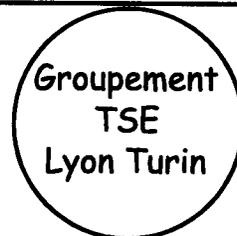




Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

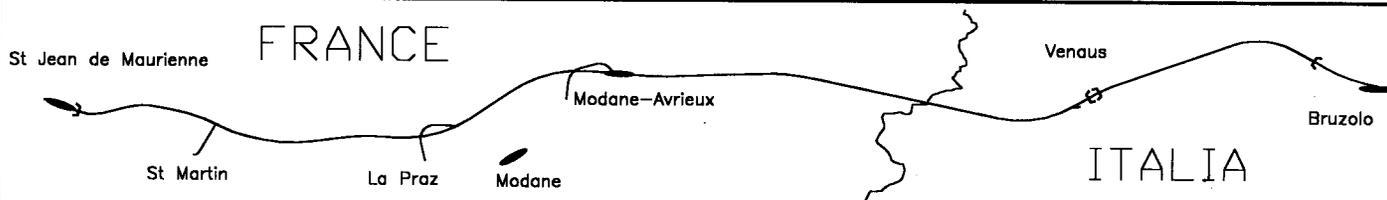


Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)



**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 ZONA IMBOCCO LATO ITALIA E TUNNEL DI BUSSOLENO
RELAZIONE GEOMECCANICA**

Scala

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
0	EMISSIONE	GATTI	28/10/2002	MAGNORFI	29/10/2002	OGNIBENE	31/10/2002	
A	EMISSIONE PER PP	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	G	X	:	:	G	:	:	:	3	1	1	2	A
	fase	n° S.C.	emettente			tipo doc.	codice geografico			oggetto			n° doc.			indice									

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	2
2	INQUADRAMENTO GENERALE	4
3	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA.....	11
	3.1 Parametrizzazione ammasso roccioso	12
	3.2 Parametri di calcolo	15
4	ANALISI DEL RISCHIO.....	16
	4.1 Rischi legati alle caratteristiche intraformazionali dell'ammasso roccioso.....	17
	4.2 Rischi legati al fenomeno di "décompression violente" dell'ammasso roccioso	18
	4.3 Rischi legati all'anisotropia dell'ammasso roccioso.....	20
	4.4 Valutazioni conclusive sui rischi.....	21
5	BIBLIOGRAFIA.....	23
6	ALLEGATI.....	28

1 INTRODUZIONE

Il presente rapporto è stato redatto con la finalità di fornire una caratterizzazione geologico-geomeccanica generale dell'area interessata dal tracciato del Tunnel di Base, per la tratta che attraversa il territorio italiano, ed il tunnel di Bussoleno. Tali opere fanno parte del nuovo collegamento ferroviario Lione-Torino.

L'inquadramento geologico-geomeccanico di sintesi è stato messo a punto sulla base dei dati forniti dallo studio eseguito dalla ALPETUNNEL, dei dati di letteratura disponibili e delle informazioni desunte dallo scavo di altri tunnel in zone limitrofe (in particolare lo scavo delle gallerie idrauliche del costruendo Impianto Idroelettrico in sotterraneo Pont Ventoux – Susa).

La presente nota rappresenta un lavoro di sintesi al fine di fornire un quadro geomeccanico generale di previsione, che dovrà essere approfondito a seguito dei dati che verranno acquisiti successivamente alle campagne di indagini geognostiche integrative previste e durante lo scavo della galleria di prospezione Venaus. Si potranno acquisire alcuni dati importanti anche a seguito dello scavo di alcune gallerie di servizio lungo la linea, già in fase di realizzazione, come ad esempio la discenderia di Modane.

Di seguito si fornisce dapprima un inquadramento geologico-strutturale generale delle Alpi Occidentali, un inquadramento delle caratteristiche geomeccaniche generali dei terreni attraversati dalle opere in progetto ed una discretizzazione delle aree a comportamento geomeccanico omogeneo.

Saranno inoltre prese in considerazione una serie di importanti problematiche legate alle caratteristiche intrinseche di un ammasso roccioso quale quello presente in questo settore delle Alpi Occidentali:

- problemi legati all'anisotropia dell'ammasso roccioso metamorfico e scistoso;
- problemi di decompressione violenta legati allo scavo in ammassi rocciosi con elevate coperture;
- problemi legati alle caratteristiche litologiche e composizionali (reologiche) dell'ammasso roccioso, quali ad esempio fenomeni di "gonflement", "squeezing", "fluage".

Quanto presentato dovrà comunque essere approfondito e rivalutato, come detto, a seguito dei risultati ottenuti dallo scavo della galleria di “reconnaissance” Venaus e dalle campagne di indagini geognostiche integrative previste.

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 che 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 GENERALE

Le Alpi Occidentali dal punto di vista geologico – strutturale sono suddivise in due importanti domini strutturali: Dominio Esterno, occidentale, e Dominio Interno, orientale. I due domini sono separati da una delle più importanti linee tettoniche di sovrascorrimento alpino, riconosciuta come Fronte Pennidico. Il Fronte Pennidico è un importante lineamento tettonico che separa il dominio esterno da quello interno, ha direzione Nord – Sud ed una forte inclinazione verso Est. E' associato a depositi di origine triassica (gessi e carnirole) che assumono il ruolo di livello di scollamento.

