

S.F.T.R.F. S.A.
Société Française du Tunnel du Fréjus
S.I.T.A.F. S.p.A.
Società Italiana Traforo Autostradale Fréjus

TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS GALLERIA DI SICUREZZA TUNNEL ROUTIER DU FREJUS GALERIE DE SECURITE

PROGETTO DEFINITIVO 2006

PROJET 2006

RAPPORTO GEOLOGICO IDROLOGICO E SISMICO

RAPPORT GEOLOGIQUE HYDROLOGIQUE ET SISMIQUE

 **LOMBARDI SA**
INGEGNERI CONSULENTI



INDICE

	pagina
1. INTRODUZIONE	1
2. GENERALITÀ	1
3. GEOLOGIA REGIONALE	2
3.1 Evoluzione strutturale e neotettonica	2
4. REVISIONE DEI DATI GEOLOGICO-STRUTTURALI E GEOTECNICI RILEVATI LUNGO IL TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS	3
4.1 Evaporiti e rocce di copertura della Zona "Briançonnaise" Esterna	3
4.2 I calcescisti della Zona Piemontese	4
5. ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE	5
6. ACQUE SOTTERRANEE	6
7. IMBOCCO LATO ITALIA	7
7.1 Sismicità	7
7.2 Lineamenti geomorfologici e depositi quaternari	7
7.3 Dinamica fluviale e torrentizia	8
7.4 Assetto geologico e geomorfologico dell'area indagata	8
7.4.1 Depositi e forme legati all'azione della gravità	9
7.4.2 Depositi e forme legati allo scorrimento delle acque superficiali	9
7.5 Circolazione d'acqua sotterranea	10
7.6 Campagna geognostica lato Italia	10
7.7 Discarica lato Italia	11
8. IMBOCCO LATO FRANCIA	12
8.1 Sismicità	13

8.2	Formazioni geologiche	13
8.2.1	Geologia della zona del Rieu Sec	13
8.3	Campagna geognostica lato Francia	14
8.4	Discarica lato Francia	15
9.	CONCLUSIONI	16

Allegati/Annexes (solo su CD/Uniquement sur CD)

Allegato 1/Annexe 1: Rapporto geologico generale/Rapport géologique générale

Allegato 2/ Annexe 2: Rapporto geologico imbocco Italia/Rapport géologique tête Italie

Allegato 3/ Annexe 3: Rapporto geologico imbocco Francia/Rapport géologique tête France

Allegato 4/ Annexe 4: Campagna di sondaggi 11/04 piattaforma Italiana/Campagne de reconnaissance plate-forme Italienne 11/04

Allegato 5/ Annexe 5: Campagna di sondaggi 12/04 piattaforma Francese/Campagne de reconnaissance plate-forme Francaise 12/04

Allegato 6/ Annexe 6 Rilievi delle pareti lato Francia/Rélevé des parois côté France

Allegato 7/ Annexe 7: Rilievi delle pareti lato Italia/Rélevé des parois côté Italie

Allegato 8/ Annexe 8: Campagna di sondaggi 2006 piattaforma F e tunnel /Campagne de reconnaissance 2006 plate-forme F et tunnel

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	17
2. GENERALITES	17
3. GEOLOGIE REGIONALE	18
3.1 Evolution structurelle et néotectonique	18
4. REVISION DES DONNEES GEOLOGIQUES-STRUCTURALES ET GEOTECHNIQUES RELEVEES LE LONG DU TUNNEL DU FREJUS	19
4.1 Evaporites et roches de couverture de la Zone Briançonnaise Externe	19
4.2 Les calcschistes de la Zone Piémontaise	20
5. ASSISE GEOLOGIQUE STRUCTURALE	21
6. EAUX SOUTERRAINES	22
7. TETE ITALIENNE	23
7.1 Sismicité	23
7.2 Linéaments géomorphologiques et dépôts quaternaires	23
7.3 Dynamique fluviale et torrentielle	24
7.4 Assise géologique et géomorphologique du site étudié	24
7.4.1 Sédiments et formes liés à l'action de la gravité	25
7.4.2 Sédiments et formes liés à l'écoulement des eaux superficielles	25
7.5 Eaux souterraines	26
7.6 Campagne de reconnaissance côté Italie	26
7.7 Emprise des déblais côté Italie	28
8. TETE COTE FRANCE	29

8.1	Sismicité	29
8.2	Formations géologiques	29
8.2.1	Géologie de la zone du Rieux Sec	30
8.3	Campagne de reconnaissance côté France	31
8.4	Dépôt côté France	31
9.	CONCLUSIONS	32

Allegati/Annexes (solo su CD/Uniquement sur CD)

Allegato 1/Annexe 1: Rapporto geologico generale/Rapport géologique générale

Allegato 2/ Annexe 2: Rapporto geologico imbocco Italia/Rapport géologique tête Italie

Allegato 3/ Annexe 3: Rapporto geologico imbocco Francia/Rapport géologique tête France

Allegato 4/ Annexe 4: Campagna di sondaggi 11/04 piattaforma Italiana/Campagne de reconnaissance plate-forme Italienne 11/04

Allegato 5/ Annexe 5: Campagna di sondaggi 12/04 piattaforma Francese/Campagne de reconnaissance plate-forme Francaise 12/04

Allegato 6/ Annexe 6 Rilievi delle pareti lato Francia/Rélevé des parois côté France

Allegato 7/ Annexe 7: Rilievi delle pareti lato Italia/Rélevé des parois côté Italie

Allegato 8/ Annexe 8: Campagna di sondaggi 2006 piattaforma F e tunnel /Campagne de reconnaissance 2006 plate-forme F et tunnel

1. INTRODUZIONE

Il Traforo Autostradale del Fréjus collega il Piemonte (Bardonecchia, Italia) con la Savoia (Modane, Francia), sull'asse Torino-Lione ed è caratterizzato da circolazione bi-direzionale su una larghezza carreggiabile di 9 metri e una lunghezza di 12'868 metri.

Allo scopo di incrementare ulteriormente la sicurezza del traforo, sarà realizzata una galleria di sicurezza parallela ad una distanza di ca. 50 m dal traforo principale. Un totale di 34 rifugi saranno realizzati ogni 367 m ca. tra il traforo e la galleria di sicurezza.

Durante i lavori di realizzazione della galleria di sicurezza, che inizieranno nel 2006, la gestione del traforo autostradale non dovrà subire impedimenti. In ogni caso i lavori, sia di genio civile che dell'impiantistica, dovranno essere effettuati senza compromettere il consueto funzionamento del traforo autostradale.

L'utilizzazione della galleria di sicurezza, prevista dopo 6 anni dall'inizio lavori, dovrà essere coordinata strettamente con quella del traforo principale. Un unico sistema di supervisione dovrà essere dunque assicurato e coordinato nell'insieme del traforo- galleria.

La presente relazione riassume la geologia nella zona del progetto sulla base degli studi dettagliati allegati al progetto preliminare redatto dalla società MUSI.Net e riportato nell'allegato.

2. GENERALITÀ

L'imbocco del traforo sul lato Italia si trova poco a monte di Bardonecchia circa a 200 m di distanza da quello ferroviario risalente alla fine dell' 800, mentre sul lato Francia si localizza nella Valle dell'Arc, poco a monte dell'abitato di Modane. Il progetto relativo alla Galleria di Sicurezza prevede la realizzazione di un tunnel, disposto sul lato Est di quello esistente, ad una distanza di circa 50 m, con andamento parallelo e quote analoghe. La lunghezza complessiva del nuovo tunnel è di circa 13 km, mentre il diametro minimo di scavo è di 9.00 m in modo da consentirne l'utilizzo con un passaggio utile del diametro di 8.00 m.

3. GEOLOGIA REGIONALE

Nel tratto delle Alpi compreso tra la Valle di Susa e la Valle dell'Arc (sul versante francese), sono rappresentati alcuni dei principali domini strutturali in cui è suddiviso il lato interno della porzione di catena a vergenza europea. Le grandi unità paleogeografiche-strutturali interessate comprendono, -secondo la denominazione geologica classica- l'Austroalpino, il Pennidico, e le unità ofiolitiche ad esse associate. Il settore Bardonecchia - Modane, in particolare, si localizza nell'ambito della zona di sutura e di maggiore ispessimento crostale ("Pennidico"), compresa fra gli antichi margini continentali europeo a Nord-Ovest ed africano a Sud-Est.

Dal versante francese, in particolare, seguendo lo schema paleogeografico tradizionale, si distinguono:

- una Zona "Briançonnaise" esterna, detta anche Zona Houllère;
- una Zona "Briançonnaise" interna;
- una Zona Piemontese costituita dalle "Roches Vertes" o "*Schistes lustrés*" (Unità del Lago Nero).
 - Breccie tettoniche

3.1 Evoluzione strutturale e neotettonica

La valle dell'Arc, come pure la media ed alta Valle di Susa, si sviluppano all'interno di un settore della catena Alpina interessata da una lunga e complessa storia deformativa, non ancora completamente esaurita.

