembra intestarsi nel substrato roccioso con velocità VP intorno a 3,5 Km/s. Un'interpretazione più mirata della distribuzione delle velocità dei materiali rispetto al tracciato si ottiene dall'osservazione delle mappe planimetriche delle isopache della copertura, che ricostruiscono il contatto tra depositi superficiali e substrato lapideo. La distribuzione delle velocità dei materiali alla quota del tracciato (q. 437 m s.m.) rappresentata su planimetria indica per i primi 500 m dall'imbocco velocità fino a 3 Km/sec, attribuibili a depositi superficiali, costituiti da depositi morenici o alluvionali. Da 500 a circa 700 m la VP dei materiali risulta compresa tra 3 e 3,5 Km/s attribuibile a un substrato lapideo estremamente fratturato. Mentre da 700 m verso O la VP risulta superiore a 3,5 Km/sec e indica la presenza di un ammasso roccioso fratturato. Queste ultime osservazioni sono confermate dal sondaggio S17.

I dati riguardanti le stratigrafie dei sondaggi provengono dai documenti Alpetunnel "Caractérisation géotechnique du tracé Tunnel de Bussoleno – Variante Nord" redatto da

PP2085TSE3RE::GO::  
3111 A

NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE  
TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA - BRUZOLO  
PROGETTO PRELIMINARE

Groupement  
TSE  
Lyon Turin

Bonnard & Gardel (2000), le indagini geofisiche sono contenute nei documenti “Indagini geofisiche Tunnel di Base Maurienne-Ambin Linea A.V. Torino Lione” e “Seconda campagna di indagini geofisiche per la progettazione della sezione internazionale della nuova linea ferroviaria Torino-Lione”.

## 10 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA

Considerando la distribuzione dei sondaggi rispetto alle problematiche accertate o previste nel corso dell'opera risulta evidente la presenza di un intervallo localizzato tra le progressive 61,90 e 64,60 con un grado di conoscenza decisamente insufficiente.

Le tematiche principali che vanno puntualizzate ai fini del progetto sono le seguenti:

- Verificare in modo più preciso la successione stratigrafica ed il livello di fratturazione dell'ammasso presso l'imbocco orientale del Tunnel di Bussoleno, in particolare dove viene localizzato il contatto tra substrato roccioso, costituito da rocce carbonatiche, ed i depositi di copertura.
- Verificare la posizione e l'estensione e del contatto tra basamento cristallino e copertura sedimentaria ad Ovest della faglia di Falcimagna (tra le progressive 61,5 e 64,0) e verificare la eventuale presenza di orizzonti carsificati al contatto tra i carbonati della copertura e micascisti del basamento, al fine di prevedere se, con l'attraversamento della galleria, saranno intercettate venute d'acqua di grande portata.
- Verificare l'andamento della faglia di Falcimagna, con individuazione dell'estensione della fascia tettonizzata correlata e della fratturazione dell'ammasso roccioso.
- Verificare tra le progressive 58,0 e 59,0 la presenza e l'estensione delle faglie normali, riportate sul profilo geologico.

Una campagna geognostica mirata e finalizzata alla definizione delle maggiori problematiche accertate o previste può essere considerata in via propositiva composta dai sondaggi suggeriti nel seguito.

Il riferimento a cui si rimanda per la campagna geognostica integrativa costituito dal documento LTF (2002) "Campagna geognostica 2002-2003, Relazione tecnico-illustrativa". In questo documento vengono descritti i sondaggi proposti per l'integrazione sia della tratta in sotterraneo che quelle in superficie attraverso la piana di Brusolo e la Val Cenischia. I sondaggi che indagano la tratta in sotterraneo sono elencati nella seguente tabella.

	Sondaggi LTF 2002-2003	Proiezione su progressiva (PK ligne)	lunghezza	testa foro	fuori asse nuovo tracciato	fuori asse tracciato 2001-2002
Lotto 1	S7B	67+740	100	450	100 m N	100 m N
Lotto 2	S40	55+690	110	580	50 m S	< 50 m
Lotto 2	S42	56+700	412	870	150 m S	< 50 m
Lotto 2	S49	62+830	449,4	830	850 m S	750 m S
Lotto 2	S50	64+140	510,8	880	< 50 m	< 50 m
Lotto 2	S51	64+580	456,2	820	150 m S	150 m S
Lotto 2	S53	65+245	544,6	900	200 m N	200 m N
Lotto 2	S54	65+945	273	620	250 m N	250 m N
Lotto 2	S55	66+890	175,6	510	< 50 m	< 50 m
Lotto 3	S43	57+970	557	1000	800 m S	300 m S
Lotto 3	S45	59+360	774,4	1200	400 m S	100 m N
Lotto 3	S46	61+440	445,8	845	580 m S	300 m S
Lotto 3	S47	60+460	967,6	1380	250 m N	720 m N
Lotto 3	S48	61+450	262	660	-	-
Lotto 3	S57	61+700	533,8	930	250 m S	< 50 m

