

## SCHEDA DI ISCRIZIONE

da inviare a: **S.I.G. s.r.l.** Via Breda,28 - 20126 - Milano  
tel./fax 02 25708152 - tel. 02 25715805 - cell. 335 5452361  
e-mail: segreteria@societaitalianagallerie.it

Cognome e nome: \_\_\_\_\_

Società di appartenenza: \_\_\_\_\_

Indirizzo: \_\_\_\_\_

C.A.P.: \_\_\_\_\_ Città: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Cellulare: \_\_\_\_\_ e-mail: \_\_\_\_\_

socio SIG/Ord.Ing.VR / CIFI  non Socio  studente

**Modalità di iscrizione:** La scheda di iscrizione deve pervenire alla Segreteria Operativa via fax / mail entro il **20 febbraio 2017**  
Eventuali disdette, valide per il rimborso del 50% della quota di iscrizione, devono pervenire entro e non oltre il **20 febbraio 2017**

**Quote di partecipazione (IVA compresa e non esposta):**  
Socio SIG/Ord.Ing.VR/CIFI, pagam. entro il **01.02.2017** € 170,00  
Non socio SIG iscriz. e pagam. entro il **01.02.2017** € 200,00  
Socio/non Socio iscrizione e pagamento **dopo il 01.02.2017** € 230,00  
Studenti (con tesserino universitario) € 50,00

La quota di iscrizione comprende: l'ingresso-invito alla Fiera, la partecipazione al convegno, i coffee-break, la colazione di lavoro, la documentazione del convegno, la visita guidata al Samoter

**Non saranno ammessi alla quota ridotta i soci SIG non in regola con il pagamento delle quote sociali.**

### Modalità di pagamento:

tramite bonifico bancario intestato a: **SIG s.r.l.**  
Via Breda E. Breda n. 28 - 20126 Milano -  
coordinate bancarie IBAN: IT45J0200801621000100504079  
Unicredit, Ag. 221 - L.go Donegani n. 3 - 20121 Milano-MI

tramite Pay-Pall direttamente sul sito: [www.societaitalianagallerie.it](http://www.societaitalianagallerie.it)

direttamente alla Segreteria, all'atto della registrazione in Fiera, bancomat.

Partecipa alla Visita Guidata al Samoter  SI  NO

### Allega:

fotocopia bonifico bancario  copia tesserino universitario

Intestare Fattura a:.....

Città .....Cap .....Via .....

C.F. ....P.I. ....

Ai sensi del dlgs 196/03 a tutela della privacy, Vi autorizzo a trattare i dati forniti per la gestione del Convegno, per l'inserimento nell'elenco partecipanti e per future comunicazioni

Data \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

## Sponsor :



### Comitato Scientifico:

Andrea Pigorini  
Raffaele Zurlo  
Lorenzo Brino  
Giovanni Saccà

### Comitato Organizzatore:

Andrea Pigorini  
Enrico Arini  
Comitato Esecutivo SIG  
Ordine Ingegneri Verona  
CIFI Sezione di Verona

Organizzazione a cura di

**SOCIETA' DI SERVIZI S.I.G. Srl**  
20126 Milano - Via E. Breda n. 28 - tel. 02 25715805  
C.F. - P.I. e Registro Imprese di Milano n. 03619090966 R.E.A. 1689998



Società Italiana Gallerie  
Italian Tunnelling Society  
Member of International Tunnelling Association ITA/AITES



ITALY  
Meet you in NAPLES  
3 - 9 MAY

## CONVEGNO

23- 24 febbraio 2017

**"LE GRANDI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ALPINE IN COSTRUZIONE: LE SCELTE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE PER LA REALIZZAZIONE DI TUNNEL LUNGI E PROFONDI"**

(traduzione simultanea italiano/inglese-inglese/italiano)



Sono stati concessi dall'Ordine degli Ingegneri di Verona e Provincia 3+ 3 C.F.P. all'evento del 23 e 24 febbraio.

Sono stati concessi 6 APC dal Consiglio Nazionale dei Geologi

in collaborazione con



Verona - Viale del Lavoro n. 8 - Verona  
Centrocongressi Arena - Sala Rossini

**LE GRANDI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ALPINE IN COSTRUZIONE: LE SCELTE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE PER LA REALIZZAZIONE DI TUNNEL LUNGH E PROFONDI**

Oggi giorno, grazie ai progressi fatti in tema di progettazione e costruzione di opere in sotterraneo, la realizzazione di gallerie rappresenta la migliore soluzione per realizzare infrastrutture che attraversano catene montuose.

Negli ultimi 10 anni per esempio il bisogno di una efficiente infrastruttura di trasporto sia per le merci che per passeggeri, ha condotto a grandi investimenti e grandi sforzi per sviluppare nuove infrastrutture ferroviarie attraverso le Alpi in Europa, con la realizzazione dei tunnel del Lotschberg, del Gottardo e del Ceneri in Svizzera ed il Koralm tunnel in Austria.

In Italia da diversi anni siamo impegnati nella progettazione e realizzazione dei lunghi trafori ferroviari alpini lungo le direttrici della rete di trasporto europea TEN-T, che permetteranno di integrare la nostra penisola nella piattaforma di trasporto europea.

La galleria di base del Brennero, lungo il corridoio Scandinavo-Mediterraneo, la galleria di base del Moncenisio, lungo il corridoio Mediterraneo e le gallerie dell'Alta Velocità ferroviaria Milano Genova, lungo il corridoio Genova – Rotterdam dei due mari, rappresentano 3 esempi eclatanti di infrastrutture ferroviarie realizzate attraversando le Alpi con gallerie lunghe e profonde.

Quali sono le scelte progettuali per la realizzazione degli scavi in sicurezza? E quali quelle per contenere i tempi di realizzazione? Come avvengono la gestione ed i processi di valorizzazione degli enormi quantitativi di smarino? Come coniugare al meglio i vantaggi della tecnica convenzionale con quelli dello scavo meccanizzato? Meglio l'uso di TBM aperte o TBM scudate? E quali le scelte per realizzare infrastrutture attente agli aspetti ambientali, sicure nell'esercizio e durevoli? E quali le scelte ed i modi per condividere i progetti e le fasi di costruzione con le popolazioni locali ed avvicinare queste grandi opere ai sentimenti della gente?

Queste sono alcune delle domande che saranno sviluppate nel convegno grazie alla presenza dei relatori che si stanno occupando della gestione dei lavori, della progettazione e della costruzione delle opere.

Il Convegno promosso dalla Società Italiana Gallerie in ambito Samoter 2017 costituirà un'occasione unica per tutti gli operatori del sotterraneo per fare il punto sullo stato dei lavori di questi grandi trafori e per essere aggiornati sulle numerose esperienze maturate in questi ultimi anni in tema di progetto e costruzione di gallerie lunghe e profonde.

**Andrea Pigorini**  
Presidente Società Italiana Gallerie

**Programma – giovedì 23 febbraio –**

Ore 12,30 *Registrazione dei partecipanti*

Ore 14,00 *Apertura dei lavori*

**Andrea Pigorini** (Presidente SIG)

*Saluti delle Autorità e degli Organizzatori*

Ore 14,20 **P. Cox** (Coord. UE Corridoio Scand-Mediterraneo)  
Il corridoio Scandinavo - Mediterraneo: il punto di vista delle autorità europee

Ore 14,40 **G. Strisciuglio** (RFI)  
Le ferrovie italiane: l'impegno della realizzazione di infrastrutture sostenibili per la connessione del paese al network europeo

1° Sessione

**Il Tunnel di Base del Brennero e le gallerie delle tratte di accesso**

Ore 15,00 **R. Zurlo** (BBT-SE)  
Le scelte della committenza BBT-SE e lo stato dei lavori

Ore 15,20 **S. Fuoco** (BBT-SE)  
Lo scavo delle gallerie lato Italia fino al confine – Mules 2-3 - Il più importante progetto di lavori in sotterraneo in Italia negli ultimi anni: descrizione generale del Progetto e dei Lavori

Ore 15,40 **E. M. Pizzarotti** (Proiter)  
Lo scavo delle gallerie lato Italia fino al confine – Mules 2-3 - Le scelte di progetto dei rivestimenti in calcestruzzi delle gallerie

Ore 16,00 *Coffee break*

Ore 16,20 **A. Lombardi** (BBT-SE)  
Il sotto attraversamento del fiume Isarco: la sfida idrogeologica nei terreni fluvio-glaciali nella valle Isarco

