

Committente: **Alpetunnel GEIE**
Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**
**Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo
esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine
di Stato**
Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Data: 12/05/2000
Redatto: Dott. L. Delle Piane
Dott. A. Damiano

Pagina 1 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INTRODUZIONE	3
2.1. Il complesso di gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux	3
2.2. Dati trattati e riferimenti	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4. DATI UTILIZZATI PER LA REALIZZAZIONE DEL PROFILO DI PREVISIONE	6
4.1. Proiezione dei sondaggi sul piano del profilo	6
4.2. Proiezione delle faglie osservate nelle galleria 0402 (canale derivatore in pressione) dell' impianto idroelettrico Pont Ventoux - Susa	7
4.3. Dati geologico-geomeccanici di galleria	8
4.3.1. Gallerie del nodo centrale	8
Assetto litostrutturale	8
Classificazione dell'ammasso roccioso	9
Presenza di acqua	10
Dati tecnici	11
4.3.2. Galleria di Finestra 4/galleria di derivazione in pressione	11
Assetto litostrutturale	12
Classificazione dell'ammasso roccioso	14
Presenza di acqua	15
Dati tecnici	16
5. COMMENTO AL PROFILO GEOLOGICO-GEOMECCANICO DI PREVISIONE	16
5.1. Considerazioni generali	18
5.2. Settore A (progr. 0-390)	23
5.3. Settore B (progr. 390-1270)	24
5.4. Settore C (progr. 1270-8050)	27
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	30

Committente: **Alpetunnel GEIE**
Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**
**Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo
esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine
di Stato**
Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Data: 12/05/2000
Redatto: Dott. L. Delle Piane
Dott. A. Damiano

Pagina 2 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

1. PREMESSA

Il presente studio si inquadra nella collaborazione tra la Pont Ventoux Scrl, che sta realizzando l'impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa e Alpetunnel G.E.I.E. nell'ambito degli studi ed indagini geologiche preliminari per il tunnel di base Maurienne – Ambin (lato Italia) del nuovo collegamento ferroviario transalpino, linea Torino – Lione.

Lo studio è articolato in due fasi, che sono di seguito sinteticamente descritte:

1. Esecuzione di un profilo geologico-geomeccanico di previsione dall'imbocco di Venaus fino al confine di Stato, alla scala 1:5000, da costruirsi sulla base degli elaborati prodotti da Alpetunnel G.E.I.E. e dalla Pont Ventoux S.c.r.l.
2. Acquisizione dati relativi alle produzioni per la realizzazione delle gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux, con organizzazione di una banca dati per tipi omogenei di galleria contenente tutti i valori relativi ai monitoraggi, indagini, performances di scavo, sostegni di prima fase ed altri parametri acquisiti dalla Pont Ventoux durante lo scavo delle gallerie in progetto

Il presente rapporto rappresenta la nota illustrativa di commento del profilo geologico – geomeccanico oggetto della prima fase dello studio.

Il profilo è stato realizzato lungo il tracciato del Tunnel di Base «Maurienne-Ambin», variante Nord, nel tratto compreso tra il previsto imbocco a Venaus ed il Confine di Stato, (Km 0+000÷8+050 dal Confine di Stato).

Si tratta di una sintesi delle conoscenze geologiche già rappresentate in precedenti elaborati (profilo geologico in scala 1:10000 e profilo geologico-geomeccanico in scala 1:2000 tra le progressive 0 e 1828 dall'imbocco di Venaus), integrata con ulteriori dati provenienti sia dall'esperienza di scavo delle gallerie dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa, e sia dagli studi tettonico ed idrogeologico già eseguiti dalla SEA Consulting.

Per quanto riguarda la descrizione in dettaglio dell'impianto Pont Ventoux e dei dati raccolti durante lo scavo delle gallerie che lo costituiscono, utilizzati per la redazione del profilo allegato, si rimanda alla nota redatta dalla SEA Consulting in data 12/07/1999 (codice documento *SDP99-3-RGL11*) che sarà di seguito ripresa sinteticamente.

Per ciò che attiene alla descrizione ed analisi dei dati relativi alle performances di scavo ed in generale alle modalità di esecuzione delle gallerie suddette si fa inoltre riferimento all'elaborato SEA Consulting *VT99-73-3-DGT11*, che rappresenta il documento principale della seconda fase in cui si articola il presente studio.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 3 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

2. INTRODUZIONE

2.1. Il complesso di gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux

I dati di sottosuolo utilizzati per la redazione del profilo geologico-geomeccanico provengono dai rilievi effettuati in fase di scavo nelle gallerie dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa ed in particolare dal nodo centrale, dalla condotta forzata e dal canale derivatore in pressione tra il serbatoio Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte. Questi settori dell'impianto idroelettrico si trovano in prossimità del tracciato ferroviario ed interessano ammassi rocciosi con caratteristiche strutturali e geomeccaniche del tutto simili a quelli che saranno attraversati dal cunicolo esplorativo.

Il nodo centrale è costituito dalle seguenti gallerie¹ :

- galleria di accesso (opera 0801) e galleria di fuga della centrale in caverna (opera 0703);
- centrale elettrica in caverna (opera 0705), gallerie diffusori della condotta forzata (opera 0604) e gallerie distributori dove inizia la galleria di restituzione (opera 10);
- pozzo piezometrico di valle (opera 0901),

Le gallerie esterne al nodo centrale, i cui dati di scavo sono stati utilizzati per il presente studio sono:

- la condotta forzata, composta da un primo tratto inclinato a 45°, da un tratto intermedio inclinato al 16% e da un pozzo finale verticale (opera 0601),
- la galleria di derivazione in pressione dal serbatoio di Val Clarea al pozzo piezometrico di monte (opera 0402);
- la galleria di raccordo tra la camera valvole ed il canale derivatore in pressione (opera 0404),
- la galleria di Finestra 4, galleria di accesso al canale derivatore in pressione (opera 0405)
- la galleria di Finestra 5, di accesso al tratto inclinato al 16% della condotta forzata (opera 0605).

¹ Codifica opere in sotterraneo Impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa:

0201 – Canale derivatore Pont Ventoux - Val Clarea. Tratto scavato in tradizionale tra Pont Ventoux e Finestra 2
0202 - Canale derivatore Pont Ventoux - Val Clarea. Tratto scavato in TBM tra Finestra 2 e Pont Ventoux
0203 - Canale derivatore Pont Ventoux - Val Clarea. Tratto scavato in TBM tra la Val Clarea e Finestra 2
0402 – Canale derivatore in pressione tra la Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte – Tratto scavato con TBM
0404 – Canale derivatore in pressione tra la Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte – Raccordo da camera valvole a canale derivatore – Tratto scavato in tradizionale.
0405 – Galleria di accesso al canale derivatore in pressione da Finestra 4
0601 – Condotta forzata – Tratto inclinato al 16%
0604 - Condotta forzata - gallerie distributori
0605 - Galleria di accesso alla condotta forzata - Finestra 5
0703 – Galleria di fuga della centrale elettrica in caverna
0801 - Galleria di accesso alla centrale elettrica in caverna
0901 - Pozzo piezometrico di valle
1001 - Canale di restituzione in galleria
1103 - Galleria di accesso al coronamento diga di Susa
1105 - Galleria di demodulazione

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 4 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Lo scavo del complesso di gallerie descritto nella precedente nota è terminato alla data attuale. Durante lo scavo dei tratti di galleria realizzati dopo il Luglio del 99 (pozzo verticale e tratto inclinato a 45° della condotta forzata, galleria di restituzione), non sono emerse particolari novità sull'assetto geologico – geomeccanico degli ammassi rocciosi tali da portare ad una modifica delle previsioni già definite per i primi 1828 m del Tunnel di Base.

2.2. Dati trattati e riferimenti

I dati su cui si basa il profilo di sintesi sono riassumibili in:

1. dati geologico-strutturali di superficie raccolti nel corso di campagne di rilevamento geologico di dettaglio;
2. stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti dalla Alpetunnel GEIE lungo il tracciato in progetto (S2, S4, S5, S6, S12, S14, S18, S19); tali sondaggi verranno citati nel seguito preceduti dalla sigla «APT» (es.: APT S6);
3. stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti dalla Pont Ventoux S.c.r.l. nei dintorni delle opere del nodo centrale e del tracciato della condotta forzata (4S5, 6S1, 6S2, 7S1, 7S2, 8SG5); tali sondaggi verranno citati nel seguito preceduti dalla sigla «PV» (es.: PV 6S1);
4. rilievi geomeccanici in corso di scavo delle gallerie Pont Ventoux, finalizzati alla classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (classi RMR);
5. rilievi puntuali delle principali discontinuità fragili (faglie, fasce di taglio cataclastiche, fasce di fratturazione) eseguiti durante e successivamente allo scavo delle gallerie Pont Ventoux
6. dati piezometrici derivanti dal monitoraggio effettuato da Pont Ventoux e da Alpetunnel GEIE nei diversi sondaggi eseguiti ed attrezzati a piezometri, nonché da misure pressiometriche in sondaggi eseguiti all'interno delle gallerie del nodo centrale;
7. rapporti di avanzamento ricavati dal Giornale Lavori Pont Ventoux ed utilizzati per l'elaborazione dello studio di analisi delle prestazioni di scavo (II^a fase dello studio generale in cui si inquadra la presente nota). I suddetti rapporti sono relativi alle difficoltà incontrate in corso di scavo, alla quantità di acqua incontrata, alla tipologia dei rivestimenti di prima fase, ecc.

Per i dati geologico-strutturali di superficie si fa riferimento alla documentazione prodotta dalla SEA Consulting per la Pont Ventoux sulle opere da 03 a 09.

Per i dati geomeccanici e per parte dei dati idrogeologici (relativi al nodo centrale ed al canale derivatore in pressione) si fa riferimento agli elaborati «Monitoraggi e Controlli» sulle opere suddette, redatti dalla Pont Ventoux.

Per i dati geostrutturali riguardanti le faglie e le zone di fratturazione osservate nell'alta Val Clarea si fa riferimento allo studio tettonico redatto dalla SEA Consulting per conto della Pont Ventoux, nell'ambito del programma di collaborazione con Alpetunnel GEIE.

Per i dati riguardanti l'idrogeologia (posizione della superficie di falda, venute d'acqua ipotizzate) nel settore di galleria ferroviaria più lontana dalle opere Pont Ventoux ci si riferisce allo studio idrogeologico generale, realizzato sempre dalla SEA Consulting per conto dell'Università di Torino – Dipartimento di Scienze della Terra (responsabile scientifico Prof. Giorgio Martinotti).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per ciò che riguarda l'inquadramento geologico generale si rimanda a quanto riportato nella precedente nota SEA Consulting datata Luglio 1999, oltre che ai numerosi rapporti facenti parte degli studi commissionati da Alpetunnel al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino.

Riassumendo in breve, il tracciato ferroviario interessa, come le gallerie dell' impianto di Pont Ventoux, le unità geologiche dei Calcescisti e del Massiccio di Ambin, oltre alle coperture di quest'ultimo. In prossimità del contatto fra le due unità principali la galleria attraverserà una fascia di tettonizzazione costituita in prevalenze da brecce e cataclasiti a matrice carbonatica («carniole» aut.).

Le diverse unità sono costituite dai seguenti litotipi:

Unità Piemontese:

- calcescisti filladici \pm grafitici
- calcescisti marmorei e marmi a silicati
- gneiss albitico-quarzitici, passanti a micascisti gneissici e a quarziti feldspatiche (gneiss di Charbonnel)

Massiccio di Ambin (copertura):

- quarziti
- micascisti
- marmi dolomitici e calcitici
- «carniole»

Massiccio di Ambin (basamento):

- gneiss aplitici a grana fine
- micascisti e gneiss albitico-cloritici
- micascisti a glaucofane \pm granato, più o meno retrocessi in micascisti albitico-cloritici.
- metabasiti, (anfiboliti retrocesse a scisti verdi e metadioriti) intercalate ai prevalenti micascisti.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 6 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

4. DATI UTILIZZATI PER LA REALIZZAZIONE DEL PROFILO DI PREVISIONE

Nel seguito verranno sinteticamente esposti i dati disponibili in base ai quali è stata effettuata la ricostruzione geologica e la caratterizzazione geomeccanica del tracciato ferroviario in progetto.

4.1. Proiezione dei sondaggi sul piano del profilo

Come evidenziato dallo schema di inquadramento incluso nella tavola di profilo allegata, una parte dei sondaggi utilizzati per la ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale del sottosuolo lungo il tracciato ferroviario (in particolare i sondaggi PV) non è ubicata sull'esatta verticale del tracciato stesso.

Per ottenere una ricostruzione stratigrafica affidabile è allora necessario effettuare una correzione che tenga conto di tale disassamento, proiettando i dati stratigrafici sul piano del profilo. La proiezione delle colonne stratigrafiche avviene secondo le seguenti modalità:

1. per i sondaggi in roccia, le colonne stratigrafiche s.s., intese come l'insieme delle informazioni riguardanti la litologia, i contatti tra litotipi, le strutture duttili e i fasci cataclastici, sono proiettate sul piano della sezione geologica secondo le direzioni strutturali dominanti, in particolare secondo la direzione N110°E, corrispondente allo "strike" medio dei principali orizzonti di cataclasi carbonatiche. Ciò perché ai fini della caratterizzazione geomeccanica del tracciato, l'individuazione dei fasci di cataclasi carbonatiche si è rivelato l'elemento geologico in assoluto più importante.
2. Per i sondaggi realizzati nei depositi alluvionali del fondovalle Cenischia, i dati riguardanti le stratigrafie sono proiettati secondo la direzione stimata del contatto sepolto basamento/copertura quaternaria, approssimativamente parallelo all'asse vallivo.
3. La proiezione secondo una data direzione strutturale (cioè secondo la linea orizzontale perpendicolare alla direzione di immersione della struttura considerata) implica che tutti i sondaggi devono essere riportati sulla sezione geologica mantenendo invariata la quota di bocca foro; per tale motivo, nel profilo previsionale alcuni di essi appaiono sfalsati rispetto al profilo del piano campagna.
4. Le faglie intercettate dai sondaggi sono state proiettate sul piano della sezione geologica ognuna secondo la propria direzione, stimata o accertata, generalmente non coincidente con la direzione di proiezione delle colonne stratigrafiche; infatti, le faglie sono un elemento strutturale recente, sviluppatosi in maniera indipendente dall'assetto geometrico e strutturale preesistente; per questo motivo, la loro posizione nel profilo non corrisponde al punto in cui queste compaiono nelle colonne proiettate dei sondaggi.
5. Il sondaggio APT S4 è inclinato di 45° rispetto alla verticale, pertanto la proiezione sul piano della sezione geologica riporta i valori di progressiva da inizio foro modificati secondo questa inclinazione. L'intervallo di 50 m indicato per tutti gli altri sondaggi (verticali) corrisponde per la proiezione dell' APT S4 a 70,7 m di progressiva reale.

La proiezione dei dati secondo le regole sopra esposte, comporta una diversificazione nel grado di affidabilità dei dati proiettati, in particolare:

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 7 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

- il dato geologico più affidabile è quello relativo alla posizione degli orizzonti di cataclasi carbonatiche, poiché la loro direzione media corrisponde alla direzione di proiezione.
- La posizione dei contatti tra i litotipi risulta in media altrettanto affidabile, in quanto, pur con alcune discordanze locali, gli elementi strutturali rappresentati dalla giacitura della scistosità regionale da una parte, e dalla giacitura media dei piani cataclastici dall'altra, sono subparalleli; il grado di affidabilità cresce passando dall'unità dei calcescisti piemontesi al massiccio di Ambin, poiché le direzioni delle giaciture nella seconda unità vengono a coincidere gradualmente con quelle dei piani tettonici principali, ruotando progressivamente in senso antiorario, man mano che ci si sposta verso W.
- Con un livello di affidabilità minore possono essere considerate le principali strutture fragili (faglie); l'affidabilità della ricostruzione è limitata dal fatto che mancano, in superficie, riscontri diretti della loro esistenza, a causa dell'estesa coltre di depositi glaciali che nasconde quasi completamente il basamento prequaternario; gli unici dati disponibili nella zona sono quindi quelli dei sondaggi e quelli di galleria.
Tuttavia, i dati dei sondaggi rappresentano un'informazione puntuale, se paragonata alla scala del profilo, ed è molto difficile effettuare correlazioni con le gallerie già realizzate. Infatti, le faglie osservate nei fori sono generalmente strutture tettoniche minori, che possono esaurirsi lateralmente, o suddividersi e confondersi con le numerose strutture minori incontrate dalle gallerie.
- I sondaggi più distanti dal tracciato (PV6S1 e PV6S2) forniscono indicazioni geologico-stratigrafiche meno attendibili, poiché, ad esempio, alcune intercalazioni di forma lenticolare evidenziate dalle stratigrafie potrebbero esaurirsi lateralmente, prima di arrivare in corrispondenza del profilo previsionale.

4.2. Proiezione delle faglie osservate nella galleria 0402 (canale derivatore in pressione) dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa

Le faglie ed i fasci cataclastici principali di potenza da decimetrica a metrica incontrate durante lo scavo della galleria di derivazione in pressione dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux - Susa (opera 0402), sono state proiettate sul tracciato ferroviario, che si trova ad una distanza di circa 300-350 m a Nord e ad una quota di 360-370 m più bassa rispetto a quella del canale derivatore.