L'evoluzione tettonica delle Alpi Occidentali non risulta esaurita ed i movimenti di origine tettonica, sebbene di intensità molto minore, sono ancora in grado di determinare effetti rilevanti, quali:

- l'attività sismica della bassa Valle di Susa e del Pinerolese;
- l'impostazione delle grandi deformazioni gravitative presenti sui versanti dell'alta valle di Susa e della Valle dell'Arc, che sembrano essere guidate dai più recenti movimenti della crosta terrestre presenti in quest'area.

4. REVISIONE DEI DATI GEOLOGICO-STRUTTURALI E GEOTECNICI RILEVATI LUNGO IL TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS

Nell'insieme, la quasi totalità del Tunnel Autostradale si sviluppa nelle unità del substrato pre-quadernario, rappresentate dall'Unità dei Calcescisti e, in misura subordinata, da litologie appartenenti alla zona Brianzonese esterna.

Procedendo da Modane in direzione di Bardonecchia, una volta superata la zona d'imbocco impostata nei terreni quadernari, il substrato roccioso è costituito, per un primo tratto da gessi ed anidriti e da rocce di copertura (dolomie, quarziti e scisti sericitici) di presunta età triassica e classicamente ascritti alla Zona Brianzonese Esterna. Procedendo verso Sud questi litotipi sono giustapposti, attraverso un contatto di natura tettonica, ad una successione di calcescisti che rappresenta la maggior parte dell'ossatura rocciosa lungo cui si sviluppa il Tunnel esistente.

I calcescisti si rilevano con continuità sino in prossimità dell'imbocco Lato Italia (progr. Km 12+743), dove tramite una superficie di erosione risultano in contatto laterale con i depositi morenici relativi all'apparato glaciale della Valle del T. Rochemolles. L'ultimo tratto del Tunnel si sviluppa per 143 m all'interno di questi depositi quadernari a granulometria grossolana (ghiaie, ciottoli e sabbie), ben adensati e a tratti cementati.

4.1 Evaporiti e rocce di copertura della Zona "Briançonnaise" Esterna

Questa porzione della successione è caratterizzata dalla presenza di una serie di piccole scaglie secondarie costituite da un complesso di litologie molto eterogenee comprendenti calcari dolomitici, scisti filladici, quarziti, gessi e corniole. Queste ultime, in particolare, presentano caratteri dell'ammasso estremamente variabili, aventi struttura da massiccia a cataclastica, con brecce a clasti costituiti prevalentemente da calcari dolomitici a corniole terrose. Localmente la roccia si presenta alterata in cemento argilloso limonitico.

La successione riscontrata nel Traforo del Fréjus è riportata nella tabella seguente:

Progressiva (km)	Descrizione litologica
0+000 ÷ 0+008	Depositi quaternari.
0+008 ÷ 0+025	Anidriti fratturate con formazione di gesso.
0+025 ÷ 0+070	Anidriti massive con 2 o 3 cavità di dissoluzione con scarse venute d'acqua.
0+070 ÷ 0+362	Anidriti sane e compatte.
0+362 ÷ 0+376	Corniole terrose, friabili a struttura brecciata.
0+376 ÷ 0+412	Corniole massive, tenere, fessurate e cataclosate con possibili venute d'acqua.
0+412 ÷ 0+448	Scisti verdi quarzitici.
0+448 ÷ 1+480	Calcescisti neri intensamente fratturati; venute d'acqua in corrispondenza del contatto (progr. 1+480 ÷ 1+550).
1+480 ÷ 1+700	Anidriti massive con elementi brecciosi di dolomie e calcari.

4.2 I calcescisti della Zona Piemontese

Proseguendo oltre la progressiva 1+710 lo scavo si sviluppa interamente all'interno dei calcescisti della Zona Piemontese.

Durante la realizzazione del traforo autostradale, all'interno della formazione dei calcescisti sono stati incontrati tre tipi litologici principali che si alternano con estrema frequenza:

- calcescisti carbonatici;
- calcescisti filladici;
- calcescisti listati.

In generale, il comportamento meccanico della roccia è influenzato dalla tessitura fortemente scistosa che conferisce al calcescisto una fissilità elevata. La roccia tende a frammentarsi lungo piani paralleli, in scaglie di dimensioni variabili, da centimetriche a decimetriche. La fratturazione è distribuita irregolarmente, con alternanze di zone poco o molto fratturate. Quando la roccia è fortemente fratturata, la massa è costituita da un insieme di scaglie lenticolari immerse in una matrice fine di aspetto milonitico. Alla scala della galleria, numerose vene si intercala-

no nei calcescisti, costituite in generale da calcite e da quarzo in quantità variabili che, in certi casi, può raggiungere anche il 20-30%.

5. ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE

In questo paragrafo vengono descritti i principali elementi strutturali osservati durante la realizzazione del Traforo Autostradale esistente.

I rilevamenti strutturali effettuati durante l'avanzamento dello scavo hanno evidenziato la presenza di diversi sistemi di discontinuità quali scistosità, faglie, giunti, che in varia misura ed a seconda delle diverse orientazioni, hanno influito sulla stabilità dello scavo stesso e sul comportamento dell'ammasso.

La scistosità presenta un carattere pervasivo a scala regionale con spaziatura da millimetrica a centimetrica all'interno dei calcescisti, mentre risulta essere meno evidente nei litotipi appartenenti all'Unità Brianzonese, quali gessi, anidriti e cor-niole.

Nel complesso sono state osservate quattro famiglie di discontinuità (rappresentate in Figura 5.1):

- discontinuità n° 1. Scistosità regionale. I piani immergono mediamente verso Ovest con inclinazione avente valori medi passanti da 25° a 70°.
- discontinuità n° 2. Diaclasi aventi direzione Est-Ovest (disposte perpendicolarmente all'asse del traforo) ed immergenti verso Sud con un'inclinazione di 45°;
- discontinuità n° 3. Fratture disposte perpendicolarmente all'asse del traforo (Est-Ovest). I piani di discontinuità immergono verso Nord (immersione opposta a quella della famiglia n° 2) con inclinazione di 45°;
- discontinuità n° 4. Caratterizzata da giacitura corrispondente alla direzione di sviluppo del tunnel (Nord-Sud), i cui piani subverticali (inclinazione media 50° ÷ 70°) immergono verso Est.

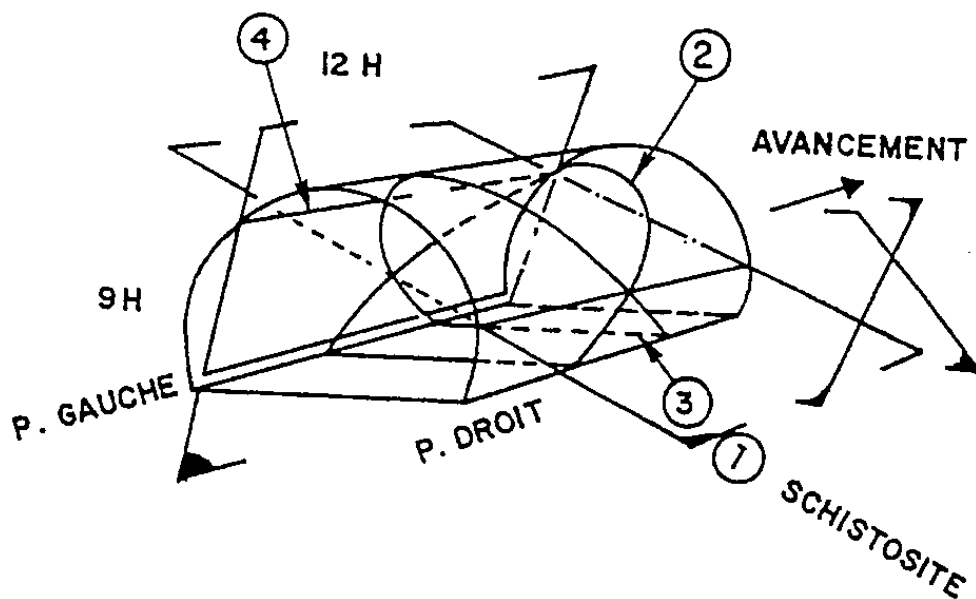


Figura 1 - Discontinuità rispetto all'asse del traforo (direzione F->I)

I rilievi di fronte e pareti di scavo del tunnel autostradale sono riportati negli allegati 5 e 6.