Ore 16,40 **A. Palomba** (Salini-Impregilo)  
Il sotto attraversamento dell'Isarco in galleria naturale: utilizzo della tecnica mista di iniezione-congelamento dei terreni

Ore 17,00 **A. Voza** (BBT- SE)  
La progettazione di sistema di BBT: una buona sintesi degli approcci progettuali italo-austriaci

Ore 17,20 **A. Sciotti** (Italferr)  
Gli accessi alla galleria di Base: il progetto dell'accesso Sud nella tratta Ponte Gardena-Fortezza

Ore 17,40 **J. Herdina / R. Palla** (Tiwag Innsbruck /hbp)  
Gli accessi alla galleria di Base: Accesso Nord

**Programma – venerdì 24 febbraio –**

2° Sessione

**Il Tunnel di Base del Moncenisio, la galleria di Base del Ceneri e le gallerie del 3° Valico dei Giovi (Milano - Genova)**

Ore 9,50 **M. Virano** (Telt)  
Il Tunnel di base del Moncenisio: le scelte della committenza e lo stato dei lavori

Ore 10,10 **M. Bufalini** (Telt)  
Il cunicolo geognostico della Maddalena - Lesson learned

Ore 10,30 **P. Gilli** (Telt)  
Saint-Martin- La-porte – Lesson learned

Ore 10,50 **L. Brino** (Telt)  
L'approccio alla sicurezza in fase di esercizio

Ore 11,10 *Coffee break*

Ore 11,30 **A. Del Col** (AlpTransit)  
Il progetto altransit: aspetti principali inerenti progettazione ed esecuzione di un moderno sistema di gallerie alpine-

Ore 11,50 **D. Merlini** (Pini Swiss Engineers)  
Galleria di base del Ceneri - Aspetti progettuali e costruttivi negli avanzamenti in roccia e materiale sciolto

Ore 12,10 **A. Mancarella** (Cociv)  
La galleria di valico della Milano-Genova e lo scavo meccanizzato per l'attraversamento di ammassi potenzialmente amiantiferi

Ore 12,30 **M. Foresta** (Italferr)  
La sicurezza come approccio integrato per la progettazione e l'esercizio dei lunghi tunnel

Ore 12,50 *Conclusioni*

Ore 13,10 *Visita guidata agli stand*

Ore 14,00 *Lunch*



Societa' Italiana Gallerie  
*Italian Tunnelling Society*

Member of International Tunneling Association ITA/AITES



## ATTI CONVEGNO

***“LE GRANDI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ALPINE IN COSTRUZIONE:  
LE SCELTE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE PER LA REALIZZAZIONE DI  
TUNNEL LUNGI E PROFONDI”***

**23 - 24 febbraio 2017**

Verona – Viale del Lavoro n. 8 – Verona – Centrocongressi Arena – Sala Rossini



*In collaborazione con*



*Sponsor:*



Publicato a cura della Società di Servizi S.I.G. srl - Ing. Andrea Pigorini (Presidente)  
Via E. Breda, 28 - 20126 Milano - ITALIA

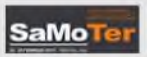
Stampato da ADFGRAF Srl - Via 1 Maggio, 26 - 37012 Bussolengo (VR)  
Vietata la riproduzione senza l'autorizzazione dell'Autore  
La S.I.G. srl non è responsabile delle opinioni espresse dagli Autori



**Società Italiana Gallerie**  
Italian Tunnelling Society



In collaborazione con:



CONVEGNO

**"LE GRANDI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ALPINE IN COSTRUZIONE: LE SCELTE PROGETTUALI E COSTRUTTIVE PER LA REALIZZAZIONE DI TUNNEL LUNGI E PROFONDI"**

23-24 febbraio 2017 – Verona – Viale del Lavoro n. 8 – Verona – Centro congressi Arena – Sala Rossini

Sponsor:



Programma - giovedì 23 febbraio – Sala Rossini

- Ore 12,30 **Registrazione dei partecipanti**
- Ore 14,00 **Apertura dei lavori**  
**Andrea Pigorini** (Presidente SIG)  
*Saluti delle Autorità e degli Organizzatori*
- Ore 14,20 **P. Cox** (Coord. UE Corridoio Scand-Mediterraneo)  
Il corridoio Scandinavo - Mediterraneo: il punto di vista delle autorità europee
- Ore 14,40 **G. Strisciuglio** (RFI)  
Le ferrovie italiane: l'impegno della realizzazione di infrastrutture sostenibili per la connessione del paese al network europeo
- 1° Sessione  
**Il Tunnel di Base del Brennero e le gallerie delle tratte di accesso**
- Ore 15,00 **R. Zurlo** (BBT-SE)  
Le scelte della committenza BBT-SE e lo stato dei lavori
- Ore 15,20 **S. Fuoco** (BBT-SE)  
Lo scavo delle gallerie lato Italia fino al confine – Mules 2-3 - Il più importante progetto di lavori in sotterraneo in Italia negli ultimi anni: descrizione generale del Progetto e dei lavori
- Ore 15,40 **E. M. Pizzarotti** (Proiter)  
Lo scavo delle gallerie lato Italia fino al confine – Mules 2-3 - Le scelte di progetto dei rivestimenti in calcestruzzi delle gallerie
- Ore 16,00 **Coffee break**
- Ore 16,20 **A. Lombardi** (BBT-SE)  
Il sotto attraversamento del fiume Isarco: la sfida idrogeologica nei terreni fluvio-glaciali nella valle Isarco
- Ore 16,40 **A. Palomba** (Salini-Impregilo)  
Il sotto attraversamento dell'Isarco in galleria naturale: utilizzo della tecnica mista di iniezione- congelamento dei terreni
- Ore 17,00 **A. Voza** (BBT- SE)  
La progettazione di sistema di BBT: una buona sintesi degli approcci progettuali italo-austriaci
- Ore 17,20 **A. Scloitti** (Italferr)  
Gli accessi alla galleria di Base: il progetto dell' accesso Sud nella tratta Ponte Gardena-Fortezza
- Ore 17,40 **J. Herdina / R. Palla** (Tiwag Innsbruck /hbpm)  
Gli accessi alla galleria di Base: Accesso Nord

Programma - venerdì 24 febbraio – Sala Rossini

- 2° Sessione  
**Il Tunnel di Base del Moncenisio, la galleria di Base del Ceneri e le gallerie del 3° Valico dei Giovi (Milano – Genova)**
- Ore 9,50 **M. Virano** (Telt)  
Il Tunnel di base del Moncenisio: le scelte della committenza e lo stato dei lavori
- Ore 10,10 **M. Bufalini** (Telt)  
Il cunicolo geognostico della Maddalena – Lesson learned
- Ore 10,30 **P. Gilli** (Telt)  
Saint-Martin- La-porte – Lesson learned
- Ore 10,50 **L. Brino** (Telt)  
L'approccio alla sicurezza in fase di esercizio
- Ore 11,10 **Coffee break**
- Ore 11,30 **A. Del Col** (Alp Transit)  
Galleria di base del Ceneri:  
Il progetto Alptransit: aspetti principali inerenti progettazione ed esecuzione di un moderno sistema di gallerie alpine
- Ore 11,50 **D. Merlini** (Pini Swiss Engineers)  
Galleria di base del Ceneri - Aspetti progettuali e costruttivi negli avanzamenti in roccia e materiale sciolto
- Ore 12,10 **A. Mancarella** (Cociv)  
La galleria di valico della Milano-Genova e lo Scavo meccanizzato per l'attraversamento di ammassi potenzialmente amiantiferi
- Ore 12,30 **M. Foresta** (Italferr)  
La sicurezza come approccio integrato per la progettazione e l'esercizio dei lunghi tunnel
- Ore 12,50 **Conclusioni**
- Ore 13,10 **Visita guidata agli stand**
- Ore 14,00 **Lunch**