Il tratto di canale derivatore in pressione considerato per la proiezione delle faglie è quello subparallelo al tracciato ferroviario, limitato alla progressiva 3100 circa. Oltre questo punto la galleria, in direzione della vasca di Val Clarea, si allontana sensibilmente verso Sud dal tracciato ferroviario con un'ampia curva, rendendo poco significative e geometricamente meno valide ulteriori estrapolazioni di dati.

La modalità di proiezione utilizzata è la seguente:

1. Proiezione, sul piano orizzontale, dei punti di intersezione delle faglie con il canale derivatore, a partire dalla posizione planimetrica di questo fino alla verticale del tracciato ferroviario, lungo lo strike delle strutture misurato (lo strike è l'orientazione della linea orizzontale perpendicolare alla direzione di immersione delle strutture);

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 8 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

2. Proiezione, sul piano verticale della sezione geologica, delle strutture secondo la loro inclinazione apparente calcolata, fino ad intersecare il tracciato ferroviario (l'inclinazione apparente è sempre minore di quella reale, in virtù dell'angolo tra la direzione della sezione geologica e la direzione di immersione della struttura. Se le due direzioni coincidono, l'inclinazione apparente coincide con quella reale).

Le tracce delle faglie osservate sono state disegnate con un andamento che segue la più verosimile conformazione geometrica delle strutture, vale a dire con variazioni, anche apparentemente irregolari, di giacitura, di numero e posizione delle superfici di movimento che costituiscono la faglia (aspetto "anastomosato). Pertanto la progressiva di intersezione di ciascuna struttura con il tracciato ferroviario non è definibile con precisione; ciò è stato tenuto in considerazione nella valutazione dei margini di incertezza riportati nelle fincature del profilo.

4.3. Dati geologico-geomeccanici di galleria

Verranno di seguito analizzate le condizioni geologiche e geomeccaniche incontrate dalle gallerie finora realizzate nell'ambito dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux. Per ogni galleria sarà fornita una descrizione sintetica dei litotipi attraversati, dei parametri adottati per la classificazione geomeccanica, delle problematiche legate allo scavo e delle soluzioni tecniche adottate.

4.3.1. Gallerie del nodo centrale

Assetto litostrutturale

Il complesso delle gallerie del nodo centrale si sviluppa interamente all'interno dell'unità dei calcescisti piemontesi. Sono state attraversate intercalazioni a scala da decimetrica a pluridecimetica di calcescisti filladici \pm grafitici, marmi a silicati e gneiss albitico-quartzitici, localmente passanti a micascisti. La giacitura media della scistosità oscilla tra 10 e 35°, tra S e SE.

Galleria di accesso

In corrispondenza della progr. 384 della galleria di accesso alla centrale in caverna è stato incontrato un livello di cataclasiti carbonatiche con immersione \sim 110/20-25, della potenza complessiva di una decina di m (20 m in pianta)²; lo stesso orizzonte è stato nuovamente attraversato dalla galleria di accesso alla progr. 833 (al piano del pavimento; 817 in calotta), a causa della curvatura della galleria stessa. Ad esso è associata, al tetto, una fascia di roccia estremamente fratturata e rilasciata di potenza complessiva variabile tra 5 e 15 m.

In entrambi i casi l'orizzonte tettonizzato taglia in lieve discordanza i calcescisti piemontesi; la cataclasite è costituita da una matrice argillificata giallastra inglobante frammenti e bancate metriche di roccia più sana; l'insieme è attraversato da condotti carsici di dimensioni da

²: il livello di cataclasiti carbonatiche attraversato dalla galleria di accesso alla centrale risulta essere un piano secondario associato al piano tettonico principale incontrato, più a monte, dalla galleria di Finestra 4; ciò risulta chiaramente dall'interpretazione delle stratigrafie dei sondaggi geognostici, come evidenziato nell'allegata tavola di profilo.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 9 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

centimetriche a decimetriche e presenta estesi fenomeni di dissoluzione e riprecipitazione legati a circolazione d'acqua.

Tra le progressive 1110 e 1122 é stata incontrata una faglia («faglia di Venaus») con giacitura ~160/70÷80, caratterizzata da una fascia di fratturazione pervasiva (fratture e microfaglie con spaziatura centimetrico-decimetrica), associata a piani di cataclasiti ± argillificate di potenza da centimetrica a decimetrica.

Galleria di fuga

La stessa faglia incontrata nella galleria di accesso é stata intersecata alla progr. 393 dal vertice di inizio della galleria di fuga (progr. 603 dall'imbocco a Venaus); in quest'ultima, la faglia é caratterizzata da una fascia di cataclasiti ± argillificate, associate a brecce di faglia e «gouge», della potenza complessiva di 2 m ca. e da una zona di fratturazione al contorno estesa per 2-5 m dal piano principale, avente giacitura analoga a quella misurata nella galleria di accesso.

Pozzo piezometrico di valle

Il pozzo di valle, subparallelo alla galleria di fuga, non é ancora giunto, alla data del presente rapporto, in corrispondenza della faglia di Venaus, la quale, per la propria posizione e giacitura, non risulta comunque di interesse per il previsto tracciato ferroviario.

Centrale elettrica in caverna

Per quanto riguarda la caverna della centrale elettrica, attualmente in corso di approfondimento, essa risulta impostata, nella zona di calotta, entro calcescisti grafitici ± filladici; i sondaggi PV SC1÷SC4, eseguiti sul pavimento del cunicolo di calotta per esplorare le condizioni geologico-geomeccaniche nella zona di successivo approfondimento, hanno evidenziato la presenza di una bancata decametrica di gneiss quarziticci ad albite al di sotto del piano del cunicolo di calotta.

La giacitura della foliazione é concordante con quella osservata nelle gallerie adiacenti; locali verticalizzazioni a scala metrica della scistosità, soprattutto nelle bancate gneissiche (sondaggi), sono da imputare a deformazioni duttili coeve con lo sviluppo della scistosità nei calcescisti filladici (scistosità di piano assiale, probabile fase 2 alpina).

Lo scavo preliminare del cunicolo di calotta ed il suo successivo allargo hanno messo in luce un ammasso roccioso sano, caratterizzato da poche e discontinue fratture e da rare faglie minori con cataclasiti assenti o, al massimo, di spessore centimetrico.

Classificazione dell'ammasso roccioso

La classe RMR media riscontrata nel complesso dei calcescisti piemontesi e litotipi associati, nella zona del nodo centrale, é la III, con locali passaggi alla II classe, soprattutto in corrispondenza di bancate gneissico-quarzitiche di potenza superiore a qualche metro (galleria di fuga). Nel sito della centrale elettrica prevale la II classe, mentre la III classe é subordinata.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 10 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Tratti in IV classe sono stati registrati nella galleria di accesso, nelle immediate adiacenze dell'orizzonte di cataclasiti carbonatiche, e nella galleria di fuga, nelle immediate adiacenze della faglia di progr. 393 e in alcuni punti caratterizzati da un maggior grado di fratturazione.

La V classe é stata ipotizzata (poiché la classificazione di Bieniawski non é risultata applicabile correttamente) in corrispondenza della fascia cataclastica nella galleria di accesso e, nella galleria di fuga, in corrispondenza della faglia di progr. 393.

La resistenza a compressione monoassiale media utilizzata per la classificazione geomeccanica oscilla tra i 40-50 e i 110 MPa (da 26 a 127 MPa nel sito centrale), con valori medi generalmente compresi tra 60 e 90 MPa; nella fascia tettonizzata della galleria di accesso sono stati registrati valori <<10 MPa.

L'RQD oscilla tra i valori di 55 e 97% nei tratti di roccia sana e tra 0 e 25% nei settori maggiormente fratturati e rilasciati (es.: galleria di accesso, in corrispondenza del fascio cataclastico).

Presenza di acqua

La circolazione d'acqua nell'ammasso roccioso é legata ad una generale permeabilità per fratturazione, che determina la presenza di stillicidi diffusi e continui, localmente incrementata da fenomeni di lieve carsificazione, con formazione di condotti di dimensioni centimetrico-decimetriche in grado di dare luogo a venute puntuali di una certa consistenza (fino a 110 l/s: galleria di accesso, progr. 659 dall'imbocco).

La fascia principale di cataclasiti carbonatiche e l'ammasso roccioso fratturato ad essa associato costituiscono un orizzonte ad elevata permeabilità per fratturazione e carsismo. Gran parte della permeabilità é dovuta allo sviluppo di condotti carsici di discrete dimensioni entro le cataclasiti o all'interfaccia tra queste e la roccia sana, mentre la permeabilità lungo fratture si é rivelata meno importante, anche nelle zone di maggiore rilascio, a causa dell'intasamento dei vuoti da parte di materiale argilloso di origine tettonica, o residuale da dissoluzione.

I rapporti di intersezione geometrica tra il tracciato della galleria di accesso alla centrale ed il piano tettonico hanno determinato due picchi principali nella portata emunta: da 15-20 l/s ca. a 100-110 l/s ca. in corrispondenza del primo attraversamento; da 330 a 440 l/s in corrispondenza del secondo attraversamento. Una zona con venute di una certa entità é inoltre localizzata, nella stessa galleria, a tetto del piano di cataclasiti, tra le progr. 860 e 1000 ca., in corrispondenza di un settore interessato dallo sviluppo di piccole faglie e con giunti lievemente carsificati.

Le venute d'acqua si sono gradualmente trasferite verso i settori più profondi del versante, di pari passo con l'avanzamento degli scavi, cosicché i settori di galleria verso l'imbocco sono andati progressivamente asciugandosi; la portata totale risulta al 21/12/98 essersi attestata intorno ai 270 l/s, senza aver più subito variazioni significative.

Per quanto riguarda la galleria di fuga, si sono osservati stillicidi diffusi lungo fratture e giunti, ed una zona con venute più consistenti situata verso la faglia di progr. 393 (~ 30 l/s nei 130 m precedenti la discontinuità principale); immediatamente al di là del piano di faglia, in direzione della

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 11 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

centrale in caverna, le venute d'acqua sono bruscamente diminuite in corrispondenza di un settore quasi totalmente asciutto per la mancanza di discontinuità in grado di veicolare acqua (sito della centrale in caverna). Analogamente a quanto già riscontrato in precedenza, le venute d'acqua hanno subito un graduale trasferimento verso la direzione di avanzamento, anche per l'interferenza prodotta dal forte emungimento nell'adiacente galleria di accesso.

Nel pozzo di valle si sono finora registrati esclusivamente stillicidi più o meno diffusi.

Nel sito della centrale in caverna, interessato da un carico piezometrico pari a circa 30-35 m, si osserva un ammasso roccioso chiuso, con giunti saldati che veicolano acqua con una bassissima velocità di filtrazione, come confermato anche da alcune prove pressiometriche in foro (sondaggi SC1÷SC4). Allo stato attuale si osservano solo rari e ridottissimi stillicidi e la portata totale emunta dal sito centrale è nulla.

Dati tecnici

L'intero nodo centrale è stato interamente realizzato con metodo di scavo tradizionale.

I dati relativi alle performances di avanzamento, ai sostegni posti in opera, alle indagini e monitoraggi in corso di scavo sono riportati nell'elaborato SEA Consulting VT99-73-5-DTG11, che rappresenta, insieme all'analoga tavola per gli scavi con TBM, il documento di sintesi della seconda fase in cui si articola il presente studio.

I valori medi di avanzamento giornaliero sono stati di circa 5 m/giorno in ammassi rocciosi di II e III classe (Bieniawski) e di circa 3 m /giorno per lo scavo in classe IV.

Il sostegno di prima fase ha previsto, in condizioni normali, l'impiego di bulloni resinati da 3 m con passo 1.5x2.0 m, collegati tra loro da rete elettrosaldata e rivestiti da spritz-beton. I tratti in roccia fratturata con caratteristiche geomeccaniche peggiori sono stati superati con l'impiego di centine tipo IPN180 o IPN160, singole o doppie, con rete elettrosaldata e spritz-beton.

Il livello di cataclasi carbonatiche è stato consolidato mediante 4 ombrelli di infilaggi da 8 m con sovrapposizione di 4 m, centine a passo 1 m con rete e dreni in roccia per trasferire la maggior parte della portata di acqua dal fronte ai settori retrostanti ed agevolare le operazioni al fronte.

4.3.2. Galleria di Finestra 4/galleria di derivazione in pressione

La galleria di Finestra 4 (opera 0404) imbocca nel versante a valle della S.S. del Moncenisio, raccordandosi quindi con il canale di derivazione in pressione (opere 0405 e 0402), che prosegue verso la Val Clarea in direzione WNW; nel seguito verrà analizzato il tratto di scavo di maggiore interesse per le previsioni inerenti il tracciato ferroviario, comprendente, oltre alla galleria di F4, la galleria di derivazione in pressione scavata in tradizionale tra le progr. 0 e 577, misurate dal

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 12 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

vertice F.B.5 (opera 0405) ed il canale derivatore in pressione scavato con TBM tra le progressive 577 e 3100 ca. (opera 0402).

Lo scavo della galleria di F4 (opera 0404) è stato affrontato con una TBM Robbins di diametro 4.75 m, dopo la realizzazione in tradizionale di un camerone per l'assemblaggio della macchina, proseguendo per un breve tratto (fino alla progr. 168 m ca. dall'imbocco), fino a che le condizioni dell'ammasso roccioso, particolarmente scadenti, non hanno impedito l'avanzamento.

E' quindi stato temporaneamente abbandonato lo scavo con fresa, passando a realizzare in tradizionale la galleria di accesso alla camera a valvole, subparallela alla galleria di F4, e raccordandosi quindi al tracciato della galleria di derivazione a sud del punto in cui la fresa è stata fermata; lo scavo in tradizionale è poi proseguito lungo la galleria di derivazione fino a superare completamente il tratto con caratteristiche geologico-geomeccaniche più scadenti (fino alla progr. 577.5 dal vertice F.B.5); infine, con un breve tratto a ritroso, sempre in tradizionale, si è potuto riportare la TBM al fronte di progr. 577.5 da F.B.5, da dove lo scavo meccanizzato ha potuto proseguire senza ulteriori problemi significativi sino alla fine del tratto considerato, a progr. 3100 circa (cfr. 4.2).

Assetto litostrutturale

Le gallerie di F4/canale di derivazione si sviluppano dapprima all'interno dell'unità piemontese dei calcescisti, per poi attraversare il contatto tra i calcescisti e l'unità Brianzonese del massiccio di Ambin. Oltre il contatto la galleria attraversa prima le coperture e poi il basamento del Massiccio d'Ambin, che in questo tratto è rappresentato sia dalla Serie di Ambin, sia dalla Serie di Clarea.

I calcescisti presentano i caratteri litologici e strutturali consueti; nel tratto scavato risultano tuttavia assenti le intercalazioni gneissiche e quarzitiche, comuni invece nei dintorni del nodo centrale. La giacitura della foliazione nei calcescisti è mediamente immergente tra S e SW di 15-30°.

L'ammasso roccioso si è presentato molto fratturato, talora disarticolato, fin dai primi metri di avanzamento, con discontinuità frequentemente aperte e caratterizzate da riempimento argilloso e patine di ossidazione da circolazione d'acqua.

La zona di calcescisti disarticolati passa, a letto, tra le progr. 365 e 526 ca. dal vertice F.B.5, ad una fascia tettonizzata della potenza reale di 50-60 m ca. equivalenti, lungo il tracciato, ad una lunghezza di 160 m ca. In tale tratto si alternano bancate metriche di roccia relativamente indisturbata (calcescisti ± marmorei, gneiss, micascisti) e zone di cataclasi carbonatiche interessate da fenomeni di dissoluzione pervasivi; sovente la cataclasi è ridotta ad una matrice argillosa incoerente inglobante frammenti di roccia di taglia da centimetrica a metrica, più o meno ruotati. La giacitura della fascia tettonizzata è opposta alla direzione di avanzamento e si aggira intorno a 110÷120/35, con ondulazioni a scala metrico-decametrica.

A letto della fascia tettonizzata sono stati nuovamente attraversati, per un tratto di 150 m ca., calcescisti filladici-grafitici di probabile pertinenza piemontese, associati ad intercalazioni marmoree e gneissiche, quindi litotipi di pertinenza della copertura autoctona e parautoctona del Massiccio di Ambin, rappresentati da alternanze a scala da decimetrica a pluridecametrica di quarziti ± micacee, marmi dolomitici e micascisti, per una lunghezza complessiva di 146 m.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 13 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Il contatto tra i calcescisti e le coperture Ambin é di tipo milonitico duttile, perfettamente saldato, così come il contatto tra le coperture ed i sottostanti gneiss aplitici a grana fine del basamento pretriassico. I litotipi della copertura del massiccio di Ambin si presentano molto compatti ed interessati da scarsa fratturazione, contrariamente alle evidenze di terreno.

L'associazione di copertura é localmente interrotta da sottili orizzonti di cataclasiti carbonatiche (potenza max. ~ 0.5 m), subparalleli al piano tettonico principale, che non determinano un sensibile scadimento delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, senza creare particolari problemi all'avanzamento con fresa.

