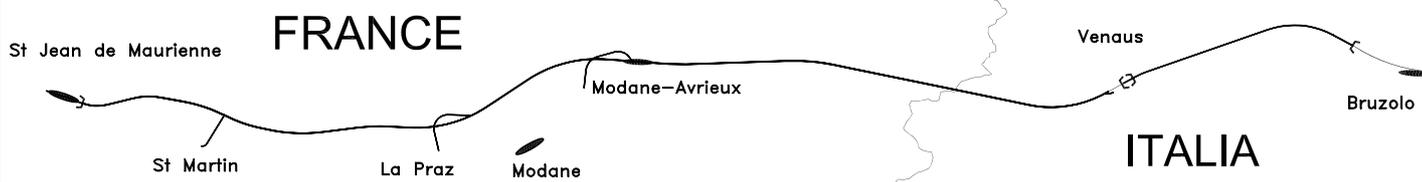




**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO TORINO - LIONE**  
**NOUVELLE LIAISON FERROVIAIRE TRANSALPINE LYON - TURIN**  
**TRATTA CONFINE DI STATO ITALIA/FRANCIA - BRUZOLO**

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



**DOCUMENTO DI RISPOSTA ALLA**  
**RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL**  
**MINISTERO DELL'AMBIENTE**

**ALLEGATI AL DOCUMENTO GENERALE**

**ALLEGATO 9 c**

## ALLEGATO 9 c

*“Caratterizzazione degli acquiferi” estratto dal Rapporto di tappa; Tavola n°1 “Schema Idrogeologico tra St. J. De Maurienne e Bruzolo, scala 1:50.000”; Tavola n°2 “Profilo idrogeologico tra St. J. De Maurienne e Bruzolo, scala 1:25.000, dicembre 2002 (Parte italiana) – Eeg Simecsol, Sea Consulting s.r.l., Silène, Baptendier.*

### CARATTERIZZAZIONE DEGLI ACQUIFERI

#### **Carta idrogeologica e profilo idrogeologico**

Questa sezione descriverà la suddivisione in gruppi litologici a permeabilità omogenea della regione interessata dal tunnel. La descrizione verrà condotta facendo riferimento alla carta geologica in scala 1:50.000 (Tavola 1) e alla sezione idrogeologica previsionale alla scala 1:25.000 lungo l'asse del tunnel (Tavola 2).

Per una migliore comprensione dell'interpretazione degli aspetti geologici in termini idrogeologici la descrizione sarà organizzata secondo tratte di tunnel omogenee e preceduta da una sintesi degli aspetti geologici di interesse per ogni tratta.

La caratterizzazione degli acquiferi in asse tunnel è stata fatta sulla base della sezione geologica previsionale ufficiale realizzata da Alpetunnel GEIE nel Maggio 2000. L'inquadramento regionale dei dati è stato realizzato principalmente utilizzando la cartografia geologica ufficiale italiana e francese (fogli n° 153 - *Bardonecchia* e 154 - *Susa* della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000; foglio 776 *Lanslebourg* della Carte Géologique de la France), integrandola con la bibliografia scientifica nota e con le missioni di cartografia di dettaglio realizzate da Alpetunnel GEIE sul versante italiano del progetto.

#### **Zona Brianzonese interna: L'Unità d'Ambin (pK 37.650 - 53.250)**

##### **Sintesi geologica**

L'Unità d'Ambin è un'unità tettonica di basamento costituita da due complessi sovrapposti (Michel, 1957; Lorenzoni, 1965; Gay, 1970). Il complesso inferiore, o Serie di Clarea, è costituito da gneiss e micascisti polimetamorfici con rare intercalazioni di metabasiti; il complesso superiore, o Serie di Ambin, monometamorfico, è costituito da gneiss leucocratici estremamente compatti, da micascisti gneissici a tessitura metaconglomeratica, da gneiss albitici e da quarzomicascisti e quarziti con intercalazioni di calcescisti. Le coperture, nella maggior parte dei casi scollate tettonicamente dal substrato premesozoico (“parautoctone”) sono rappresentate da micascisti fengitici, quarziti verdine, marmi dolomitici e rari calcescisti.

Dal punto di vista strutturale l'Unità d'Ambin è caratterizzato da una scistosità composita legata allo sviluppo di pieghe da isoclinali a serrate. Questa scistosità attualmente definisce una struttura a duomo con immersione nord e Nord-Ovest nel settore esterno e immersione Sud-Est nel settore interno, cioè sul versante italiano (Fudral et al., 1994).

Il massiccio è attraversato da numerose importanti zone di taglio fragile a scala regionale, poco conosciute e studiate. Queste zone hanno una direzione da NE-SW a WNW-ESE ed in alcuni casi raggiungono potenze dell'ordine di diverse centinaia di metri.

### **Distribuzione della permeabilità**

La permeabilità nell'Unità d'Ambin è da media a bassa per fratturazione, ed è legata principalmente al fatto che gneiss e micascisti hanno un comportamento rigido e rappresentano un mezzo di propagazione favorevole per la fratturazione.

La presenza di faglie è all'origine di importanti aumenti locali della permeabilità legati al loro carattere cataclastico (si vedano ad esempio gli studi relativi ai tunnel idroelettrici di Pont Ventoux - Susa).

### **Problematiche idrogeologiche aperte**

Le principali problematiche di ordine idrogeologico per questa unità sono legate alla presenza di zone di taglio fragili. L'estensione e la geometria in profondità di queste discontinuità sono poco conosciute. Due importanti fasci di discontinuità con direzione NE-SO sono evidenti nelle immagini riprese da fotografia aerea e da satellite. Questi due fasci si sviluppano tra il Col di Savine (o Col Clapier) e la Punta Someiller (cfr. Tavola 2). Il loro significato tettonico è poco chiaro, non è ancora noto se si tratti di importanti zone di faglia o di semplici sistemi di fratturazione. Ad oggi non è dunque possibile escludere che la loro estensione in profondità sia all'origine di importanti venute d'acqua. Ulteriori dati di superficie e di sottosuolo saranno necessari per comprendere la natura di queste discontinuità.