## INDICE DELLE RELAZIONI

A. Pigorini <i>Presentazione</i> .....	1
P. Cox <i>Scandinavian Mediterranean corridor</i> .....	15
G.Strisciuglio..... <i>Le Ferrovie italiane: l'impegno nella realizzazione di infrastrutture sostenibili per la connessione del paese al network europeo</i>	17
<b>1° sessione</b>	
<b>“Il tunnel di base del Brennero e le gallerie delle tratte di accesso”</b>	
R. Zurlo ..... <i>Le scelte della committenza BBT SE e lo stato dei lavori</i>	27
S. Fuoco, R. Zurlo, S. Casale..... <i>Lo scavo delle gallerie lato Italia fino al confine: il lotto “Mules 2-3” il più importante progetto di gallerie in Italia degli ultimi anni</i>	39
M. Moja, E. M. Pizzarotti..... <i>Tunnel di base del Brennero lato Italia – Lotto Mules 2-3 Le scelte di progetto dei rivestimenti definitivi</i>	57
A. Lombardi..... <i>Il sotto attraversamento del fiume Isarco: la sfida idrogeologica nei terreni fluvio-glaciali nella valle Isarco</i>	69
A. Palomba, G. Cassan, M. Gatti..... <i>Il sotto attraversamento dell'Isarco in galleria naturale: utilizzo della tecnica mista di iniezione congelamento dei terreni</i>	83
A.Voza..... <i>La progettazione transfrontaliera di sistema di BBT: una buona sintesi degli approcci progettuali italo austriaci</i>	93





A.Sciotti, N. Casagrande, S. Rodani, S. Vagnozzi.....	103
<i>L'accesso sud alla galleria di Base del Brennero: aspetti progettuali per il quadruplicamento della linea ferroviaria Fortezza-Verona</i>	

J. Herdina, R. Palla.....	113
<i>The northern access to the Brenner Base Tunnel</i>	

## 2° Sessione

### **Il Tunnel di Base del Moncenisio, la galleria di Base del Ceneri e le gallerie del 3° Valico dei Giovi (Milano – Genova)**

M. Virano, M. Rocca, M. Giacoia.....	121
<i>Il tunnel di base del Moncenisio: le scelte della committenza e lo stato dei lavori</i>	

M. Bufalini, M. E. Parisi.....	131
<i>Il cunicolo geognostico della Maddalena – lesson learned</i>	

P. Gilli, E. Hugot.....	141
<i>La nuova linea ferroviaria Lione- Torino: settore Saint-Martin-La-Porte: una zona geologica complessa</i>	

L. Brino, P. Poti.....	151
<i>L'approccio alla sicurezza in fase di esercizio</i>	

A.Del Col.....	161
<i>Galleria di Base del Ceneri: Il progetto Alptransit: aspetti principali inerenti progettazione ed esecuzione di un moderno sistema di gallerie alpine</i>	

D. Merlini, D. Stocker, M. Falanesca.....	163
<i>Progetto Alptransit San Gottardo, Galleria di base del Ceneri: Aspetti progettuali e costruttivi negli avanzamenti in roccia e materiale sciolto</i>	

A. Mancarella.....	173
<i>La galleria di valico della Milano-Genova e lo scavo meccanizzato per l'attraversamento di ammassi potenzialmente amiantiferi</i>	

M. Foresta, F. Franzè.....	185
<i>La sicurezza come approccio integrato per la progettazione e l'esercizio dei lunghi tunnel</i>	



## **PRESENTAZIONE**

ANDREA PIGORINI – Presidente Società Italiana Gallerie

Oggi giorno, grazie ai progressi fatti in tema di progettazione e costruzione di opere in sotterraneo, la realizzazione di gallerie rappresenta la migliore soluzione per realizzare infrastrutture che attraversano catene montuose.

Negli ultimi 10 anni per esempio il bisogno di una efficiente infrastruttura di trasporto sia per le merci che per passeggeri, ha condotto a grandi investimenti e grandi sforzi per sviluppare nuove infrastrutture ferroviarie attraverso le Alpi in Europa, con la realizzazione dei tunnel del Lotschberg, del Gottardo e del Ceneri in Svizzera ed il Koralm tunnel in Austria.

In Italia da diversi anni siamo impegnati nella progettazione e realizzazione dei lunghi trafori ferroviari alpini lungo le direttrici della rete di trasporto europea TEN-T, che permetteranno di integrare la nostra penisola nella piattaforma di trasporto europea.

La galleria di base del Brennero, lungo il corridoio Scandinavo-Mediterraneo, la galleria di base del Moncenisio, lungo il corridoio Mediterraneo e le gallerie dell’Alta Velocità ferroviaria Milano Genova, lungo il corridoio Genova – Rotterdam dei due mari, rappresentano 3 esempi eclatanti di infrastrutture ferroviarie realizzate attraversando le Alpi con gallerie lunghe e profonde.

Quali sono le scelte progettuali per la realizzazione degli scavi in sicurezza? E quali quelle per contenere i tempi di realizzazione? Come avvengono la gestione ed i processi di valorizzazione degli enormi quantitativi di smarino? Come coniugare al meglio i vantaggi della tecnica convenzionale con quelli dello scavo meccanizzato? Meglio l’uso di TBM aperte o TBM scudate? E quali le scelte per realizzare infrastrutture attente agli aspetti ambientali, sicure nell’esercizio e durevoli? E quali le scelte ed i modi per condividere i progetti e le fasi di costruzione con le popolazioni locali ed avvicinare queste grandi opere ai sentimenti della gente?

Queste sono alcune delle domande che saranno sviluppate nel convegno grazie alla presenza dei relatori che si stanno occupando della gestione dei lavori, della progettazione e della costruzione delle opere.

Il Convegno promosso dalla Società Italiana Gallerie in ambito Samoter 2017 costituirà un’occasione unica per tutti gli operatori del sotterraneo per fare il punto sullo stato dei lavori di questi grandi trafori e per essere aggiornati sulle numerose esperienze maturate in questi ultimi anni in tema di progetto e costruzione di gallerie lunghe e profonde.



## **Comitato Scientifico**

Ing. Andrea Pigorini  
Ing Raffaele Zurlo  
Ing. Lorenzo Brino  
Ing. Giovanni Saccà

Presidente Società Italiana Gallerie  
BBT-SE Galleria di base del Brennero  
Telt Tunnel Euralpin Lyon Turin-s.a.s  
CIFI Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani

## **Comitato Organizzatore**

**Coordinatore:** Ing. Andrea Pigorini  
**Vice-Coordinatore:** Ing. Enrico Arini  
**Membri:** Comitato Esecutivo SIG  
Ordine Ingegneri di Verona  
CIFI Sezione di Verona

Presidente Società Italiana Gallerie  
Segretario Gen. Società Italiana Gallerie



# EGOpro

## Safe Tunnel

La sicurezza attiva in cantiere



### EGOpro Safe Tunnel

- **CONSULENZA E PROGETTAZIONE**
- **CONTROLLO ACCESSI E TRACKING**
- **CONTA PERSONE E GESTIONE MENSA**
- **TELEFONIA E TRASMISSIONE DATI**
- **ALLARMI, VIDEOSORVEGLIANZA, MONITORAGGIO**

**Advanced Microwave Engineering Srl.**

Via Lucca 50-54 - Firenze - Italy

Tel: +39 055 73921 Fax: +39 055 7392141

[sales@ameol.it](mailto:sales@ameol.it) - [info@ameol.it](mailto:info@ameol.it)

[www.ameol.it](http://www.ameol.it)



## Advanced Microwave Engineering

### Insieme per la Sicurezza Attiva in cantiere

AME, grazie alla sua vasta esperienza nel campo della sicurezza nel settore delle grandi opere, fornisce una gamma completa di servizi di consulenza e soluzioni hardware: dalla fase di supporto alla progettazione all'attività di ingegnerizzazione dell'infrastruttura degli impianti di sicurezza, comunicazione e monitoraggio ambientale.

La soluzione completa **EGopro Safe Tunnel** permette di gestire con grande semplicità ed affidabilità la sicurezza dei lavoratori di imprese appaltatrici.

Attraverso l'installazione di dispositivi di riconoscimenti all'interno del cantiere, l'utilizzo di un software innovativo e la dotazione per ogni operatore del nuovo TAG EGopro, è possibile visualizzare direttamente dalla propria interfaccia quanto sta avvenendo all'interno del cantiere o è avvenuto in un dato momento, in caso di un evento registrato.