I due domini strutturali sono essi stessi costituiti da differenti unità strutturali con caratteristiche geologiche e tettoniche differenti.

Il Dominio Esterno, ad ovest del Fronte Pennidico, corrisponde alla Unità del Delfinese, costituita dai massicci cristallini esterni (Aar – Gottardo, Monte Bianco, Argentera, Belledonne, Pelvoux, ecc.). Ad est dei massicci cristallini esterni la zona Delfinese è ridotta ad una esigua fascia costituita da depositi sedimentari, la zona Ultradelfinese, sui quali è sovrascorso il Fronte Pennidico.

Il Dominio Interno si trova ad est del Fronte Pennidico ed è costituito dalla sovrapposizione di una serie di unità tettoniche importanti separate da contatti tettonici. Il Dominio Interno risulta suddiviso, da ovest ad est, nelle seguenti unità strutturali:

- zona Sub-Brianzonese,
- zona Brianzonese,
- zona Piemontese.

Nel complesso il Dominio Interno è stato interessato da una tettonica molto severa che, localmente può essere associata ad un metamorfismo di debole intensità (epizonale).

L'opera in oggetto è costituita dal tunnel di base (di lunghezza pari a circa 52.6 Km) dalla PK 1.9 alla PK 54.5 (progressive del profilo Alpetunnel) e dal tunnel di Bussoleno (di lunghezza pari a circa 12.1 Km).

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.

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 nel Tunnel di Base 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.

Il tunnel di base, da Ovest ad Est, attraversa le seguenti unità geologico – strutturali:

- zona Ultradelfinese (PK 1.9 – PK 5.5),
- zona Subbrianzone (PK 5.5 – PK 8.1), all’interno di questa zona è compresa l’area interessata dal Fronte Pennidico,
- zona Brianzone (PK 8.1 – PK 53.3),
- zona Piemontese (PK 53.3 – PK 54.5).

Ad eccezione, ad eccezione della zona Ultradelfinese, il tunnel di base attraversa quasi interamente i terreni appartenenti al dominio strutturale interno.

L’esame di tutti i dati ottenuti dalle indagini in sito ed in laboratorio eseguite ha consentito la discretizzazione dell’ammasso roccioso in aree a caratteristiche geologico-litologiche omogenee. Nel dettaglio si osserva che il tunnel di Base attraversa per la maggior parte terreni appartenenti alla zona del Monte d’Ambin (Brianzone interno) (PK 46.6 – PK 53.3) e solo nella parte terminale attraversa la zona Piemontese. Il Massiccio d’Ambin è un elemento del basamento pre-alpino. E’ costituito da un nucleo di gneiss e micascisti quarzosi a cui è sovrapposta una serie sedimentaria di origine detritica paleozoica, metamorfica. La serie paleozoica è costituita da:

- micascisti (r – t),
- micascisti e gneiss aplitici (rM).

Quindi in posizione stratigrafica superiore troviamo una copertura sedimentaria triassica costituita (per il versante italiano) da gneiss, micascisti, quarziti, marmi dolomitici e calcitici. In base a questa premessa il tracciato in esame si può suddividere nelle seguenti aree (progressive riferite al profilo redatto da Alpetunnel, 2000):

- PK 46,60 – PK 53,20 – Zona del Monte d’Ambin (Brianzonese interno): l’ammasso roccioso attraversato è costituito dal basamento cristallino del massiccio d’Ambin e le litologie sono costituite da micascisti della Serie di Clarea e da micascisti, quarziti e gneiss leucocratici della Serie d’Ambin;
- PK 53,20 – PK 53,30 – Zona del Monte d’Ambin (Brianzonese interno): l’ammasso roccioso attraversato è costituito dalla copertura sedimentaria paleozoica metamorfosata brianzonese costituita da calcescisti, quarziti, marmi dolomitici, carnirole;
- PK 53,30 – PK 54,50 – Zona Piemontese definita anche come unità degli “Schistes Lustrés” costituita da Calcescisti filladici e dagli Gneiss di Charbonnel.

Nel dettaglio partendo dal Ovest il tunnel attraversa, in territorio italiano:

- Progressive 46.600 – 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; possono essere presenti intercalazioni di metabasiti anfiboliche; 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);
- 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 anfibolitiche;

- Progressive 53.150 – 53.300 - L'ammasso roccioso è costituito dalla copertura sedimentaria autoctona o para-autoctona 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 è costituito da terreni appartenenti alla Zona Piemontese, costituiti da calcescisti filladici e Gneiss di Charbonnel. In quest'ultima tratta l'ammasso roccioso è interessato da numerosi livelli di carnirole (brecce tettoniche) di spessore da decametrico a pluridecametrico.

La zona delle carnirole deve essere considerata come una fascia tettonizzata, costituita da brecce calcaree caratterizzate da una tessitura da caotica a localmente orientata, costituite da elementi litici, da centimetrici a plurimetrici, di calcescisti, micascisti e quarziti in una matrice fine, carbonatica di colore rossastro, da compatta a friabile, più o meno vacuolare. La matrice può essere interessata da processi di carsismo. I livelli di brecce tettoniche sono generalmente associati a piani di carreggiamento debolmente inclinati (da 15° a 35°) verso SE. L'ammasso roccioso in quest'ultima parte è interessata dalla presenza di numerose faglie molto inclinate (da 60° a 80°) verso SE o SSE.