Strutturalmente sottostanti ai litotipi della copertura, gli gneiss aplitici a grana fine si osservano lungo la galleria per una lunghezza di circa 1100 m (da progr. 900 circa a progr. 2000 circa). Gli gneiss presentano un aspetto massiccio, un colore variabile da biancastro a grigio chiaro, con foliazione mal definita e spesso assente. Dove più evidente, la scistosità immerge di 35-70° tra SE ed E (opposta al verso di avanzamento), per effetto di pieghe aperte a scala metrico-decametrica, di pertinenza di una fase deformativa duttile tardiva (possibile fase 3 alpina).

Gli gneiss aplitici sono caratterizzati da una notevole omogeneità e da elevata durezza, favorita dalla struttura isotropa e dalla composizione mineralogica quarzoso-feldspatica. Questa caratteristica ha spesso provocato problemi di avanzamento della TBM a causa dell'elevato consumo dei cutters.

Intercalati agli gneiss aplitici si sono a tratti osservati micascisti quarzosi di aspetto conglomeratico e gneiss minuti albitico-cloritici.

Dalla progressiva 2000 circa in poi, l'intera galleria del canale derivatore in pressione è stata scavata all'interno di micascisti e quarzo-micascisti di pertinenza della «Serie di Clarea», unità generalmente considerata come costituente il nucleo «antico» del Massiccio di Ambin, polimetamorfica o con impronta metamorfica pre-alpina tuttora conservata. Si tratta di micascisti compatti di colore variabile da grigio piombo a grigio-azzurro scuro, con diffusissime vene e livelli di quarzo, di spessore variabile da millimetrico a pluricentrico, stirate e parallelizzate alla scistosità, generalmente molto pervasiva. E' frequente in questi litotipi osservare pieghe da serrate ad isoclinali che ripiegano livelli ed i lacci di quarzo. Spesso gli unici indizi della presenza di pieghe sono le strutture osservabili in questi livelli quarzosi.

All'interno dei predominanti micascisti sono presenti livelli, a geometria lenticolare appiattita lungo la scistosità principale, di metabasiti di colore verde scuro, a grana fine, massicce e talora listate per la presenza di livelli ad epidoto verde chiaro. Si tratta con probabilità di antiche anfiboliti, ora retrocesse a scisti verdi nelle porzioni di massiccio trasformate dal metamorfismo alpino. La potenza di queste intercalazioni è molto variabile, ma nel canale derivatore in pressione non sono mai stati osservati corpi di metabasiti di spessore superiore al metro.

Nel settore descritto, vale a dire fino alla progressiva 3100 circa, i problemi di scavo sono stati determinati, oltre che dalla già citata elevata durezza degli gneiss aplitici, dall'intersezione col tracciato di alcune faglie, con associate zone di maggior fratturazione e permeabilità dell'ammasso roccioso.

Si tratta di faglie caratterizzate da spessori generalmente decimetrici di cataclasite argillosa, bordate da zone di intensa fratturazione della matrice rocciosa, che possono raggiungere la potenza di qualche metro. Le faglie interessano sia gli gneiss aplitici, sia i micascisti della Serie di Clarea.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 14 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

La più significativa di queste strutture è stata attraversata tra le progressive 1985 e 2010, dove sono presenti due distinte superfici di faglia con una potenza di materiale argilloso visibile di circa 20 cm, bordanti una fascia di fratturazione che si estende sia nel settore di ammasso roccioso posto tra le due strutture e sia all'esterno di esse. Si tratta verosimilmente di un'unica struttura costituita da più superfici di movimento ad andamento «anastomosato», che si configura pertanto come una zona di disturbo tettonico di potenza decametrica con inclinazione subverticale. La direzione delle faglie misurata nel punto di attraversamento è N60E e l'angolo rispetto all'asse del tracciato è di circa 45°.

Nelle zone di fratturazione che bordano le faglie si è osservato un sensibile aumento della permeabilità dell'ammasso roccioso, che ha determinato venute d'acqua concentrate e stillicidi diffusi.

L'attraversamento di queste faglie, nonostante le venute d'acqua connesse, non ha mai determinato condizioni particolarmente critiche per l'avanzamento della TBM, che non ha subito in questi tratti fermi causati dall'assetto tettonico.

Classificazione dell'ammasso roccioso

Le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso variano fortemente passando dal settore soprastante la fascia cataclastica principale alla fascia stessa e quindi all'ammasso posto a letto della zona tettonizzata.

La zona a tetto del piano tettonico è, come già detto, fortemente fratturata, a tratti rilasciata; la classe media incontrata a partire da F4 è la IV, con rari tratti in III e frequenti passaggi alla V classe; nel breve tratto della galleria di F4 realizzato con fresa, prima dell'arresto, si registrano localmente valori di classe RMR leggermente migliori (III), per la frequente tendenza a sopravvalutare le caratteristiche dell'ammasso roccioso nelle gallerie realizzate con TBM. La galleria di accesso alla camera valvole, che corre a fianco della galleria di F4, è caratterizzata da una classe RMR oscillante tra la III e la IV, con frequenti faglie di piccole dimensioni associate a cataclasi argillificate.

Il tratto in tradizionale della galleria di derivazione realizzato a partire dal vertice F.B.5 è costantemente in IV classe, fino al piano cataclastico principale (progr. 365-526 da F.B.5), in cui la classificazione di Bieniawski non è risultata applicabile; su tutto il tratto si è ipotizzato l'equivalente di una V classe.

Il superamento di questo settore corrisponde ad un netto miglioramento delle condizioni dell'ammasso roccioso: ad un breve tratto, tra le progr. 526 e 615 da F.B.5 in cui si registra ancora una IV classe (presenza di piani cataclastici minori), segue il passaggio ad una II classe (coperture e basamento del massiccio di Ambin), molto raramente passante alla III, talora alla I. Come già accennato, gli gneiss aplitici del massiccio di Ambin, in particolare, presentano ottime caratteristiche geomeccaniche. In tutto il settore scavato nei micascisti della Serie di Clarea, fino alla progressiva 3100 circa, la classe geomeccanica prevalente è la III con passaggi a II classe e rari locali scadimenti di qualità dell'ammasso roccioso a IV classe in corrispondenza dell'attraversamento delle principali faglie.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 15 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

I valori di resistenza a compressione monoassiale media variano, nei calcescisti, tra 30 e 50 MPa nella zona compresa tra F4 e la galleria di accesso alla camera valvole; lungo il tratto in tradizionale della galleria di derivazione da F.B.5, fino alla fascia tettonizzata, è stato utilizzato il valore di 20 MPa. Tratti di calcescisti particolarmente degradati, per la presenza di faglie o fratturazione pervasiva, presentano valori intorno ai 10 MPa.

Le caratteristiche delle cataclasi argillificate, associate a brecce residuali da dissoluzione, sono state indagate tramite prove di carico su piastra, che hanno evidenziato parametri geomeccanici molto scadenti (modulo elastico: 1000÷2700 MPa; modulo di deformazione: 190÷1200 MPa, da rapporto ISMES RAT-STA-0942/98). Tali valori sono da interpretare con la dovuta attenzione, in quanto la zona cataclastica è contraddistinta da una marcata eterogeneità, dovuta alla presenza di bancate litoidi relativamente integre, alternate a porzioni completamente alterate e disarticolate. Sicuramente le caratteristiche geomeccaniche dell'insieme devono essere considerate estremamente scadenti, anche alla luce del fatto che l'intero tratto è stato attraversato in assenza di falda e quindi in condizioni migliori rispetto a quanto potrebbe verificarsi lungo la galleria ferroviaria in progetto (cfr. paragrafi seguenti).

I valori di resistenza a compressione caratteristici dei litotipi di copertura degli gneiss e dei micascisti del basamento di Ambin si attestano sui 70-80 MPa.

Anche l'RQD varia sensibilmente, con valori compresi tra 50 e 70% nel primo tratto di F4 e nella galleria di accesso alla camera valvole, passanti a 15-30% a ridosso della fascia tettonizzata, all'interno della quale l'RQD non è determinabile; i calcescisti a letto del piano tettonico presentano nuovamente valori dell'ordine del 50-70%. L'RQD nei litotipi del massiccio di Ambin s.l. si attesta su valori sempre superiori all'80% dall'attraversamento delle coperture fino a progressiva 1500 circa, per poi scendere a valori compresi tra il 60% ed il 70% nel tratto di galleria successivo, fino alla fine del settore considerato (progr. 3100).

Presenza di acqua

L'intero tratto compreso tra la Finestra 4 e l'inizio delle coperture del Massiccio d'Ambin si situa al di sopra del livello medio della piezometrica di versante, per cui le condizioni generali sono caratterizzate da assenza di acqua o da ridottissimi stillicidi direttamente correlati con l'infiltrazione dalla superficie e quindi caratterizzati da marcata discontinuità nel tempo, in funzione delle precipitazioni.

Stillicidi localizzati e deboli venute concentrate si incontrano ad iniziare dal letto della fascia tettonizzata, ed all'interno delle coperture del Massiccio d'Ambin in quanto la galleria comincia ad addentrarsi, in tale tratto, nella zona satura.

Stillicidi diffusi e venute concentrate si sono spesso manifestate in prossimità dell'attraversamento delle faglie cui si è accennato in precedenza, sia nei litotipi del basamento e sia nelle coperture del Massiccio d'Ambin. Nelle zone di fratturazione che bordano tali faglie si è in infatti osservato un sensibile aumento della permeabilità dell'ammasso roccioso, che ha determinato venute d'acqua e stillicidi diffusi della portata massima di alcuni l/sec, anche in pressione. Il comportamento di queste venute nel tempo prevedeva generalmente un picco di portata - connesso con lo svuotamento delle principali fratture/serbatoio in interconnessione reciproca - subito dopo lo scavo, seguito da

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 16 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

una diminuzione in un breve arco di tempo, sino a stabilizzarsi ad una situazione di equilibrio, con portate notevolmente inferiori a quelle di picco.

Dati tecnici

Si è già detto della sopraggiunta necessità di effettuare un by-pass alla galleria di F4 lungo la galleria di accesso alla camera valvole ed il tratto iniziale della galleria di derivazione.

Lo scavo in tradizionale, date le scadenti condizioni generali, è stato effettuato con l'utilizzo sistematico di bulloni resinati con rete e spritz-beton, o di bulloni tipo *super swellex* con spritz-beton fibrorinforzato, a maglia regolare di 1.5 m; i tratti in calcescisti più scadenti (classe V) sono stati superati con una sezione di consolidamento comprendente centine tipo IPN 180 doppie, con passo 1 m 25÷1.5 m, rete e spritz-beton.

La fascia cataclastica è stata superata con l'utilizzo di centine doppie tipo IPN 180 a passo 1 m, con spritz-beton fibrorinforzato di spessore 20 cm. Nella parte iniziale della fascia cataclastica, in una fascia di alcuni metri caratterizzata da ammasso con comportamento spingente, lungo i piedritti sono stati realizzati dei micropali di ancoraggio delle centine, di diametro 160 mm, disposti uno per ogni coppia di centine ad altezze alternate di 0.5 e 2.0 m dal pavimento.

Non sono stati eseguiti infilaggi, trovandosi lo scavo in condizioni più favorevoli rispetto alla galleria di accesso alla centrale, per l'assenza di acqua di falda.

Lo scavo con TBM a letto della zona tettonizzata, non ha richiesto l'utilizzo sistematico di sostegni di prima fase; è stata eseguita una chiodatura sporadica, localmente con l'utilizzo di rete, per risolvere situazioni locali quali il distacco di piccoli diedri determinati dall'intersezione sfavorevole di alcuni giunti.

In corrispondenza all'attraversamento delle faglie principali incontrate durante lo scavo di questa galleria sono state inoltre poste in opera alcune centine ad interasse di 1-1.5 m, collegate da pannelli di rete elettrosaldata. Ciò per il contenimento dei possibili collassi di materiale argilloso o di diedri decimetrici il cui distacco era favorito dalla maggior tettonizzazione dell'ammasso roccioso, oltre che dalla presenza di venute d'acqua in pressione.

Come per le gallerie del nodo centrale, anche per quanto riguarda i dati relativi alle performances di avanzamento di questa galleria si rimanda all'elaborato SEA Consulting VT99-73-3-DGT11, redatto nell'ambito della II^a fase del presente studio.

5. COMMENTO AL PROFILO GEOLOGICO-GEOMECCANICO DI PREVISIONE

Verranno di seguito esposte le problematiche di ordine geologico e geomeccanico previste per il tracciato ferroviario riportato sulla sezione geologica di previsione.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 17 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Le progressive utilizzate sono intese a partire dall'imbocco di Venaus (progr. 8+050 Km dal confine di Stato), salvo ove diversamente indicato

La sezione geologica é accompagnata da una serie di caselle descrittive che include, nell'ordine:

1. una pianta geologica schematica in asse galleria, con l'indicazione dell'andamento e di alcune giaciture delle principali strutture incontrate.
2. Una descrizione litologica schematica a carattere riassuntivo riportante una notazione di tipo petrografico ed un campo in cui viene evidenziata la presenza di rocce di faglia e cataclasiti, oltre alla posizione delle faglie proiettate sul tracciato ferroviario a partire dal canale derivatore in pressione (opera 0402) di Pont Ventoux.
3. La posizione stimata dei contatti litologici, con un margine di incertezza, espresso in metri, entro cui si ritiene che tali contatti possano ricadere in base alle informazioni disponibili; tale margine può essere più o meno ampio, a seconda della possibilità di estrapolare le strutture con accuratezza; ciò dipende direttamente dalla disponibilità di informazioni affidabili nelle immediate vicinanze del tracciato della galleria e dalla distanza di proiezione³.
4. Un'indicazione qualitativa dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, per confronto con quanto osservato nelle gallerie già realizzate, viceversa ipotizzato nel settore più distante dalle opere dell'impianto di Pont Ventoux.
5. La tipologia delle venute d'acqua previste lungo lo scavo.
6. Il carico idraulico ipotizzato al piano della galleria.

Le condizioni idrauliche prevedibili al piano galleria sono sensibilmente diverse a seconda delle scelte progettuali, in corso di definizione, riguardanti il rivestimento definitivo (impermeabilizzato o drenante) delle gallerie del nodo centrale dell'impianto di Pont Ventoux. Pertanto, allo stato attuale, vengono presentate nella tavola di profilo entrambe le possibilità. I dati piezometrici derivanti dal monitoraggio dei sondaggi PV 6S2, PV 7S1 e PV 8SG5 indicano chiaramente un progressivo abbassamento della falda idrica presente nell'ammasso roccioso, come conseguenza dello scavo del nodo centrale. Tra le progressive 0 e 2080 ca dall'imbocco di Venaus, il tracciato ferroviario si colloca all'interno della fascia di oscillazione della superficie piezometrica, per cui le condizioni idrauliche al piano galleria saranno fortemente influenzate dall'effettiva posizione della falda al momento della sua realizzazione. Nel restante tratto del tracciato (da progr. 2080 a progr. 8050) non sono invece previste influenze del drenaggio operato dalle gallerie del nodo centrale.

7. La suddivisione lungo il tracciato della galleria in tratte dalle caratteristiche litologiche e/o geomeccaniche omogenee.
8. Un'indicazione della lunghezza approssimativa, espressa in metri, dei tratti di galleria caratterizzati da condizioni geomeccaniche omogenee. La lunghezza dei singoli tratti, così come i loro limiti, non coincidono necessariamente con i contatti litologici (punti 1÷3) o con le indicazioni relative allo stato di fratturazione (punto 4), riferite al piano del pavimento; la

³ : nel tratto relativo all'attraversamento dell'unità piemontese non é stata indicata la posizione dei contatti tra gneiss di Charbonnel e calcescisti, in quanto l'estensione, la scala e la potenza delle intercalazioni reciproche é estremamente imprevedibile, per l'elevato grado di deformazione duttile subito dai litotipi. A partire dalla progressiva 4700 da imbocco Venaus in poi, i margini di indeterminazione sono stati progressivamente aumentati in considerazione del notevole incremento delle coperture topografiche che rendono incerta la proiezione delle strutture dalla superficie verso la quota del tracciato ferroviario.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 18 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

previsione tiene infatti conto del possibile protrarsi in calotta e lungo i paramenti di condizioni sfavorevoli a causa dell'immersione a basso angolo dei livelli di cataclasi carbonatiche e dell'angolo di intersezione tra la direzione delle discontinuità e l'asse della galleria, nel caso di faglie subverticali.

9. Le classi geomeccaniche previste per ogni singolo tratto evidenziato nella casella precedente. La classificazione utilizzata è quella di Bieniawski (classi RMR); la classe prevalente e le classi subordinate vengono meglio quantificate sulla base di una stima percentuale riferita alla lunghezza complessiva del tratto preso in esame.
10. L'andamento delle coperture topografiche sul piano galleria, utile a rappresentare qualitativamente l'ordine di grandezza dei carichi litostatici ipotizzabili sul cavo della galleria di prospezione.
11. Un indice di affidabilità generale delle previsioni; tale indice è direttamente correlato alla disponibilità di informazioni nelle immediate vicinanze del tracciato del tunnel ferroviario (sondaggi, gallerie già realizzate, dati di superficie) e all'estrapolazione di tali dati al piano galleria. In linea generale, l'indice di affidabilità va gradualmente diminuendo man mano che ci si approfondisce nel versante e che ci si allontana dalle fonti di informazione, in particolare a partire dalla progressiva 4700 ca dove esiste l'ultimo dato puntuale disponibile (sondaggio APT S4) in direzione del confine di Stato e dove la copertura topografica varia da un minimo di 750 ad un massimo di 1840 m circa .
12. Dati di progetto riguardanti le progressive dall'imbocco di Venaus e dal Confine di stato, nonché le quote del piano del ferro.