CONTROLLO ACCESSI E TRACKING



SOFTWARE WEB BASED



VIDEOSORVEGLIANZA



ENVIROMENTAL MONITORING



VOICE COMMUNICATION



EGopro Active Safety TAG



MULTILETTURA

[WWW.AMEOL.IT](http://WWW.AMEOL.IT)

## Referenze

Tra gli ultimi cantieri che hanno adottato la soluzione EGopro Safe Tunnel realizzata da A.M.E. si evidenziano:

- Porto Empedocle (AG): Superstrada SS 640 di Porto Empedocle, realizzazione Galleria Caltanissetta.
- Monte Ceneri (Svizzera): Alta velocità ferroviaria Svizzera, Galleria di Base del Monte Ceneri e Area Logistica di Camorino Vigana.
- Laino Borgo-Campotenese (CS): Autostrada A3 Salerno Reggio Calabria Macrolotto 3° parte 2.
- Cefalù-Castelbuono (PA): Raddoppio della linea ferroviaria.
- Barberino del Mugello Località Cornocchio (FI): Lavori di ammodernamento dell'A1 Barberino - Incisa.
- Caposele (AV): Completamento galleria Pavoncelli dell'acquedotto Sele-Calore (Pavoncelli bis).
- Frejus (TO): Galleria di sicurezza Lotto 2 opere lato Italia con controllo dal versante italiano.
- Firenze (FI): Cantiere Passante ferroviario alta velocità, nuova stazione AV.
- Albula (Svizzera): Realizzazione nuova galleria ferroviaria passo Albula.
- Morbegno (SO): Cantiere SS38 variante di Morbegno SP04 Valeriana Occidentale.



Original Demolition Power™

**BROKK**®

## Macchine da Demolizione Radiocomandate

I progetti di tunnelling presentano una grande opportunità per potenza e profilo delle macchine Brokk. Sono lo strumento ideale per creare passaggi, nicchie di sicurezza, gallerie per posa di cavi e idrauliche, rifacimenti di rivestimenti, metropolitane e allargamenti.

[www.brokk.com](http://www.brokk.com)



## UTILIZZO GALLERIE



L'utilizzo in gallerie presenta una vasta gamma di opportunità per la forza e il profilo di una macchina Brokk. Sono lo strumento ideale per gli attraversamenti incrociati e nicchie di sicurezza, gallerie per cavi e acqua, ristrutturazione di rivestimenti, gallerie di metropolitane e ampliamenti vari.

Un Brokk è la perfetta combinazione fra potenza e accessibilità alle aree in cui le limitazioni dello spazio rendono impossibile o impraticabile il lavoro manuale - per non parlare di una macchina più grande. Ciò include le gallerie vicine alla superficie, dove lavorare con attrezzature più pesanti sarebbe troppo rischioso. Operare con il telecomando, le piccole dimensioni, la flessibilità straordinaria e raggio d'azione fornisce alla macchina un'incredibile capacità di accesso e operatività in spazi ristretti senza

sacrificare la potenza. Con una vasta gamma di benne e altri attrezzi, Brokk gestisce con facilità la rimozione delle macerie e una gamma completa di funzioni aggiuntive. Se il lavoro è al di sotto il mare, per terra o a migliaia di metri di altitudine, un Brokk opera dove altre macchine non possono.

La capacità di utilizzare attrezzi pesanti che normalmente sono raccomandati per escavatori molto più grandi, Brokk risulta perfetto per l'utilizzo in gallerie. Un martello idraulico da 535 kg sul Brokk 400 (pesa solo 5 tonnellate) offre un rapporto dimensioni-potenza senza pari, superando escavatori fino a cinque volte più grandi.





**nihil  
difficile  
volenti**



[www.cipaspa.it](http://www.cipaspa.it) | [info@cipaspa.it](mailto:info@cipaspa.it)



La Cipa SpA fondata nel 1986, forte di una cultura ingegneristica centenaria, è impresa con un patrimonio di conoscenza, di attrezzature ma soprattutto di risorse umane specializzate nelle opera del sottosuolo.

Inserita, per volume di affari, tra le prime 100 imprese di costruzione italiane è tra le prime cinque del mercato italiano nella specializzazione delle grandi opere ed è orgogliosa di aver raggiunto un importante traguardo... 30 anni di attività.

Ha annoverato e annovera, ove ancora in esecuzione, la propria presenza in tutte le metropolitane d'Italia ed anche in alcune capitali d'Europa. Da alcuni anni presente anche in mercati extraeuropei.

Esegue gallerie, pozzi, fondazioni speciali, consolidamenti, parcheggi interrati e cementi armati.

### **Dal 1986... PASSIONE E DEDIZIONE.**

<http://cipaspa.it/ita/>



Founded in 1986 a boasting a century-old engineering culture, Cipa SpA is a company with a wealth of knowledge and equipment and, above all, of human resources specialized in underground works.

It is one of Italy's leading construction firms in term of turnover and, in the specialty of large-scale works, it is ranked among the top five on the Italian market and it is proud to have reached an important goal... 30 years of activity.

It has marked its presence – both in the past and in those places where work is still in progress – in all the undergrounds in Italy, and in some European capital as well.

Since some years, it is present in the non-European market, too.

It builds tunnels, shafts, special foundations, consolidation works, underground car parks, and reinforced concretes.

### **Since 1986... PASSION AND DEDICATION.**

<http://cipaspa.it/eng/>



[www.cipaspa.it](http://www.cipaspa.it) | [info@cipaspa.it](mailto:info@cipaspa.it)

**Sede legale ed amministrativa**  
Via Privata Rubinacci, 10 - 80067 Sorrento (NA)

**Direzione tecnica e gare**  
Via M. Panetti, 95 - 00138 Roma



# **Future** in progress



Realizziamo grandi opere per migliorare la vita delle persone in ogni parte del mondo. Crediamo nel

lavoro e nell'innovazione tecnologica. Operiamo ogni giorno per costruire il futuro delle prossime generazioni.





**WE HAVE BEEN  
TAMING WATER  
SINCE 1963.**

**FLAG WATERPROOFING SYSTEMS:  
SUPERIOR PROTECTION. TOTALLY REPAIRABLE.**

Flag PVC and TPO synthetic membranes ensure complete water sealing in tunnels and underground works. Flag's solution to water infiltrations for the lifetime of the structure is unique. It is possible to re-seal the system avoiding costly demolition.







**SIG – Società Italiana Gallerie**

**Convegno “Le grandi infrastrutture ferroviarie alpine in costruzione: le scelte progettuali e costruttive per la realizzazione di tunnel lunghi e profondi”**

Samoter 2017 - Verona (VR) 23 – 24 febbraio 2017

---

## **SCANDINAVIAN MEDITERRANEAN CORRIDOR**

MR PAT COX IS THE EUROPEAN COORDINATOR FOR THE SCANDINAVIAN-MEDITERRANEAN CORE NETWORK CORRIDOR

### Abstract

The Scandinavian-Mediterranean Corridor is a crucial north-south axis for the European economy. Crossing the Baltic Sea from Finland to Sweden and passing through Germany, the Alps and Italy, it links the major urban centres and ports of Scandinavia and Northern Germany to continue to the industrialised high production centres of Southern Germany, Austria and Northern Italy further to the Italian ports and Valletta.

The most important projects in this corridor are the fixed Fehmarnbelt crossing and Brenner base tunnel, including their access routes.

The Brenner Base Tunnel:

The cross-border section between Munich and Verona going through the Alps is a major bottleneck on the Scandinavian - Mediterranean Corridor. The removal of this bottleneck is crucial for the realisation of the entire corridor.

Moreover, the realisation of the Brenner Base Tunnel will have an effect on other rail networks linking northern and southern Europe. Together with the Gotthard-Monte Ceneri axis in Switzerland and the Lyon-Turin rail connection, the Brenner Corridor will establish a complex of high-capacity rail links. They will help achieve the environmental objectives set by the EU and ensure the modal shift from road to rail so necessary for the future of the ecologically sensitive Alpine region.

The Fehmarn Belt Fixed Link:

The Fehmarn Belt crossing is a key component in the main north-south route between central Europe and the Nordic countries. This cross-border bottleneck will be removed by the construction of the new immersed rail/road tunnel under the 19 km wide Fehmarn strait between Rødby in Denmark and Puttgarden in Germany. After the completion of the project, the travel time between Copenhagen and Hamburg will be reduced by approximately one hour, and for rail freight transport by approximately two hours.



## **“LE FERROVIE ITALIANE: L’IMPEGNO NELLA REALIZZAZIONE DI INFRASTRUTTURE SOSTENIBILI PER LA CONNESSIONE DEL PAESE AL NETWORK EUROPEO”**

Gianpiero Strisciuglio Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. – Direttore Commerciale ed Esercizio Rete

### **Abstract**

Il nostro Paese è attraversato da 4 principali Corridoi della Rete TEN-T: Reno – Alpi, Mediterraneo, Scandinavia – Mediterraneo e Baltico Adriatico.