I litotipi riconosciuti lungo il tracciato del tunnel di base 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 - Gneiss e micascisti del basamento pre – alpino e della copertura sedimentaria paleozoica (Gruppo della Val Clarea). 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 (Serie d'Ambin)
- LT 9.1 – Quarziti e conglomerati

NOTA BENE: le litologie indicate con la sigla LT e n° sono state estratte dal Profilo Geologico generale Alpetunnel (2000)

La parte terminale del tunnel di base ed il tunnel di Bussoleno attraversano terreni appartenenti alla zona Piemontese. Questa come già accennato nella descrizione dell'ultima tratta del tunnel di Base, è costituita da:

- una potente serie di calcescisti con intercalazioni di gneiss, in posizione basale sono presenti lenti di rocce verdi. Infine le rocce verdi segnano il contatto tettonico tra calcescisti e copertura sedimentaria triassica (massiccio del Dora Maira);
- dolomie costituenti la copertura triassica del massiccio del Dora Maira;
- gneiss e micascisti che rappresentano scaglie del substrato paleozoico.

Nel dettaglio, da Ovest ad Est, il tunnel di Bussoleno attraversa (progressive riferite al profilo geologico redatto da Alpetunnel, 2000):

- Progressive 55,693 – 55,743: il tracciato attraversa dei depositi superficiali, sedimenti alluvionali della Val Cenischia. La lunghezza dei depositi da attraversate viene valutata in circa 50 m. Dai sopralluoghi condotti risulta che la fascia di detrito in corrispondenza dell'imbocco previsto per il Progetto Preliminare è assente o poco sviluppata.
- Progressive 55,750 – 58,100: l'ammasso roccioso è costituito da unità della zona piemontese. Sono rappresentate prevalentemente da calcescisti con limitati intervalli prevalentemente lentiformi di gneiss quarziticci (Gneiss di Charbonnel) e rare lenti di rocce verdi.
- 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.
- Progressive 58,400 – 61,900: 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 breccie tettoniche collegate a faglie normali o a rocce milonitizzate.
- Progressive 61,900 – 63,350: 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 d'ordine geologico, la posizione del contatto basamento-copertura risulta estremamente maldefinita e necessita una campagna geognostica integrativa.

- 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.
- 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 possibile la presenza di carnirole subordinatamente ai marmi dolomitici.
- Progressive 65,650 – 67,200 : copertura sedimentaria del massiccio della Dora Maira. Queste rocce sono costituite da marmi, marmi dolomitici e calcescisti arenacei. Presenza di coperture limitate, non superiori ai 25 m nell'ultimo tratto. 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 rimane la presenza di orizzonti carsici e di dissoluzione.
- Progressive 67,200 – 67,743 : vengono attraversati dei depositi di conoide costituiti da materiale eterometrico con blocchi da decimetrici a metrici con matrice costituita da sabbie, limi e ghiaie.

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 - Gneiss e micascisti del basamento pre – alpino e della copertura sedimentaria paleozoica (Gruppo della Val Clarea). 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 8.2 - Marmi, marmi dolomitici e marmi arenacei. Aspetto debolmente metamorfico, di colora 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 .

3 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Lo studio e l'interpretazione di tutti i dati relativi alle indagini eseguite (sondaggi a carotaggio continuo, prove in situ e prove geomeccaniche eseguite su campioni prelevati dai sondaggi), confortate dalla back-analysis dello scavo in sotterraneo nelle stesse litologie e nello stesso contesto geostrutturale regionale, hanno consentito di definire la caratterizzazione generale o di massima dell'ammasso roccioso che verrà interessato dagli scavi.

Per ognuna delle litologie riconosciute nei sondaggi è stata eseguita una caratterizzazione geomeccanica tramite la classificazione geomeccanica RMR'89 che considera: resistenza a compressione monoassiale, RQD%, spaziatura delle discontinuità, caratteristiche dei giunti, condizioni idrauliche. Per poter effettuare delle correlazioni empiriche è stato considerato un valore di RMR in condizioni anidre, attribuendo un valore 15 (R5) al rate delle condizioni idrauliche; dall'RMR corretto si ricava, tramite la correlazione empirica $GSI = RMR \text{ corretto} - 5$, il valore di GSI dell'ammasso roccioso interessato.

La caratterizzazione geomeccanica è stata eseguita con la metodologia Geomechanics Classification – Geological Strength Index, (Hoek, 1995), correlando il valore atteso di RMR con l'indice GSI.

La caratterizzazione della resistenza è stata effettuata basandosi sulle prove di laboratorio eseguite su campioni provenienti dai sondaggi S1, S2, S4, S5, S6, S6bis, S12, S13, S23, (elencati da Ovest verso Est) per il tunnel di Base, dai sondaggi S20, S8, S9, S11, S10, S25, S31, S32, S17, S16 (elencati da Ovest verso Est) per il tunnel di Bussoleno, e sulla base dei dati ottenuti sia in fase di indagini sia in fase di scavo delle gallerie afferenti all'impianto idroelettrico di Pont Ventoux-Susa, questo in particolare per le litologie gneiss, micascisti e calcescisti. I risultati ottenuti sono stati interpretati secondo il criterio di Hoek & Brown e l'utilizzo di correlazioni empiriche messe a punto dalla Geomechanics Classification.