5.1. Considerazioni generali

La galleria in esame può essere suddivisa, in base a un criterio di tipo essenzialmente geomeccanico ma fortemente condizionato da fattori litologici, in tre settori, caratterizzati da condizioni geologico-geomeccaniche diverse:

- < un primo settore (A), compreso tra le progr. 10÷20 e 390 ca., caratterizzato da condizioni geomeccaniche da buone a discrete, corrispondente all'attraversamento di litotipi dell'unità piemontese dei calcescisti;
- < un secondo settore (B), tra le progr. 390 e 1270 ca., corrispondente all'attraversamento di un'ampia fascia tettonizzata, impostata in prevalenti litotipi di pertinenza dell'unità piemontese e caratterizzata da condizioni geomeccaniche da medie a estremamente scadenti;
- < un terzo settore (C), tra le progr. 1270 ca. e 8050, impostato in litotipi facenti parte del massiccio di Ambin (basamento + coperture), caratterizzato da condizioni geomeccaniche da discrete ad ottime, con locali passaggi a scadenti.

All'interno di ogni settore sono state fatte delle suddivisioni in sottosectori (A1, A2, ecc.) corrispondenti a variazioni locali significative delle condizioni geomeccaniche medie.

Dal punto di vista generale, è possibile fare alcune considerazioni circa i rapporti di intersezione tra la galleria e le principali famiglie di discontinuità, in particolare per quanto riguarda le faglie.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 19 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Come evidenziato nelle proiezioni stereografica di Schmidt di Fig. 1, la maggior parte delle faglie osservate sia nel corso dei rilievi di terreno che durante lo scavo delle gallerie è caratterizzata da una direzione compresa tra E-W ed ENE-WSW, che determina angoli di intersezione variabili da 30° a 60° circa rispetto alla direzione del tunnel ferroviario. Tali faglie, immergenti in gran parte verso sud (set F1) ed in misura minore verso nord (set F2), sono per lo più caratterizzate da una fascia cataclastica ± argillificata dello spessore variabile da alcuni centimetri ad alcuni decimetri; generalmente non determinano, in base a quanto riscontrato in galleria, un sensibile peggioramento delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, essendo solo accompagnate da un localizzato incremento della fratturazione dell'ammasso circostante. L'effetto principale sullo scavo del cunicolo esplorativo determinato da queste strutture sarà con probabilità un aumento localizzato della permeabilità per fratturazione della roccia cui saranno associate venute d'acqua che, nelle zone con maggior carico idraulico ipotizzato (superiore a 100 bar) potranno diventare notevolmente problematiche per l'avanzamento dello scavo.

L'orientazione media delle faglie nei confronti del tunnel in progetto è, dal punto di vista geometrico, da mediocre a sfavorevole, con la possibilità concreta evidenziata dalla proiezione stereografica di Fig. 1, specie nei primi 2000 m di tracciato, che alcune strutture possano avere direzione parallela allo scavo e quindi seguire il tracciato per un lungo tratto; questa condizione si è peraltro già verificata durante lo scavo della condotta forzata a partire da F4, e non ha determinato problemi di grande rilievo nei confronti dell'avanzamento, al di là della necessità sporadica di infittire i sostegni di prima fase. Oltre la progressiva 2000 gli angoli di incidenza tra le faglie ed il tracciato ferroviario andranno aumentando in virtù della curvatura verso nord della galleria e pertanto l'attraversamento delle strutture diventerà meno problematico (almeno per ciò che riguarda la possibilità di collasso di diedri allungati in direzione dello scavo e di scavarnamenti del riempimento cataclastico delle faglie).

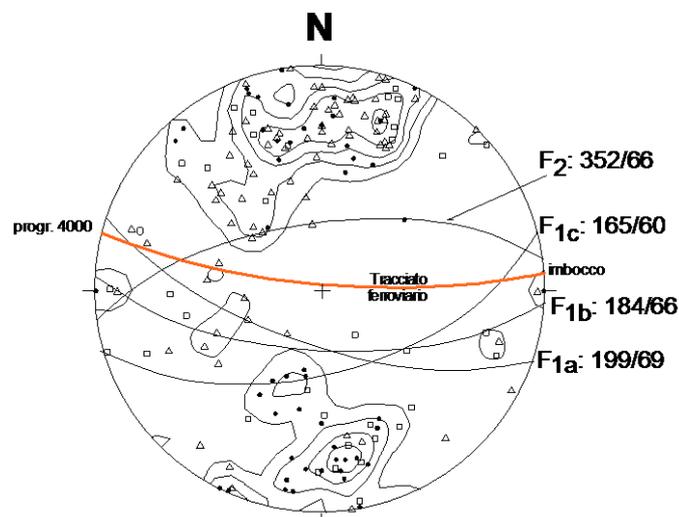
Per quanto riguarda il reticolato di giunti e fratture che interessa l'ammasso roccioso, la proiezione stereografica di Fig. 2, relativa ai dati di giacitura misurati sul terreno nell'ambito del programma di indagini geologiche per l'impianto di Pont Ventoux, evidenzia la presenza di tre famiglie principali di discontinuità, delle quali una di fratture ad alto angolo con direzione E-W, una ortogonale alla precedente (direzione N-S) ed una a basso angolo, con direzione nuovamente N-S. quest'ultima riflette l'esistenza di una serie di discontinuità fragili, con orientazione per la verità abbastanza dispersa, impostate subparallelamente alla scistosità regionale dei diversi litotipi e originate da una riattivazione fragile dei piani di foliazione. Nel settore dell'alta Val Clarea, corrispondente in superficie al tratto compreso tra le progressive 5800 ca e 8050 (confine di Stato) sono invece presenti estese fasce di giunti coniugati ad alto angolo e ad elevata persistenza, con una forte evidenza morfologica di superficie, ben visibili anche all'esame delle foto aeree, tanto da determinare la presenza di sensibili lineamenti. Si tratta di sistemi di giunti con elevata planarità, regolarmente disposti secondo una direzione ESE-WNW, subparallela quindi ad una delle principali famiglie di faglie individuate nella zona dell'impianto di Pont Ventoux ed in Val Clarea (Fig. 4).

La stessa situazione si ripropone in Fig. 3, relativa alla caratterizzazione strutturale dell'ammasso roccioso nel sito della centrale elettrica in caverna.

L'assetto geometrico della fratturazione risulta sostanzialmente analogo a quello messo in luce dallo studio generale di terreno, con due famiglie principali ad alto angolo e tra loro ortogonali

(«K1», E-W; «K4», N-S⁴), una famiglia «KS» a medio-basso angolo subparallela alla giacitura della scistosità dei calcescisti nel sito centrale ed una famiglia «K3» meno evidente nella proiezione stereografica di Fig. 2, ma tuttavia già distinguibile come un lieve massimo di concentrazione dei poli situato in basso a sinistra. Le fasce di fratturazione presenti nell'alta Val Clarea possono essere considerate di pertinenza delle famiglie di discontinuità coniugate «K1» e «K3».

Lo sviluppo di giunti KS paralleli alla foliazione è fortemente condizionato dalle caratteristiche della foliazione stessa, che variano da litotipo a litotipo; in linea generale, tale sistema è nettamente più sviluppato all'interno dei calcescisti e dei micascisti della Serie di Clarea che negli gneiss aplitici e nelle quarziti.



- Dati di terreno (35)
- △ Dati gallerie di Finestra 4/canale di derivazione in pressione (76)
- Dati gallerie nodo centrale (45)

Fig 1: Proiezione equiareale di Schmidt. Campo totale delle faglie misurate nelle gallerie del nodo centrale, di F4 (nel tratto che va dall'imbocco al contatto tra i calcescisti ed il massiccio di Ambin) e sul terreno nell'area in esame (156 dati). F1, F2, ecc. indicano i vari set di faglie, facenti parte, come si vede dalla proiezione, di un'unica famiglia con direzione E-W (N.B.: il «tracciato ferroviario» rappresentato nella proiezione va inteso come visto in pianta e non, erroneamente, come cerchio massimo).

A livello generale, prescindendo quindi dai soli dati relativi alla centrale in caverna, si può stimare per il set K1 una persistenza media dell'ordine dei 5-50 m; il set K4 presenta una persistenza nettamente inferiore, dell'ordine di 1-5 m e compare in maniera abbastanza discontinua; il set K3 è nuovamente caratterizzato da persistenze elevate (1-20 m) ma si presenta con minore frequenza

⁴ : la denominazione dei diversi set di discontinuità è quella utilizzata nell'ambito dei rilievi geomeccanici in corso d'opera dell'impianto di Pont Ventoux.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

**Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo
esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine
di Stato**

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 21 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

rispetto al K1. Molto maggiore appare essere la persistenza dei giunti facenti parte delle fasce di fratturazione dell'alta Val Clarea. Per questi giunti, in base alle evidenze di terreno ma soprattutto a quanto rilevabile dagli studi fotogeologici, si può affermare che la persistenza reale è dell'ordine del centinaio di metri.

Per tutti i sistemi, eccetto il KS, la spaziatura media è generalmente metrica, localmente decametrica nei settori di minore fratturazione; il sistema KS è caratterizzato, nei calcescisti, da spaziatura decimetrico-metrica (mediamente <1-2 m) e persistenza metrica (1-5 m ca.). Le fasce di fratturazione dell'Alta Val Clarea presentano anch'esse spaziature metriche contenute nell'ordine di 1-5 m.

L'orientazione dei sistemi di giunti subverticali varia da favorevole (sistema N-S) a sfavorevole o molto sfavorevole (sistema E-W), secondo la classificazione di Bieniawski; l'orientazione dei sistemi a basso angolo è da discreta a sfavorevole, a seconda dell'orientazione e dell'inclinazione delle discontinuità, che può risultare molto variabile.

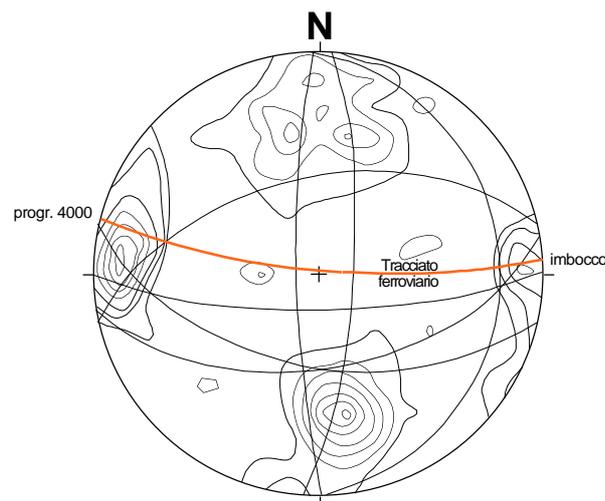


Fig. 2

Proiezione equiareale di Schmidt. Campo totale delle fratture misurate sul terreno nella zona Val Cenischia/Giaglione/Val Clarea (636 dati).

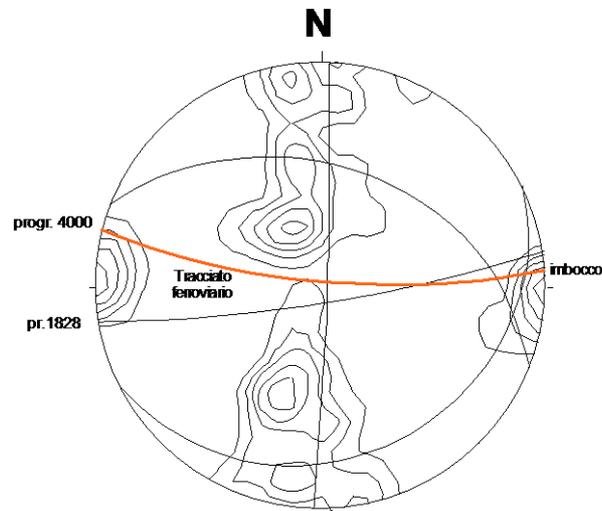


Fig. 3

Proiezione equiareale di Schmidt. Campo totale delle fratture misurate in corrispondenza del sito della centrale elettrica in caverna (179 dati).

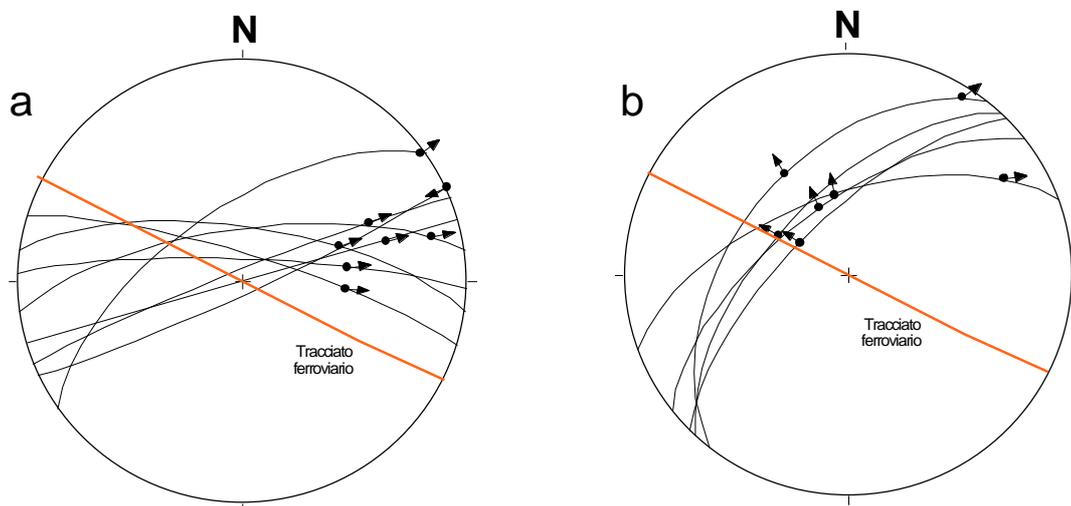


Fig. 4

Proiezione equiareale di Schmidt. Campo delle faglie misurate nell'area del versante sinistro Val Clarea (zona sondaggio APT S4) – 8 dati (a) e delle faglie misurate sul versante destro (zona Rio Canalone – bacino Pont Ventoux – AEM) – 5 dati (b). Le frecce indicano il senso di movimento individuato per il blocco di tetto.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 23 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

In linea generale, per quanto riguarda la formazione di diedri con riferimento all'assetto geometrico dei giunti e alla direzione di scavo, si evidenzia la possibilità di distacchi di cunei rocciosi, soprattutto in calotta, per l'intersezione dei sistemi ad alto angolo K1-K4 e del sistema K3; ulteriori splaccamenti sono possibili in calotta per l'influenza della foliazione, in grado di agire come piano di debolezza soggetto sia a distacchi che a flessione (possibili convergenze marcate), soprattutto nei calcescisti filladici in condizioni di elevato carico litostatico.

Nei settori caratterizzati da alte coperture topografiche (superiori a 400 – 500 m circa) ed in condizioni geomeccaniche da discrete a buone (classi III e II di Bieniawski) è prevedibile che i fenomeni di instabilità più diffusi saranno dovuti al fenomeno dello "spalling", vale a dire la rottura fragile della roccia lungo i paramenti causata dall'elevato carico litostatico.

Lo spalling è stato diffusamente osservato nei canali derivatori (in pressione ed a pelo libero) di Pont Ventoux, nei tratti di galleria con copertura superiore a 400 m circa. Il fenomeno viene generalmente favorito dall'assetto giaciturale della scistosità subparallelo ai paramenti della galleria.

5.2. Settore A (progr. 0-390)

Questo primo tratto è stato indagato direttamente, nei primi 150 m, dal sondaggio APT S14; le condizioni geologico-geomeccaniche prevedibili sono sostanzialmente analoghe a quelle messe in luce dallo scavo delle gallerie del nodo centrale.

Litologia

Verranno attraversati prevalenti calcescisti filladico-grafitici, con intercalazioni a varia scala (dm/hm) di gneiss albitici passanti a quarziti gneissiche e a micascisti, senza particolari problemi legati alla presenza di zone di intensa fratturazione.

Assetto tettonico e strutturale

L'orientazione media della foliazione nel tratto in esame sarà da opposta a trasversale rispetto al verso di avanzamento (immersioni comprese tra E e S); l'inclinazione media è prevista intorno ai 15-35°, con locali verticalizzazioni dovute alla presenza di pieghe aperte di probabile seconda fase alpina, evidenti soprattutto nelle bancate quarzitiche⁵.

⁵: la foliazione dei calcescisti coincide generalmente con il piano assiale di queste pieghe, evidenti soprattutto in corrispondenza delle bancate di gneiss quarzitici, quarziti e micascisti, più competenti dei calcescisti e meno in grado di sviluppare una scistosità pervasiva di piano assiale.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 24 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

L'eventualità di incontrare, intorno alla progr. 280-300 ca., la faglia messa in luce dai sondaggi APT S12 e PV 7S1 é alquanto remota, poiché tale struttura non é stata incontrata dalle gallerie dell'impianto di Pont Ventoux, situate, nel tratto in esame, a breve distanza dal tunnel ferroviario. Esiste la possibilità che tale struttura abbia un andamento curvo e irregolare e vada a confluire nella struttura maggiore identificata come «faglia di Venaus», senza intersecare il tracciato, oppure che sia dotata di scarsa continuità laterale, e si esaurisca rapidamente ad est dei sondaggi APT S12 e PV7S1.