Va inoltre notato che queste due discontinuità hanno un'estensione laterale considerevole (alcuni chilometri) e che quindi la loro area di ricarica potenziale è molto vasta, spingendosi al di là dei limiti del bacino idrografico della Val Clarea. La zona di scarico di queste potenziali strutture acquifere è rappresentata dall'alta Val Clarea italiana ad oriente ed eventualmente dalla Valle di Susa (zona Oulx-Bardonecchia) ad occidente.

### **Portate**

In questa tratta, per il Massiccio d'Ambin, nei settori privi di discontinuità o livelli a maggior permeabilità, è stata ipotizzata una permeabilità media di 1,5l/s/hm per le zone con maggior carico idraulico presunto (dal confine di stato fino alla progressiva PK 48+200). Nei settori con carico idraulico mediamente inferiore la permeabilità specifica è stata ipoteticamente ridotta a 1l/s/hm.

In corrispondenza delle importanti e presunte zone di fratturazione localizzate nell'alta Val Clarea è stata ipotizzata una permeabilità specifica di 10l/s/hm, per un totale di circa 120l/s. Ricordiamo tuttavia che la presenza di tali zone non è ancora stata confermata.

Quattro venute puntuali di circa 5l/s e due venute puntuali di 10l/s sono state previste in corrispondenza delle faglie note presenti nel tratto qui esaminato. Le venute a maggior portata (10l/s) sono state previste quando le faglie sono in potenziale contatto idraulico con acquiferi di superficie importanti (es. carnirole) o quando il tunnel è localizzato in vicinanza dell'intersezione tra due faglie.

## **Zona a Scaglie della Val Cenischia (pK 53.250 - 54.070)**

### **Sintesi geologica**

Sul versante italiano, a tetto dell'Unità d'Ambin e dei discontinui relitti di coperture parautoctone ad esso associate (quarziti, marmi ecc.), è presente una zona a scaglie tettoniche estremamente eterogenea (*zona a scaglie tettoniche di Venaus/Cresta Mulatera*). Essa rappresenta una discontinuità regionale più volte riattivata nel corso degli eventi deformativi alpini.

Dal punto di vista litologico essa è costituita sia da litotipi di pertinenza Brianzonese sia da elementi della falda piemontese. Vi si trovano dunque implicate e separate da superfici di taglio con associate cataclasiti prevalentemente carbonatiche ("carniole" s.l.), delle scaglie di marmi dolomitici, quarziti, calcescisti e paragneiss tipo Charbonnel.

Questa discontinuità rappresenta sicuramente un elemento già attivo durante le fasi di deformazione duttile della catena alpina, tuttavia, essa ha sicuramente subito delle importanti riattivazioni in regime deformativo fragile con conseguente intensa fratturazione e cataclasi lungo superfici a basso e medio angolo subparallele alla foliazione milonitica più antica. L'immersione media della zona di taglio è di 25-45° verso SE, anche se essa può localmente essere deformata da pieghe blande con assi ENE-WSW. La presenza della zona di taglio induce una marcata fratturazione dei calcescisti piemontesi immediatamente a tetto, che sono sovente rilasciati ed attraversati da discontinuità (faglie).

Alcune faglie e zone di fratturazione a direzione N60°E ed E-W immergenti a medio angolo verso S e N tagliano la zona a scaglie.

### **Distribuzione della permeabilità**

La zona a scaglie presente a tetto dell'Unità d'Ambin rappresenta un elemento ad elevata permeabilità media. Tale elevata permeabilità è dovuta essenzialmente a tre motivi:

1. fenomeni di dissoluzione (carsismo) all'interno degli orizzonti di cataclasiti carbonatiche;
2. intensa fratturazione lungo superfici di movimento parallele alla giacitura della zona di taglio legata alla presenza di riattivazioni fragili;
3. fratturazione diffusa legata a parziale collassamento dell'ammasso roccioso soprastante i livelli di cataclasiti in via di dissoluzione.

Per i precedenti motivi i litotipi della zona a scaglie sono stati attribuiti ai gruppi acquiferi 1 (carniole) e 6b (calcescisti e paragneiss prevalenti intensamente fratturati).

### **Zone di alimentazione e di scarico dei gruppi acquiferi**

Per le caratteristiche sopra esposte la zona a scaglie rappresenta un importante sistema acquifero in roccia. Questo acquifero è compreso tra due volumi rocciosi a bassa permeabilità: l'Unità d'Ambin a letto e la Zona Piemontese, a tetto. La zona di Venaus in Val Cenischia rappresenta il settore di quota più bassa in cui l'erosione abbia messo in luce tale acquifero (cfr, Tavola 1). Tale settore rappresenta quindi il punto naturale di deflusso delle acque in esso contenute; tuttavia, attualmente l'acquifero è drenato, a quote ancora inferiori, dalle gallerie dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux-Susa di proprietà dell'AEM Torino S.p.A.

L'acquifero riceve ricarica dai seguenti settori (cfr. Tavola 1):

1. spartiacque tra Valle Clarea e Val Cenischia, dove affiora
2. bassa Val Clarea e Valle della Dora Riparia che interseca entrando in contatto con i loro acquiferi di fondovalle
3. Val Cenischia a monte di Venaus, dove presumibilmente viene alimentato dagli acquiferi di fondovalle con i quali si trova in contatto idrodinamico.

### **Portate**

In questo tratto non sono previste venute a causa del drenaggio esercitato dalle gallerie dell’impianto idroelettrico dell’AEM Torino di Pont Ventoux – Susa.