La caratterizzazione della deformabilità si basa sia tramite l'interpretazione di prove in situ sia tramite l'utilizzo di correlazioni empiriche.

Inoltre, per caratterizzare il litotipi incontrati nel tunnel di Base lato Italia e nel tunnel di Bussoleno, sono state prese in considerazione le tabelle riassuntive fornite dallo studio di sintesi ALPETUNNEL che considerano, per ogni litologia i seguenti parametri:

- peso di volume,

- resistenza a compressione,
- modulo elastico,
- coefficiente di Poisson,
- angolo di attrito,
- coesione.

I valori presentati vengono distinti in valore medio (V_{mp}) e valore pessimistico (VP), quest'ultimo contraddistinto dal valore più basso ricavato dalle prove. I valori sono ricavati da prove in situ e da prove di laboratorio e possono essere considerati rappresentativi per il materiale roccia ma risultano, a nostro avviso, sovrastimati se considerati come valori di ammasso.

3.1 Parametrizzazione ammasso roccioso

Di seguito si riportano, sinteticamente, i risultati ottenuti in termini di parametrizzazione geomeccanica. I parametri di resistenza a compressione derivano dalle prove di laboratorio, mentre i valori di GSI derivano dall'interpretazione geostrutturale di alcuni dei sondaggi eseguiti. I valori ricavati sono stati integrati, come detto, con alcuni provenienti dall'esperienza di scavi in sotterraneo già eseguiti (Pont Ventoux – Susa).

I valori dei moduli di deformabilità ricavati per via empirica sono stati confrontati con i valori ricavati dalle prove in situ.

Una sintesi dei parametri di input e dei parametri ricavati viene presentata nelle seguenti tabelle.

Tunnel di Base

Litologia		σ_c (Mpa)	GSI (-)	m_i (-)	σ_{gd} (Mpa)	c (Mpa)	φ (°)	E def. (Gpa)	γ KN/m ³	ν (-)
LT 2	Rocce molto fratturate	0,5 2	-	-	-	0,2- 0,6	25- 30	2-4	26-27	0,3
NOTA 1: I parametri della litologia LT2 sono ricavati dalla sintesi di Bonnard e Gardel (2001)										
LT 6.1	Calcescisti	88* 88* 42 42	55 61 55 61	6,4*	9,0 11,6 4,4 5,5	2,40 3,00 1,13 1,40	34 35 34 35	13,3 18,8 13,3 18,8	26-28	0,25
LT 6.2	Calcescisti tettonizzati	88* 42	35 35	6,4*	4,6 2,2	1,30 0,63	30 29,7	4,2 4,2	27,5	0,3
LT 7.1	Gneiss e micascisti	75	58	4,1*	8,2	2,30	30-38	15,8	27-28	0,25
LT 7.2		129*			14,1	4,00				
LT 7.3	Gneiss aplitici	60-130	54 36	33	21 6	3,8 1,3	49 44	12,5 4,5	27-28	0,25
LT 9.1	Quarziti e conglomerati	60-110	54 43	22	15 6	3 1,4	46 43	12,5 6,7	26	0,25

NOTA 2: le caratterizzazioni geomeccaniche dei litotipi 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.3, 9.1 sono state eseguite con il criterio di Hoek & Brown, immettendo i parametri di σ_c e GSI ricavati dalle indagini eseguite. I valori di m_i provengono dalle tabelle proposte da Hoek & Brown

NOTA 3: I parametri contraddistinti con il simbolo * risultano dalla parametrizzazione delle stesse litologie interessate in fase di scavo dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux – Susa.

In base all'analisi di tutti i documenti di Alpetunnel e B&G, tenendo conto della classificazione RMR'89, il tracciato del tunnel risulta per la maggior parte in classe III di Bieniawski. L'ultima parte del tracciato, da PK 53.2 a PK 54.5, si trova in classe III – IV, localmente in classe V, per la presenza della fascia di carniole.

Tunnel di Bussoleno

Litologia		σ_c (Mpa)	GSI (-)	m_i (-)	σ_{gd} (Mpa)	c (Mpa)	ϕ (°)	E def. (Gpa)	γ (KN/ m ³)	v (-)
LT 1	Depositi alluvionali	-	-	-	-	0,05-0,10	35	0,02-0,05	22	0,3
LT 2	Rocce molto fratturate	0,5 2	-	-		0,2-0,6	25-30	2-4	26-27	0,3
NOTA 1: I parametri delle litologie LT1 e LT2 sono ricavati dalla sintesi di Bonnard e Gardel (2001)										
LT 6.1	Calcescisti	88* 88* 42 42	55 61 55 61	6,4*	9,0 11,6 4,4 5,5	2,40 3,00 1,13 1,40	34 35 34 35	13,3 18,8 13,3 18,8	26-28	0,25
LT 6.2	Calcescisti tettonizzati	88* 42	35 35	6,4*	4,6 2,2	1,30 0,63	30 29,7	4,2 4,2	27,5	0,3
LT 7.1	Gneiss e micascisti	75	58	4.1*	8,2	2,30	30-38	15,8	27-28	0,25
LT 7.2		129*			14,1	4,00				
LT 8.2	Marmi dolomitici	65	57 60 64	9	7,7 8,7 10,3	1,9 2,1 2,4	38 39 39	14,9 17,8 22,4	27-28	0,25
LT 8.2	Marmi, Marmi arenacei	40 80 40 80 40 80	57 57 60 60 64 64	10	4,8 9,7 5,4 10,9 6,4 12,8	1,14 2,29 1,27 2,54 1,5 2,9	39 39 40 40 41 41	14,9 14,9 17,7 17,7 22,4 22,4	27	0,25
LT 10	Rocce verdi	32	48 45 38	10	2,8 2,6 2	0,7 0,65 0,56	37 36 34	8,9 7,5 5,0	28	0,35