In ogni caso, la faglia in oggetto rappresenta una struttura secondaria, non in grado di influire negativamente sulle caratteristiche geomeccaniche generali, anche qualora debba essere intercettata dal tracciato (possibile 10% in classe IV su un tratto di 20-30 m).

Acqua

La situazione idraulica prevedibile al piano galleria é la seguente:

- < nel caso in cui le gallerie del nodo centrale vengano impermeabilizzate, con ripristino della situazione idrogeologica originaria, il tratto in esame sarà caratterizzato da stillicidi diffusi, in particolare a partire dalla progr. 70 ca., e da eventuali sporadiche venute cospicue (1÷10 l/s) localizzate in corrispondenza di discontinuità carsificate (giunti); é inoltre prevedibile un progressivo esaurimento delle venute d'acqua nei settori più arretrati rispetto al fronte di scavo, in graduale spostamento di pari passo con l'avanzamento del fronte stesso.
- < Nel caso in cui il complesso di gallerie del nodo centrale drena in permanenza la falda, si prevede la pressoché totale assenza di acqua lungo tutto il tratto, al limite con stillicidi discontinui, sia nello spazio che nel tempo, correlati esclusivamente a filtrazione dalla superficie.

Classi geomeccaniche

Conformemente a quanto rilevato nelle gallerie del nodo centrale, la classe geomeccanica media prevista é la III, con locali tratti in II classe in corrispondenza di bancate quarzitiche più competenti. Locali e modesti peggioramenti (diminuzione dell'indice RMR nell'ambito della classe III) saranno possibili per l'influenza dello stato di fratturazione locale e per l'intersezione di discontinuità che possono dare luogo a distacco di cunei e lastre, in particolare in calotta e, data l'immersione media della foliazione dei calcescisti, che può agire come ulteriore piano di debolezza, verso il lato sinistro della volta.

5.3. Settore B (progr. 390-1270)

Il settore B é quello in cui si prevedono le maggiori problematiche inerenti la presenza di rilevanti discontinuità tettoniche e, in relazione ad esse, di un ammasso roccioso fortemente fratturato e localmente allentato. In questo tratto sarà determinante, per le difficoltà che si incontreranno in corso di scavo, la posizione della falda idrica nell'ammasso roccioso al momento della realizzazione del tunnel, in quanto le già scadenti caratteristiche geomeccaniche prevedibili potrebbero essere sensibilmente decrementate in presenza di acqua.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 25 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Litologia

A livello litostrutturale non si prevedono significative variazioni, in quanto ci si trova ancora nell'unità piemontese; l'associazione litologica predominante sarà analoga a quella descritta nel tratto precedente, con possibile prevalenza di litotipi gneissico-quarzitici (settori B5÷B7), evidenziati dalle stratigrafie dei sondaggi.

Le fasce tettonizzate saranno caratterizzate, dal punto di vista litologico, dalla presenza di rilevanti spessori di cataclasiti carbonatiche estesamente argillificate e pervase da fenomeni di dissoluzione, dato che, almeno prima dell'inizio dei lavori di scavo nelle gallerie del nodo centrale, questi litotipi ospitavano una falda; le cataclasiti sono costituite da una matrice argilloso-carbonatica friabile e plastica, inglobante blocchi di dimensioni da centimetriche a plurimetriche di elementi litoidi (calcescisti, gneiss, ecc.) relativamente intatti. Vi potranno essere orizzonti di breccie residuali, in cui la frazione carbonatica è stata pressoché totalmente asportata, lasciando un materiale argilloso ossidato, di colore rossastro.

Assetto tettonico e strutturale

Si prevede l'attraversamento di un primo orizzonte cataclastico di potenza valutabile sui 5-10 m, intorno alla progr. 460 (settori B2-B3); a tetto è prevista una fascia di forte rilascio dell'ammasso roccioso (calcescisti) analoga a quella riscontrata nella galleria di accesso alla centrale; la potenza massima stimata di tale fascia è di 15-20 m ca. e in corrispondenza di essa potranno essere incontrati diversi livelli cataclastici minori (potenza centimetrica o decimetrica), subparalleli al principale.

A partire dalla progr. 685 ca. inizierà l'attraversamento della fascia tettonizzata principale, incontrata dalla galleria di finestra 4 alla quota di 972 m s.l.m. (settori B7-B8). Le caratteristiche della zona saranno analoghe a quelle precedentemente descritte, ma su scala molto maggiore, dato il notevole spessore della fascia principale (fino a 50-60 m di potenza reale, corrispondenti a 120-140 m lungo il tracciato). Le condizioni dell'ammasso roccioso meno degradato saranno comunque di estrema fratturazione e forte allentamento, con presenza di numerosi orizzonti cataclastici secondari.

Rispetto a quanto osservato in finestra 4, la fascia tettonizzata avrà, nel suo complesso, un'estensione ancora maggiore, in quanto un secondo potente livello di cataclasiti carbonatiche è previsto, in base alle indicazioni del sondaggio APT S6, a partire dalla progr. 1080 ca. (sette B10); le condizioni dell'ammasso roccioso nel tratto compreso tra i due livelli principali (sette B9) saranno probabilmente influenzate dalla presenza di numerosi piani cataclastici minori e dal rilascio correlato sia ai movimenti avvenuti lungo tali piani, sia alla dissoluzione cui le fasce tettonizzate sono state soggette.

La giacitura media degli orizzonti tettonici sarà di 15-35° verso N110-120°E, quindi a basso angolo e discordante con il verso di avanzamento. Localmente, i piani tettonici potranno tendere a ruotare verso sud o a verticalizzarsi, a causa dell'andamento irregolare ed anastomosato, con frequenti diramazioni, che la fascia disturbata possiede nel suo insieme.

Sulla base dei dati dei sondaggi, è ipotizzabile la presenza, lungo il tratto in questione, di alcune faglie minori, la cui esatta posizione risulta peraltro alquanto incerta, per l'assenza di riscontri di

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 26 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

superficie o di sottosuolo; tuttavia si ritiene che, nelle generali scadenti condizioni dell'ammasso, la presenza di simili discontinuità, del tutto secondarie rispetto alle faglie maggiori note nell'area, non possa avere effetti di rilievo sulle condizioni geomeccaniche generali.

Acqua

Come già detto, la situazione idrogeologica al momento dello scavo sarà determinante nel rendere più o meno difficile l'avanzamento.

In linea generale, si è riscontrata nelle gallerie già scavate una forte permeabilità dell'ammasso roccioso nelle vicinanze degli orizzonti cataclastici, sia per il forte grado di fratturazione, sia per l'instaurarsi di fenomeni carsici, in particolare all'interfaccia tra cataclasiti e roccia meno disturbata; le stesse cataclasiti carbonatiche presentano caratteristiche variabili, essendo a tratti completamente impermeabili per l'elevato grado di argillificazione, a tratti interessate dallo sviluppo di condotti carsici in grado di determinare ingenti venute puntuali (es. galleria di accesso alla centrale).

Non si hanno dati diretti circa il comportamento idrogeologico della fascia tettonizzata principale (tra le progr. 685 e 1270), in quanto la galleria di F4 che l'ha attraversata era ubicata interamente sopra falda; per analogia con la galleria di accesso al nodo centrale, che ha intercettato una fascia minore di cataclasiti carbonatiche, sono prevedibili rilevanti venute d'acqua nel tratto in questione, qualora l'attraversamento della zona disturbata debba avvenire sotto falda.

In definitiva si può concludere che:

- < nel caso che le gallerie del nodo centrale debbano venire rivestite ed impermeabilizzate e che quindi la falda sia ripristinata gradualmente nella sua posizione iniziale, sono prevedibili numerose e cospicue venute d'acqua in corrispondenza delle zone fratturate a tetto dei piani cataclastici maggiori ed entro i piani stessi qualora questi siano interessati da carsismo diffuso.
- < L'emungimento dai settori più avanzati della galleria determinerà il progressivo esaurimento delle venute nei settori verso l'imbocco, dove l'ammasso roccioso è caratterizzato da una permeabilità, sia per fratturazione che per carsismo, notevolmente minore.
- < Nel caso che le gallerie del nodo centrale mantengano la loro funzione drenante nei confronti della falda, sono prevedibili venute molto ridotte per quasi tutto il tratto, fino al limite del cono di depressione, localizzabile, in base ai dati piezometrici attualmente disponibili, tra le progr. 1100 e 1200 ca.
- < Al di là di tale punto, e fino al termine del tratto tettonizzato (progr. 1270 ca.) è possibile un certo aumento delle venute d'acqua, in particolare lungo condotti carsificati nelle cataclasiti.

Classi geomeccaniche

Nel tratto in questione si riscontra una netta prevalenza di condizioni geomeccaniche scadenti, con classe RMR media oscillante tra la IV e la V, in particolare in corrispondenza degli orizzonti cataclastici e dell'ammasso roccioso a tetto, fortemente rilasciato.

I settori intermedi tra gli orizzonti cataclastici principali potranno presentare tratti in III classe, qualora la fratturazione non sia eccessivamente pervasiva; continueranno a presentarsi distacchi

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 27 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

di cunei in calotta e di lastre nella parte sinistra della calotta, in funzione della giacitura della scistosità, soprattutto nei tratti impostati in calcescisti con locali ma non infrequenti sovrassagoma rispetto alla sezione di scavo.

5.4. Settore C (progr. 1270-8050)

Questo settore copre gran parte del tracciato del cunicolo esplorativo e si sviluppa completamente all'interno del massiccio di Ambin, comprendendo l'attraversamento delle coperture. Tutto il tratto interessato dal suddetto massiccio è stato raggruppato in un unico settore perché, a fronte di una eterogeneità litologica (presenza di quarziti, marmi e micascisti nelle coperture, gneiss, micascisti e metabasiti nel basamento), le caratteristiche geomeccaniche osservate durante lo scavo delle gallerie Pont Ventoux hanno messo in luce una generale omogeneità di comportamento, a meno della presenza delle faglie e fasce di fratturazione che verranno descritte nel seguito.

Il settore C inizia con l'attraversamento delle coperture del Massiccio d'Ambin (tratto C1), che si colloca interamente a letto della fascia tettonizzata descritta nel settore B.

Contrariamente alle evidenze di superficie, lo scavo della galleria di finestra 4 ha messo in evidenza che le coperture del massiccio sono aderenti al substrato e non sono interessate che in modo marginale dai fenomeni tettonici di tipo cataclastico. Va peraltro detto che:

1. la grande variabilità nella disposizione geometrica dei livelli cataclastici non consente di fare previsioni esatte circa la loro presenza nelle zone non direttamente indagate da sondaggi o gallerie;
2. il sondaggio APT S6 ha raggiunto, verso il fondo, un potente livello di carnirole, alla base del quale compaiono marmi di probabile pertinenza delle coperture Ambin; il tratto perforato nei marmi è però troppo breve per fornire garanzie che altri livelli di cataclastiti non si possano ripresentare più in profondità, e quindi, con riferimento al tracciato ferroviario, oltre la progr. 1270, all'interno delle coperture;
3. la situazione descritta nel profilo tra le progr. 1230 e 1400 rappresenta un'estrapolazione di quanto incontrato nella galleria di F4, a una quota 370 m superiore e ad una distanza in pianta di 350 m ca. e quindi il livello di affidabilità delle previsioni, limitatamente a questo tratto, è da ritenersi mediocre.

Una volta superata questa tratta problematica per l'incertezza nelle previsioni geologiche, e raggiunto il basamento di Ambin, l'affidabilità delle previsioni e la possibilità di estrapolazione dei dati dalla galleria di F4 è da buona a discreta, in virtù della notevole omogeneità litologica e strutturale di questa unità. Non si prevedono estensioni della fascia tettonizzata all'interno del basamento pretriassico.

Le condizioni di media affidabilità delle previsioni si mantengono tali in tutto il tratto subparallelo alla galleria del canale derivatore in pressione e fino all'altezza del sondaggio APT S4 (settori da C2 a C8 compreso).

Nella porzione di tracciato rimanente, fino al confine di Stato, le previsioni divengono meno affidabili a causa della scarsità di dati da indagine diretta o da esperienze di scavo. In questo settore (da C9 a C13) i soli dati disponibili sono quelli di superficie e la loro proiezione al piano

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 28 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

galleria, considerate le elevate coperture e la complessità del contesto geologico – strutturale, è affetta da un discreto margine di incertezza.

Litologia

Si prevede nel primo tratto (C1) l'attraversamento di una successione eterogenea di marmi dolomitici compatti, quarziti da massicce a listate debolmente micacee e micascisti, in bancate di potenza da metrica a pluridecimetrica, la cui potenza complessiva non dovrebbe superare i 50 m (circa 100 m in orizzontale), ma non sono da escludere ispessimenti e/o assottigliamenti rispetto a questo valore.

Successivamente (tratte da C2 a C5) la galleria attraverserà gli gneiss aplitici (gneiss leucocratici a tessitura massiccia), cui saranno intercalati altri litotipi di pertinenza della Serie d'Ambin, vale a dire paragneiss e micascisti albitico – cloritici, con possibili livelli di micascisti quarzoso – conglomeratici.

A partire dal settore C6 in poi è previsto che il tracciato interessi esclusivamente litotipi appartenenti alla Serie di Clarea, rappresentati da micascisti di colore grigio scuro, con possibili frequenti intercalazioni a geometria lenticolare di metabasiti.

Assetto tettonico e strutturale

Nonostante le ottime caratteristiche mostrate in finestra 4 (litotipi estremamente compatti, contatti di tipo tettonico duttile saldato, rari orizzonti cataclastici di potenza centimetrico-decimetrica), la copertura potrebbe presentarsi scagliata ed attraversata da orizzonti cataclastici minori, di potenza generalmente inferiore al metro. Lo stesso contatto con il basamento pretriassico potrebbe essere tettonizzato, con presenza di sottili orizzonti di cataclasi carbonatiche (potenza non superiore a 1-2 m, in base alle evidenze di terreno).

La giacitura della scistosità va, verso ovest, via via aumentando la propria inclinazione, a causa della presenza di pieghe aperte a scala decametrico-ettometrica di possibile fase alpina tardiva (fase 3 ?) che localmente ne determinano la verticalizzazione. Allo stesso tempo, le direzioni strutturali principali tendono a ruotare leggermente da N120-130°E a N100-110°E; la foliazione si porta quindi a medio-alto angolo, con giacitura quasi esattamente opposta al verso di avanzamento. Questa situazione si dovrebbe riscontrare almeno fino al passaggio dai litotipi dalla Serie d'Ambin a quelli della Serie di Clarea (settore C7). Da questo punto in poi, addentrandosi all'interno del Massiccio d'Ambin, l'inclinazione della scistosità dovrebbe diminuire gradualmente, fino a diventare suborizzontale avvicinandosi al confine di Stato (settori da C9 a C13). Saranno possibili variazioni di inclinazione dovute alla presenza di locali ondulazioni plicative legate alle deformazioni alpine tardive citate in precedenza. La direzione della scistosità dovrebbe mantenersi pressochè invariata per tutto il settore C, formano un angolo compreso tra 60° e 90° circa rispetto all'asse del tracciato ferroviario.

Il settore C (massiccio d'Ambin) è interessato dalla presenza di una serie di faglie, che, pur non costituendo elementi tettonici di notevole importanza, potrebbero costituire, in base a quanto osservato durante lo scavo del canale derivatore in pressione di Pont Ventoux, punti di media criticità per l'avanzamento dello scavo con metodologia meccanizzata e per la stabilità a breve termine della galleria di prospezione.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 29 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Le faglie principali intersecate dalla galleria 0402, le cui caratteristiche sono già state descritte al paragrafo 3.3.2, sono state proiettate sul tracciato ferroviario con le modalità descritte al paragrafo 3.2. Le faglie in questione sono evidenziate sulla sezione geologica con un apposito simbolo grafico e si trovano in corrispondenza dei settori C2, C5, C6 e C7.

La presenza di altre faglie significative ai fini dello scavo (settore C8) , è stata ipotizzata sulla base dei dati del sondaggio APT S4 e delle osservazioni di terreno nella zona del versante sinistro della Val Clarea. In particolare i dati di terreno fanno pensare che si tratti di faglie ad alto angolo (subverticali) con movimento di tipo trascorrente (si veda il diagramma di fig. 4). Per analogia con quanto osservato nelle gallerie dell'impianto di Pont Ventoux in presenza di faglie di questo tipo, si può affermare che si tratta in genere di strutture dalla geometria complessa, quindi non estrapolabili con precisione dai punti di osservazione in superficie e lungo i sondaggi esplorativi. Di ciò si è tenuto conto nella indicazione dei margini di indeterminazione dei punti di intersezione col tracciato ferroviario.