6. ACQUE SOTTERRANEE

Le formazioni attraversate non si prestano alla circolazione di acque sotterranee, che si sviluppa principalmente nelle fessure. Durante la realizzazione dello scavo non sono segnalate venute d'acqua di importanza rilevante. Solitamente la presenza dell'acqua è indicata come stillicidio da fine a diffuso o come piccole venute caratterizzate da portate esigue, concentrate prevalentemente in corrispondenza delle zone in cui l'ammasso risulta essere maggiormente fratturato. In particolare le venute d'acqua più importanti sono localizzate nei settori in cui la galleria incontra le principali discontinuità tettoniche; la presenza di acqua viene segnalata lungo i piani delle faglie con apertura elevata, lungo i giunti, in corrispondenza di fasce cataclastiche o di contatti tettonici.

Sulla tratta italiana sono state rilevate le seguenti venute d'acqua puntuali e di modesta entità (max 7 l/s) alle progressive (da portale F) 8+868 10+068 10+568.

Nella tratta francese sono riportate venute d'acqua nel calcescisto tra le progressive 1+750 e 1+840.

7. IMBOCCO LATO ITALIA

7.1 Sismicità

Il comune di Bardonecchia ricade all'interno della Zona 3 nella classificazione sismica del 2003 ($S=6$). Si fa presente che, alla data di redazione della relazione in allegato 2, il comune di Bardonecchia ricadeva, dal punto di vista sismico, in zona non classificata ($S=0$).

7.2 Lineamenti geomorfologici e depositi quaternari

Il paesaggio attuale deriva dall'interazione di più cicli evolutivi durante i quali si sono alternati il modellamento glaciale, quello torrentizio e i processi connessi con la dinamica gravitativa; questi cicli si sono sviluppati in varia misura nelle fasi glaciali e interglaciali, protraendosi, ad eccezione del primo ormai non più attivo, fino ai giorni nostri.

la presenza di depositi di origine glaciale fino a quote superiori ai 2500 m testimonia l'azione di lingue glaciali durante il Quaternario aventi spessori dell'ordine di 1000 m in corrispondenza della valle principale.

In corrispondenza della zona di Bardonecchia, dove confluivano delle lingue glaciali della Valle Stretta, della Valle di Rochemolles, della Valle del Fréjus e della Rho, si avevano i maggiori spessori della massa glaciale e quindi le maggiori sollecitazioni.

Il versante destro della Valle del Rochemolles, interessato dal progetto, presenta una esposizione a SE, e ripide pendici che si raccordano con il fondovalle mediante una brusca variazione di pendenza. Esso è costituito da una dorsale allungata NNE-SSW che parte dall'abitato di Bardonecchia (quota di 1312 m), per poi risalire a quote superiori ai 3000 m (Cima del Vallone).

Nel complesso il versante del progetto si presenta totalmente denudato con affioramenti e/o subaffioramenti di substrato costituito da calcescisti. Sulla porzione NW del versante, sopra l'attuale Imbocco del Traforo Autostradale, sono presenti anche piccoli ripiani erbosi, costituiti da terrazzi di origine glaciale.

Non sono segnalati fenomeni gravitativi sul versante interessato (destra del torrente Rochemolles) nella zona dell'imbocco della Galleria di Sicurezza, mentre sulla parte opposta (versante sinistro del torrente Rochemolles) sono stati riconosciuti estesi fenomeni gravitativi.

Da un recente studio a monte della zona interessata dal progetto risulta una zona in frana attiva in versante destro.

7.3 Dinamica fluviale e torrentizia

La rete idrografica è caratterizzata, in concomitanza con elevate precipitazioni, dallo sviluppo di fenomeni impulsivi, in grado di attivare sia erosioni al piede dei versanti (compromettendone la stabilità), sia rilevanti fenomeni di trasporto solido (colate detritiche o debris flow).

Il torrente Rochemolles è un corso a regime torrentizio, a cui è stato attribuito un indice di disequilibrio pari a 9.77 (per ulteriori informazioni in merito allo studio Reg. Piemonte 1994, si veda l'allegato 2).

7.4 Assetto geologico e geomorfologico dell'area indagata

Gli affioramenti del substrato roccioso si estendono lungo il versante destro della Valle del Rochemolles e tra l'Imbocco del Traforo Ferroviario e quello Autostradale.

Il litotipo più diffuso è rappresentato da calcescisti costituiti da alternanze di letti marmorei, calcemicascisti e subordinate porzioni filladiche, le cui superfici di foliazione suddividono la roccia in straterelli di spessore centimetrico-decimetrico. Unità litologiche di copertura sono rappresentate in maggioranza da formazioni a carattere detrito-colluviale e, in ordine decrescente, da depositi detritici, depositi di origine glaciale, depositi alluvionali e di origine gravitativa

7.4.1 Depositi e forme legati all'azione della gravità

Attorno all'area del progetto si rilevano i seguenti dissesti:

Versante destro Rochemolles:

- dissesti superficiali minori nella zona del progetto
- ampi fenomeni gravitativi tra la Comba Challier e l'abitato di Rochemolles

Versante sinistro Rochemolles:

- movimento gravitativo della copertura superficiale e di parte della porzione superficiale dell'ammasso roccioso intensamente fratturato (più a Nord rispetto all'area interessata direttamente dal previsto Imbocco della galleria di sicurezza).
- ampi fenomeni gravitativi fino al borgo vecchio di Bardonecchia

7.4.2 Depositi e forme legati allo scorrimento delle acque superficiali

Sulle sponde del torrente Rochemolles e sul fondovalle i depositi alluvionali sono costituiti prevalentemente da clasti eterometrici, poligenici, angolosi o subarrotondati, frammisti a matrice sabbioso-ghiaiosa avente una colorazione prevalentemente grigia, conferita dalla predominanza litologica dei calcescisti.

Il drenaggio del Torrente Rochemolles è caratterizzato da attività torrentizia con abbondante trasporto solido ed intensa erosione. Eventi alluvionali di tipo torrentizio del Torrente di Rochemolles:

- 24 settembre 1920: opere di attraversamento e spondali danneggiati nei pressi della località Difensiva del Traforo Ferroviario del Fréjus;
- 26 settembre 1947: danni lungo la strada comunale Bardonecchia-Rochemolles per un tratto di circa 1000 m;
- 3 maggio del 1949: danni lungo la strada comunale Bardonecchia-Rochemolles;
- 13-14 giugno del 1957: distruzione del ponte in località Difensiva, e muri di sostegno della strada comunale Bardonecchia-Rochemolles danneggiati in più punti.
- 5 maggio 1961: l'alveo si approfondì sensibilmente producendo profonde erosioni sulle sponde sinistra e destra in corrispondenza dell'abitato di Bardonecchia.

- Ottobre 2000: diffusi fenomeni di erosione spondale in sinistra idrografica del Torrente Rochemolles poco a monte del ponte di Bardonecchia, ingente accumulo di detrito alluvionale nella piana posta più a monte dell'area di Imbocco del Traforo Autostradale del Frèjus.

Una dettagliata esposizione degli eventi e dei danni registrati può essere trovata nell'allegato 2.

7.5 Circolazione d'acqua sotterranea

In funzione del ruolo che le diverse unità svolgono in relazione alla circolazione d'acqua di falda si individuano due ambienti idrogeologici ben distinti:

- settore di fondovalle: falda libera legata ai depositi alluvionali di fondovalle e secondariamente coinvolgente i sottostanti depositi glaciali ove il grado di permeabilità lo consente
- settore di versante: falda libera di versante impostata nelle unità di copertura quaternarie e nei depositi di riporto, giacente sull'interfaccia substrato roccioso-coperture)

7.6 Campagna geognostica lato Italia

Si rimanda all'allegato 2 per i risultati della campagna geognostica collegata al progetto preliminare. Ad integrazione di tali dati si è realizzata, nel novembre 2004, una campagna di 4 sondaggi con prove SPT a varie quote.