NOTA 2: le caratterizzazioni geomeccaniche dei litotipi 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 8.2, 10 sono state eseguite con il criterio di Hoek & Brown, immettendo I parametri di σ_c e GSI ricavati dalle indagini eseguite per la galleria Bussoleno e I valori di m_i provengono dalle tabelle proposte da Hoek & Brown

NOTA 3: I parametri contraddistinti con il simbolo * risultano dalla parametrizzazione delle stesse litologie interessate in fase di scavo dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux – Susa.

In base all'analisi di tutti i documenti di Alpetunnel e B&G, tenendo conto della classificazione RMR'89, il tracciato del tunnel di Bussoleno risulta prevalentemente in 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.

In allegato si riportano le tabelle schematiche di riferimento utilizzate ed estratte dai documenti di B&G.

In generale i valori che caratterizzano l'ammasso roccioso risultano mediamente in linea con le precedenti caratterizzazioni proposte negli studi di B&G, ad eccezione dei valori di coesione: questi risultano inferiori rispetto a quelli ricavati dalle prove di laboratorio, e ad opinione della Scrivente risultano essere i valori più rappresentativi delle condizioni dell'ammasso roccioso.

In ogni caso, la parametrizzazione effettuata deve considerarsi previsionale e dovrà essere confortata dai dati che saranno acquisiti a seguito delle campagne di indagini geognostiche integrative previste per le successive fasi di progettazione (si veda la descrizione della campagna geognostica integrativa suggerita nella relazione geologica generale).

In particolare dovranno essere approfondite le indagini relative alla parametrizzazione dei sistemi di discontinuità interessati dall'ammasso roccioso, mediante indagini in situ e di laboratorio. Si suggerisce pertanto l'esecuzione di prove di taglio diretto su giunto per valutare le caratteristiche geomeccaniche dei giunti ed il loro comportamento in fase di scavo.

3.2 Parametri di calcolo

In base all'esame di tutti i dati disponibili si suggeriscono i seguenti range di valori per i calcoli di progetto, sia per il tunnel di Base sia per il tunnel di Bussoleno:

Litotipo	γ KN/m ³	C MPa	ϕ °	E GPa	ν -
Depositi superficiali (1)	22	0.05-0.10	35	0.02-0.05	0.30
Gneiss e micascisti (7.1, 7.2)	27-28	2.3-4.0	30-38	15-16	0.25
Gneiss aplitici (7.3)	27-28	1.3-4.0	45	5-13	0.25
Quarziti e conglomerati (9.1)	26-27	1.3-3.0	43	7-13	0.25
Calcescisti (6.1)	26-27	1.0-3.0	34-35	13-18	0.25
Calcescisti tettonizzati (6.2)	26-27	0.6-1.3	29-30	4.0-4.5	0.30
Rocce verdi (10)	28	0.56-0.70	34-37	5.0-9.0	0.35
Marmi dolomitici, marmi, marmi arenacei (8.2)	27-28	1.0-3.0	38	15-22	0.25
Rocce molto fratturate (2)	26-27	0.2-0.6	25-30	2.0-4.0	0.30

4 ANALISI DEL RISCHIO

Il profilo geologico-geomeccanico di previsione individua una serie di rischi intraformazionali dell'ammasso roccioso per lo scavo dei due tunnel con conseguenze sulla scelta dapprima della metodologia di scavo, meccanizzato o in tradizionale, quindi sulla tipologia dei sostegni da porre in opera in fase di scavo e in definitiva sul dimensionamento del rivestimento definitivo.

Considerando le litologie presenti, le condizioni geostrutturali, le condizioni idrauliche ed il comportamento dell'ammasso roccioso allo scavo, sono stati riconosciuti o ritenuti possibili i seguenti tipi di problematiche, così come sono riportati nell'analisi del rischio riportata nei due profili geologico – geomeccanici di previsione:

rischi collegati alle caratteristiche dell'ammasso roccioso

1. flambage (spalling)
2. fronte instabile
3. decompressione violenta
4. forti convergenze (squeezing)
5. fluage
6. rigonfiamento (swelling)

rischi collegati alla possibilità di venute d'acqua

7. venute d'acqua perenni con portate elevate
8. venute d'acqua improvvise con pressioni elevate

rischi generali

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)

La suddivisione per classi di rischio rispetto alle singole problematiche viene presentata nei due profili geomeccanici ed in assenza di nuovi elementi, riprende le classificazioni precedentemente proposte.