Altre strutture tettoniche da deformazione fragile riportate nel settore C sulla sezione geologica, sono le estese fasce di fratturazione pervasiva e ad elevata persistenza osservabili in superficie nell'area dell'alta Val Clarea, descritte al paragrafo 4.1. Di queste fasce si è ipotizzata, sulla base in particolare della loro elevata continuità laterale, la prosecuzione in profondità fino ad interessare il tracciato ferroviario. Sono stati così individuati due settori (C10 e C12) caratterizzati da fratturazione pervasiva, sub verticale, con spaziatura metrico - decametrica e direzione angolata a circa 60° rispetto alla direzione di scavo. La proiezione in profondità dei limiti delle due fasce di fratturazione è stata eseguita con un ampio margine di indeterminazione in considerazione dell'elevata copertura topografica (variabile tra i 900 ed i 1800 m).

Acqua

Quale che sia l'assetto definitivo della falda nella zona interessata dal tracciato (in relazione alle scelte progettuali di impermeabilizzazione, o meno, delle gallerie del nodo centrale di Pont Ventoux), il tratto C corre interamente al di sotto della superficie piezometrica, con carichi idraulici ipotizzabili anche molto elevati (800-900 m di colonna d'acqua nel settore C7 e fino a 1100-1200 m nel settore C13, corrispondente alla zona di massime coperture topografiche).

La presenza significativa di acqua in galleria durante lo scavo sarà pertanto legata, in condizioni di carichi idraulici così elevati, alle variazioni di permeabilità per fratturazione dell'ammasso roccioso ed al grado di interconnessione tra le discontinuità conduttive all'interno delle zone maggiormente fratturate.

Venute d'acqua localizzate, ma di entità anche notevole e con forti pressioni potranno pertanto verificarsi in corrispondenza all'attraversamento delle principali faglie, con annesse fasce di fratturazione lungo le quali è ipotizzabile un elevato grado di interconnessione delle discontinuità conduttive (settori C6 e C8). Connesse alle faglie minori presenti nei settori C2, C5 e C7 si potranno manifestare venute d'acqua concentrate di minore entità, in debole pressione e stillicidi diffusi.

Allo stesso modo si potranno avere notevoli venute d'acqua in pressione in corrispondenza dei settori C10 e C12, tenuto conto che l'elevata continuità dei giunti che compongono le due fasce di fratturazione potrebbe determinare condizioni di forte interconnessione reciproca tra le fratture.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 30 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Inoltre la potenza delle stesse fasce di fratturazione, combinata con l'elevata continuità laterale e con il livello piezometrico nella zona è tale da configurare un grande volume di ammasso roccioso potenziale "serbatoio" di alimentazione per le previste manifestazioni idriche in galleria.

Nella restante parte di tracciato, vale a dire nei settori di ammasso roccioso sani compresi tra le discontinuità principali (C1, C2, C3, C4, C5, C7, C9, C11 e C13) la permeabilità per fratturazione è molto bassa, per cui si prevedono venute d'acqua rappresentate nella peggiore delle ipotesi da stillicidi diffusi lungo la galleria o da locali venute concentrate

Classi geomeccaniche

Il tratto in esame presenta condizioni geomeccaniche da discrete ad ottime, con prevalenza della II classe RMR ed alcuni tratti in I classe nei settori con coperture contenute e presenza di rocce particolari come gli gneiss aplitici non foliati (settori C2, C3 e C4); una maggiore percentuale di classe III rispetto alla classe II è stata ipotizzata nei settori C8, C9, C10, C11, C12 e C13, in virtù degli elevati carichi litostatici e della presenza di estese fasce di fratturazione pervasiva. In questo contesto geomeccanico generale si inseriscono locali scadimenti della qualità dell'ammasso roccioso alla classe IV in corrispondenza dell'attraversamento delle principali faglie (settori C6 e C8) e, possibili ma non localizzabili con precisione, all'interno delle fasce di fratturazione dei settori C10 e C12. Negli ultimi due settori citati la presenza possibile di tratti in classe IV è stata considerata applicando una percentuale del 20% sull'intera lunghezza del settore.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'insieme dei dati rappresentati dai sondaggi realizzati da Alpetunnel e dalla Pont Ventoux e dai rilievi geologico-geomeccanici delle gallerie finora realizzate nella zona compresa tra Venaus, Giaglione e la Val Clarea, consentono di delineare le previsioni sulle condizioni dell'ammasso roccioso lungo il tracciato del previsto cunicolo esplorativo dall'imbocco a Venaus, fino al confine di Stato, per una lunghezza complessiva di 8050 m.

Le considerazioni espone nel paragrafo precedente consentono di individuare, nel tratto compreso tra l'imbocco e la progr. 8050, tre settori contraddistinti da caratteristiche geomeccaniche differenti:

- < un settore A, della lunghezza complessiva di 390 m ca., impostato nell'unità piemontese, con larga prevalenza di classe III e, subordinatamente, II;
- < un settore B, della lunghezza complessiva di 880 m ca., ugualmente interno all'unità piemontese ma fortemente tettonizzato, con larga prevalenza di IV e V classe;
- < un settore C, della lunghezza complessiva di 6780 m ca., corrispondente all'attraversamento del massiccio di Ambin (coperture + basamento), con prevalenza delle classi II e III.

La percentuale delle diverse classi, calcolata sulla lunghezza totale del tratto considerato, è la seguente:

classe I: 1% (~ 81 m)	classe IV: 8% (~ 644 m)
classe II: 41% (~ 3300 m)	classe V: 5% (~ 402 m)
classe III: 45% (~ 3623 m)	

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

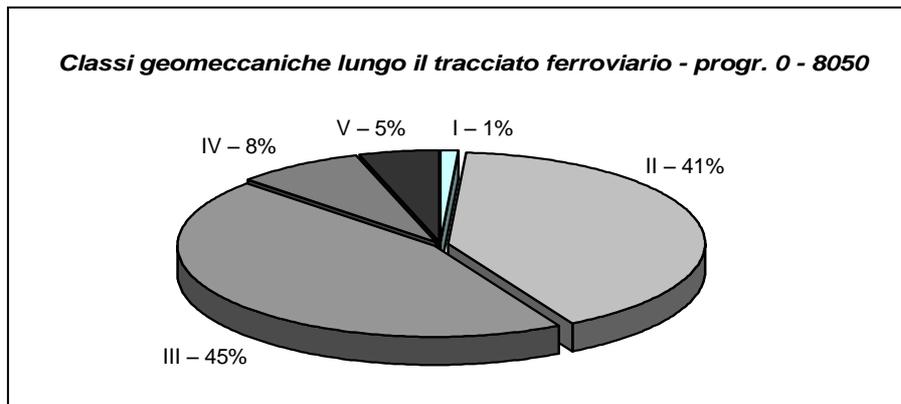
Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine di Stato

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 31 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

La ripartizione percentuale delle diverse classi geomeccaniche lungo tracciato descritto é riportata visivamente nel sottostante diagramma di Fig. 5.



L'insieme dei dati disponibili consente di delineare con buona precisione le previsioni sulle condizioni dell'ammasso roccioso nei primi 1800 m ca. dall'imbocco del tunnel ferroviario a Venaus e con media precisione fino alla progressiva 4700 circa.

Il rimanente settore di galleria, da progressiva 4700 al confine di Stato è invece caratterizzato da previsioni di scarsa affidabilità, a causa delle difficoltà, più volte citate in questa nota, di estrapolare i dati di superficie a quota del tracciato e della mancanza di dati da indagini dirette (sondaggi).

Nonostante queste incertezze relative ad un tratto significativo del tracciato si ritiene comunque che il valore dei dati geologici riportati nella sezione di previsione allegata sia sufficientemente esaustivo delle condizioni in cui dovrà essere scavata la galleria di prospezione.

Il profilo in oggetto è infatti da considerare come una efficiente base di partenza a cui sovrapporre in fase di scavo del tunnel esplorativo tutti i dati geologici, strutturali, geomeccanici ed idrogeologici rilevati con continuità durante l'esecuzione dell'indagine diretta.

Sarebbe inoltre raccomandabile, pur trattandosi dello scavo di un cunicolo esplorativo, che la metodologia di scavo da impiegarsi, sia essa in tradizionale o con TBM, preveda l'esecuzione sistematica di sondaggi a carotaggio continuo in avanzamento, in particolare nei settori di tracciato caratterizzati da elevati margini di incertezza sulla posizione dei limiti tra settori aventi diverse caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche, come già rilevato nella precedente nota SEA del Luglio 1999.

Committente: **Alpetunnel GEIE**

Data: 12/05/2000

Progetto: **Studio «Tunnel di Base Maurienne-Ambin»
Lato Italia - variante nord**

Redatto: Dott. L. Delle Piane

Dott. A. Damiano

**Profilo geologico-geomeccanico lungo il tracciato del cunicolo
esplorativo dall'imbocco di Venaus (Val Cenischia, TO) al confine
di Stato**

Documento: **DM99-73-4-RGL01**

Pagina 32 di 32

NTserver/ 99-73 tunnel base rgl11.doc

Si rammenta infine che le condizioni di scavo si potranno presentare più o meno difficoltose, nel tratto di galleria compreso tra l'imbocco e la progressiva 2080 circa, in funzione della presenza di una falda drenata dalle gallerie del nodo centrale o di una falda ripristinata, almeno in parte, nella sua posizione originaria, il che in sostanza, sarà funzione delle scelte operate in sede di progettazione dei rivestimenti definitivi delle gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux.

Maggio 2000

Dott. Geol. Luca Delle Piane

Dott. Geol. Antonio Damiano





Pont Ventoux s.c.a r.l. - Roma



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TRANSALPINO
LINEA TORINO-LIONE**

**Studio "Tunnel di base Maurienne - Ambin"
Variante nord - Lato Italia**

Impianto Idroelettrico di Pont Ventoux - Susa

**Analisi delle prestazioni di scavo
e dei tempi di esecuzione delle Opere in progetto
al 31 dicembre 1999**

RELAZIONE DI COMMENTO

		Timbro e firma del professionista incaricato		
Redatto	Dott. A. Damiano			
Controllato	Dott. G. Venturini			
Approvato	Dott. L. Delle Piane			
Stato	Codice Cliente	Codice Documento	Annotazioni	Data
Emissione		DM99-73-6-BAK11	consegna definitiva	04-08-2000
REVISIONI	1			
	2			
	3			

File: 99-73 RGEO Sintesi 11.doc

Indice

1	INTRODUZIONE	2
2	IL PROGETTO PONT VENTOUX	2
2.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'IMPIANTO	2
2.2	CRONOLOGIA DEI LAVORI ED ALLO STATO DI AVANZAMENTO ATTUALE	4
2.3	LA CODIFICA DELLE OPERE.....	4
2.4	GEOLOGIA DELL' IMPIANTO.....	5
3	METODI DI ANALISI	6
3.1	CRITERI DI SCELTA DELLE GALLERIE TRATTATE.....	6
3.2	PROVENIENZA DEI DATI	8
3.3	ORGANIZZAZIONE DEI DATI NEL DATABASE	8
3.4	ELABORAZIONE DEI DATI SECONDO PROCESSI ANALITICI	9
3.4.1	<i>Analisi degli avanzamenti giornalieri e progressivi dello scavo</i>	9
3.4.2	<i>Analisi delle performances di scavo rispetto all'indice di qualità dell'ammasso roccioso</i> ..	10
3.4.3	<i>Analisi della distribuzione del tempo impiegato per lo scavo</i>	10
3.4.4	<i>Analisi delle performances di scavo rispetto alle manifestazioni idriche in galleria</i>	11
3.4.5	<i>Analisi delle performances di scavo rispetto all'assetto tettonico-strutturale dell'ammasso roccioso</i>	11
4	STRUTTURA DELLE TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE	12
5	CARATTERISTICHE DELLE TMB UTILIZZATE - OPERE 0202 - 0203 - 0402	14
5.1	TUNNEL BORING MACHINE (TBM).....	14
5.2	BACKUP.....	15
5.3	TRASPORTATORE CONTINUO.....	15
6	RISULTATI E CONCLUSIONI	15

1 INTRODUZIONE

Lo studio si inquadra nella collaborazione tra la Pont Ventoux S.c.r.l. (ATI Astaldi Roma – SAE Paris), che sta realizzando l'impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa e Alpetunnel G.E.I.E. nell'ambito degli studi ed indagini geologiche preliminari per il tunnel di base Maurienne – Ambin (lato Italia) del nuovo collegamento ferroviario transalpino, linea Torino – Lione.

Lo studio ha comportato l'acquisizione dati relativi alle produzioni per la realizzazione delle gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux, con organizzazione di una banca dati per tipi omogenei di galleria contenente tutti i valori relativi ai monitoraggi, indagini, performances di scavo, sostegni di prima fase ed altri parametri acquisiti dalla Pont Ventoux durante lo scavo delle gallerie in progetto

Il presente rapporto rappresenta la nota illustrativa della seconda fase dello studio in oggetto e fornisce una sorta di "linee guida" per la corretta lettura delle tavole sintetiche riassuntive in cui sono riportati i risultati ottenuti.

Questa fase dello studio è stata svolta mediante la raccolta dei dati e dei parametri significativi rilevati in corso di realizzazione di alcune delle gallerie dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux - Susa, con l'intento di organizzare l'esperienza di scavo maturata e metterla al servizio di Alpetunnel G.E.I.E, fornendo così uno strumento utile ad ottimizzare la progettazione di un cunicolo esplorativo sul tracciato della variante Nord del tunnel di base Maurienne – Ambin, lato Italia.

All'interno del presente rapporto è contenuta una descrizione delle caratteristiche tecniche e strutturali delle frese utilizzate per lo scavo delle gallerie realizzate con metodo meccanizzato.

La raccolta, l'inserimento in un database e la prima elaborazione dei dati è stata realizzata dal Dott. Antonio Damiano e dalla Dott.ssa Monica Trevisiol. L'elaborazione finale e la sintesi dei risultati è stata curata dal Dott. Guido Venturini. L'editing delle tavole grafiche e degli allegati finali è stato eseguito a cura del Dott. Guido Venturini, del Dott. Massimo Spanò e della Dott.ssa Monica Trevisiol.

2 IL PROGETTO PONT VENTOUX

2.1 Descrizione generale dell'impianto

L'impianto idroelettrico che la Pont Ventoux Scrl sta realizzando per conto dell'AEM Torino si trova in alta Valle di Susa, tra Oulx (località Pont Ventoux) e la città di Susa.

L'impianto è destinato a sostituire e potenziare l'intero sistema idroelettrico dell'AEM presente in Val di Susa, rappresentando uno dei punti fondamentali del programma di sviluppo dell'azienda energetica torinese. La realizzazione dell'infrastruttura rappresenta inoltre uno dei principali interventi nel settore idroelettrico attualmente in corso in Italia.

L'impianto permetterà di derivare l'acqua del Fiume Dora Riparia alla quota di 1046,3 m in località Pont Ventoux e trasferirla con un minimo dislivello fino alla quota di 1030,5 m ad un serbatoio di regolazione giornaliera sito in Val Clarea. Da qui l'acqua sarà convogliata, tramite un canale derivatore



in pressione ed una condotta forzata con un salto netto di circa 514 m, alla centrale elettrica di produzione e successivamente restituita al fiume Dora Riparia appena a monte dell'abitato di Susa

Sinteticamente l'impianto idroelettrico è costituito da:

- Un'opera di presa in Loc Pont Ventoux (Oulx) per la derivazione di una portata massima di 34 mc/sec;
- Un canale derivatore a pelo libero in galleria lungo poco meno di 14 Km tra Pont Ventoux e la Val Clarea;
- Un serbatoio di accumulo fuori alveo in Val Clarea, con un volume utile di regolazione di 563.300 mc;
- Un canale derivatore in pressione lungo circa 4 Km;
- Un pozzo piezometrico di monte cilindrico del diametro di 12 m, profondo 80 m;
- Una condotta forzata della lunghezza complessiva di 1300 m;
- Un nodo centrale elettrica in caverna costituito da: sala macchine, galleria di accesso alla centrale, galleria di fuga, celle trasformatori, galleria di accesso al camerone inferiore della condotta forzata, gallerie distributori e diffusori, pozzo piezometrico di valle in galleria;
- Un canale di restituzione in pressione della lunghezza di circa 1600 m;
- Un serbatoio di demodulazione alle Gorge di Susa, con un volume utile di regolazione di 420.000 mc, delimitato a valle da una diga dell' altezza massima di 21 m circa, con associate gallerie di accesso al coronamento diga, scarico di fondo e galleria di demodulazione.

E' prevista l'installazione di due turbine tipo Francis ad asse verticale che, sfruttando il dislivello di circa 514 m rispetto all'altezza massima di regolazione del serbatoio di Val Clarea, garantiranno una potenza massima pari a 150 MW. La portata d'acqua massima prevista in esercizio dell'impianto è di 34 mc/s (17 mc/s per ciascuna turbina). Uno dei due gruppi turbina/alternatore sarà dotato di una pompa per il ripompaggio di una portata massima di circa 13 mc/s al serbatoio di Val Clarea, nei periodi di minor richiesta energetica in rete.

Le opere dell'impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa sono realizzate quasi completamente in sotterraneo, le uniche installazioni esterne sono l'opera di presa, i due bacini di accumulo e demodulazione e i fabbricati logistici della centrale elettrica a Venaus. Ciò riduce sensibilmente l'impatto ambientale dell'opera, il cui progetto ha superato positivamente la procedura V.I.A., ottenendo il nulla osta dal Ministero dell'Ambiente, di concerto con il Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali.