### **Zona Piemontese (pK 54.070 - 54.450 e 55.530 - 58.220)**

#### **Sintesi geologica**

La successione di calcescisti a tetto della Zona a Scaglie di Venaus/Cresta Mulatera è composta da alcune unità litostrutturali che sono generalmente raggruppate sotto il nome di *Zona Piemontese*, o *Zona dei Calcescisti con Pietre Verdi*. Queste unità, nonostante le similitudini composizionali, presentano una certa eterogeneità litologica. Esse sono state caratterizzate nell'ambito di alcuni lavori relativamente recenti (Pognante, 1980; Perotto et al., 1983; Carraro et al., 1999) e dalla pubblicazione del Foglio Susa n. 154 alla scala 1:50.000 e delle note illustrative (Cadoppi et al. 2002), facenti parte del nuovo progetto di cartografia geologica nazionale. Da est a ovest e dal basso verso l'alto, la successione di unità può essere così suddivisa (Carraro et al., 1999):

- Unità Bassa Valle di Susa/Valli di Lanzo/Monte Orsiera
- Unità dei calcescisti con pietre verdi s.s.
- Unità di Puy/Venaus
- Unità del Rocciamelone.

*L'Unità Bassa Valle di Susa/Valli di Lanzo/Monte Orsiera*, che sarà attraversata dal Tunnel di Bussoleno tra le progressive 57.940 e 58.220 è un'unità a composizione prevalentemente ofiolitica, in cui affiorano serpentiniti da massicce a debolmente foliate, prasiniti, metagabbri e calcescisti separati da orizzonti milonitici di varia potenza di serpentinoscisti e prasiniti milonitiche.

*L'Unità dei calcescisti con pietre verdi s.s.* è composta principalmente da calcescisti marmorei o con intercalazioni di marmi e calcescisti ricchi in fillosilicati, al cui interno si trovano masse minori di prasiniti e serpentiniti. Questa unità verrà attraversata dal tunnel di Bussoleno per un brevissimo tratto (verosimilmente poche decine di metri intorno alla progressiva 57.490), poiché essa si trova implicata solo come scaglia all'interno di una zona di taglio duttile/fragile al contatto con l'unità sottostante (Zona di Taglio di Mompantero, ZTM; vedi seguito)

*L'Unità di Puy/Venaus* è costituita da un complesso piuttosto eterogeneo di calcescisti filladici con intercalazioni anche di potenza ettometrica di gneiss albitici, micascisti, gneiss prasinitici e calcescisti marmorei. Il Tunnel di Base attraverserà questa unità tra le progressive 54.070 e 54.450, mentre il tunnel di Bussoleno la intercetterà tra le progressive 55.530 e 57.00/57.490.

*L'Unità del Rocciamelone* non verrà intercettata dal tunnel, ma affiora nell'areale di interesse lungo lo spartiacque tra Valle di Susa e Valle di Viù. Essa è composta da marmi silicatici con metabasiti alla base e micascisti filladici.

In Valle di Susa le unità presentano una foliazione composta estremamente pervasiva derivata dalla sovrapposizione di almeno due fasi di piegamento sinmetamorfiche, con stile da isoclinale a serrato. La giacitura della foliazione presenta immersioni verso SE a basso-medio angolo a W di Susa, mentre a E e a NE di Susa essa immerge verso W a basso angolo. Queste variazioni della giacitura sono legate principalmente alla presenza di due fasi di deformazione post-scistogene. I contatti tra le unità sono definiti da zone di taglio duttili sviluppatesi durante le prime due fasi di deformazione. Di particolare interesse per il progetto in esame risulta essere la Zona di Taglio di Mompantero (ZTM), localizzata lungo il contatto tra le coperture mesozoiche dell'Unità Dora Maira e la Zona Piemontese. Questa zona di taglio verrà intercettata dal tunnel intorno alla progressiva 58.000 circa. Essa è principalmente un insieme di scaglie tettoniche provenienti dalle unità della *Bassa Valle di Susa*, dei *Calcescisti con Pietre Verdi s.s.* e di *Puy/Venaus*; la deformazione ad essa associata sembra inoltre determinare un assottigliamento estremo dell'unità dei *Calcescisti con Pietre Verdi s.s.* sul versante sinistro della Valle di Susa, sino quasi a provocarne la scomparsa. Questo elemento di discontinuità duttile immerge a basso-medio angolo verso W e sembra essere ampiamente riattivato da discontinuità fragili che ne riutilizzano la scistosità inducendo cataclasi diffusa.

### **Distribuzione della permeabilità**

I calcescisti delle Unità della *Bassa Valle di Susa* e di *Puy/Venaus* hanno composizione abbondantemente fillosilicatica; la propagazione delle fratture al loro interno, al pari dei fenomeni di dissoluzione per carsismo lungo le fratture stesse, è quindi meno diffusa e più irregolare che in altri litotipi più marmorei e maggiormente competenti. Per questo motivo questi calcescisti sono stati riferiti al gruppo acquifero 6a, a permeabilità bassa prevalente.

I calcescisti delle altre due unità, che però presentano minore importanza per il tunnel, poiché praticamente non saranno intercettati, sono maggiormente marmorei e hanno quindi una permeabilità maggiore. Essi sono stati attribuiti al gruppo acquifero 2.

Le metabasiti e serpentiniti che presentano mediamente una maggior intensità di fratturazione a causa del loro comportamento reologico più rigido, sono state attribuite al gruppo acquifero 4b con permeabilità media prevalente.

### **Zone di alimentazione e di scarico dei gruppi acquiferi**

Le rocce di questo settore presentano principalmente bassa permeabilità e possono quindi essere considerate come acquicludi. Incrementi anche consistenti di permeabilità sono possibili in corrispondenza della ZTM al contatto con l'Unità Dora-Maira. Di tali aspetti si parlerà nel paragrafo successivo.

### **Portate**

Nel tratto tra le progressive pK 54.070 e 54.450 non è prevista la presenza di venute d'acqua a causa del drenaggio esercitato dal già citato impianto idroelettrico dell'AEM Torino.