Una analisi più puntuale viene effettuata individuando e localizzando sul tracciato le maggiori problematiche riconosciute come certe o ritenute possibili in base alle ricostruzioni effettuate, così come descritte nella relazione geologica generale.

Nel seguito saranno presentati i principali tipi di rischi legati alle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

4.1 Rischi legati alle caratteristiche intraformazionali dell'ammasso roccioso

In questa categoria di rischi possono essere raggruppati i fenomeni di “gonflement”, “fluage”, “squeezing”. La formazione di questi fenomeni è legata alle caratteristiche litologiche, composizionali, dell'ammasso roccioso. Fenomeni di “gonflement”, di “fluage” e di “squeezing” (forti convergenze) si possono verificare in presenza di anidriti, carniole, fasce fortemente tettonizzate caratterizzate dalla presenza di materiale molto alterato e/o fratturato (cataclasiti). In particolare:

- “Gonflement”: fenomeni di questo tipo si manifestano soprattutto in presenza di un ammasso roccioso costituito da anidriti fratturate in particolare nelle zone di contatto con livelli acquiferi o ancora in presenza di materiale argilloso. Sulla base dei dati di previsione le opere in esame dovrebbero essere soggette ad un debole rischio. L'unico settore a rischio elevato è la tratta compresa tra le progressive 55.75 – 58.4, nel tunnel di Bussoleno, corrispondente all'attraversamento delle “rocce verdi”: in particolare fenomeni di “gonflement” nell'attraversamento di tratte caratterizzate dalla presenza di minerali argillosi sono stati osservati durante lo scavo della galleria idraulica Bonneval – Avérole (galleria idraulica relativa all'impianto idraulico del Moncenisio). Il fenomeno di “gonflement” delle argille è accompagnato ad una perdita di coesione e di rigidità dei materiali. Normalmente il fenomeno si accompagna ad una deformazione dell'arco rovescio con conseguenti ripercussioni sul dimensionamento dei rivestimenti della galleria. La definizione del potenziale di rigonfiamento dell'ammasso roccioso dovrà essere valutata mediante un adeguato sistema di monitoraggio in fase di scavo ed attraverso l'esecuzione di prove in situ e prove di laboratorio (ad es. prove Huder-Amberg, analisi RX, analisi petrografiche) durante le campagne di indagini integrative.

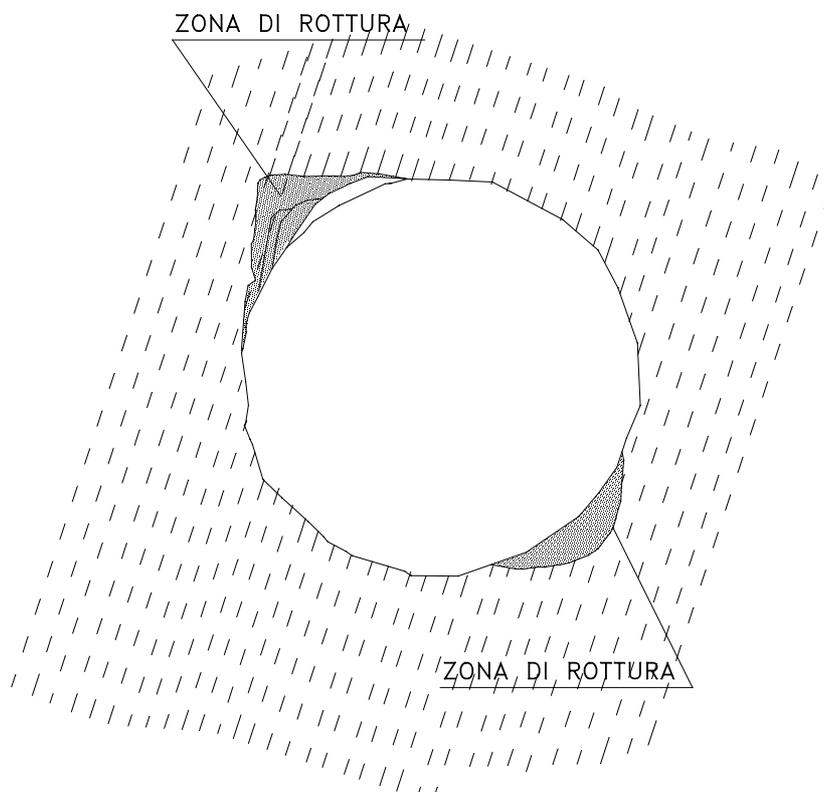
- “Fluage” e “squeezing”: sostanzialmente questi fenomeni dipendono dalle caratteristiche reologiche dei materiali che presentano particolare propensione al rammollimento, quali ad esempio le argille o gli ammassi rocciosi che contengono una elevata frazione argillosa. Fenomeni di questo tipo si possono manifestare in ammassi rocciosi definiti come “massif rocheux poussantes”, costituiti da gessi, cataclasiti, calcescisti, dolomie, carniole in corrispondenza di medie ed elevate coperture. In genere questi fenomeni consistono nell’aumento progressivo, nel tempo, delle deformazioni sotto un carico che si mantiene costante. Direttamente correlati ai fenomeni di fluage sono le forti convergenze o “squeezing”. Dal punto di vista ingegneristico il principale rischio associato ai fenomeni di “fluage” e di “squeezing” è legato allo sviluppo a lungo termine delle pressioni esercitate dall’ammasso roccioso sui rivestimenti. I rischi maggiori per le opere a progetto si hanno sempre in corrispondenza dell’attraversamento delle Rocce Verdi ed in corrispondenza dei Calcescisti e delle Dolomie (Tunnel di Bussoleno). Esempi di gallerie scavate in questo tipo di roccia sono: il tunnel del Frejus, il tunnel del Gran Sasso, ecc. Anche in questo caso il monitoraggio in corso d’opera ed un’approfondita campagna di indagini in sito e di laboratorio saranno determinanti per definire il comportamento dell’ammasso roccioso al fine di ottimizzare il dimensionamento dei sostegni e del rivestimento definitivo.