La producibilità di energia elettrica annua attesa dell'impianto è di 457 GWh. Il contributo di questa infrastruttura sarà utile a ridurre il forte deficit energetico della Regione Piemonte.

2.2 Cronologia dei lavori ed allo stato di avanzamento attuale

La costruzione dell' impianto è iniziata nel 1995, con l'installazione dei cantieri e lo scavo dei primi imbocchi di gallerie. Gli scavi in sottterraneo sono proseguiti fino ad oggi, contemporaneamente alla realizzazione in esterno dell'opera di presa e delle opere di predisposizione dei siti dei bacini di accumulo giornaliero e di demodulazione.

Alla data attuale rimane da completare lo scavo del solo canale derivatore a pelo libero, mentre nelle altre gallerie e vani sotterranei sono già iniziate o completate le opere civili di rivestimento (canale derivatore in pressione, pozzo piezometrico di monte, condotta forzata, pozzo piezometrico di valle, gallerie di scarico di fondo dei bacini) e di predisposizione per la posa degli elementi elettromeccanici (centrale elettrica in caverna).

I dati utilizzati per la predisposizione del presente studio sono aggiornati alla data del 31 Dicembre 1999. In quel momento risultavano ancora da completare, oltre al già citato canale derivatore, gli scavi della condotta forzata (tratto inclinato a 45°), delle celle trasformatori e del canale di restituzione. Tra queste opere solo il canale derivatore e la galleria di restituzione sono stati considerati nella raccolta ed elaborazione dati, per cui si tratta delle uniche gallerie con informazioni non riferite all'intera estensione degli scavi.

2.3 La codifica delle opere

Esiste una codifica numerica delle numerose opere costituenti l'impianto idroelettrico, utilizzata in tutte le fasi della sua realizzazione, a partire dai vari livelli di progettazione fino alla costruzione ed alla contabilità finale.

La codifica generale prevede la seguente numerazione delle opere principali:

- **Opera 01** : Opera di presa a Pont Ventoux
- **Opera 02** : Canale derivatore in galleria tra Pont Ventoux e serbatoio Val Clarea
- **Opera 03** : Serbatoio di accumulo in Val Clarea (e opere di connessione ai canali derivatori)
- **Opera 04** : Canale derivatore in pressione tra serbatoio Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte
- **Opera 05** : Pozzo piezometrico di Monte
- **Opera 06** : Condotta forzata e relativa galleria
- **Opera 07** : Centrale elettrica in caverna
- **Opera 08** : Galleria di accesso alla centrale in caverna
- **Opera 09** : Pozzo piezometrico di valle
- **Opera 10** : Canale di restituzione in galleria

- **Opera 11** : Diga e serbatoio di demodulazione alle Gorge di Susa (comprese gallerie accessorie).

All'interno di molte delle opere principali è stata adottata una seconda codifica numerica per la identificazione delle parti di opera (o sottoopere) significative, come per esempio le finestre di accesso, i tratti di galleria compresi tra finestre o vertici planoaltimetrici, oppure i settori di opera con diversa funzione in ambito elettromeccanico, ovvero realizzate con tecniche costruttive differenti etc..

A titolo esemplificativo si riportano di seguito alcuni esempi di sottoopere (in grassetto):

- **0202** : Canale derivatore in galleria tra Pont Ventoux e serbatoio Val Clarea – **Tratto finestra 2 – Pont Ventoux;**
- **0404** : Canale derivatore in pressione tra serbatoio Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte – **Raccordo scavato in tradizionale tra camera valvole e canale derivatore**
- **0604** : Condotta forzata e relativa galleria - **Finestra 5, galleria di accesso al tratto inclinato al 16%**
- **0703** : Centrale elettrica in caverna – **Galleria di fuga**

Non si ritiene necessario in questa nota riportare l'intero elenco delle sottoopere, che risulterebbe oltremodo complicato e lungo. La codifica dettagliata di tutte le opere è comunque disponibile presso la Pont Ventoux S.c.a.r.l.

Al fine di consentire una agevole lettura dei documenti prodotti con il presente studio, in particolare delle tavole grafiche di sintesi, verrà in seguito presentato un elenco dei codici di identificazione e la denominazione delle 11 gallerie scelte, sulla base dei criteri descritti, per la raccolta dati e le analisi parametriche condotte.

2.4 Geologia dell' impianto

La descrizione degli ambiti geologici in cui si inquadra la realizzazione dell' impianto idroelettrico Pont Ventoux – Susa è contenuta nei numerosi rapporti redatti dalla SEA Consulting per conto della Pont Ventoux Scarl, ma verrà ripresa sinteticamente anche nella presente nota.

Le gallerie ormai quasi completamente realizzate si sviluppano all' interno di due grandi unità geologiche delle Alpi Occidentali: il Complesso dei Calcescisti Piemontesi ed il Massiccio d'Ambin.

L' intero Nodo centrale elettrica, compresi la condotta forzata, parte del canale derivatore in pressione ed il sistema di restituzione – demodulazione, sono stati scavati in ammassi rocciosi formati da litotipi appartenenti al Complesso dei Calcescisti. Il canale derivatore a pelo libero e quello in pressione sono invece stati realizzati completamente all' interno dei litotipi di pertinenza del Massiccio d'Ambin, interessando sia le coperture e sia, per la più larga parte, il basamento cristallino.

In prossimità del contatto tra le due unità principali le gallerie hanno attraversato una estesa fascia di tettonizzazione degli ammassi rocciosi caratterizzata dalla presenza diffusa di livelli di cataclasi a matrice carbonatica ("carniole" auct.)

Le diverse unità sono costituite dai seguenti litotipi:

Unità Piemontese:

- calcescisti filladici \pm grafitici
- calcescisti marmorei e marmi a silicati
- gneiss albitico-quarzitici, passanti a micascisti gneissici e a quarziti feldspatiche (gneiss di Charbonnel)

Massiccio di Ambin (copertura):

- quarziti
- micascisti
- marmi dolomitici e calcitici
- «carniole»

Massiccio di Ambin (basamento):

- gneiss aplitici a grana fine
- micascisti e gneiss albitico-cloritici
- micascisti a glaucofane \pm granato, più o meno retrocessi in micascisti albitico-cloritici.
- metabasiti, (anfiboliti retrocesse a scisti verdi e metadioriti) intercalate ai prevalenti micascisti.

3 METODI DI ANALISI

Lo studio in oggetto è stato svolto mediante l'acquisizione e la successiva elaborazione dei dati, suddivisi per tipi omogenei di galleria, relativi alle performances di scavo, alla classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, ai monitoraggi, alle indagini in corso di scavo ed ai sostegni di prima fase messi in opera.

Lo scopo è di organizzare una banca dati contenente tutte le informazioni in merito ai temi sopraelencati, dalla quale estrarre e sintetizzare, attraverso l'elaborazione dei dati comparata con le diverse problematiche affrontate per ciascuna opera, valori numerici dei parametri significativi, in particolare di quelli relativi alle performances di avanzamento.

3.1 Criteri di scelta delle gallerie trattate

L'impianto idroelettrico di Pont Ventoux comprende un gran numero di opere in sotterraneo già realizzate o in corso di scavo, ma solo una parte di esse sono state prese in considerazione per lo svolgimento del presente studio. I criteri per la scelta delle gallerie trattate si basano sulla possibilità di comparazione e confronto con lo scavo del cunicolo esplorativo lungo il futuro tracciato ferroviario, caratterizzato da un notevole sviluppo longitudinale (oltre 8000 m) e da un andamento planoaltimetrico piuttosto semplice (un'unica livelletta di pendenza e raggi di curvatura molto elevati).

Per questo motivo sono state scartate le gallerie di lunghezza ridotta (inferiore a 500 m, come ad esempio le numerose finestre di accesso alle opere principali) o con andamento planoaltimetrico

complesso (curve di raggio ridotto, elevate pendenze, presenza di frequenti innesti ed incroci, ad es il tratto terminale della condotta forzata, le gallerie distributori e diffusori, il pozzo piezometrico di valle).

Altro criterio fondamentale di scelta è quello litologico: tutti i diversi tipi di ammassi rocciosi incontrati sono rappresentati da almeno una galleria. E' stato dato un peso particolare alle opere il cui scavo si è in parte (op. 0801) od interamente (op. 0404) sviluppato all' interno delle fasce di tettonizzazione prossime al contatto tra il complesso dei Calcescisti ed il Massiccio d'Ambin. In particolare l'opera 0801 – galleria di accesso alla centrale in caverna – è stata presa in considerazione, pur non rientrando nel primo criterio (presenta quattro curve di raggio ridotto), proprio in virtù delle problematiche che sono state causate durante lo scavo dal doppio attraversamento di un livello di cataclasi carbonatiche con connesse forti venute d'acqua. Lo stesso livello sarà attraversato nel tratto iniziale del cunicolo esplorativo.

Sulla base dei criteri esposti sono state individuate e scelte le gallerie seguenti:

- **Opera 0201** : Canale derivatore in galleria tra Pont Ventoux e serbatoio Val Clarea – Tratto scavato in tradizionale da Pont Ventoux verso la Finestra 2
- **Opera 0202** : Canale derivatore in galleria tra Pont Ventoux e serbatoio Val Clarea – Tratto scavato con TBM tra Finestra 2 e Pont Ventoux
- **Opera 0203** : Canale derivatore in galleria tra Pont Ventoux e serbatoio Val Clarea – Tratto scavato con TBM tra la Val Clarea e la Finestra 2
- **Opera 0402** : Canale derivatore in pressione tra serbatoio Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte – Tratto scavato con TBM (comprende anche lo scarico di fondo della vasca di Val Clarea – Op. 0303)
- **Opera 0404** : Canale derivatore in pressione tra serbatoio Val Clarea ed il pozzo piezometrico di monte – Raccordo scavato in tradizionale tra camera valvole e canale derivatore
- **Opera 0601** : Condotta forzata e relativa galleria – tratto inclinato al 16% tra i vertici CF2 e CFn3 (escluso il tratto a valle dell' innesto della Finestra 5, fino al vertice CFn3)
- **Opera 0703** : Centrale elettrica in caverna – Galleria di fuga e cunicolo di calotta della sala macchine
- **Opera 0801** : Galleria di accesso alla centrale in caverna
- **Opera 1001** : Canale di restituzione in galleria (solo il tratto scavato a partire da valle - Gorge di Susa)
- **Opera 1103** : Galleria di accesso al coronamento diga delle Gorge di Susa
- **Opera 1105** : Galleria di demodulazione.

Le gallerie sopraelencate sono evidenziate con il proprio codice di identificazione, sullo schema planimetrico allegato alle tavole grafiche di sintesi – elaborati VT99-73-3-DTG11 e VT99-73-5-DTG11.

3.2 Provenienza dei dati

I dati utilizzati per la realizzazione del presente studio provengono interamente da documenti a disposizione della Pont Ventoux S.c.a.r.l., redatti in fase di progetto e di realizzazione dell'impianto.

Più in dettaglio è elencata di seguito la provenienza dei singoli dati:

- I dati tecnici delle gallerie (sezioni di scavo, andamento planolatimetrico, metodi di realizzazione etc.) sono stati ricavati dagli elaborati di progetto costruttivo relativi alle singole opere o sottoopere.
- I dati relativi agli avanzamenti progressivi e giornalieri, fermi scavo, indagini in corso di scavo ed in parte ai sostegni di prima fase sono stati estratti attraverso la consultazione del Giornale dei Lavori redatto a cura della Direzione Lavori.
- I dati del monitoraggio (misure di convergenza, misure delle portate d'acqua, parte dei rilievi geomeccanici dei fronti di scavo) sono contenuti negli Elaborati di Monitoraggio e Controlli redatti a cura della sezione Geologia – Laboratorio di cantiere della Pont Ventoux S.c.a.r.l.
- I rilievi geomeccanici eseguiti della SEA Consulting durante lo svolgimento della consulenza ed assistenza geologica in cantiere nel periodo 05/1998-12/1999 ed i dati relativi alle indagini in corso d'opera sono disponibili nell'archivio della sezione Geologia – Laboratorio di cantiere
- I dati relativi ai sostegni di prima fase messi in opera nelle gallerie sono stati rilevati dai documenti della contabilità di cantiere, per le gallerie realizzate da imprese subappaltatrici con scavo in tradizionale ed in parte dalle tavole redatte da Rocksoil Spa per lo scavo con TBM del canale derivatore a pelo libero (elaborati nn. IC0202GT1S00140 e IC0203GT1S00140)

3.3 Organizzazione dei dati nel database

I dati di ciascuna galleria sono stati inseriti in un database costituito da tabelle su fogli di calcolo MS Excel.

- Una prima tabella contiene i dati relativi alla progressione temporale degli scavi. Dall'inizio fino alla fine del periodo di realizzazione (o fino al 31/12/99 per le opere non completate in quella data) sono riportati, su base giornaliera e per tutti i giorni del periodo (festivi compresi), i dati corrispondenti ai singoli avanzamenti giornalieri ed alla distanza progressiva raggiunta dallo scavo. La distanza progressiva è riferita ad uno zero che generalmente coincide con l'asse del portale di imbocco esterno della galleria
- In una seconda tabella sono stati organizzati i dati di tutti i rilievi geomeccanici eseguiti in fase di scavo delle gallerie. Vi sono riportati la data del rilievo, il numero progressivo della scheda, i valori degli indici RMR base e RMR corretto (i due valori differiscono a meno del parametro n6 di riduzione per l'orientazione del fronte di scavo rispetto alla direzione e verso di avanzamento dello scavo), i valori dello stesso parametro n6 e del parametro n5 (relativo alla presenza di acqua).
- Un terzo gruppo di tabelle è stato organizzato per l'inserimento dei dati relativi ai monitoraggi in corso d'opera. Si tratta essenzialmente delle misure meccaniche di convergenza del cavo, dei rilievi delle venute d'acqua lungo alcune delle gallerie e delle misure di portata complessiva

effettuate periodicamente agli stramazzi installati presso gli imbocchi all'uscita dei condotti di evacuazione dell' acqua. Per quanto riguarda le misure di convergenza sono riportati il numero e la posizione (progressiva da imbocco) delle stazioni di misura installate. I dati relativi alle misure di convergenza, corredate dai grafici di elaborazione, sono contenuti in un apposito allegato. La tabella dei rilievi puntuali delle venute d'acqua contiene la data di misura, la progressiva e la portata stimata o misurata delle manifestazioni idriche. L'elenco delle misure di portata totale riporta la data della misura, la portata rilevata e la progressiva raggiunta dall'avanzamento del fronte alla corrispondente data.

- La quarta sezione del database è costituita da una tabella in cui viene indicato il tipo di sostegni di prima fase messi in opera durante lo scavo. La tabella riporta la tratta espressa come intervallo di distanze progressive dall' imbocco ed il tipo di sostegno sistematico o puntuale messo in opera. E' frequente che si ripetano nella tabella le stesse tratte, per i diversi tipi di sostegni sistematici che vengono generalmente installati in associazione reciproca (ad esempio bullonatura e spritz beton)

Il database viene fornito sia come documento informatico in formato MS Excel (su CD Rom) e sia su supporto cartaceo, nei documenti allegati, riferiti ciascuno ad una delle opere (allegati da 1 a 11), alle misure di convergenza (All. 12) ed alle caratteristiche delle frese impiegate per lo scavo di gallerie con TBM (All. 13).

Negli elaborati suddetti sono contenuti anche una scheda descrittiva delle caratteristiche tecniche di ogni galleria e del contenuto del database, oltre alle copie di tutte le schede di rilievo geomeccanico considerate.

3.4 Elaborazione dei dati secondo processi analitici

L'elaborazione dei dati condotta per il presente studio ha la funzione di confrontare le produzioni di scavo, intese come avanzamenti giornalieri e progressivi dei fronti, con i vari fattori geologico-strutturali, idrogeologici, antropici o tecnici significativi nel determinarne l'entità. In particolare vengono presi in considerazione i fattori che hanno provocato sensibili rallentamenti o interruzioni degli scavi.

Allo scopo è stata definita e sviluppata una serie di cinque "processi analitici", di cui i primi tre descritti in seguito comuni a tutte le gallerie e gli ultimi due solo per alcune opere che presentavano le problematiche adatte al tipo di analisi.

Il prodotto dei processi analitici è una serie di grafici cartesiani nei quali una delle variabili è sempre rappresentata dalle performances di avanzamento.

3.4.1 Analisi degli avanzamenti giornalieri e progressivi dello scavo

Questo processo analitico consiste nella semplice rappresentazione grafica dei dati tabellati nel database relativi agli avanzamenti progressivi dello scavo ed alle singole produzioni giornaliere.

Il grafico risultante riporta in ascissa il tempo, indicato sia come periodo intercorrente dalla data di inizio a quella di fine scavi (o al 31/12/99 per le gallerie non completate) e sia come numero di giorni impiegati per lo scavo. In ordinata sono riportati gli avanzamenti progressivi (linea) ed i valori di avanzamento giornaliero (barre verticali).

L'osservazione del grafico permette di avere una visione di insieme dell'andamento degli scavi durante tutto il periodo, mettendo in evidenza i periodi di interruzione significativi, la omogeneità o meno di progressione dello scavo, gli eventuali rallentamenti con l'aumentare della distanza dal portale, senza però scendere nel dettaglio e specificare la natura delle variazioni di velocità.