Nell'ambito di tale campagna sono stati eseguiti quattro sondaggi carotati in piattaforma italiana di profondità variabile tra 15 e 21 m. I risultati sono così riassumibili:

Sond.	Prof. [m]	Localizzazione	Risultato prove SPT	Osservazioni
S1	15	Uscita sottopasso in progetto	4.50 7/6/8 6.00 9/12/14 7.50 9/11/10 9.00 11/14/14 12.0 15/17/17	
S2	15	Ingresso sottopasso in progetto	3.00 5/9/5 6.00 4/6/7 7.50 5/8/8 9.00 32/R13 12.0 9/12/16	
S3	21	Tratta artificiale galleria di sicurezza (in prossimità della cabina ENEL)	4.50 7/5/7 6.00 6/8/8 7.50 8/10/9 9.00 9/11/12 12.0 6/R12	Attrezzato con piezometro (falda a -12.53m il 05.11.04)
S4	15	Zona di stoccaggio conci	4.50 6/9/9 6.00 4/5/4 7.50 8/6/9 9.00 8/10/8 12.0 39/R3	

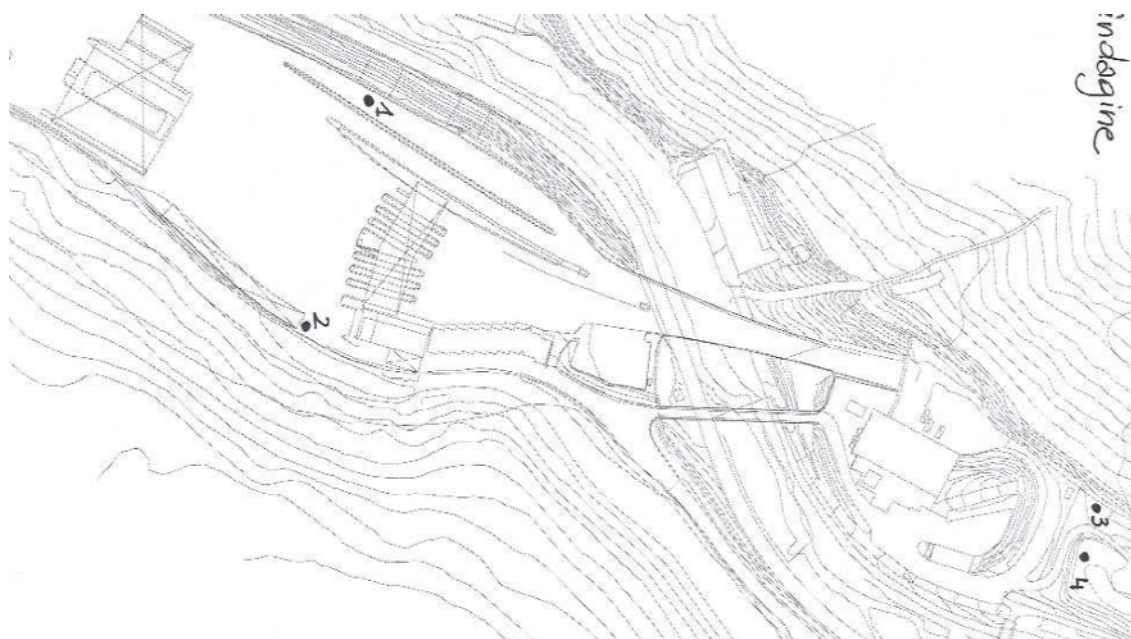


Figura 2 - Planimetria campagna di indagini 11/2004

7.7 Discarica lato Italia

In progetto preliminare la discarica lato Italia era prevista a monte dell'attuale centrale di ventilazione. Tale quantitativo, unito alle instabilità superficiali rile-

vate in zona, conduce, dal punto di vista geologico, a sconsigliare l'utilizzo dell'area a monte della centrale di ventilazione come discarica, come previsto nel progetto preliminare. Inoltre questa soluzione comporterebbe, in via preventiva, il consolidamento dei depositi al piede e lungo il versante con interventi strutturali di sostegno di una certa importanza (berlinesi, muri di sostegno, drenaggi artificiali, etc.).

A tale possibilità appare quindi preferibile il trasporto a discariche già esistenti nella valle (Clarea, Colombera od altre), raggiungibili direttamente via autostrada. Peraltro tale opportunità è prospettata anche dalle richieste avanzate dagli enti locali in ambito ambientale. Oltre alla motivazione puramente geologico-geotecnica menzionata in precedenza, ulteriori motivazioni che sconsigliano la localizzazione della discarica nella posizione indicata sono:

- Motivazioni di carattere idrogeologico: il reticolo superficiale nella zona ha trovato, sin dalla costruzione del traforo, un equilibrio consolidato; i lavori previsti ne comporterebbero la de-naturalizzazione.
- Motivazioni di ordine paesaggistico-ambientali: tale area risulta oramai completamente rinaturalizzata, caratterizzata da bassa e alta vegetazione.

La stabilità del versante dovrà essere d'altra parte verificata con un adeguato piano di monitoraggio sin dalle prime fasi della progettazione esecutiva allo scopo di analizzare il rischio di instabilità superficiale del pendio ed eventualmente estendere le opere di protezione presenti in corrispondenza della centrale esistente anche sulla zona degli edifici esterni lato Italia.

8. IMBOCCO LATO FRANCIA

L'area del progetto è situata sul versante Sud della Valle dell'Arc, al di sopra di Modane, tra quota 1000 m s.l.m. e quota 1250 m s.l.m. L'imbocco della galleria di sicurezza sarà ubicato sulla sinistra (EST) dell'imbocco del tunnel autostradale.

Geologicamente la zona appartiene alle scaglie del Trias, al limite della Unità dei Calcescisti, ed è costituita in gran parte da gessi ed anidridi.

8.1 Sismicità

L'area è stata sottoposta ad una attività tettonica intensa. Allo stato attuale, questo sito continua a presentare un rischio sismico non trascurabile ed è classificato come zona Ib.

8.2 Formazioni geologiche

Nell'area di progetto è possibile distinguere le seguenti formazioni geologiche tutte appartenenti al Trias:

- Le quarziti, (cava Saint-Antoine 500 m a N-E dell'imbocco del Traforo),
- Il Trias carbonatico (calcari e dolomie),
- Le breccie dolomitiche.
- La falda cosiddetta degli "Schistes lustrés" (calcescisti indifferenziati).

I terreni del Quaternario osservati nella regione sono :

- I terreni glaciali wurmiani (morene),
- I coni di deiezione dei torrenti, antichi o attuali,
- I ghiaioni, talvolta smottati, spesso costituiti da morene rimaneggiate e pertanto difficili da distinguere con queste ultime.
- I depositi artificiali, molto importanti nella zona dell'imbocco del traforo autostradale del Fréjus.

8.2.1 Geologia della zona del Rieu Sec

La zona interessata dalla discarica occupa il talweg del Rieu Sec, situato sul lato Est del blocco di gesso affiorante, sino al corso del Rieu Roux. In questa zona la coltre superficiale è ricoperta da strati di morena di versante (materiali morenici e calcescisti).

Nella porzione a monte della piattaforma, ove sorge la centrale di ventilazione, si nota un contatto anomalo affiorante tra il massiccio di anidriti a valle e i calcari e le dolomie a monte.

La zona del "Rieu Sec" e il piazzale di accesso al traforo hanno costituito la discarica dei materiali durante la costruzione del Traforo. Il contatto tra depositi in sito e riporto è difficilmente distinguibile a causa dell'omogeneità dei materiali.

Infine, in superficie, il processo di idratazione delle anidriti ne comporta la trasformazione in gesso e, di conseguenza, la dissoluzione. Tale fenomeno è tuttavia ridotto nella zona del futuro imbocco della galleria di sicurezza a causa della morfologia del versante, che regola lo scorrimento delle acque superficiali in modo tale da convogliarle nel canalone.

La dissoluzione dell'anidrite potrebbe ingenerare la formazione di vuoti importanti in profondità, che potrebbero propagarsi verso la superficie. Val la pena di sottolineare però che nelle varie campagne geognostiche non si trova traccia di tali vuoti.

Si suggerisce di effettuare una campagna di indagini sismiche allo scopo di rilevare eventuale presenza, posizione e dimensione di tali vuoti, che dovranno essere colmati prima di procedere alla messa in opera della discarica. In tale occasione si potrà mettere in evidenza l'eventuale presenza di bombe nella zona detta Gollet.

8.3 Campagna geognostica lato Francia

Per il dettaglio delle indagini effettuate, nella fase di progetto preliminare, alla piattaforma francese si faccia riferimento all'allegato 3.

Per la fase di progetto definitivo in piattaforma francese sono stati effettuati 10 sondaggi a distruzione di profondità variabile tra 10 e 25 m, e 156 prove pressiometriche il cui dettaglio può essere ritrovato nell'allegato 5.

Sond.	Prof. [m]	Localizzazione	Risultato medio prove Pressiometriche [MPa]				
			a 5 m	A 10 m	A 15 m	A 20 m	A 25 m
SP1	15	Centrale di ventil. galleria	15	25	25	-	-
SP1bis	20	Centrale di ventil. galleria	20	40	25	50	-
SP2	20	Centrale di ventil. galleria	15	20	20	10	-
SP3	20	Centrale di ventil. galleria	10	10	35	20	-
SP4	20	Centrale di ventil. galleria	12	20	30	40	-
SP5	10	Sovrappasso Imbocco Tunnel	5	12	-	-	-
SP6	20	Sovrappasso Imbocco Tunnel	10	11	16	18	-

			Risultato medio prove Pressiometriche [MPa]				
SP7	10	Edificio raggruppamento feriti	32	45	-	-	-
SP8	10	Edificio raggruppamento feriti	15	15	-	-	-
SP9	24	Zona del Gollet	25	15	35	40	25

8.4 Discarica lato Francia

L'area della discarica lato Francia dipenderà dall'esito della DUP. Sono state determinate due zone:

- talweg del Rieu Sec.
- cava SO.CA.MO.