La campagna era stata concepita per un tracciato 2001-2002 e la scelta del posizionamento dei sondaggi è stata fortemente condizionata dalle ridotte possibilità di accesso lungo il versante. Il nuovo tracciato spostato nella parte centrale fino a 550 m verso N comporta un notevole aumento dei fuoriasse per i seguenti sondaggi: S42, S43, S45, S46, S57, mentre si osserva una riduzione per il sondaggio S47. Le condizioni logistiche non permettono comunque un adeguamento della posizione dei sondaggi.

La scelta dei sondaggi tra le soluzioni proposte, la scelta e l'ubicazione delle prove geognostiche all'interno dei fori verranno più compiutamente definite dopo un primo approfondimento delle tematiche geologiche ed in seguito a ulteriori sopralluoghi.

Nell'ambito della campagna LTF 2002-2003, si ritiene che i sondaggi S45, S46, S47, S49, S51 e S55 siano da considerarsi come irrinunciabili. Particolare importanza si pone sul sondaggio S49, che permette di posizionare la faglia di Falcimagna in una zona prossima alla quota galleria e di definire l'estensione della fascia tettonizzata. I sondaggi S49 e S51 erano già previsti nella precedente campagna di indagine (come S7 e S21) e non sono stati al momento realizzati.

Il sondaggio S47 presenta delle lunghezze di perforazione elevate per andare ad indagare una zona già relativamente conosciuta. Permette comunque un affinamento delle attuali

conoscenze. Il sondaggio S51 presenta una limitata lunghezza ed è in grado di fornire una discreta conoscenza di una zona interessata solo marginalmente dalle precedenti indagini. Il sondaggio S55 situato tra i sondaggi S16 e S17 fornisce un controllo delle prospezioni geofisiche effettuate in quest'area.

Mantenendo fissa la posizione dei sondaggi descritti da LTF viene proposta in alcuni casi, per lo stesso sondaggio, la scelta tra un assetto verticale e una geometria inclinata. La scelta tra le varie proposte è da eseguire anche in funzione della logistica per lo loro esecuzione.

Le sigle di identificazione dei sondaggi vengono riferite al documento LTF.

Sondaggio	Località	Quota testa foro	Fuoriassse testa	Inclinazione foro	Lunghezza a foro	Utilità investigazione
<b>S45</b>	Località Lubrun (Lato Ovest Monte Molaras lungo strada per Mompantero vecchio)	1200	400 m N	30° verso O (circa N 270°)	870m	Definizione stato di fratturazione indotto da faglie normali e miglioramento caratterizzazione scisti verdi. Il sondaggio inclinato permetterebbe una migliore definizione della fascia interessata da faglie.
<b>S46</b>	C. Bustra (Lato dx Ri Rocciamelone)	845	580 m S	45° verso E	450-475 m	Definizione presenza eventuali orizzonti carsificati al contatto basamento copertura e ubicazione contatto ad altezza galleria.
<b>S49</b> (=S7 non effettuato in precedente campagna)	C. Trucco (Lato dx Comba Ravera)	830	850 m S	b)30° rispetto all'orizzontale verso N	700 m incl N	Indagine faglia Falcimagna e estensione orizzonte carsificato al contatto tra basamento e copertura sedimentaria del massiccio della D.M.
<b>BH4</b>	Foresto O	Circa 500	-	orizzontale	300 m orizzontale	Indagini di supporto per la realizzazione di una finestra. Definizione della presenza di eventuali Carniole

Il sondaggio BH4 proposto, non rientra tra quelli previsti nella campagna LTF 2002-2003 presenta una particolare utilità in funzione della realizzazione di una finestra di accesso baricentrica per tutto il tunnel (finestra Foresto Ovest), giunge ad indagare la stessa zona prevista per il sondaggio S48 e permette di evitare il trasporto tramite elicottero di attrezzatura previsto .