3.4.2 Analisi delle performances di scavo rispetto all'indice di qualità dell'ammasso roccioso.

La gran quantità di rilievi geomeccanici eseguiti in fase di scavo ha permesso di disporre di una sufficiente base per confrontare la progressione degli scavi in relazione alle caratteristiche geomeccaniche qualitative degli ammassi rocciosi attraversati. I rilievi per la determinazione della classe geomeccanica degli ammassi rocciosi sono stati eseguiti in media ogni 20-25 m nelle gallerie scavate con metodo tradizionale ed ogni 100 m circa in quelle scavate con TBM. La classificazione utilizzata è quella di Bieniawski (1989).

Anche per questo processo analitico il confronto avviene attraverso il plottaggio in un grafico cartesiano dei valori di avanzamento progressivo, riferiti al tempo (date), insieme ai valori dell'indice RMR corretto riferiti sempre alle date di esecuzione dei rilievi.

Per gli scavi meccanizzati con TBM la progressiva del rilievo geomeccanico e quindi il punto di proiezione del valore di RMR sull'asse delle ascisse, non corrisponde a quella del fronte di scavo alla stessa data, poichè a causa della presenza delle infrastrutture della TBM non è possibile fare i rilievi direttamente al fronte. Per le gallerie scavate con metodo tradizionale il problema non sussiste in quanto i rilievi sono sempre stati eseguiti sui fronti di avanzamento, pertanto esiste una perfetta corrispondenza tra il dato di produzione giornaliera e l'indice RMR calcolato.

Il grafico risultante permette una immediata correlazione tra le velocità di avanzamento nei tratti di galleria caratterizzati da una determinata qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso. Si possono inoltre valutare le performances di avanzamento tipiche nelle diverse classi geomeccaniche di Bieniawski.

3.4.3 Analisi della distribuzione del tempo impiegato per lo scavo

Utilizzando come base di partenza l'analisi totale delle performances di scavo, in questa fase analitica si è realizzata una "depurazione" delle interruzioni di avanzamento eliminando dal database inizialmente le interruzioni degli scavi dovute a riposi settimanali, festività, motivi contrattuali, contenziosi, richieste di modifiche progettuali etc..¹ e successivamente le interruzioni motivate da cause tecniche o geologico-strutturali e geomeccaniche².

Si ottiene in questo modo una sequenza di tre grafici simili, ma che in ascissa riportano rispettivamente il numero di giorni complessivo (primo grafico) e depurato in successione prima dai fermi antropici (secondo grafico) e poi anche dai fermi tecnici (terzo grafico).

¹ D'ora in poi, nella presente nota, le interruzioni di questo tipo saranno definite come "fermi antropici"

² Intersezione di faglie e fasci cataclastici con potenza e orientazione tali da determinare l'interruzione degli scavi, gestione di importanti venute d'acqua in gallerie scavate in discesa, operazioni di manutenzione delle TBM, cambio cutters, posa sostegni etc..

Il terzo grafico prende in considerazione problematiche diverse per ogni galleria in cui si sono verificate interruzioni degli scavi per fattori di tipo geologico e tecnico.

Il processo di analisi arriva, attraverso la lettura consecutiva dei tre grafici, ad ipotizzare nell'ultimo di questi che lo scavo prosegua indipendentemente da tutti i fattori che ne condizionano il rallentamento o la periodica interruzione. Si ottengono così delle velocità di avanzamento medie riferite a tratte discrete di galleria che meglio esprimono le potenziali performances di scavo in determinate condizioni.

L'analisi conduce inoltre a definire una distribuzione percentuale del tempo totale impiegato per la realizzazione delle gallerie, consentendo di individuare immediatamente le problematiche principali che hanno interessato ciascuna opera.

Un altro scopo di questo processo analitico è quello di determinare, attraverso il confronto tra le velocità medie di avanzamento riportate nei tre distinti grafici, la percentuale di abbattimento della velocità "potenziale", vale a dire in assenza di interruzioni, determinata dalle diverse problematiche, nonché l'effetto delle interruzioni dovuto alla presenza di festività all'interno del periodo di realizzazione degli scavi.

3.4.4 Analisi delle performances di scavo rispetto alle manifestazioni idriche in galleria

Questo processo analitico è simile a quello descritto al punto 3.4.2. riferito al confronto tra gli avanzamenti progressivi e l'indice di qualità dell'ammasso roccioso.

Il parametro di confronto è però in questo caso costituito dalla presenza di acqua in galleria, che viene rappresentata attraverso i grafici delle misure periodiche agli stramazzi esterni delle portate totali evacuate dalle gallerie in cui si sono incontrate significative manifestazioni idriche.

I grafici risultanti dall'analisi permettono di valutare se ci sono stati effetti di rallentamento o addirittura di interruzione degli scavi a causa della presenza di acqua in galleria. Le insorgenze di problemi legati a manifestazioni idriche sono evidenziate sul grafico delle portate da "picchi" pronunciati ed improvvisi che corrispondono a significative e generalmente problematiche venute d'acqua puntuali sul fronte di scavo.

L'analisi è stata condotta solo per alcune delle gallerie, e risulta particolarmente interessante per quelle scavate in discesa (0201 e 0801) il cui scavo è stato condotto in presenza anche di ingenti quantità di acqua.

3.4.5 Analisi delle performances di scavo rispetto all'assetto tettonico-strutturale dell'ammasso roccioso.

Questo tipo di processo analitico prevede un confronto tra le velocità di avanzamento giornaliero e l'effetto sfavorevole rappresentato dalla presenza di faglie con angolo di intersezione rispetto alla direzione di scavo variabile lungo il tracciato.

E' stato condotto un confronto mediante il plottaggio (come linea) degli angoli di intersezione tra le faglie e la galleria, insieme ad una linea che rappresenta l'andamento delle velocità di avanzamento giornaliero riferite alle progressive di attraversamento delle strutture.

Il grafico risultante riporta in ascissa le progressive di attraversamento delle faglie ed in ordinata i corrispondenti valori dell'angolo di intersezione e dell'avanzamento medio giornaliero.

Si può osservare in questo modo una evidente correlazione tra l'assetto geometrico delle faglie, inteso come giacitura dei piani rispetto alla direzione dei paramenti della galleria, e la velocità di avanzamento dello scavo.

Quest'analisi è stata realizzata solo per l'opera 0202, per la quale esiste un notevole numero di dati rilevati nella zona di attraversamento di un pervasivo sistema di strutture disgiuntive, dove il tracciato compie una lunga curva determinando le condizioni per un'ampia variabilità degli angoli di intersezione.

4 STRUTTURA DELLE TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE

Negli elaborati grafici allegati (documenti codice VT99-73-3-DTG11 e VT99-73-5-DTG11) sono esposti per esteso i grafici rappresentanti i risultati dei procedimenti analitici descritti al paragrafo precedente, accompagnati da una descrizione tecnica sintetica di ciascuna galleria. Vi sono inoltre riportate le tabelle riassuntive dei parametri emersi nel corso del presente studio e ritenuti più significativi per descrivere la progressione e la qualità degli scavi eseguiti.

La suddivisione in due distinte tavole grafiche è stata decisa sia per la maggior praticità di consultazione, sia in base ad un criterio litologico (suddivisione nei due gruppi omogenei di ammassi rocciosi del Massiccio d'Ambin e dei Calcescisti Piemontesi) e di tipologia di scavo (scavo con TBM e scavo in tradizionale).

La tavola 1 (elaborato VT99-73-3-DTG11) riguarda le gallerie 0201, 0202, 0203 e 0402, canali derivatori realizzati all'interno dei litotipi del Massiccio d'Ambin mediante scavo meccanizzato (TBM), con la sola eccezione dell'opera 0201, scavata con metodo tradizionale.

La tavola 2 (elaborato VT99-73-5-DTG11) comprende invece i grafici ed i dati relativi a tutte le gallerie scavate, esclusivamente in tradizionale, nei calcescisti piemontesi e nella fascia di tettonizzazione prossima al contatto con il massiccio d'Ambin. Si tratta del canale derivatore in pressione - condotta forzata (opere 0404 e 0601), del nodo della centrale elettrica in caverna (opere 0703 e 0801) e del sistema di restituzione – demodulazione (opere 1001, 1103 e 1105).

Le tavole sono strutturate su più colonne di grafici e tabelle, ognuna relativa ad una delle opere considerate. A lato dei grafici sono riportati brevi commenti e note sintetiche utili a mettere in evidenza quanto di interessante e significativo emerge dall'elaborazione dei dati, oltre a far notare le differenze tra le problematiche riscontrate nelle diverse gallerie.

Al di sopra delle colonne di grafici sono riportati i profili geologici schematici delle gallerie considerate, che mettono in evidenza i cambi litologici, le principali discontinuità disgiuntive attraversate ed alcuni parametri tecnici delle opere, quali i tratti già scavati alla data del 31/12/99, pendenze, direzione di scavo etc..

Ciascuna colonna comprende elementi comuni a tutte le opere prese in esame, descritti di seguito dall'alto verso il basso:

- **Scheda tecnica**

Vi sono rappresentati i dati tecnici principali relativi alla galleria considerata, congiuntamente ad una sezione tipo di scavo ed ai dati plano-altimetrici, oltre alle velocità media e massima di avanzamento giornaliero dello scavo eseguito.

- **Performances di scavo**

Il grafico rappresenta, sull'asse delle ordinate secondario, gli avanzamenti progressivi del fronte delle gallerie in funzione del tempo reale complessivo, sull'asse delle ascisse inferiore e dei giorni effettivi impiegati, sull'ascissa superiore. Sull'asse principale delle ordinate sono riportati i valori dei singoli avanzamenti giornalieri.

- **Avanzamenti e classificazione geomeccanica**

In questo grafico viene comparato l'avanzamento progressivo del fronte di scavo (in ordinata principale), in funzione dell'indice RMR (Bieniawski) calcolato con rilievi periodici di classificazione dell'ammasso roccioso (in ordinata secondaria). Sull'asse delle ascisse è riportato, come nel grafico soprastante, il tempo.

- **Analisi di dettaglio dei tempi di esecuzione**

I tre grafici compresi in questa sezione rappresentano un'analisi critica dei dati relativi alle produzioni ed agli avanzamenti negli scavi delle gallerie realizzate sia con metodo tradizionale, sia con TBM.

Il primo grafico mostra le progressive di scavo e gli avanzamenti giornalieri rispetto ai tempi lordi impiegati per lo scavo delle gallerie stesse. Tali tempi tengono conto di tutti i fattori che hanno determinato dei fermi (riposi settimanali, festività, manutenzione, posa sostegni, imprevisti geologici e altri parametri). In pratica viene riproposto tale e quale il grafico delle performances di scavo.

Il secondo grafico riporta l'analisi delle progressive di scavo con riferimento al tempo depurato dai fermi "antropici".

Il terzo grafico si differenzia galleria per galleria a seconda delle problematiche tecniche o geologico strutturali incontrate durante lo scavo (attraversamento di faglie, gestione di importanti venute d'acqua al fronte, realizzazione di tracciati plano-altimetrici complessi, incremento significativo della distanza dal portale, etc.), considerando quindi gli avanzamenti progressivi rispetto al tempo ulteriormente depurato dei fermi dovuti alle problematiche sopraelencate.

- **Distribuzione percentuale del tempo impiegato per lo scavo**

I dati relativi ai diversi tipi di fermi messi in evidenza nella sezione precedente, sono stati poi ricalcolati come percentuale sul tempo totale impiegato e riportati nei diagrammi "a torta" al fondo di ciascuna colonna di grafici.

Unitamente alle note esplicative e di commento riportate a lato delle colonne di grafici, sono inseriti i grafici risultanti dagli ultimi due processi analitici, relativi a problematiche particolari. Ne sono un esempio l'effetto sugli avanzamenti della presenza di acqua per scavi in discesa (opere 0201 e 0801),

l'effetto di rallentamento degli scavi causato dalla riduzione dell'angolo di incidenza delle faglie (opera 0202) o la riduzione delle medie ponderate delle velocità di avanzamento dovuta a scelte operative particolari(opera 0203).

Altri grafici riportati sull' elaborato sono rappresentati dagli istogrammi di frequenza delle velocità di avanzamento giornaliero registrate nelle gallerie scavate con TBM (elaborato VT99-73-3-DTG11) e nelle gallerie scavate con metodo tradizionale (elaborato VT99-73-5-DTG11). Oltre agli istogrammi cumulativi, vi sono riportati grafici con le sole velocità di avanzamento giornaliero registrate in tratte caratterizzate da classi di qualità geomeccanica differenti.

Per l'analisi di dettaglio delle problematiche inerenti le singole gallerie, si rimanda alla lettura delle didascalie di commento ai grafici presentati nella tavola.

5 CARATTERISTICHE DELLE TMB UTILIZZATE - OPERE 0202 - 0203 - 0402

5.1 Tunnel Boring Machine (TBM)

- **Diametro testa fresante** 4,75 m
- **Taglienti** serie di n. 35 utensili da 17" (432 mm)
- **Caratteristiche testa fresante:**
 - Spinta testa fresante 7000 kN
 - Trasmissione n. 6 motori elettrici con riduttore ad ingranaggi
 - Potenza 6 x 155 kW = 930 kW (1248 HP)
 - Velocità di rotazione 9,6 rpm
 - La testa fresante è del tipo a caricamento frontale
- **Corsa dei cilindri di avanzamento** 1.83 m
- **Pressione max sistema idraulico** 276 bar (4000 psi)
- **Sistema elettrico**
 - Circuito del motore 380 V, 3 fasi, 50 Hz
 - Sistema di illuminazione e controllo 110 V e 220 V (50 Hz), 24 VDC
 - Trasformatori n. 1 x 1200 + n. 1 x 850 = 2050 kVA
 - Tensione primaria 380 V (motori testa fresante)
 - Tensione secondaria 380 V (motori pompe)
- **Larghezza nastro trasportatore fresa** 610 mm
- **Dispositivi per installazione sostegni** n. 2 perforatrici per bullonatura, montate su slitte dotate di centraline idrauliche separate

5.2 Backup

Fanno parte integrante dell'attrezzatura di perforazione n° 13 vagoni che compongono il back-up.

Sui vagoni sono alloggiati:

- I trasformatori
- Le cabine elettriche
- Il separatore polveri
- Un compressore elettrico Atlas Copco GA808
- Un generatore ausiliario diesel per avvolgimento e svolgimento cavo elettrico, dotato di depuratore.
- Un avvolgitore con circa 400 m di cavo elettrico tipo Panzeflex
- Un banco di lavoro
- Un locale di ricovero insonorizzato
- Un erettore centine

5.3 Trasportatore continuo

Per trasportare lo smarino prodotto dalle lavorazioni, la fresa è stata dotata di un trasportatore continuo della lunghezza di 7900 m completodi nastro, rulliere (atte ad essere appese alla parte superiore della galleria), n. 4 booster (stazioni intermedie di potenza e rinvio del nastro) e di un magazzino per il nastro trasportatore.

6 RISULTATI E CONCLUSIONI

La grande quantità di dati a disposizione, diversificata su più opere già eseguite od in corso di esecuzione, ha permesso di ottenere parametri significativi delle effettive condizioni di scavo delle gallerie, nei differenti contesti geologici, geomeccanici e tecnici che si sono presentati durante la realizzazione delle numerose opere sotterranee facenti parte dell'impianto idroelettrico.

I risultati delle analisi condotte durante l'esecuzione del presente studio sono contenuti in forma grafica e sintetica nelle due tavole allegate (elaborati VT99-73-3-DTG11 e VT99-73-5-DTG11) cui si rimanda.

In particolare si faccia riferimento alle didascalie di commento affiancate ai vari grafici ed alle tabelle di sintesi che sono di seguito riportate, dalla consultazione delle quali è possibile partire per risalire ai processi analitici ed ai dati relativi alle gallerie utilizzati per arrivare ad ottenere i parametri finali.

A titolo esemplificativo dei risultati dello studio si riportano le seguenti considerazioni:

- L'analisi dell' opera 0201 - tratto del canale derivatore scavato in discesa in tradizionale da Pont Ventoux verso Finestra 2 - fornisce delle indicazioni interessanti sulla gestione delle venute d'acqua al fronte.
- I dati relativi all'opera 0202 - tratto del canale derivatore scavato in salita con TBM da Finestra 2 verso Pont Ventoux- hanno messo in evidenza le difficoltà di avanzamento della fresa in presenza di zone di taglio cataclastico con sfavorevole angolo d'incidenza tra le strutture e l'asse di scavo.
- L'elaborazione dei dati relativi all'opera 0203, tratto del canale derivatore scavato in salita dalla Val Clarea verso la Finestra 2, galleria scavata in assenza di problemi particolari, permette di fornire degli affidabili parametri di avanzamento medio giornaliero per TBM aperte in ammassi rocciosi sani.
- L'analisi eseguita per l'opera 0402 ha messo in evidenza l'effetto sulle velocità effettive di avanzamento determinato dall'andamento planimetrico complesso del tracciato, in relazione ad un tipo di scavo con TBM e sistema di smarino a nastro trasportatore continuo.

4 Agosto 2000

Dott. Geol. A. Damiano

Dott. Geol. G. Venturini

Dott. Geol. M. Spanò