Nel primo caso, corrisponde al talweg del Rieu Sec. Quest'area è già stata parzialmente utilizzata come deposito per il materiale di smarino del Tunnel Autostradale. La sistemazione finale della discarica comporterà un pendio con inclinazione minore dell'attuale, dunque con coefficienti di sicurezza più elevati. La forma del talweg sarà mantenuta allo scopo di non modificare i recapiti delle acque di ruscellamento.

Occorre tuttavia prevedere una campagna di monitoraggio del pendio, eventualmente recuperando il sistema attualmente installato. Il ruscellamento delle acque superficiali sarà regimentato in maniera analoga all'attuale con embrici tra una berma e l'altra ogni 25 m circa. Allo scopo di ridurre la portata d'acqua trasferita verso il fondo valle (Gollet), l'acqua di pioggia nella parte alta dell'area potrà essere deviata verso il Rieu Roux all'altezza dell'ultimo tornante della strada di cantiere che collega il Gollet alla piattaforma.

Al piede del pendio sarà realizzata una trincea drenante per favorire l'infiltrazione dell'acqua di ruscellamento nel sottosuolo, in maniera identica a quanto avviene attualmente.

9. CONCLUSIONI

La galleria di sicurezza sarà scavata ad interasse medio di 32 m dal tunnel autostradale in esercizio. Occorrerà mettere in opera un opportuno sistema di monitoraggio dei carichi indotti sulle strutture dello stesso (rivestimenti e soletta intermedia)

Il versante a monte della zona di cantiere lato Italia e quello a valle della piattaforma lato Francia vanno opportunamente strumentati sin dalle prime fasi della progettazione esecutiva allo scopo di rilevare eventuali movimenti superficiali. Dal lato Italia potrebbe essere necessaria l'estensione delle opere di protezione attualmente presenti a monte della zona della centrale di ventilazione, mentre dal lato Francia una modifica della geometria finale della discarica potrà rendersi necessaria una volta disponibile un campione significativo di letture.

Prima dell'inizio della posa a discarica si suggerisce l'integrazione delle campagne di sondaggio con prove sismiche nella zona del Gollet al fine di evidenziare eventuali vuoti negli strati idratati delle anidriti superficiali.

1. INTRODUCTION

Le Tunnel routier du Fréjus relie le Piémont à la Savoie (Bardonnèche - Modane), sur l'axe Turin-Lyon. Il est caractérisé par une circulation bidirectionnelle sur une largeur de chaussée de 9 mètres et sur une longueur de 12'868 mètres.

Dans le but de sécuriser ultérieurement le fonctionnement du tunnel, une galerie de sécurité sera réalisée parallèlement (à une distance d'environ 30 m) au tunnel routier. Des abris, 34 au total, seront réalisés dans les rameaux réalisés, en moyenne, tout les 367m entre la galerie et le tunnel routier.

Pendant les travaux de réalisation de la galerie de sécurité, qui débiteront en 2006, l'exploitation du tunnel routier ne devra pas être mise en cause. Tous les travaux, de génie civil comme d'équipements, devront donc être réalisés sans mettre en péril le fonctionnement du tunnel routier.

L'exploitation de la galerie de sécurité, prévue 6 ans après commencement des travaux, devra être menée conjointement avec celle du tunnel routier. Un unique système de supervision devra par conséquent coordonner l'exploitation de l'ensemble Galerie-Tunnel.

Ce document résume les aspects liés à la géologie dans la zone du projet sur la base des études détaillées faisant partie du projet préliminaire rédigé par la société MUSI.net et joint en annexe.

2. GENERALITES

Les entrées du Tunnel se situent, côté Italie, peu en amont de Bardonnèche, à 200 m environ du tunnel ferroviaire, remontant à la fin du XIXe siècle, et, côté France, dans la vallée de l'Arc, peu en amont de la ville de Modane. Le projet de la galerie de sécurité prévoit la réalisation d'un tunnel, à l'est de l'existant, à une interdistance de 50 m environ, avec tracé en plan et en élévation similaire au tunnel existant. La longueur totale de la galerie de sécurité est de 13 km environ, tandis que le diamètre minimale de creusement est de 9.00 m, ce qui comporte un diamètre intérieur de 8.00 m.

3. GEOLOGIE REGIONALE

La partie des Alpes comprise entre la Vallée de Suse et la Vallée de l'Arc (sur le versant français) présente quelques-uns des principaux domaines structuraux partageant le côté interne de la portion de chaîne à vergence européenne. Les grandes unités paléogéographiques structurales intéressées comprennent, -selon la dénomination géologique classique- l'Austro-alpin, le Pennique, et les unités ophiolitiques associées. Le secteur Bardonnèche - Modane, en particulier, se situe dans la zone de suture et d'épaississement majeur de la croûte ("Pennique"), comprise entre les anciennes marges continentales européennes au nord-ouest et africaines au sud-est.

Si l'on suit le schéma paléogéographique traditionnel à partir de la tête française, on reconnaît:

- une Zone briançonnaise externe, dite aussi Zone Houillère;
- une Zone briançonnaise interne;
- une Zone piémontaise constituée de Roches Vertes ou "Schistes lustrés".
- des éboulis de versant

3.1 Evolution structurale et néotectonique

La vallée de l'Arc, ainsi que la Moyenne et la Haute Vallée de Suse, se développent à l'intérieur d'un secteur de la chaîne alpine intéressé par une longue et complexe histoire de déformation, qui n'est pas encore complètement achevée.

L'évolution tectonique des Alpes occidentales n'est toujours pas terminée et les mouvements d'origine tectonique, quoique de très faible intensité, sont encore à même de déterminer des effets importants, comme:

- l'activité sismique de la basse Vallée de Suse et du Pinérolais;
- les grandes déformations gravitaires présentes sur les versants de la haute vallée de Suse et de la Vallée de l'Arc, qui semblent être guidées par de plus récents mouvements de la croûte terrestre présents dans cette zone.

4. REVISION DES DONNEES GEOLOGIQUES-STRUCTURALES ET GEOTECHNIQUES RELEVÉES LE LONG DU TUNNEL DU FREJUS

Dans l'ensemble, la quasi totalité du Tunnel Routier est ouverte dans les unités du substratum pré-quadernaire représentées par l'Unité des Calcschistes, et, dans une moindre mesure, par des lithologies appartenant à la Zone Briançonnaise externe. Si l'on se déplace de Modane vers Bardonnèche, après avoir dépassé le site d'entrée inséré dans des terrains quadernaires, le substratum rocheux est constitué, sur un premier tronçon, de gypses et anhydrites et de roches de couverture (dolomies, quartzites et schistes séritiques) probablement d'âge triasique et attribués traditionnellement à la Zone Briançonnaise Externe. En continuant vers le sud, ces lithotypes sont juxtaposés, à travers un contact de nature tectonique, à une succession de calcschistes représentant la plus grande partie de l'ossature rocheuse le long de laquelle se développe le tunnel actuel.

Ces roches, traditionnellement attribuées par les auteurs italiens à la Zone piémontaise ou Nappe des calcschistes à Roches Vertes, (correspondant à la nappe des *Schistes lustrés*), ont été adressées, dans la nouvelle carte géologique officielle réalisée sur le versant italien, à l'unité ophiolitique du Lago Nero.

La présence des calcschistes est constante jusqu'aux abords de la tête côté Italie (P.K. 12+743), où, à travers une surface d'érosion, ils sont en contact latéral avec les dépôts morainiques du glacier de la Vallée du Torrent Rochemolles. La dernière partie du Tunnel se développe sur 143 m à l'intérieur de ces dépôts quadernaires à granulométrie grossière (graviers, galets et sables), bien comprimés et par endroits cimentés.

4.1 Evaporites et roches de couverture de la Zone Briançonnaise Externe

Cette portion de (la) succession est caractérisée par la présence d'une série de petites écailles secondaires constituées d'un groupe de lithologies très hétérogènes comprenant des calcaires dolomitiques, des schistes phylladiques, des quartzites, des gypses et des cargneules. Ces dernières, en particulier, présentent des caractères de massif rocheux extrêmement variables, dont la structure peut être massive ou bréchique, avec des brèches dont les clastes sont constituées surtout

de calcaires dolomitiques à cargneules terreuses. Localement, la roche est altérée en ciment argilo-limoneux.