Nel rimanente tratto è stata ipotizzata per i calcescisti una portata specifica di 1,5l/s/hm, per una portata totale di 45l/s.

Una venuta puntuale di circa 30l/s è stata ipotizzata in corrispondenza o in prossimità del contatto con l'Unità Dora – Maira, per tenere in conto la presenza delle discontinuità relative alla ZTM.

## **Unità Dora-Maira (pK 58.220 - 67.150)**

### **Sintesi geologica**

L'unità Dora-Maira è costituita da un basamento cristallino polimetamorfico con associati ortoderivati. Il basamento premesozoico nell'area di interesse è composto da gneiss fengitici localmente occhiadini, passanti a gneiss tabulari, micascisti a granato e cloritoide passanti a gneiss albitici, con rare intercalazioni di metabasiti (Tallone, 1990).

In contatto stratigrafico, talora ancora preservato, con il basamento, sono presenti nell'unità delle potenti successioni di copertura mesozoiche. Tali successioni presentano alla base dei livelli metrico-decamentrici di quarziti verdi e quarziti micacee, seguiti verso l'alto da marmi dolomitici bianchi, cristallini e piuttosto compatti (potenza variabile da 50 a 200m circa) e da marmi calcitici bluastri (5-20m). La successione si chiude con una potente successione di calcescisti marmorei con subordinate intercalazioni di calcescisti filladici (Marthaler et al., 1986). Lavori recenti hanno messo in evidenza una maggior complessità litostratigrafica all'interno di queste coperture (Tallone, 1990; Cadoppi & Tallone, 1992), che tuttavia non sarà qui discussa poiché non introduce variazioni significative ai fini idrogeologici. Il contatto tra marmi dolomitici e basamento pre-triassico è localmente sottolineato da orizzonti di dissoluzione con breccie residuali (spesso definite impropriamente “carniole”, termine qui di preferenza riservato a cataclasiti carbonatiche geneticamente correlate a livelli di evaporiti triassiche o a marmi dolomitici) legate sia alla presenza di scollamenti tettonici, sia a circolazioni di acque aggressive.

Anche nell'Unità Dora - Maira, come nell'Unità dei calcescisti con pietre verdi si osservano almeno due fasi di deformazione a pieghe da isoclinali a serrate e traspositive. A queste fasi di plicative è seguita una fase successiva ad assi costantemente E-W, che ha originato pieghe a scala chilometrica con vergenza Sud. A queste pieghe sono associate importanti zone di taglio vergenti anch'esse verso sud, a carattere cataclastico. La più importante fra esse si osserva nella zona di interesse tra Campobenello e Falcimagna (Zona di Taglio di Falcimagna, ZTF).

La giacitura media della foliazione nell'Unità Dora-Maira, è verso NNW. Tuttavia i limiti litologici presentano piegamenti complessi risultanti dalla sovrapposizione delle fasi plicative. Il basamento cristallino affiora in un corpo allungato in direzione circa E-W, interpretabile come una cerniera di piega chilometrica a superficie assiale parallela alla foliazione regionale ed immergente verso NNW. Di conseguenza, tale corpo di basamento è compreso, sia a tetto che a letto, tra le coperture metamorfiche mesozoiche (marmi e calcescisti).

Alla piega principale descritta dai litotipi del basamento sono associate numerose pieghe parassite minori, ed anche numerosi *litoni* di basamento sradicati dal corpo principale poiché le fasi di deformazione che hanno originato le pieghe sono di tipo traspositivo. Inoltre sia la piega principale che le pieghe parassite minori hanno una geometria a guaina non cilindrica, il che significa che spesso le cerniere di piega sono rappresentate da corpi fusiformi. La ricostruzione tridimensionale dei limiti litologici tra basamento e coperture risulta quindi estremamente difficoltosa. Allo stesso modo i limiti litologici all'interno della copertura, sono difficilmente ricostruibili a causa dei complessi fenomeni di piegamento traspositivo e non cilindrico.

### **Distribuzione della permeabilità**

Dal punto di vista litologico le coperture dell'Unità Dora-Maira sono piuttosto eterogenee e ciò si ripercuote sulla permeabilità, che può variare sensibilmente. Tuttavia, in un contesto come quello

dell’area in esame, dove i limiti litologici fra i litotipi risultano piegati nel corso di deformazioni polifasiche e localmente anche trasposti, il raggruppamento di litotipi con comportamento idrogeologico differente quali calcescisti e marmi dolomitici è inevitabile, poiché una ricostruzione tridimensionale accurata dei limiti non è possibile. Si è scelto quindi includere tutti questi litotipi nel gruppo acquifero 3 in cui rientrano praticamente tutte le coperture del Dora-Maira. Per tale gruppo acquifero è possibile ricostruire una geometria a grande scala, tenendo però conto della sua forte anisotropia interna. Ciò significa che localmente, all’interno di questo gruppo acquifero, si potrebbe avere una compartimentazione della permeabilità dovuta a complicazioni geometriche determinate dal piegamento polifasico.

La permeabilità è indotta dalla fratturazione, ma localmente può essere incrementata da fenomeni di dissoluzione che determinano un allargamento dei giunti e la comparsa di condotti carsici. Tale fenomeno è stato osservato, per esempio, nel sondaggio S11. Esso è ovviamente più sviluppato nei litotipi a componente carbonatica prevalente, quali i marmi calcitici e, secondariamente, dolomitici; questo è il principale motivo che genera anisotropie di permeabilità.

Le *carniole* e le cataclasi carbonatiche presenti localmente al contatto tra le coperture e il basamento cristallino silicatico oppure all’interno delle coperture carbonatiche stesse, rientrano nel gruppo acquifero 1. In questo gruppo la permeabilità è legata alla presenza di condotti carsici, ed è sempre elevata, per cui dà origine a circuiti estremamente rapidi. Nell’Unità Dora-Maira questo gruppo acquifero segue le complesse geometrie del contatto tra coperture e basamento.