Su questi corridoi è in corso un piano di investimenti, la cui principale fonte di finanziamento è il Contratto di Programma tra MIT e RFI.

Tali investimenti sono distribuiti su tutto il territorio nazionale, a partire dai grandi valichi alpini fino agli investimenti in Sicilia.

L’obiettivo principale è rendere il trasporto su ferro competitivo con le altre modalità.

Tutti gli attori del sistema di trasporto ferroviario dall’Impresa Ferroviaria al cliente finale avranno benefici qualitativi e quantitativi da questo piano.

Tale Piano interessa anche i punti di accesso alla rete come i porti e i terminali.

### **1. Rete TEN-T e obiettivi per lo sviluppo del trasporto ferroviario**

Il nostro Paese è attraversato da 4 principali Corridoi della Rete TEN-T: Reno – Alpi, Mediterraneo, Scandinavia – Mediterraneo e Baltico Adriatico. La loro disposizione forma una rete che ha grandi potenzialità sia per il trasporto delle merci sia per il trasporto delle persone.



Su tali corridoi è in corso un piano di investimenti, la cui principale fonte di finanziamento è il Contratto di Programma tra MIT e RFI.

Tra i principali interventi in corso di realizzazione ci sono i tunnel transfrontalieri sul Corridoio Mediterraneo e sullo Scandinavia - Mediterraneo che consentono di ridurre le pendenze sui principali collegamenti e garantire sagome per il trasporto su ferro dei semirimorchi e dell'autostrada viaggiante.

Tali interventi contribuiscono a rendere il trasporto su ferro competitivo con le altre modalità. Il trasporto su ferro è redditivo sulle grandi quantità, ma anche sulle grandi distanze. È fondamentale quindi lavorare sui collegamenti con l'Europa e sulle condizioni per incrementare la produttività delle Imprese Ferroviarie e degli Operatori di trasporto. Ovviamente, al fine di consentire l'uniformità delle prestazioni, è in corso un piano di adeguamento su questi corridoi su tutto il territorio italiano per consentire il transito di treni lunghi fino a 750 m, con sagoma idonea al trasporto di semirimorchi ed autostrada viaggiante e massa assiale più elevata. In questo modo le Imprese Ferroviarie e di conseguenza gli Operatori di trasporto potranno abbattere i costi di trasporto, risparmiando costi del personale, noleggio/leasing dei carri e del locomotore.

Correlato allo sviluppo di tali corridoi è il completamento della rete AV/AC i cui principali interventi sono la Brescia - Verona - Vicenza – Padova ed il Terzo Valico di Giovi. Questo ultimo intervento ha una importanza prevalentemente merci e rappresenta, in analogia ai due nuovi collegamenti transfrontalieri tra Italia ed Austria ed Italia e Francia, un elemento chiave per consentire l'incremento della ripartizione modale del treno e rendere competitivo il sistema portuale di Genova su tutto il Corridoio Reno Alpi.

## 2. Corridoio Reno - Alpi - Focus



Il Corridoio Reno – Alpi rappresenta un esempio di best practice di collaborazione tra Paesi Transfrontalieri. I rapporti tra lo Stato Italiano e la Confederazione Svizzera sono regolati da una serie di accordi tra cui il Memorandum of Understanding firmato nel mese di dicembre 2012. Tale documento istituisce un piano coordinato di adeguamento delle infrastrutture e dei valichi con l'obiettivo di avere delle linee con caratteristiche omogenee in termini di prestazioni e capacità. Questo per sfruttare alla piena potenzialità gli investimenti realizzati ed in corso in Svizzera quali i nuovi tunnel di base del Loetschberg, Gottardo e Ceneri. Con

cadenza regolare vengono tenuti incontri per il monitoraggio degli investimenti e dell'esercizio delle linee transfrontaliere. Gli incontri sono strutturati ai vari livelli di natura politica, istituzionale e tecnica per consentire la più corretta pianificazione degli investimenti.

Per il traffico merci è previsto che entro il 2020 sui tre valichi di Luino, Chiasso e Domodossola potranno circolare treni lunghi fino a 750 m. Sui valichi di Luino e Chiasso, inoltre, al 2020 ci saranno le condizioni affinché possano viaggiare su treno i semirimorchi e l'autostrada viaggiante con altezza massima fino a 4 metri. L'intervento di adeguamento a sagoma sul Valico di Luino è stato finanziato dalla Confederazione Svizzera a fondo perduto con accordo siglato con lo Stato Italiano il 28 gennaio 2014. Sono previsti, inoltre, una serie di interventi tecnologici sul valico di Chiasso, tralasciati al 2018, per consentire il transito di più treni (riduzione del distanziamento minimo fino a 4') e garantire l'interoperabilità con l'installazione del sistema ERTMS/ETCS L2 (European Railway Traffic Management System/ European Train Control System) sovrapposto al sistema tradizionale.

Oltre agli interventi sulle linee, vi è un piano di investimento sui terminali intermodali coordinato da società partecipate dal Gruppo Ferrovie dello Stato che prevede lo sviluppo dei nuovi terminali intermodali di Milano Smistamento, Piacenza e Brescia. Il nuovo terminale di Milano Smistamento ad oggi risulta quello allo stadio più avanzato: il cantiere per la realizzazione sarà avviato entro il 2017 ed il primo modulo sarà attivato entro il 2019 consentendo la gestione di 11 coppie/giorno di treni merci lunghi fino a 750m.

Le azioni di RFI non si esauriscono ovviamente solo sugli adeguamenti tra Milano/Novara ed i valichi, ma sono pianificati anche interventi sulle linee di collegamento con i Porti di Genova. In questo modo, anche grazie alla realizzazione del Terzo Valico, la cui fine lavori è prevista a dicembre 2021, si riuscirà ad avere una rete performante per il traffico merci che consenta di rendere competitivo il sistema portuale di Genova anche sui collegamenti internazionali oltre che con la Svizzera. Questi interventi saranno realizzati in coerenza con la data di attivazione del Terzo Valico.

Il Terzo Valico avrà anche una valenza viaggiatori, consentendo di collegare Genova e Torino e Milano e Genova con tempi di viaggio di circa un'ora. Congiuntamente al Terzo valico le linee storiche tra Milano e Tortona e Torino e Novi Ligure saranno interessate da un programma di velocizzazione e di potenziamento tecnologico.

Per il solo upgrade prestazionale del Corridoio Reno – Alpi, nell'aggiornamento 2016 del Contratto di Programma parte Investimenti 2012-2016 tra Rete Ferroviaria Italiana e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sono disponibili 448 milioni di euro, di cui 50 milioni di nuove risorse.

### 3. Corridoio Mediterraneo – Focus



Sul corridoio Mediterraneo sono in corso interventi di adeguamento di cui il principale, in fase di progettazione, è la realizzazione del nuovo collegamento internazionale Italia – Francia.

Tale collegamento nasce per superare le limitazioni prestazionali della linea esistente in termini di pendenza e profilo minimo ostacoli. L'intervento è stato diviso in fase funzionali anche grazie agli accordi Italia – Francia (Accordo Italia Francia per la realizzazione e l'esercizio di una nuova linea ferroviaria Torino-Lione del 30 gennaio 2012 ratificato con Legge 71 del 2014).

La prima fase prevede la realizzazione del nuovo Tunnel di Base che in Italia ha il suo termine a Bussoleno, l'adeguamento della linea storica tra Bussoleno ed Avigliana e la realizzazione di una nuova tratta tra Avigliana ed Orbassano.

Nelle fasi successive è prevista la realizzazione della cosiddetta gronda merci di Torino tra Settimo ed Orbassano nonché il completamento della nuova linea internazionale in territorio italiano tra Bussoleno ed Avigliana.

Nell'ambito dello stesso corridoio è da segnalare il completamento della rete AV/AC tra Milano e Venezia, di cui nel dicembre scorso è stata completata la tratta tra Treviglio e Brescia. Nei prossimi anni sarà avviata la realizzazione della Brescia -Verona e della Verona – Vicenza, incluso l'adeguamento del Nodo di Verona. In questo ultimo progetto è compreso l'adeguamento delle linee d'accesso al Terminal di Verona Quadrante Europa, compresa la possibilità d'accesso lato Milano.