La succession des principaux lithotypes rencontrés lors du creusement du Tunnel routier du Fréjus est reportée dans le tableau suivant:

Point metrique (km)	Description lithologique
0+000 ÷ 0+008	Dépôts quaternaires.
0+008 ÷ 0+025	Anhydrites fracturées avec formation de gypse.
0+025 ÷ 0+070	Anhydrites massives avec 2 ou 3 cavités de dissolution à rares venues d'eau.
0+070 ÷ 0+362	Anhydrites saines et compactes.
0+362 ÷ 0+376	Cargneules terreuses, friables à structure bréchique.
0+376 ÷ 0+412	Cargneules massives, tendres, fissurées et caillouteuses avec venues d'eau possibles.
0+412 ÷ 0+448	Schistes verts quartziques.
0+448 ÷ 1+480	Calcschistes noires intensément fracturées; venues d'eau en correspondance du contact (pk 1+480 ÷ 1+550).
1+480 ÷ 1+700	Anhydrites massives avec éléments bréchiques de dolomies et calcaires.

4.2 Les calcschistes de la Zone Piémontaise

En poursuivant au-delà du P.K. 1+710, l'excavation se développe entièrement à l'intérieur des calcschistes de la Zone Piémontaise.

Lors de la construction du tunnel routier, à l'intérieur de la formation des calcschistes, trois types principaux de faciès ont été rencontrés en alternance fréquente:

- calcschistes carbonatés;
- calcschistes phylladiques;
- calcschistes bordés à schistosité évidente.

En général, le comportement mécanique de la roche est marqué par la texture fortement schisteuse qui confère au calcschiste une fissilité élevée. La roche tend à se fragmenter, le long de plans parallèles, en écailles de dimensions variant de centimétrique à décimétrique. La fracturation est irrégulièrement distribuée, avec alternance de zones peu fracturées et de zones très fracturées. Lorsque la roche est fortement fracturée, la masse est constituée d'un ensemble d'écailles lenticulaires immergées dans une matrice fine d'aspect mylonitique.

A l'échelle de la galerie, de nombreuses veines s'intercalent dans les calcschistes, en général constituées de calcites et de quartz en quantité variable, qui, dans certains cas et localement, atteignent des pourcentages de 20-30%.

5. ASSISE GEOLOGIQUE STRUCTURALE

Ce paragraphe décrit les principaux éléments structuraux observés lors de la réalisation du Tunnel Routier actuel.

Les relevés structuraux effectués pendant l'avancement de l'excavation ont révélé la présence de différents systèmes de discontinuité comme des schistosités, des failles, des joints, qui, de façons différentes et selon les orientations, ont influé sur la stabilité de l'excavation même et sur le comportement de l'amas.

La schistosité présente un caractère pervasif à l'échelle régionale avec espacement de millimétrique à centimétrique à l'intérieur des calcschistes, tandis qu'elle est moins évidente dans les lithotypes appartenant à l'Unité Briançonnaise, comme les gypses, les anhydrites et les cargneules.

Dans l'ensemble, quatre familles de discontinuité ont été identifiées (représentées en Figure 1):

- discontinuité n° 1. Schistosité régionale. Les plans immergent en moyenne vers l'Ouest avec inclinaison moyenne entre 25° et 70°;
- discontinuité n° 2. Diaclases en direction Est-Ouest (disposées perpendiculairement à l'axe du tunnel) et immergentes vers le Sud avec une inclinaison de 45°;
- discontinuité n° 3. Fractures disposées, comme les précédentes, perpendiculairement à l'axe du tunnel (Est-Ouest). Les plans de discontinuité immergent

vers le Nord (immersion opposée à celle de la famille n° 2) avec inclinaison de 45° ;

- discontinuité n° 4. Discontinuités parallèles à l'axe du tunnel (Nord-Sud), et caractérisés par des plans subverticaux (inclinaison moyenne 50° ÷ 70°) immergés vers l'est.

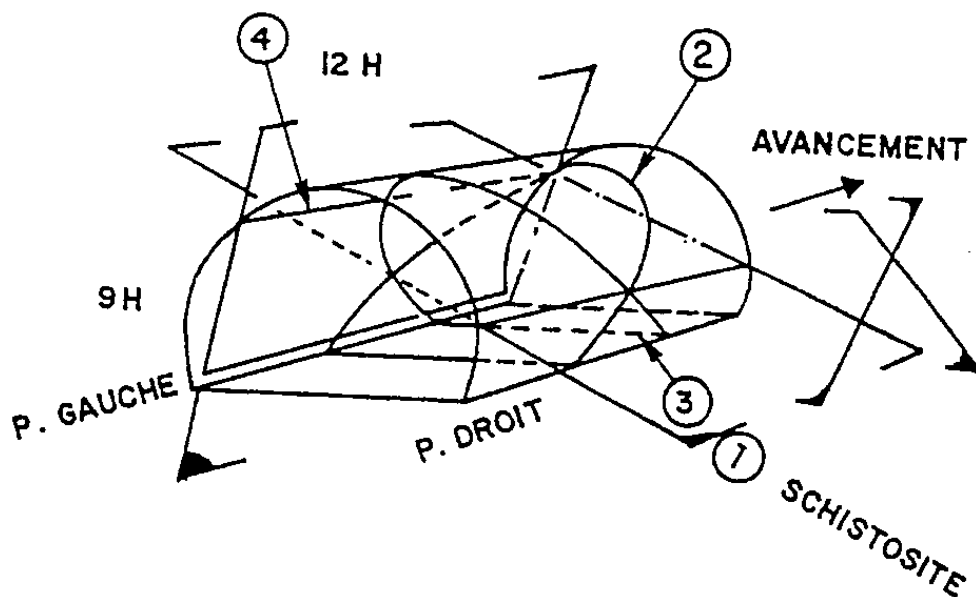


Figura 1 - Systèmes de discontinuité par rapport à la direction d'avancement de l'excavation (F->I)

Les relevés de front de taille et parois pendant l'excavation du Tunnel Routier sont joints en annexe 5 et 6.

6. EAUX SOUTERRAINES

Les formations traversées présentent une très faible circulation d'eau souterraine, qui se fait principalement à travers les fissures. Lors de la réalisation de l'excavation, aucune venue d'eau d'importance n'a été signalée. D'habitude, la présence d'eau est indiquée par un suintement pouvant être fin ou répandu, ou par de petites venues caractérisées par de faibles débits, concentrées essentiellement au niveau des zones où la masse est plus fracturée. En particulier, les venues d'eau les plus importantes sont localisées dans les secteurs où le tunnel ren-

contre les principales discontinuités tectoniques; la présence d'eau est signalée le long des plans de failles à ouverture élevée, le long des joints, au niveau des bandes cataclastiques ou de contacts tectoniques.

Dans le tronçon italien, on a répertorié les venues d'eau ponctuelles suivantes, d'intensité modeste (max 7 l/s) : à partir de la tête France, aux P.K. 8+868, P.K. 10+068 et P.K. 10+568.

Dans le tronçon français, des venues d'eau dans le calcschiste ont été répertoriées entre les PK 1+750 et 1+840.

7. TETE ITALIENNE

7.1 Sismicité

La commune de Bardonnèche se situe dans la Zone 3 de la classification sismique du territoire national rédigée en 2003 (S=6). Il est important de noter que, lors de la rédaction du document en annexe 2, le territoire de Bardonnèche était classé non sismique (S=0).

7.2 Linéaments géomorphologiques et dépôts quaternaires

Le paysage actuel dérive de l'interaction de plusieurs cycles d'évolution au cours desquels se sont alternés le modelé glaciaire, le modelé torrentiel et les processus liés à la dynamique gravitaire; ces cycles se sont développés de façon variable pendant les phases glaciaires et interglaciaires, se prolongeant, exception faite pour le premier qui n'est plus actif, jusqu'à nos jours.

La présence de sédiments d'origine glaciaire jusqu'à des cotes supérieures à 2500 m témoigne de l'action de langues glaciaires, dont l'épaisseur pouvait atteindre, au niveau de la vallée principale, des valeurs de l'ordre de 1000 m.

En correspondance de la zone de Bardonnèche, jonction des langues glaciaires de la Vallée Etroite, de la Vallée de Rochemolles, de la Vallée du Fréjus et de la Rho, se développaient les plus grandes épaisseurs de la masse glaciaire et donc les plus fortes sollicitations.

Le versant droit de la Vallée de Rochemolles, intéressé par le projet, présente une exposition au SE et est constitué de pentes raides se raccordant au fond de la vallée par une brusque variation de pendage. Il est constitué d'une dorsale allongée NNE-SSW qui part de l'agglomération de Bardonnèche (cote 1312 m), pour remonter ensuite à des cotes supérieures à 3000 m (Cime du Vallon).