I litotipi del basamento pre-triassico sono stati attribuiti al gruppo acquifero 5, con permeabilità medio-bassa per fratturazione. Essi rappresentano un livello acquicludo rispetto agli altri gruppi acquiferi che compongono l’Unità Dora-Maira.

### **Problematiche idrogeologiche aperte**

Le maggiori problematiche idrogeologiche per questo settore sono rappresentate da:

- zone di taglio presenti al contatto tra l’Unità Piemontese e l’Unità Dora-Maira (ZTM);
- possibili intercalazioni di basamento pretriassico all’interno delle coperture non prevedibili sulla base dei dati esistenti.

Nella parte bassa del versante sinistro della Valle di Susa, interessata dallo sviluppo del tunnel di Bussoleno, al contatto tra l’Unità dei Calcescisti con Pietre Verdi e l’Unità Dora-Maira è presente una zona di taglio complessa che interessa entrambe le unità (ZTM). Zone di taglio fragili riattivano e localmente tagliano in discordanza, con andamento irregolare, le vecchie superfici di movimento duttili, parallele all’andamento della foliazione regionale. La sovrapposizione, all’interno della ZTM, di zone di taglio con caratteristiche diverse e rapporti geometrici complessi genera incertezze nella proiezione a piano galleria di questa fascia a maggior permeabilità. Qualora l’interpretazione presentata sulla sezione geologica ufficiale (doc. I.3./8) fosse corretta, la zona a grande permeabilità sarebbe localizzata prevalentemente all’interno delle coperture Dora-Maira. Qualora le superfici fragili riattivassero più pervasivamente il vecchio limite, la zona ad elevata permeabilità si troverebbe probabilmente più spostata verso ovest in corrispondenza di quest’ultimo. Anche l’estensione laterale della zona di taglio non è ben definita, e al momento non è possibile fare ipotesi precise sull’estensione della zona di ricarica. Sono tuttavia in corso studi per definire questo aspetto.

La complessità delle deformazioni plicative all’interno dell’Unità Dora-Maira rende estremamente problematico interpretare le geometrie delle interfacce basamento-coperture all’interno del versante che sarà attraversato dal Tunnel di Bussoleno. Ciò implica una notevole incertezza anche nel

posizionamento di eventuali orizzonti di dissoluzione ad elevata permeabilità presenti a queste interfacce.

Le interpretazioni geologiche e di conseguenza quelle idrogeologiche sono dunque estremamente incerte tra le progressive 61.000 e 64.000 circa, tratta in cui le geometrie di superficie derivate dall'analisi strutturale non possono essere estrapolate direttamente in profondità. La realizzazione di un sondaggio in questo settore potrebbe fornire dei vincoli litostratigrafici utili a risolvere questa incertezza.

### **Zone di alimentazione e di scarico dei gruppi acquiferi**

Nel settore preso in considerazione il drenaggio sotterraneo avviene principalmente all'interno dei gruppi acquiferi 1 e 3, che costituiscono dunque un acquifero a geometria estremamente complessa. All'interno di questo acquifero sembra probabile che le acque si infiltrino nelle parti medie del versante sinistro della Valle di Susa (cfr. Tavola 1) e defluiscano poi originando circolazioni più o meno lunghe e profonde, verso il fondovalle. Nella parte bassa del versante un nucleo di piega a scala chilometrica del basamento cristallino pretriassico divide in due parti l'acquifero, costituendo un setto poco permeabile a giacitura media verso NNW. Ciò determina, per le acque che si infiltrano nella porzione di acquifero localizzata a tetto del basamento un deflusso prevalente lungo l'interfaccia basamento-coperture in direzione ENE-WSW, verso un punto di contatto tra l'acquifero in roccia e l'acquifero del fondovalle Dora, che si presume localizzato grossomodo tra Foresto e Mompantero.

E' importante notare che questa interfaccia tra basamento e coperture, sede di deflusso principale delle acque, sarà attraversata dal tunnel nel tratto compreso tra le progressive 61.000 e 64.000.

Le porzioni di acquifero sottostanti il setto impermeabile rappresentato dal basamento non dovrebbero essere alimentate da monte. Poiché esse sono in contatto con l'acquifero in depositi quaternari del fondovalle della Dora potrebbero però venire in alimentate da quest'ultimo.

### **Portate**

Questa tratta può essere suddivisa in differenti settori con portate specifiche differenti sia in relazione alle diverse caratteristiche litostratigrafiche, sia al carico idraulico presunto a livello galleria.

In condizioni di carico idraulico comparabile e compreso circa tra 500 e 1000m, ai litotipi dell'acquifero 3 è stata attribuita una portata specifica di 5l/s/hm. Le tratte cui sono state attribuite queste portate sono quelle comprese tra le progressive pK 58.220 e 59.400 circa, pK 60.950 e 61.700 e pK 63.400 e 64.400.

Nella tratta compresa tra le progressive pK 59.400 e 60.950 circa, dove si presume che il carico idraulico sia basso o nullo, all'acquifero 3 è stata attribuita una portata specifica bassa, di 1l/s.

Nei settori in cui sono previste delle intercalazioni di litotipi con permeabilità estremamente variabile è stata ipotizzata una portata specifica media che tiene conto soprattutto delle caratteristiche del litotipo prevalente, mentre per comprendere nella previsione gli effetti legati alla presenza di litotipi particolarmente permeabili (es. gruppo acquifero 1, sono state inserite delle portate puntuali.

Di conseguenza, nel tratto compreso tra le progressive pK 61.700 e 63.400 è stata considerata una portata specifica di 1,5l/s/hm, così come nel tratto compreso tra le progressive pK 64.400 e 65.600 circa, dove predominano i litotipi del gruppo 5.

Nel tratto tra le progressive pK 65.600 circa e il portale, benché siano presenti litotipi a permeabilità piuttosto elevata, a causa del basso carico idraulico è stata ipotizzata una portata specifica relativamente bassa, di 1l/s/hm.