Parallelamente è in corso di completamento l'adeguamento della linea storica Torino – Padova – Venezia per consentire la circolazione di treni lunghi fino a 750 m.

Sullo stesso corridoio è previsto il potenziamento della linea attuale tra Venezia e Trieste, che, oltre a ridurre i tempi di viaggio, consentirà di completare l'adeguamento a modulo della linea e ridurre le limitazioni di peso assiale.

Per quanto riguarda il valico di Villa Opicina è previsto, in anticipazione alla realizzazione della nuova linea tra Trieste e Divaccia, l'adeguamento della linea storica, tramite il potenziamento tecnologico, l'adeguamento a lunghezza treno di 750 m e l'eliminazione dei passaggi a livello.

Per il solo upgrade prestazionale del Corridoio Mediterraneo, nell'aggiornamento 2016 del Contratto di Programma parte Investimenti 2012-2016 tra Rete Ferroviaria Italiana e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sono disponibili 65 milioni di euro, di cui 42 milioni di nuove risorse.

#### 4. Corridoio Scandinavia Mediterraneo – Focus



L'intervento principale sul Corridoio è la realizzazione del nuovo tunnel di Base tra Fortezza ed Innsbruck. L'attivazione, prevista entro il 2025, consentirà di eliminare le limitazioni in termini di pendenza presenti sulla linea attuale. Sulla stessa linea, a sud di Fortezza, insiste il primo lotto di quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, tratta Fortezza – Ponte Gardena. Questo intervento si trova in piena continuità con il tunnel di base perché garantisce al traffico merci gli stessi standard in termini di pendenza. L'intervento è finanziato ed avrà lo stesso orizzonte di completamento del Tunnel del Brennero (2025).

Successivamente, sono previsti altri 3 lotti prioritari di completamento del quadruplicamento Fortezza – Verona che attualmente sono in fase di progettazione.

A sud di Verona è previsto l'adeguamento a modulo 750 m della tratta tra Verona e Firenze (via Prato). Il principale collo di bottiglia è la sagoma sulla linea storica tra Bologna e Prato che sarà comunque adeguata entro l'orizzonte di Piano Industriale (2026).

A sud di Firenze sarà adeguato a standard merci l'itinerario via Firenze – Pisa – Livorno – Civitavecchia – Roma.

Per il proseguimento del collegamento verso Sud, sono in corso di progettazione gli interventi sull'itinerario Roma – Napoli via Cassino. Il corridoio merci a sud di Napoli sarà

l'attuale linea Tirrenica fino a Villa San Giovanni sulla quale sono anche previsti interventi di velocizzazione e potenziamento per il traffico viaggiatori.

In Sicilia l'itinerario del Corridoio sarà Messina – Catania – Palermo dove si prevede il completamento del raddoppio tra Messina e Catania, la sistemazione del Nodo di Catania ed il potenziamento dell'attuale collegamento tra Catania e Palermo.

Entro il 2030 sarà adeguato a standard merci l'intero Corridoio.

Riguardo le tratte antenna del Corridoio Scandinavia Mediterraneo sono previsti interventi sulla Napoli – Foggia – Bari – Taranto. In particolare è programmato il nuovo collegamento AV/AC Napoli – Bari con interventi di raddoppio e varianti di tracciato per ridurre i tempi di viaggio tra Roma/Napoli e Bari (3h Roma – Bari e 2h Napoli – Bari) e contestualmente adeguare l'itinerario a standard del traffico merci.

Ulteriormente RFI sta adeguando con interventi di modulo e sagoma, come itinerario alternativo, il corridoio adriatico tra Ancona e Foggia. Sempre afferente al Corridoio Scandinavia – Mediterraneo è l'itinerario tra Gioia Tauro – Sibari – Taranto che consente l'istadamento del traffico merci proveniente da Gioia Tauro sull'itinerario via Adriatica.

Per il solo upgrade prestazionale del Corridoio Scandinavia - Mediterraneo, nell'aggiornamento 2016 del Contratto di Programma parte Investimenti 2012-2016 tra Rete Ferroviaria Italiana e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sono disponibili 392 milioni di euro, di cui 155 milioni di nuove risorse.

## 5. Corridoio Baltico Adriatico – Focus



Sul Corridoio Baltico Adriatico sono in corso di realizzazione interventi di adeguamento a modulo 750 m tra Tarvisio e Cervignano.

Sulla tratta tra Venezia e Trieste/Villa Opicina gli interventi sono in comune con il corridoio Mediterraneo.



A sud di Padova sarà adeguato l'itinerario Padova – Bologna – Faenza - Ravenna/Ancona a modulo 750 m. Sulla tratta Faenza – Ravenna è previsto l'adeguamento anche della sagoma al P/C 80 per il transito dei semirimorchi e dell'autostrada viaggiante.

Su tale corridoio appare opportuno ricordare il Porto di Trieste, dove è previsto un intervento di modifica all'assetto della stazione di Trieste Campo Marzio con una generale riorganizzazione anche dei collegamenti verso il porto, interventi tecnologici estesi anche a Trieste Aquilinia e Trieste Servola e la possibilità di gestire treni lunghi fino a 750 m.

Per il solo upgrade prestazionale del Corridoio Baltico - Adriatico, nell'aggiornamento 2016 del Contratto di Programma parte Investimenti 2012-2016 tra Rete Ferroviaria Italiana e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sono disponibili 61 milioni di euro, di cui 16 milioni di nuove risorse.



# BRENNER BASISTUNNEL GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO



Anche quest'anno:

## Giornata delle Porte Aperte



### Cantiere di Mules

Domenica 24 Settembre 2017 dalle ore 9.30 alle ore 16.30

#### PROGRAMMA:

- 09.30 Santa Messa
- Visita guidata delle gallerie in corso di realizzazione
- Stand gastronomico e musica
- Giochi ed intrattenimento per bambini

La visita guidata in galleria avrà una durata di ca. 30 minuti.  
**SI CONSIGLIA L'UTILIZZO DI CALZATURE ADEGUATE!**

#### COME ARRIVARE:

Autobus gratuito dalle stazioni FFSS di Fortezza e di Vipiteno

Gli autobus viaggiano tra le ore 8.45 e le ore 16.30 con cadenza di 15 minuti e fermano a tutte le fermate pubbliche.

**IL CANTIERE È RAGGIUNGIBILE UNICAMENTE CON GLI AUTOBUS DI LINEA!**



## **LE SCELTE DELLA COMMITENZA BBT SE E LO STATO DEI LAVORI**

Raffaele Zurlo BBT-SE – Amministratore

### **Abstract**

La realizzazione della galleria di Base del Brennero può considerarsi una palestra nell'ambito della quale la committenza ha dovuto affrontare problematiche organizzative, amministrative, economiche, giuridiche e tecniche, che difficilmente si rinvengono nell'ambito della generalità dei progetti infrastrutturali.

Il carattere transnazionale dell'opera, il duplice quadro normativo italiano ed austriaco, le diverse culture tecniche, le diverse prassi operative e gestionali hanno generato un confronto costruttivo, fra italiani ed austriaci, che ha consentito il raggiungimento di ottimi risultati.

Tra i numerosi appalti per forniture, servizi e lavori fino ad oggi affidati, spiccano i quattro riguardanti la realizzazione di importanti sezioni facenti parte della galleria di base.

Per tre di questi, sono state messe a punto tipologie di contratti diverse e sono state implementate procedure di gara differenti, individuate a seguito di specifiche analisi compiute caso per caso, e si sono potuti constatare sul campo gli effetti delle scelte operate.

Il presente articolo, nel fare un quadro generale dello stato di avanzamento dei lavori, sintetizza gli aspetti peculiari che hanno caratterizzato le diverse fasi evolutive del progetto: progettazione, affidamento, realizzazione.

### **1. Il progetto**

Con la sua posizione, al centro delle Alpi, e per la sua caratteristica di essere il valico dell'arco alpino alla quota più bassa (1.371 mslm), il passo del Brennero costituisce, fin da tempi antichissimi, il collegamento più importante tra il nord e il sud Europa per il transito di persone e merci.

Oggi, sotto il passo del Brennero, è in corso di realizzazione il collegamento ferroviario sotterraneo più lungo del mondo. La Galleria di Base del Brennero collegherà le località di Fortezza, in Italia, e Innsbruck, in Austria, attraverso un nuovo tracciato che abbatte le pendenze della linea ferroviaria di superficie esistente, riducendone contestualmente la lunghezza di circa 20 km, permettendo in tal modo il transito di treni merci più lunghi, capienti e veloci.