4.2 Rischi legati al fenomeno di “décompression violente” dell’ammasso roccioso

I rischi legati a questo tipo di fenomeno si manifestano in corrispondenza di un comportamento elasto–fragile dell’ammasso e contemporaneamente di una resistenza insufficiente a contrastare le sollecitazioni incontrate in fase di scavo, ovvero la decompressione che si forma a seguito dello scavo per il rilascio delle forti tensioni interne di origine tettonica e non. Le principali problematiche sono legate alla formazione di fenomeni di “flambage” o “spalling”. Il fenomeno consiste nella formazione di splaccaggi più o meno superficiali dell’ammasso roccioso immediatamente a seguito dell’apertura del cavo, in relazione alla presenza di un elevato stress tensionale in sito. Caratteristica peculiare di questo

tipo d'instabilità è quella di manifestarsi esclusivamente secondo la direzione coniugata rispetto a quella delle tensioni principali, e pertanto risulta facilmente individuabile interessando solo i due archi opposti della sezione circolare della galleria. Esperienze di scavo hanno evidenziato un diverso grado di intensità secondo cui tale fenomeno può avvenire: uno più superficiale con placcaggi, limitati sia in estensione che in profondità, che possono essere stabilizzati semplicemente mediante locali interventi di chiodatura, un altro (cfr. figura) caratterizzato da distacchi di porzioni rocciose più importanti e da una matrice più intensamente fratturata, per la cui stabilizzazione spesso è necessario ricorrere alla posa in opera di chiodi, rete elettrosaldata e talvolta di centine. Il differente grado d'intensità del fenomeno è governato da due ordini di cause: le elevate coperture ed il conseguente elevato grado di stress in situ, la maggiore o minore persistenza delle famiglie di discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso.

Normalmente questi fenomeni si manifestano sotto importanti coperture (es. superiori a 600 metri) quali quelle presenti nel cuore del massiccio d'Ambin.



esempio di fenomeno di “flambage” (“spalling”)

4.3 Rischi legati all'anisotropia dell'ammasso roccioso

Questo tipo di problematica si manifesta generalmente durante lo scavo in un ammasso roccioso caratterizzato dalla presenza di discontinuità quali ad esempio superfici di origine sedimentaria o metamorfica, faglie, fratture, caratterizzate da una orientazione ed una inclinazione. Le caratteristiche di anisotropia di un ammasso roccioso possono avere le seguenti origini:

- sedimentaria, nel caso di superfici di strato,
- meccanica (tettonica) generando sistemi di fratture in base alla differente storia tettonico-evolutiva subita,
- metamorfica generando superfici di scistosità e di foliazione.

In particolare nei micascisti e nei calcescisti l'anisotropia dell'ammasso è di origine metamorfica e tettonica. Gli effetti che possono manifestarsi in fase di scavo correlati a questo tipo di comportamento possono essere:

- effetti legati alla presenza di una superficie di discontinuità pervasiva quale la superficie di scistosità; in particolare nel caso di un ammasso roccioso caratterizzato da una marcata superficie di scistosità possono prodursi importanti fenomeni di splaccaggi in chiave e/o sui paramenti con caduta dei cunei formati quando lo scavo della galleria avviene "in direzione", quando cioè i piani della superficie di scistosità sono tangenti al perimetro di scavo;
- gli splaccaggi sono spesso associati a fenomeni di "flambage" ed a fenomeni di plasticizzazione dell'ammasso al contorno del cavo con la conseguente formazione di forti convergenze.
- gli effetti dell'anisotropia di origine geomeccanica possono combinarsi all'anisotropia dello stato tensionale in sito; in particolare il rischio legato a questi fenomeni sarà elevato in corrispondenza del Massiccio d'Ambin.

Un fattore comunque importante per lo scavo all'interno di un ammasso roccioso caratterizzato da più sistemi di giunti e dalla eventuale presenza di fasce di zone cataclastiche, è dato dall'angolo di incidenza di questi ultimi nei confronti della direzioni di scavo: angoli

maggiori (esempio 60°-90°) saranno in generale attraversati senza particolari problematiche; angoli di incidenza inferiori (esempio 10°-40°) possono presentano numerosi problematiche quali fenomeni di flambage e splaccaggi.

L'effetto combinato di questi aspetti è stato osservato nello scavo di alcune gallerie all'interno dei materiali ad es. calcescisti e micascisti del massiccio d'Ambin.