Alcune venute puntuali da 20l/s ognuna sono state ipotizzate nel settore interessato dalla ZTM; si noti che la loro ubicazione sul profilo non è esatta ma indicativa, poiché le singole discontinuità della ZTM non possono essere localizzate con precisione. Alcune venute puntuali importanti variabili tra 100 e 50l/s sono state ipotizzate in corrispondenza dei principali livelli di dissoluzione (gruppo acquifero 1) nelle zone di carico idraulico maggiore. Venute puntuali minori, da circa 20 l/s sono state ipotizzate in corrispondenza di altri livelli di dissoluzione ipotizzati ove il carico idraulico presunto è minore.

### **Conoide del Rio Prebech (pK 67.150 - 68.150)**

In questo settore il tunnel attraverserà i depositi a ciottoli, ghiaie e sabbie che costituiscono il conoide alluvionale del Rio Prebech. Tali depositi hanno una elevata permeabilità per porosità. Tuttavia, sulla base dei dati esistenti il tunnel dovrebbe svilupparsi ad una quota superiore a quella della falda freatica.

Resta incerta la presenza di falda, o comunque, in senso più generale, di depositi saturi, nel tratto posto immediatamente al di sotto dell'alveo del Prebech. In questo tratto è probabile che possa essere intercettata una zona di infiltrazione attraverso la quale il rio alimenta la falda freatica posta mediamente a quote inferiori rispetto al tunnel. L'elevata profondità della falda nei depositi alluvionali di conoide può probabilmente spiegarsi con il repentino approfondimento del limite roccia-depositi dovuto alla possibile presenza di una soglia glaciale in corrispondenza dello sbocco del Prebech sul conoide, oppure con una morfologia complessa dell'interfaccia basamento-depositi quaternari, determinata dal modellamento glaciale (presenza di *spillway channels* sepolti), o ancora con la possibile presenza di un paleoalveo in roccia del Prebech; l'andamento delle morfologie sepolte potrebbe imporre alla falda linee di deflusso diverse da quelle altrimenti ipotizzabili.

## **1 MODELLI IDROGEOLOGICI DI RIFERIMENTO**

In questo capitolo viene riportato sinteticamente il modello idrogeologico di riferimento per il versante italiano prodotto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino in collaborazione con la SEA Consulting nel 1999 (doc. I.1./32ghijk) che gli autori di questo rapporto ritengono a tutt'oggi valido e riproponibile, non essendo stati prodotti successivamente nuovi dati con esso contrastanti. Il modello verrà descritto con riferimento alle tavole presenti nel rapporto citato.

Poiché si può assumere che la Val Cenischia, separi, a livello idrogeologico, il settore ad ovest rispetto a quello ad est della valle stessa, è possibile trattare separatamente queste due zone.

### **1.1 Settore a ovest della Val Cenischia**

In questo settore l'assetto idrogeologico è perturbato dagli scavi in corso delle opere in sotterraneo relative all'impianto idroelettrico AEM di Pont Ventoux-Susa. Di conseguenza è importante distinguere una situazione originaria in regime non perturbato, da una situazione attuale in regime perturbato. Gli effetti del drenaggio operato dalle gallerie dell'impianto AEM sono importanti soprattutto per la dinamica delle acque sotterranee nel tratto compreso tra la Val Cenischia e il versante sinistro della Val Clarea. Per questo motivo si è cercato di schematizzare l'assetto idrogeologico di questo settore nei profili tridimensionali redatti nell'ambito dello studio idrogeologico del 1998 (doc. I.1./32ghijk) e prodotti nell'Allegato 3, proponendo un'ipotesi per l'assetto in regime non perturbato e un'ipotesi per l'assetto in regime perturbato.

#### **1.1.1 Situazione in regime non perturbato**

L'elemento principale che caratterizza l'assetto idrogeologico del substrato roccioso è rappresentato dall'acquifero costituito dai gruppi 6b e 1 (ammasso roccioso rilasciato costituito da calcescisti e gneiss; carnirole; cfr. capitolo 1), che è la via di deflusso principale in roccia nel versante compreso tra la bassa Val Clarea e il versante destro della Val Cenischia, a monte di Venaus. Tale acquifero è in gran parte confinato, a tetto ed a letto, dai gruppi 5 e 6a (gneiss e micascisti dell'Unità d'Ambin, calcescisti e gneiss della Zona Piemontese) interpretabili come acquicludi. Inoltre, lungo il fondovalle Cenischia, dove l'acquifero pur non affiorando interseca la superficie morfologica del substrato, esso è verosimilmente semiconfinato a tetto da depositi quaternari impermeabili del complesso Q (depositi glaciali di fondo; cfr. sondaggio S20), che sono distribuiti in maniera discontinua lungo l'antico fondovalle glaciale. L'acquifero immerge mediamente verso ESE con angolo variabile a causa di pieghe alpine tardive.

Considerando queste caratteristiche geometriche, nel substrato in roccia doveva originariamente esistere una falda con composizione chimica zonata (acque solfato-calciche in basso e acque miste solfato-bicarbonato-calciche in alto) che nel settore compreso tra la Val Clarea e Venaus defluiva da monte a valle all'interno dell'acquifero, verso punti di deflusso che si dovevano trovare necessariamente in corrispondenza dell'intersezione tra l'acquifero e i fondovalle Clarea e Cenischia (forse anche Dora nel settore di Chiomonte). Allo stesso tempo un'altra direzione di deflusso preferenziale doveva essere orientata all'incirca in direzione parallela alla Val Cenischia, poiché l'acquifero in roccia segue il solco vallivo al di sotto dei depositi alluvionali e glaciali, tra la zona a monte di Novalesa e Venaus.