En général, le versant se présente complètement dénudé, avec des affleurements et/ou des sub-affleurements de substratum lithoïde calcschisteux. Sur la portion NW du versant, au-dessus de l'actuelle tête du tunnel routier, sont aussi présents de petits replats herbeux, composés de terrasses d'origine glaciaire.

Des phénomènes gravitaires ne sont pas indiqués dans l'emprise de la tête de la galerie de sécurité sur le versant intéressé (droite du torrent Rochemolles), tandis que, sur le versant opposé des phénomènes étendus sont connus.

Une étude récente a fait remarquer une zone d'éboulis actif en amont de l'emprise du projet sur le versant droit du torrent Rochemolles.

7.3 Dynamique fluviale et torrentielle

Le réseau hydrographique est caractérisé, en correspondance avec des précipitations élevées, par le développement de phénomènes impulsifs, pouvant activer tant des érosions au pied des versants (en compromettant la stabilité), que des phénomènes importants de transport solide (coulées détritiques ou *debris flow*).

Le torrent Rochemolles est un cours d'eau à régime torrentiel, auquel on a attribué un Indice de Déséquilibre égal à 9.77 (pour plus d'informations sur l'étude de la Région Piémont, voir l'annexe 2 par. 4.3.2).

7.4 Assise géologique et géomorphologique du site étudié

Les affleurements du substratum rocheux sont étendus le long du versant droit, en correspondance du talus droit de la vallée du Rochemolles, et entre la tête du Tunnel Ferroviaire et celle du Tunnel Routier.

Le lithotype le plus diffus est représenté par des calcschistes constitués d'alternances de lits de marbre, de calcmicaschistes et de portions phylladiques subordonnées, dont les surfaces de foliation divisent la roche en couches d'épaisseur centimétrique-décimétrique.

Les Unités lithologiques de couverture sont constituées en majorité de formations à caractère détritico-colluvial et, par ordre décroissant, de sédiments détritiques, de sédiments d'origine glaciaire, et de sédiments alluvionnaires et d'origine gravitaire.

7.4.1 Sédiments et formes liés à l'action de la gravité

Aux environs de l'aire du projet, les phénomènes suivants sont enregistrés:

Versant droit du torrent Rochemolles:

- Des phénomènes déformants superficiels, mineurs dans le contexte du projet
- des phénomènes gravitaires, importants entre la Comba Challier et le village de Rochemolles

Versant gauche du torrent Rochemolles:

- mouvement gravitaire impliquant la couverture superficielle ainsi qu' une portion de la partie superficielle du massif rocheux intensément fracturé (plus au nord par rapport au site directement concerné par la future tête de la galerie de sécurité).
- D'amples phénomènes gravitaires jusqu'au vieux bourg de Bardonnèche.

7.4.2 Sédiments et formes liés à l'écoulement des eaux superficielles

Sur les berges du torrent Rochemolles et au fond de la vallée, les sédiments alluvionnaires sont constitués surtout de clastes pluri-métriques, polygéniques, anguleuses ou subarrondies, mélangées à une matrice sablo-graveleuse de coloration principalement grise, due à la prédominance lithologique des calcschistes.

Le drainage du Torrent Rochemolles est caractérisé par une activité torrentielle avec un transport solide abondant et une intense érosion. Les cas de plus violente activité torrentielle du torrent Rochemolles sont reportés ci-dessous:

- 24 septembre 1920: endommagements des ouvrages de traversée et des berges aux abords de la localité Difensiva du Tunnel ferroviaire du Fréjus;

- 26 septembre 1947: dégâts le long de la route communale Bardonnèche - Rochemolles sur un tronçon de 1000 m env.;
- 3 mai 1949: dégâts le long de la route communale Bardonnèche - Rochemolles;
- 13-14 juin 1957: le pont de la localité Difensiva fut détruit, et les murs de soutènement de la route communale Bardonnèche -Rochemolles subirent encore des dégâts à plusieurs endroits.
- 5 mai 1961: le lit du Torrent de Rochemolles au droit de l'agglomération de Bardonnèche, s'approfondit sensiblement, produisant de profondes érosions sur les berges gauche et droite.
- Octobre 2000: des phénomènes diffus d'érosion des berges à la gauche hydrographique du Torrent Rochemolles légèrement en amont du pont de Bardonnèche, grands éboulis alluvionnaires dans la plaine plus en amont du site de la tête du Tunnel routier du Fréjus

Le compte rendu détaillé des événements et de dommages enregistrés par le torrent de Rochemolles est reporté dans l'annexe 2.

7.5 Eaux souterraines

Selon le rôle joué par les différentes unités en matière de circulation d'eau de nappe, on peut définir deux secteurs hydrogéologiques distincts:

- secteur de fond de vallée : nappe libre liée aux dépôts d'alluvions du fond de la vallée et qui comprend les éboulis de glacier selon la perméabilité;
- secteur de versant : nappe libre dans les couches superficielles et dans les dépôts d'éboulis, appuyant sur l'interface massif rocheux-couches superficielles

7.6 Campagne de reconnaissance côté Italie

Les résultats de la campagne de reconnaissance liée au projet préliminaire sont reportés dans l'annexe 2.

Afin d'intégrer ces données nous avons réalisé, au mois de novembre 2004, une campagne supplémentaire comprenant 4 sondages avec essais SPT exécutés à des profondeurs différentes.

Dans cette campagne, nous avons réalisé quatre sondages carottés à la plate-forme italienne, d'une profondeur variable entre 15 et 21 m. Les résultats sont ainsi résumés:

Sond.	Prof. [m]	Position	Résultat essais SPT	Notes
S1	15	Sortie passage souterrain en projet	4.50 7/6/8 6.00 9/12/14 7.50 9/11/10 9.00 11/14/14 12.0 15/17/17	
S2	15	Entrée passage souterrain en projet	3.00 5/9/5 6.00 4/6/7 7.50 5/8/8 9.00 32/R13 12.0 9/12/16	
S3	21	Tronçon à l'air libre galerie de sécurité (à proximité cabine ENEL)	4.50 7/5/7 6.00 6/8/8 7.50 8/10/9 9.00 9/11/12 12.0 6/R12	Equipe avec piézomètre (nappe à -12.53m le 05.11.04)
S4	15	Zone de stockage voussoirs	4.50 6/9/9 6.00 4/5/4 7.50 8/6/9 9.00 8/10/8 12.0 39/R3	

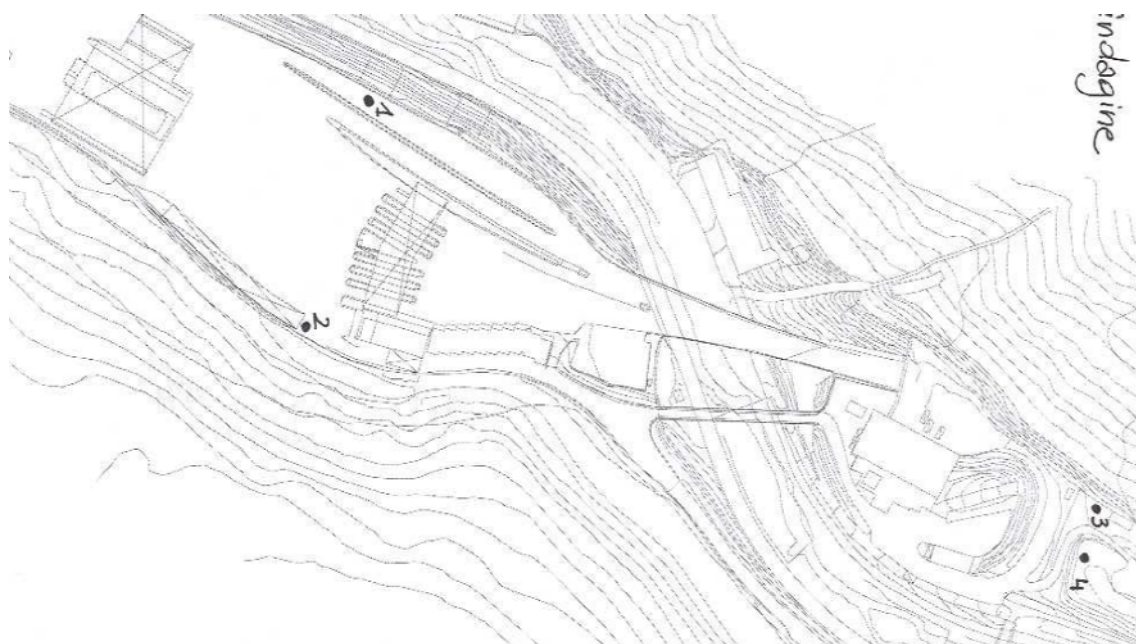


Figure 2 - Vue en Plan campagne de reconnaissance 11/2004

7.7 Emprise des déblais côté Italie

Dans le projet préliminaire, les matériaux provenant de l'excavation de la galerie de sécurité auraient dû combler l'espace en amont de l'usine de ventilation existante et du site de la tête du tunnel. Suite au changement du diamètre de creusement, de 5.80 m dans le projet préliminaire à 6.30 m dans le projet définitif, l'augmentation du volume de déblai sera de l'ordre de 20%. Cette quantité vu les instabilités superficielles relevées dans l'emprise, mène à déconseiller, du point de vue géologique, la destination de la zone en amont de l'usine de ventilation à cet effet, comme proposé dans le projet préliminaire. L'utilisation de cette emprise comme dépôt des déblais devrait être subordonnée à des travaux de confortement du pied du remblai et du versant avec des interventions de soutènement d'une certaine importance (parois, murs de soutènement, drains artificiels...). Ainsi, le transport vers l'un des sites d'anciennes carrières de la vallée (par exemple Clarea, Colombera, ou autres), desservies directement par l'autoroute, apparaît nettement préférable. D'ailleurs cette possibilité était indiquée comme prioritaire dans les observations des collectivités locales à la DUP.