I sondaggi dovranno essere condotti "a carotaggio integrale con corona diamantata". Per i sondaggi profondi, può essere considerata una riduzione telescopica del diametro di perforazione, utilizzando diametri fino a circa 75 mm. Viene escluso l'utilizzo di diametri

minori poiché impedirebbe sia l'esecuzione di prove geomeccaniche in foro, che l'esecuzione di prove di laboratorio. Una volta stabiliti i sondaggi da eseguire potrà essere valutata, anche in seguito a ulteriori sopralluoghi, l'opportunità di eseguire parte dei sondaggi a distruzione. La quantità e la posizione delle prove in situ indicate dipende essenzialmente dalle litologie e dallo stato di fratturazione effettivamente incontrati nel sondaggio; la loro definizione risulta al momento indicativa per una quantificazione dei costi della campagna, le prove potranno in seguito essere parzialmente destinate su un sondaggio invece che a un altro, in funzione di quanto emerso in corso di perforazione. I sondaggi devono comunque essere accompagnati in qualunque caso da:

- Descrizione litologica.
- Determinazione RQD.
- Diagrafia, registrazione in continuo dei parametri di perforazione.
- Descrizione geomeccanica discontinuità interessate.
- Documentazione fotografica.

Nell'ambito di ogni sondaggio viene prevista l'esecuzione delle seguenti prove geognostiche in situ.

- Prove di permeabilità di tipo Lugeon, forniscono una valutazione della permeabilità dell'ammasso roccioso considerando tasche di lunghezza variabile tra 1 e 5 m. (circa 25 per ogni foro).
- Prove dilatometriche (circa 10 – 15 per ogni foro).
- Controllo deviazione foro (continuo per tutti i fori).
- Determinazioni temperatura H<sub>2</sub>O in foro.

Le prove sopracitate costituiscono la base per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso attraversato e possono essere affiancate dalle seguenti prove:

- Prove di fratturazione, (5 - 10 per ogni foro).
- Sonda acustica BHTV in foro (stimabile intorno a 30% lunghezza dei sondaggi).

- Sonic Log (misure di velocità delle onde soniche in foro) per determinazione di velocità di intervallo, (stimabile intorno a 40-50% lunghezza dei sondaggi).
- Prove di conducibilità (stimabile intorno a 30% lunghezza dei sondaggi).
- Log  $\gamma$  ray (stimabile intorno a 30% lunghezza dei sondaggi).

Alle indagini in situ, si accompagnano inoltre le seguenti prove di laboratorio (per ogni sondaggio di 300-400 m possono essere preventivate):

- prove di compressione semplice (circa 15-20),
- prove di compressione monoassiale in controllo di deformazione (circa 15-20),
- determinazioni di velocità sonica V Onde P e V Onde S (circa 15-20),
- prove di taglio su giunto (circa 10),
- prove di trazione diretta (circa 10)
- prove di compressione triassiali su roccia (da 5a 10),
- prove Cerchar per la determinazione della durezza (D) e dell'abrasività (A), (circa 20);

tutte le prove saranno corredate di descrizione petrografica del campione e dalla determinazione del peso di volume ( $\gamma$ ).

## 11 CONCLUSIONI

Nel presente documento sono stati prese in considerazione le indagini fino ad oggi realizzate nell'ambito del Progetto Alpetunnel per caratterizzare, dal punto di vista geologico geomeccanico, il tracciato del Tunnel Bussoleno e del lato italiano del Tunnel di Base. Il materiale contenuto nelle sintesi redatte da Bonnard e Gardel, è stato integrato e con le esperienze ricavate dallo scavo nella zona della centrale di Pont Ventoux e con le esperienze di trafori alpini realizzate negli ultimi decenni.

Dal punto di vista geologico l'affidabilità delle previsioni risente molto dell'elevata copertura e della limitata accessibilità caratteristica del territorio.

Considerando la tratta italiana del Tunnel di Base, nei i primi 4,5 Km dall'imbocco da Venaus, la ricostruzione della geologia e delle condizioni geomeccaniche risulta affidabile grazie anche all'esperienza di Pont Ventoux. La ricostruzione risulta meno affidabile nella successiva porzione fino al confine francese; non sono però attese condizioni particolari all'interno dei micascisti del basamento del Gruppo di Ambin.