La ricarica dell’acquifero in roccia avviene sia dal bacino di Punta Mulatera, dove affiorano le carnirole e il substrato rilasciato (gruppi 1 e 6b), sia dall’alta Val Cenischia, dove i due complessi ricevono acque dalle alluvioni di fondovalle. Poiché per un lungo tratto nel fondovalle Cenischia l’acquifero in roccia e l’acquifero costituito dalle alluvioni del Cenischia si trovano a contatto (All. 3), è probabile che inizialmente esistesse una sorta di equilibrio idrostatico tra la falda in roccia a chimismo solfato-calcico e la soprastante falda in depositi alluvionali a chimismo prevalente bicarbonato-calcico (cfr. chimismo delle acque del sondaggio 8SG5 fig. 3, doc. I.1./32ghijk). Se inoltre si ipotizza che lungo il fondovalle siano presenti dei depositi glaciali di alloggiamento poco permeabili (a prevalente componente limosa), è anche possibile che per un certo tratto le due falde siano tra loro isolate o semi-isolate da questo livello acquicludente. La falda in roccia all’interno del versante dove è stata scavata la galleria di accesso alla centrale in caverna AEM era quindi una falda in pressione, come testimoniano le pressioni misurate la prima volta che l’acquifero è stato intercettato (circa 6 bar). Ciò è in accordo con il modello proposto.

In un contesto quale quello descritto, è possibile che lungo i fondovalle principali e in particolare nella zona del “nodo centrale” dell’impianto Pont Ventoux-Susa, il sistema di flusso in roccia, confinato al tetto dal livello semipermeabile dei depositi glaciali di alloggiamento e con quote di infiltrazione sensibilmente superiori a tale tetto, avesse originariamente pressioni idrauliche superiori rispetto a quella della falda presente nei depositi alluvionali. Di conseguenza, il livello piezometrico si trovava a quote superiori rispetto al limite fisico costituito dal contatto tra l’acquifero e gli acquicludi che lo delimitano verso l’alto. Si trattava in sostanza di una falda in pressione confinata superiormente dai depositi glaciali di alloggiamento oppure da un ammasso roccioso poco fratturato.

Dove gli acquicludi in roccia vengono interrotti da discontinuità che localmente determinano un incremento della permeabilità, quali faglie o fasce di fratturazione, possono determinarsi risalite locali di acque dall’acquifero profondo a più elevata permeabilità. Questo è probabilmente il caso della *faglia di Venaus* intercettata dalle gallerie del “nodo centrale” AEM (cfr. doc. I.1./32ghijk), lungo la quale l’acquicludente dei calcescisti poco fratturati a tetto dell’orizzonte di carnirole subisce un locale aumento di permeabilità favorendo la risalita di acque solfato-calciche verso l’alto.

Nel contesto ipotizzato, le aree principali di infiltrazione della falda in roccia sono quindi rappresentate dalla parte alta del versante tra Venaus e la Val Clarea (frece verdi in Tav. 1 schema in scala 1/100.000 doc. I.1./32ghijk), e dall’alta Val Cenischia. Mentre però nel primo caso l’alimentazione deriva principalmente dalle acque piovane di infiltrazione, nel secondo essa può derivare anche da acque della falda freatica dei depositi quaternari che si infiltrano nell’acquifero in roccia, ed è quindi un’alimentazione continua.

L’acquicludente in roccia sottostante all’acquifero delle carnirole e dei calcescisti rilasciati ad esse associati si trova in parte al di sotto del livello della falda presente nell’acquifero, e quindi, benché esso sia un acquicludente, si trova comunque in condizioni di saturazione. Per semplicità si può quindi immaginare che il complesso a bassa permeabilità ospiti una “falda” s.l. discontinua, cioè presente solo dove esistono discontinuità (fratture) con persistenza, apertura e grado di interconnessione tali da veicolare acqua, sia pure con velocità di filtrazione molto bassa. La zona satura così definita deve comunque trovarsi in equilibrio, verso valle, con quella dell’acquifero a più elevata permeabilità impostato nelle carnirole. La geometria che deriva da queste considerazioni è quella riportata in All. 3 (doc. I.1./32ghijk).

### 1.1.2 Situazione in regime perturbato

Dai dati piezometrici ottenuti dal monitoraggio continuo nei sondaggi 6S2 e 7S1 dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux - Susa (cfr. doc. I.1./32ghijk), si desume che allo stato attuale la falda in roccia nei settori a monte di Venaus è stata drenata in maniera consistente ed abbattuta a livelli prossimi a quelli delle alluvioni di fondovalle (Fig. 5 doc. I.1./32ghijk). Questo indica che, esauritosi il *reservoir* rappresentato dall'acquifero ad alta permeabilità delle carniole del versante soprastante a Venaus, l'alimentazione proveniente dalla parte alta del bacino di Punta Mulatera è ad oggi estremamente limitata, mentre l'acquifero in roccia ad alta permeabilità ha raggiunto un equilibrio dinamico di deflusso alimentato da altri settori dell'acquifero stesso, in grado di garantire, nelle attuali condizioni, un emungimento costante di circa 300l/s (come misurato all'imbocco delle gallerie del “nodo centrale” presso Venaus; Fig. 5 doc. I.1./32ghijk).

Alla luce dei dati presentati e dell'assetto geometrico degli acquiferi della regione proposto nei profili di Tav. 3, è possibile ipotizzare che attualmente il sistema di flusso in roccia venga alimentato in maniera significativa unicamente nell'area dell'alta Val Cenischia. Come già detto il sistema di flusso in roccia possedeva originariamente una pressione idrostatica superiore a quella degli acquiferi dei fondovalle Clarea, Cenischia e Dora. Nelle porzioni più basse del versante destro della Val Cenischia, come conseguenza dell'esaurirsi delle riserve idriche immagazzinate in uno dei settori più elevati dell'acquifero (bacino di punta Mulatera) l'alimentazione delle zone di deflusso rappresentate dalle gallerie dell'impianto AEM, che originariamente proveniva da questa parte di bacino (topograficamente più elevata) è stata sostituita da un'alimentazione proveniente dal fondovalle Cenischia, in direzione del versante; tale alimentazione continua ad attingere dalle alluvioni di fondovalle dell'Alta Val Cenischia, anche per la probabile discontinuità della coltre impermeabile (acquiclude) dei depositi glaciali di allogamento che occupano il fondovalle glaciale sepolto, discontinuità che permette quindi l'infiltrazione di acqua dalle alluvioni. Attualmente quindi, il bacino di punta Mulatera fornirebbe soltanto una minima frazione dell'acqua che alimenta le venute nelle gallerie dell'impianto AEM.