Nel caso dei calcescisti si fa riferimento all'esperienza maturata nello scavo del Tunnel del Frejus: in questo caso il comportamento anisotropo dei calcescisti si è manifestato sia per la presenza di una marcata superficie di scistosità, pervasiva, sia per la presenza di uno stato tensionale di tipo anisotropo. Il monitoraggio continuo e l'esecuzione di prove in situ e di laboratorio su campioni prelevati in corso d'opera, ha consentito di definire ed ottimizzare la tipologia dei sostegni da porre in opera ed il dimensionamento dei rivestimenti definitivi.

Nel caso dei micascisti del massiccio d'Ambin si fa riferimento all'impianto idroelettrico in sotterraneo, in costruzione, Pont Ventoux – Susa: l'esame strutturale ha evidenziato l'importante ruolo che la superficie di scistosità ha avuto in fase di scavo sul comportamento del cavo e dei fenomeni deformativi ad esso connessi; i piani di scistosità costituiscono infatti un elemento preferenziale di scollamento dell'ammasso in determinate condizioni. In particolare l'assetto giaciturale della scistosità combinato allo stato di stress in sito ha contribuito alla presenza quasi sistematica di splaccaggi del cavo disposti esattamente a 180°, in alcune tratte di galleria scavate all'interno dei micascisti del massiccio d'Ambin. Il comportamento tenso-deformativo di tipo anisotropo dell'ammasso roccioso è stato misurato attraverso l'esecuzione di prove di martinetto piatto. Non sono invece stati osservati fenomeni deformativi del cavo in questa litologia; le misure di convergenza eseguite indicano spostamenti dell'ordine del decimo di millimetro.

4.4 Valutazioni conclusive sui rischi

Nel complesso i principali rischi in fase di scavo sono legati alle caratteristiche intraformazionali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso. A questi si aggiunge la presenza di eventuali venute d'acqua concentrate e/o in pressione, peraltro spesso legate alle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso: ad esempio, durante lo scavo di alcune gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux – Susa, venute d'acqua concentrata si sono

verificate sostanzialmente in corrispondenza dell'attraversamento di importanti fasci tettonizzati, con conseguente rallentamento e fermo dello scavo meccanizzato.

Per una valutazione complessiva degli eventuali rischi interessante l'opera in progetto, è necessario esaminare non solo i rischi legati alla fase di scavo, ovvero di costruzione dell'opera, ma anche quelli relativi alla vita dell'opera, così da garantire nel tempo i requisiti di durabilità e funzionalità del manufatto.

A questo proposito uno dei rischi più importanti, che dovrà essere valutato attentamente è l'eventuale presenza, in questo settore dell'arco alpino, di deformazioni gravitative profonde di versante. Il concetto di deformazione gravitativa profonda di versante è legata al concetto di neotettonica (tettonica fragile); normalmente sono fenomeni legati ad una instabilità generale di versante di notevoli dimensioni, molto superiore al Km² e non possono essere ricondotti a semplici meccanismi di frana. Lo studio di questo fenomeno di instabilità è piuttosto recente; in particolare per questo settore la cartografia più recente redatta dall'Università di Torino (Foglio alla scala 1:50000 Bardonecchia) ha evidenziato questo tipo di fenomeno. Si suggerisce di approfondire il tema nelle successive fasi di progettazione.

L'analisi della tettonica recente viene descritto nella relazione SEA-Alpetunnel GEIE del 1999. I maggiori rischi legati alla presenza di attività neotettonica vengono riconosciute nel tunnel di Bussoleno legati alla zona di taglio orientata N-S presso Mompantero, dove potrebbero essere possibili fenomeni di abbassamento relativo del blocco occidentale. Mentre nella zona di Venaus non vengono riconosciute in strutture omologhe in stato di attività.

Altri aspetti di lungo termine sono legati alle caratteristiche chimiche delle acque ed alla loro possibile aggressività nei confronti dei calcestruzzi di rivestimento o alle problematiche di ostruzione dei dreni.

5 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.

6 ALLEGATI

1. Parametri geomeccanici di riferimento secondo Alpetunnel e B&G
2. Fogli di calcolo per caratterizzazione litologie LT7.3 e LT9.1

VENGONO INOLTRE ALLEGATI AL PROGETTO I SEGUENTE DOCUMENTI:

- 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.
- 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.
- 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 .
- LTF Lyon Turin Ferroviarie - 2002 - Campagna geognostica 2002-2003, Relazione tecnico-illustrativa.
- 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.
- 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. Allegati: 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.
- EEG-SIMECSOL, SEA Consulting, Silène, Bapendier – LTF Lyon Turin Ferroviarie Dic. 2002 – Etudes hydrogéologiques 2002-2004 – Rapport d’étape Parte italiana. Allegati: Tav. 1 Schéma hydrogéologique entre St.Jean de Maurienne et Bruzolo 1:50.000, Tav. 2 Coupe hydrogéologique entre St.Jean de Maurienne et Bruzolo 1:50.000, Tav 3 Carte dei syntese du SIG.
- 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

- 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.
- 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.
- ISMES – Alpetunnel GEIE – Gen. 2000 – Collegamento ferroviario transalpino Torino-Lione. Ricerca bibliografica sulla radioattività naturale in Val Susa.
- ISMES – Alpetunnel GEIE – Gen. 2000 – Collegamento ferroviario transalpino Torino-Lione. Misure di radioattività su campioni di rocce provenienti da sondaggi.
- 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 ferroviasire Lyon – Torino).