Aux raisons géo-techniques se rajoutent les motivations suivantes:

- Motivations d'ordre hydro-géologique: le réseau de drainage superficiel a finalement trouvé un équilibre depuis la construction du tunnel routier.

- Motivations d'ordre paysager-environnementales: l'aire est désormais complètement naturalisée et les travaux en comporteraient le déboisement.

La stabilité du versant devra être suivie par un système de monitoring depuis les premières phases du projet d'exécution afin de vérifier les coefficients de sécurité effectifs du versant, et éventuellement de prolonger les mesures de protection présentes directement en amont de l'usine de ventilation à la zone des bâtiments extérieurs côté Italie.

8. TETE COTE FRANCE

L'emprise du projet est située sur le versant sud de la vallée de l'Arc au-dessus de la Ville de Modane, entre les cotes 1000 mNG et 1250 mNG. La tête de la Galerie de sécurité se situera sur la gauche (EST) de la tête du Tunnel Autoroutier.

Géologiquement parlant, l'aire appartient à la zone des écailles du Trias, à la limite de la nappe des Schistes Lustrés, dont la majeure partie est constituée de la « nappe des gypses ».

8.1 Sismicité

Ce secteur a donc été soumis à une activité tectonique intense. A l'heure actuelle, ce site présente toujours un risque sismique non négligeable et est classé en zone Ib.

8.2 Formations géologiques

Dans l'aire du projet, il est possible de distinguer les formations géologiques suivantes, appartenant toutes à la série du Trias:

- Les quartzites, (carrière Saint-Antoine à 500 m au N-E de la tête du Tunnel Routier)
- Le Trias carbonaté (calcaires et dolomies),
- Les cargneules

- Les "Schistes Lustrés" (calcschistes indifférenciés).

Les terrains du quaternaire dans la région sont les suivants:

- Les terrains glaciaires würmiens (moraines),
- Les cônes de déjection des torrents, anciens ou actuels,
- Les éboulis, parfois glissés, souvent constitués de moraines remaniées, et donc difficiles à distinguer de ces dernières.
- (I) Les dépôts artificiels, très importants dans la zone de la tête du tunnel routier du Fréjus.

8.2.1 Géologie de la zone du Rieux Sec

La zone du futur remblai occupe l'ancien lit du Rieux Sec, situé en bordure ouest du massif de gypse affleurant, jusqu'au lit du Rieux Roux.

Dans ce couloir le substratum est entièrement recouvert d'éboulis anciens glissés, (matériaux morainiques et calcschistes).

La partie amont de la plate-forme, près de l'usine de ventilation, montre un contact anormal affleurant entre le massif de gypse et les calcaires et dolomies.

La zone aval, au nord, est occupée par le cône de déjection du torrent qui descend vers l'Arc.

Le remblai dit « du Rieux Sec » et la plate-forme d'accès au tunnel représentent le dépôt des matériaux provenant du Tunnel Routier. Le contact entre les éboulis naturels en place et le dépôt du marin du tunnel est donc difficilement visible à cause de l'homogénéité des matériaux.

Enfin, en surface, le massif d'anhydrite est hydraté et transformé en gypse (anhydrite hydratée) et dissolu. Ce phénomène est toutefois réduit dans la zone de la future tête de la Galerie de Sécurité à cause de la protection offerte par la morphologie du versant, orientant les écoulements préférence dans les thalwegs.

La création de vides importants en profondeur pouvant remonter en surface sous forme de fontis, est le principal risque engendré par la présence de gypse sur le secteur. Aucun indice de ce type de phénomène n'a été relevé par les sondages ou en surface dans la zone étudiée.

L'exécution d'une campagne de reconnaissance sismique pourrait révéler la présence et l'extension de tels vides, à remplir avant de procéder à la mise en place des remblais. Lors de cette campagne, l'éventuelle présence de bombes dans la zone dite du Gollet pourrait également être mise en évidence.

8.3 Campagne de reconnaissance côté France

Le détail des analyses effectuées dans la phase du projet préliminaire, en plateforme française est reporté dans l'annexe 3.

Dans la phase de projet définitif nous avons effectué 10 sondages à destruction de profondeur variable entre 10 et 25 m, et 156 essais pressiométriques dont le détail est joint en annexe 5.

Sond.	Prof. [m]	Localisation	Résultat moyen essais pressio. [MPa]				
			à 5 m	à 10 m	à 15 m	à 20 m	à 25 m
SP1	15	Central de ventil. galerie	15	25	25	-	-
SP1bis	20	Central de ventil. galerie	20	40	25	50	-
SP2	20	Central de ventil. galerie	15	20	20	10	-
SP3	20	Central de ventil. galerie	10	10	35	20	-
SP4	20	Central de ventil. galerie	12	20	30	40	-
SP5	10	Passage sur tête de tunnel	5	12	-	-	-
SP6	20	Passage sur tête de tunnel	10	11	16	18	-
SP7	10	Bâtiment regroup. blessées	32	45	-	-	-
SP8	10	Bâtiment regroup. blessées	15	15	-	-	-
SP9	24	Zone du Gollet	25	15	35	40	25

8.4 Dépôt côté France

L'aire du dépôt du matériel d'excavation côté France sera arrêtée définitivement selon les résultats de la DUP. Deux hypothèses sont envisagées:

- Thalweg du Rieu Sec
- Carrière SO.CA.MO

Dans le premier cas, l'aire de décharge est constituée par le thalweg du Rieu Sec. Cette emprise a déjà été partiellement utilisée comme dépôt du déblai du Tunnel Routier. La configuration finale du remblai comporte la réduction de la pente du talus par rapport à l'actuelle, ce qui renforcera par conséquent le coefficient de sécurité. La forme géographique du thalweg devra néanmoins être conservée afin de ne pas modifier les points de récolte des eaux de ruissellement.

Il faut toutefois prévoir une campagne de suivi des mouvements du talus, éventuellement en réutilisant le système d'auscultation déjà en place. Le ruissellement des eaux superficielles sera convoyé de façon similaire à l'actuel avec des descentes d'eaux tous les 25 m environ entre les risbermes. Afin de réduire le débit des eaux superficielles au fond du remblai (Zone du Gollet), les eaux de pluie seront déviées vers le Rieu Roux à la hauteur du dernier (tournant) virage de la route de chantier reliant le Gollet à la plate-forme.

Au pied du remblai, une tranchée de régulation du débit sera réalisée afin de favoriser l'infiltration dans le sol des eaux de ruissellement de surface, de façon similaire à la configuration actuelle.

9. CONCLUSIONS

La galerie de sécurité sera creusée à interdistance moyenne de 32 m du tunnel autoroutier en exploitation. Il faudra mettre en œuvre un système d'auscultation des sollicitations induites sur les structures du Tunnel (dalle intermédiaire et revêtements).

Le versant en amont de la zone de chantier côté Italie et le versant à l'aval de la plate-forme côté France devront être instrumentés depuis les premières phases de définition du projet d'exécution pour estimer des possibles mouvements en surface ou en profondeur. Côté Italie, il pourrait s'avérer nécessaire d'étendre les systèmes de protection présents au-dessus de l'usine de ventilation à la zone du projet de bâtiments extérieurs. Côté France, une modification de la géométrie de la décharge pourra être nécessaire une fois disponible un ensemble significatif de mesures.

Avant le début des opérations il faudra exécuter des essais sismiques afin d'évaluer la présence éventuelle de vides dans les couches superficielles des anhydrides hydratés.