- Baltic – Adriatic
- North Sea – Baltic
- Mediterranean
- Orient /East Med
- Scandinavian – Mediterranean
- Rhine – Alpine
- Atlantic
- North Sea – Mediterranean
- Rhine - Danube

**Figura 1 . I corridoi della rete TEN-T**

La politica dei trasporti in Europa oggi si articola in “corridoi”. L’UE ne ha individuati complessivamente nove, che formano la rete trans-europea dei trasporti TEN-T su cui verranno concentrati i finanziamenti europei dei prossimi programmi. La Galleria di Base del Brennero costituisce una sezione baricentrica e nevralgica del Corridoio “Scandinavia – Mediterraneo”, che viene realizzato per fasi funzionali, al fine di garantire un aumento delle capacità di trasporto coerente con l’aumento della domanda sulla base del traffico previsto e, nel contempo, di favorire un riequilibrio modale del trasporto a beneficio della ferrovia.

Attraverso il valico del Brennero oggi transita oltre il 40% dell'intero traffico merci transalpino. Oltre due terzi del trasporto merci avviene su strada, appena un terzo invece su rotaia.

Ogni anno circa 2 milioni di mezzi pesanti e complessivamente più di dieci milioni di vetture attraversano il valico del Brennero, trasportando annualmente circa 40 milioni di tonnellate di merci.

La linea ferroviaria attuale segue in gran parte il tracciato progettato nel 1860 e realizzato nei 7 anni successivi. Per portarsi alla quota di 1.371 metri del valico del Brennero, al confine tra Italia e Austria, i binari seguono un percorso tortuoso e acclive, con pendenze che sul versante austriaco raggiungono il 26%. Questo non solo limita la velocità dei treni, ma impone anche una riduzione dei massimali di carico, rendendo necessario l’impiego di almeno due motrici sul versante italiano e tre motrici sul versante austriaco, sia in testa treno che in coda.

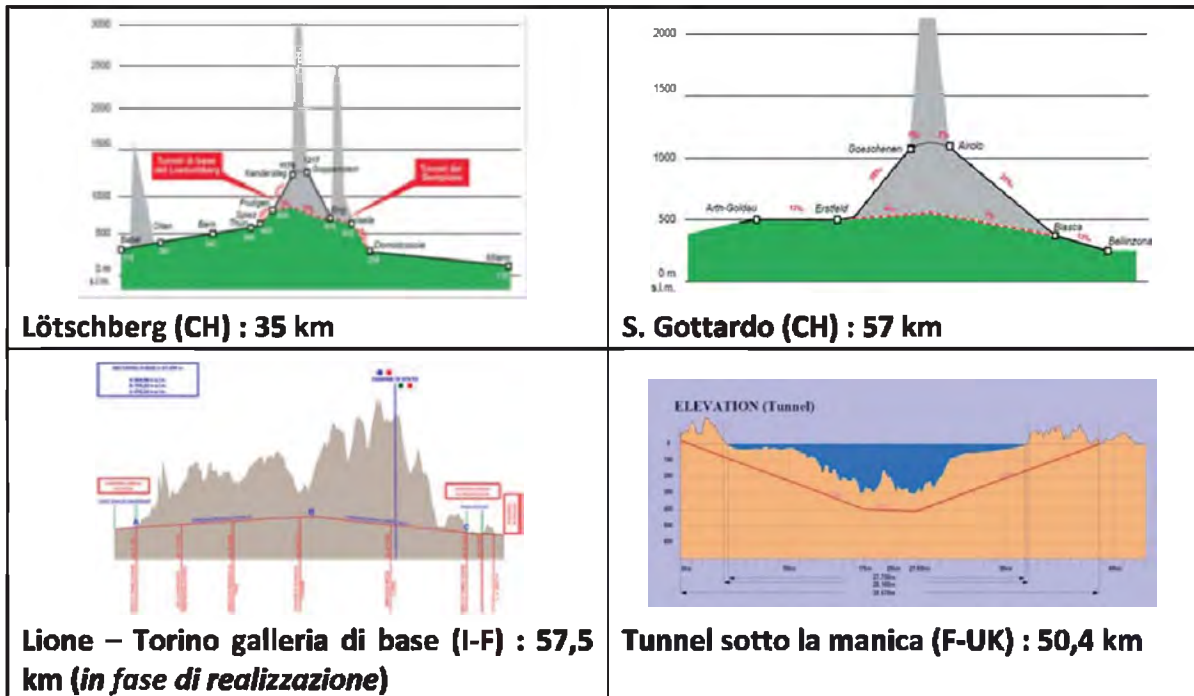


Treni merci	Lunghezza linea	Locomotori	Lunghezza treni	Massima massa rimorchiabile	Tempo di percorrenza
Linea attuale	75km	2 - 3	450 m	1200 t	1h 45'
<b>Linea futura</b>	<b>55km</b>	<b>1</b>	<b>750 m</b>	<b>1600 t</b>	<b>35'</b>

**Figura 2. Principali parametri di confronto tra la linea storica la nuova galleria di Base del Brennero**

Il nuovo tracciato, che tra Innsbruck e Fortezza avrà una pendenza massima del 6,7 ‰ (Fig. 2), permetterà un transito attraverso il valico ferroviario di treni merci più lunghi, capienti e veloci, riducendo contestualmente i tempi di percorrenza – attualmente circa 75 minuti – a soli 25 minuti per i treni più veloci. La capacità ferroviaria della linea verrà così incrementata dagli attuali 220-240 treni/giorno a 400 treni/giorno, con un considerevole aumento del peso utile trainabile per treno (+80% ca.). Di seguito si forniscono alcuni dei dati più significativi che caratterizzano la Galleria di Base del Brennero come un'opera di ingegneria pionieristica del 21° secolo, e alcuni grafici relativi ai maggiori tunnel ferroviari europei.

<b>Parte del corridoio TEN SCAN-MED (Scandinavia - Mediterraneo)</b>	
<i>Lunghezza complessiva dal bypass di Innsbruck a Fortezza</i>	64 km
<i>Lunghezza della Galleria di Base dal portale di Innsbruck a Fortezza</i>	55 km
<i>Copertura massima</i>	1800 m
<i>Diametro interno delle canne principali</i>	8,1 m
<i>Pendenza longitudinale</i>	4,0 ‰ – 6,7 ‰
<i>Velocità di progetto per treni merci</i>	120 – 160 km/h
<i>Velocità di progetto per treni passeggeri</i>	250 km/h
<i>Fermate di emergenza (Innsbruck, St. Jodok, Trens)</i>	3
<i>Materiale di scavo</i>	17 Mio. m <sup>3</sup>
<i>Metodi di scavo</i>	Ca. il 20 % di scavo tradizionale Ca. l'80 % di scavo con fresa
<i>Alimentazione trazione elettrica</i>	25 kV 50 Hz
<i>Sistema di comando e controllo</i>	ETCS Level 2
<i>Ultimazione</i>	2025
<i>Apertura</i>	2026



## 2. Avanzamento dei lavori

Attualmente, dei circa 230 km che verranno complessivamente scavati tra gallerie di linea, cunicolo e gallerie con funzioni logistiche e di servizio, ad oggi sono già stati realizzati circa 60 km. Sono attivi nove cantieri, tra Italia ed Austria: Aica, Mules, Sottoattraversamento Isarco, Fortezza (in Italia); Wolf, Valle Padaster, Ahrental, Ampass, Tulfes (in Austria).

### In Italia:

Il 2016 ha visto l'avvio dei lavori in due importanti lotti.