Allo stato attuale quindi, il drenaggio operato dalle gallerie dell'impianto AEM di Pont Ventoux garantisce che l'acquifero sia mantenuto in condizioni drenate, pertanto il tratto da eseguire in sotterraneo per entrambe le varianti di progetto del Tunnel di base risulterà ad un livello superiore a quello della falda all'interno dell'acquifero. Come si vedrà nel capitolo conclusivo tale condizione ottimale potrà non rimanere tale nel momento in cui le gallerie AEM venissero parzialmente o totalmente impermeabilizzate.

Le gallerie dell'impianto di Pont Ventoux-Susa, e in particolare la galleria in pressione tra Val Clarea e F4 operano un drenaggio anche sulla falda s.l. presente all'interno del complesso a bassa permeabilità. All'interno di tale complesso però gli effetti del drenaggio sono molto più localizzati nell'intorno delle opere, proprio perché la permeabilità è bassa.

All'interno del complesso a bassa permeabilità esistono comunque dei settori ad elevata permeabilità, rappresentati dalle fasce di fratturazione riportate in Tav. 1 e 3 (doc. I.1./32ghijk). All'interno di queste fasce possono esistere dei circuiti estremamente localizzati che defluiscono secondo la direzione delle strutture che le costituiscono. Questi circuiti possono venire alimentati dai settori dell'Unità d'Ambin ad ovest dell'area studiata, in corrispondenza delle zone a quota più elevata e devono presumibilmente scaricare le acque in corrispondenza della terminazione orientale del sistema di taglio a scala regionale, dove intercettano il minimo di pressioni idrauliche rappresentato dalla Val Clarea. In corrispondenza di queste zone potrebbero raggiungere la superficie lungo tale sistema anche acque che si sono infiltrate in profondità all'interno delle fasce

di fratturazione; queste acque possono essere all’origine di anomalie termiche più o meno accentuate, a causa del calore convogliato verso l’alto dalle acque in risalita. L’anomalia termica del sondaggio S4 rappresenta un caso piuttosto difficile da giustificare. Nei dintorni del sondaggio sono state osservate in superficie soltanto due discontinuità secondarie, non incontrate dal sondaggio perché poste a quote superiori. Esse potrebbero convogliare verso l’alto acque profonde e calde che inducono nell’ammasso roccioso un riscaldamento. Non è escluso che le circolazioni in ascesa ora ipotizzate siano innescate dalla presenza di discontinuità a basso angolo (sovrascorrimenti) presenti a profondità più elevate di quelle raggiunte dal sondaggio S4, lungo le quali potrebbero circolare grosse quantità di fluidi, che potrebbero poi sfuggire verso l’alto lungo discontinuità secondarie quali le due faglie osservate nel sondaggio S4.

## **1.2 Settore ad est della Val Cenischia**

Ad est della Val Cenischia il drenaggio sotterraneo avviene principalmente all’interno dell’acquifero composto dai gruppi 1 e 3. All’interno di questo acquifero, in base ai dati a disposizione, sembra probabile che le acque si infiltrino nelle parti intermedie del versante (cfr. Cap. 3 doc. I.1./32ghijk) e defluiscano poi originando circolazioni più o meno lunghe e profonde, secondo schemi del tipo di quello proposto in Tav. 1 (doc. I.1./32ghijk). Una parte delle acque infiltrate raggiunge la superficie in prossimità del limite superiore del gruppo acquiclude 5 in coincidenza con le valli dei principali rii laterali della Dora, quali il Rio Moletta e il Rio Prebech (sorgenti SB22, SB20 e SB17, doc. I.1./32ghijk). Un’altra parte defluisce, seguendo il contatto con il complesso 1 e la Zona di Taglio di Falcimagna, in direzione E-W, fino a raggiungere la falda di fondovalle, presumibilmente nel settore di S. Giuliano. Nella porzione di acquifero a letto del nucleo di piega di basamento (acquiclude 5), a causa della scarsa alimentazione da monte, la falda usufruisce verosimilmente della sola alimentazione fornita dalle acque che si infiltrano nelle conoidi di Chianocco e Bussoleno, che in effetti presentano una superficie piezometrica molto depressa, forse proprio in relazione con la presenza di un substrato estremamente drenante, oppure in relazione ad una morfologia sepolta complessa.

Verso ovest, al tetto dell’acquifero, nell’acquiclude costituito dal complesso 6a, le acque circolano lentamente, tranne lungo alcune discontinuità principali. Una di queste, la ZTM, rappresenta un’importante via di circolazione in senso circa Nord-Sud, in connessione idraulica verso il basso con l’acquifero costituito dal gruppo 3, che probabilmente in parte alimenta adducendovi acque dall’alto. Altre discontinuità che possono costituire locali vie di drenaggio all’interno dell’acquiclude sono rappresentate dalle piccole faglie che si trovano immediatamente a est di Venaus, che a quote prossime al fondovalle potrebbero anche fungere da vie di risalita verso la superficie per acque circolanti nell’acquifero costituito dai complessi 3 e 6b localizzato in destra della Val Cenischia (cfr. paragrafo 8.1 doc. I.1./32ghijk).



Vista 5: Fotoinserimento del viadotto di attraversamento della Val Cenischia con imbocco del tunnel di base, visto dal versante in sinistra orografica del torrente.