Per il tratto esaminato del tunnel di Base, considerando la classificazione RMR'89, il tracciato del tunnel risulta prevalentemente inquadrabile nelle classi III e II, distribuite uniformemente nel basamento e nella copertura del massiccio di Ambin, con lunghe tratte omogenee. Classi inferiori (IV e V) sono previste localizzate nella zona tettonizzata, a contatto tra le unità piemontesi e le unità dell'Ambin, in fasce di lunghezza limitata all'interno del massiccio di Ambin, per una lunghezza complessiva pari al 10-15% del tracciato in classe IV e un possibile 2-3% di rocce in classe V.

L'affidabilità delle ricostruzioni risulta invece inadeguata per il tunnel Bussoleno, la zona risulta indagata da un numero limitato di sondaggi e in questa zona non si dispone di alcuna esperienza proveniente da precedenti lavori in sotterraneo. In quest'area sono presenti problematiche geologiche differenti da quelle incontrate a Venaus, così che l'esperienza maturata in questa zona risulta esportabile solo in modo limitato al tracciato del Tunnel di Bussoleno. La scelta del nuovo tracciato di progetto preliminare comporta inoltre degli spostamenti, verso N, fino a oltre 500 m rispetto al tracciato precedente, studiato nell'ambito degli studi Alpetunnel, e riduce ulteriormente la validità delle ricostruzioni. Per cui risulta

indispensabile l'approfondimento di alcune delle tematiche con una campagna geognostica integrativa che si focalizzi sui seguenti aspetti:

- a) la posizione e l'estensione del contatto tra basamento cristallino e copertura sedimentaria ad Ovest della faglia di Falcimagna e la verifica della eventuale presenza di orizzonti carsificati al contatto tra copertura e basamento.
- b) l'andamento della faglia di Falcimagna, e dell'estensione della fascia tettonizzata,
- c) la presenza e l'estensione delle faglie normali riportate sul profilo geologico,
- d) la localizzazione presso l'imbocco Bruzolo del contatto tra substrato roccioso e i depositi di copertura

Per il tunnel Bussoleno, considerando la classificazione RMR'89, il tracciato del tunnel risulta prevalentemente inquadrabile nella classe III, con tratte relativamente lunghe di ammassi rocciosi di classe II nei calcescisti e nei micascisti. Classi inferiori (IV) sono previste prevalentemente localizzate all'interno delle fasce di rocce verdi e dei contatti tra il basamento della Dora Maira e la sua copertura sedimentaria, costituita prevalentemente da rocce carbonatiche soggette a metamorfismo regionale di basso grado, per una distribuzione complessiva tra il 10 e il 15 % della lunghezza del tracciato. A questi vanno aggiunti i circa 500 m dei depositi superficiali dell'imbocco lato Bruzolo.

## 12 BIBLIOGRAFIA

- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA - Alpetunnel GEIE; Lug.1999 Mission d'assistance géotechnique, Mission M 2.2 Qualification des risques de décompressions violentes, Essais en laboratoire de compression monoaxiale avec enregistrement acoustique. Lausanne.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA - Alpetunnel GEIE– Set. 1999 - Mission d'assistance géotechnique, Mission M 1 Caractérisation géotechnique du tracé, Note sur les possibilités de caractériser de manière statistique le comportement mécanique des roches dures. Lausanne.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Gen. 2000 - Mission d'assistance géotechnique, Mission M 0.1 Avis général sur le projet et sur les données disponibles, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Note 1 : reconnaissances et études réalisées.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Gen. 2000 - Mission d'assistance géotechnique, Mission M 0.1 Avis général sur le projet et sur les données disponibles, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Note 2 : analyse globale du contexte géotechnique. Lausanne.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Gen. 2000 Mission d'assistance géotechnique, Mission M 0.1 Avis général sur le projet et sur les données disponibles, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Note 3 : répertoire des points sensibles pour le projet.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Gen. 2000 - Mission d'assistance géotechnique, Mission M 0.1 Avis général sur le projet et sur les données disponibles, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Note 4 : Analyse de l'étude de risques de mars 1998

- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA - Alpetunnel GEIE - Feb. 2000 Missione di assistenza geotecnica, Missione M 0.1 Parere generale sul progetto e sui dati disponibili, Tunnel Maurienne – Ambin e tunnel di Bussoleno, Nota 5 : sintesi della missione e parere sulle indagini.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA - Alpetunnel GEIE – Feb. 2000 - Mission M2 Problèmes géotechniques particuliers; Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno Mission M 2.1 : anisotropie mécanique du massif.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Feb. 2000 - Mission d’assistance géotechnique, Mission M 2 Problèmes géotechnique particuliers, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Mission M 2.2 : Décompressions violentes.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Feb. 2000 - Mission d’assistance géotechnique, Mission M 2 Problèmes géotechniques particuliers, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Mission M 2.3 : Hydrogéologie.
- GEIE Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Feb. 2000 - Mission d’assistance géotechnique, Mission M 2 Problèmes géotechnique particuliers, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Mission M 2.4 : Gonflement.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Mag. 2000 - Mission d’assistance géotechnique, Mission M 2 Problèmes géotechnique particuliers, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Mission M 2.5 : Fortes convergences – Squeezing.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA - Alpetunnel GEIE - Mag. 2000 - Mission d’assistance géotechnique, Mission M 2 Problèmes géotechnique particuliers, Tunnel Maurienne – Ambin et tunnel de Bussoleno, Mission M 2.6 : Fluage.

- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA - Alpetunnel GEIE – Mag. 2000 - Mission M1 Caractérisation géotechnique du tracé; Tunnel de base Maurienne – Ambin Mission M 1.1 à M 1.5 (Cahier n°1 – Rapport) .
- EEG-SIMECSOL, SEA Consulting, Silène, Baptendier – LTF Lyon Turin Ferroviarie Dic. 2002 – Etudes hydrogéologiques 2002-2004 – Rapport d'étape Parte italiana.
- Bonnard & Gardel Ingénieurs-conseils SA – Alpetunnel GEIE - Apr. 2001 - Mission d'assistance géotechnique, Caractérisation géotechnique du tracé, Tunnel de Bussoleno Variante Nord, Mission M 1.6.
- ISMES – Alpetunnel GEIE – Gen. 2000 – Collegamento ferroviario transalpino Torino-Lione. Misure di radioattività su campioni di rocce provenienti da sondaggi.
- ISMES – Alpetunnel GEIE – Gen. 2000 – Collegamento ferroviario transalpino Torino-Lione. Ricerca bibliografica sulla radioattività naturale in Val Susa.
- LTF Lyon Turin Ferroviarie - 2002 - Campagna geognostica 2002-2003, Relazione tecnico-illustrativa .
- LTF Lyon Turin Ferroviarie – Giugno 2002 – Monitoraggio delle risorse idriche ricadenti nelle aree interessate dal progetto del nuovo collegamento Torino Lione – Campagna di misure di controllo 2002-2004.
- Jean-Christophe Maréchal (LGIH) – Lug. 1998 - Observation des massifs cristallins alpins au travers des ouvrages souterrains, 1. Caractérisation de la conductivité hydraulique à l'échelle du massif . Liege.
- G. Menard (CNRS), D. Fabre (LIRIGM) – Alpetunnel GEIE – Giu. 2000 - SEZIONE INTERNAZIONALE Sintesi geologica per settori. Nuova linea ferroviaria transalpina Torino-Lione.

- Risorse Idriche S.p.a. – Alpetunnel GEIE – Gen.1996 – Progetto del tunnel di base e collegamento con la rete esistente nel tratto in territorio italiano. Studio idrogeologico. Relazione di sintesi.
- SEA Consulting, S.G.I. - LTF Lyon Turin Ferroviarie - Luglio 2002 - Galleria geognostica di Venaus, Relazione geologica idrogeologica e geomeccanica.
- SEA Consulting – Alpetunnel GEIE – Luglio 1999 – Studio “Tunnel di base Maurienne –Ambin e Tunnel di Bussoleno”. Studio sulla tettonica Recente finalizzata alla definizione dello stress in sito. Tav. 1 Schema tettonico e dati relativi all’ analisi strutturale sulla tettonica fragile.
- Università Ca’ Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali. – 2000 – Assistance Technique Hydrogeologie – Géochimie isotopique des circulations souterraines profondes (tunnels de base et de Bussoleno de la future liaison ferroviaire Lyon – Torino).
- Università degli studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE – Set. 1998 – Relazione geologica relativa all’area Bussoleno Nord. Tav. 2 Carta geologica in scala 1:10.000, Tav. 2b Variante Nord, Profilo geologico in corrispondenza dell’ipotesi di tracciato, Torino.
- Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE – Set. 1998 – Relazione geologica relativa all’area Val Cenischia – Val Clarea. Tav. 1 Carta geologica in scala 1:10.000, Tav. 1a Variante Nord, Profilo geologico in corrispondenza dell’ipotesi di tracciato, Tav 1b Variante Sud, Profilo geologico in corrispondenza dell’ipotesi di tracciato. Torino.
- Università degli studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE – Dic. 1999 – Studio preliminare di alcuni campioni di ortoderivati provenienti dalla Val di Susa, mediante il metodo delle tracce di fissione su apatite. Torino.

- Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE – Aprile 1999 – Studio fotogeologico. Rapporto Finale. Tav. 1 Foglio Bardonecchia scala 1:50.000, Tav. 2 Foglio Susa scala 1:50.000, Tav 3 Fogli Susa, Bardonecchia, Cesana Torinese e Pinerolo scala 1:100.000.
- Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST), SEA – Alpetunnel GEIE - Giugno 1999 – Idrogeologia rapporto finale (Tunnel di Base e Tunnel di Bussoleno). Tav. 1 Carta delle unità idrogeologiche del basamento prequaternario e delle unità quaternarie di copertura, Tav. 2 Profili idrogeologici in corrispondenza delle ipotesi di tracciato – scala 1:25.000, Tav 3 Profili idrogeologici e modello idrogeologico del settore vallivo compreso tra la media e bassa Val Cenischia e la Val Clarea. Torino.

PP2085TSE3RE::GO::  
3111 A

NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE  
TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA - BRUZOLO  
PROGETTO PRELIMINARE

Groupement  
TSE  
Lyon Turin

### 13 ALLEGATI ALLA RELAZIONE

1 - Ubicazione sondaggio BH4 alla scala 1: 25.000

2 - Stralcio carta geologica alla scala 1:25.000

**VENGONO INOLTRE ALLEGATI AL PROGETTO I SEGUENTE DOCUMENTI:**

1. Università degli studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE – Set. 1998 – Relazione geologica relativa all’area Bussoleno Nord. Allegati: Tav. 2 Carta geologica in scala 1:10.000, Tav. 2b Variante Nord, Profilo geologico in corrispondenza dell’ipotesi di tracciato, Torino.
2. Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST) – Alpetunnel GEIE – Set. 1998 – Relazione geologica relativa all’area Val Cenischia – Val Clarea. Allegati: Tav. 1 Carta geologica in scala 1:10.000, Tav. 1a Variante Nord, Profilo geologico in corrispondenza dell’ipotesi di tracciato, Tav 1b Variante Sud, Profilo geologico in corrispondenza dell’ipotesi di tracciato. Torino.
3. Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST), SEA – Alpetunnel GEIE - Novembre 1999 – Tavola 4, Stratigrafia dei sondaggi S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S17, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30 scala 1:100 .
4. LTF Lyon Turin Ferroviarie - 2002 - Campagna geognostica 2002-2003, Relazione tecnico-illustrativa.
5. SEA Consulting – Alpetunnel GEIE – Luglio 1999 – Studio “Tunnel di base Maurienne –Ambin e Tunnel di Bussoleno”. Studio sulla tettonica Recente finalizzata alla definizione dello stress in sito. Allegati: Tav. 1 Schema tettonico e dati relativi all’ analisi strutturale sulla tettonica fragile.

6. Università degli studi di Torino Dipartimento di Scienze della Terra (DST), SEA – Alpetunnel GEIE - Giugno 1999 – Idrogeologia rapporto finale (Tunnel di Base e Tunnel di Bussoleno). Allegati: Tav. 1 Carta delle unità idrogeologiche del basamento prequaternario e delle unità quaternarie di copertura, Tav. 2 Profili idrogeologici in corrispondenza delle ipotesi di tracciato – scala 1:25.000, Tav 3 Profili idrogeologici e modello idrogeologico del settore vallivo compreso tra la media e bassa Val Cenischia e la Val Clarea. Torino
7. Risorse Idriche S.p.a. – Alpetunnel GEIE – Gen.1996 – Progetto del tunnel di base e collegamento con la rete esistente nel tratto in territorio italiano. Studio idrogeologico. Relazione di sintesi.
8. LTF Lyon Turin Ferroviarie – Giugno 2002 – Monitoraggio delle risorse idriche ricadenti nelle aree interessate dal progetto del nuovo collegamento Torino Lione – Campagna di misure di controllo 2002-2004.