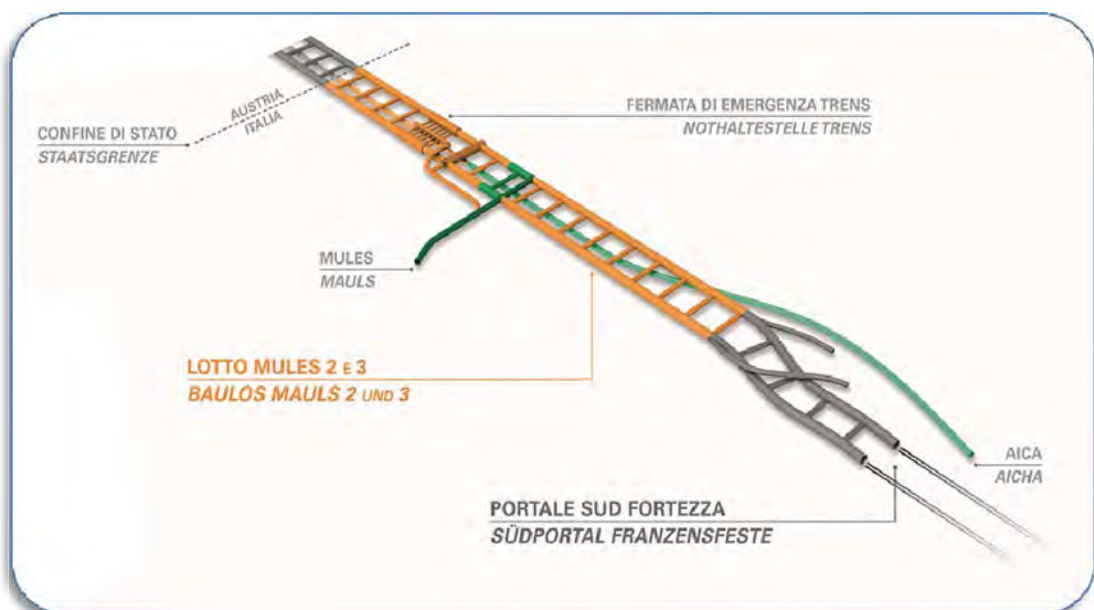
- **Sottoattraversamento Isarco (Italia):** Il lotto collega la galleria di base alla linea storica a nord della stazione di Fortezza. Si tratta di un lotto particolarmente complesso, comprendente l'attraversamento in sotterraneo del fondo alveo del fiume Isarco, in materiale sciolto ed in falda. Per questo motivo il terreno sarà consolidato preventivamente tramite l'impiego delle tecniche del "congelamento" e del *jet-grouting*. Nel lotto, di un valore di 303 milioni di Euro e con termine previsto nel 2022, verranno costruite 4,3 km di gallerie principali e 1,5 km di gallerie di interconnessione con la linea storica.





**Il tracciato del Sottoattraversamento Isarco, il secondo dei due grandi lotti costruttivi in corso di realizzazione in Italia.**

- **Lotto di costruzione “Mules 2-3” (Italia).** Il lotto più grande della Galleria di base del Brennero comprende tutte le opere in sotterraneo nel tratto da Mezzaselva al Brennero: 40,3 km di gallerie di linea, 14,7 km di cunicolo esplorativo, la fermata di emergenza di Trens con la relativa galleria di accesso, i cunicoli trasversali di collegamento ogni 333 m tra le gallerie di linea e le relative opere accessorie. Il valore del lotto è di 998 milioni di Euro, con fine dei lavori prevista nel 2023.



**Schema del lotto Mules 2-3, il lotto più grande della Galleria di base del Brennero**

Oltre a questi lavori in via di realizzazione, sono già stati terminati gli scavi compresi nei seguenti lotti:

Lotto costruttivo Aica-Mules – scavo terminato nel 2010

- 10,9 km di cunicolo esplorativo (Aica-Mules), scavato con TBM;
- 1,9 km di finestra di accesso di Mules;
- 0,4 km di galleria logistica presso il deposito di Hinterrigger, sito di deposito della quasi totalità dello smarino sul lato italiano.

Lotto costruttivo Mules-Periadriatica – scavo terminato nel 2015

- due cameroni per il montaggio delle TBM (sezione finita di 350 m<sup>2</sup> per una lunghezza di 180 m ciascuno) che scaveranno le gallerie principali in direzione sud;
- 3,7 km di canne principali in direzione nord;
- 1,5 km di cunicolo esplorativo in direzione nord;
- gallerie logistiche e di collegamento.

In quest'ultimo lotto si è attraversato la Faglia Periadriatica, zona di particolare complessità geologica e geotecnica.

**In Austria:**

In Austria, è in rapido avanzamento lo scavo delle gallerie del lotto Tulfes-Pfons, iniziato nel 2014 con durata prevista di 5 anni. Il lotto prevede la realizzazione di ca. 38 km di gallerie, tra le quali anche le gallerie di interconnessione con la circonvallazione ferroviaria di Innsbruck. Ad oggi, sono stati realizzati:

- 2,7 km di canne principali in direzione sud
- 3,6 km di cunicolo esplorativo in direzione sud. Lo scavo del cunicolo avviene con fresa, a differenza di tutti gli altri scavi finora eseguiti sul lato austriaco.
- 2,3 km di altre gallerie (logistiche e di servizio)
- 4,1 km di gallerie di interconnessione alla circonvallazione esistente
- 7,5 km del cunicolo di soccorso, necessario per elevare gli standard di sicurezza nella circonvallazione ferroviaria esistente

Risalgono a lotti precedenti il cunicolo esplorativo Innsbruck-Ahrental (5,5 km), la finestra di accesso di Ahrental (2,4 km) e la finestra di accesso di Ampass (1,4 km).

Nel 2016 sono inoltre stati terminati gli scavi del lotto costruttivo Wolf II, completando 4,0 km di finestra d'accesso e 1,2 km del cunicolo esplorativo, oltre ad alcune gallerie logistiche e di servizio.

Sono invece di prossima aggiudicazione i lavori per la realizzazione del lotto di costruzione "Pfons – Brennero", il più grande sul lato austriaco: il lotto costruttivo comprende la realizzazione delle gallerie principali fino al confine di stato, ca. 9 km di cunicolo esplorativo nonché la fermata di emergenza e il posto di comunicazione presso St. Jodok. In totale si

scaveranno ca. 50 km di gallerie. Il bando di gara è stato pubblicato alla fine del 2016 ed attualmente in esperimento.

### **3. Modalità di affidamento ed esecuzione dei lavori adottate da BBT SE:**

BBT SE esegue i lavori volti alla realizzazione dell'opera mediante appalto integrato di progettazione ed esecuzione, o mediante appalto di sola esecuzione. Questa facoltà peraltro è stata confermata, per i settori speciali, anche dal nuovo Codice Appalti entrato in vigore nell'aprile del 2016.

Per quanto riguarda la scelta del tipo di gara da esperire e del criterio di aggiudicazione da utilizzare (il prezzo più basso o l'offerta economicamente più vantaggiosa), è stata anch'essa lasciata alla discrezionalità della stazione appaltante. Naturalmente tale scelta varia in relazione alle caratteristiche ed ai contenuti di ciascuno specifico appalto ed alla consistenza delle opere da appaltare.

Nel caso del lotto del sottoattraversamento del fiume Isarco, BBT SE ha scelto di eseguire i lavori mediante un appalto integrato di progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori, da affidarsi tramite una gara esperita sulla base del Progetto Definitivo, sviluppato dalla stessa BBT SE.

BBT Se ha altresì deciso di esperire la gara utilizzando il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa. L'Appalto a base d'asta di ca. 365 milioni di Euro, è stato aggiudicato per un importo di ca. 303 milioni di Euro ed una riduzione dei tempi di esecuzione di ca. 2 anni.

Grazie proprio al criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, l'appalto è stato affidato conseguendo una importante riduzione dei tempi e dei costi, in quanto i concorrenti hanno potuto valorizzare il proprio know-how, maturato sulla base delle proprie esperienze in analoghi progetti, presentando soluzioni tecniche, metodologie innovative e proposte organizzative non previste nel progetto a base d'asta; fra queste, dobbiamo citare non solo la tecnica del "congelamento" introdotta per il sottoattraversamento del fiume Isarco, ma anche soluzioni organizzative e logistiche dei cantieri tali da migliorare significativamente quanto già previsto nel Progetto Definitivo posto a base di gara.

Il lotto Mules 2-3, precedentemente citato, verrà realizzato mediante un appalto di sola esecuzione. Anche in questo caso, in sede di gara, BBT SE ha optato per il criterio di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa, ed è risultato, fra l'altro, che la miglior offerta economica è coincisa con la miglior offerta tecnica. Ciò si è reso possibile perché è stata data ai concorrenti l'opportunità di valorizzare il know-how maturato nella realizzazione di tanti altri importanti progetti infrastrutturali e di proporre una riduzione dei tempi esecuzione, derivante da soluzioni realmente migliorative proposte dai concorrenti, riguardanti la logistica dei cantieri operativi (gestione dello smarino, approvvigionamento dei materiali e organizzazione del cantiere), la tipologia di macchina fresante da impiegare per lo scavo meccanizzato e la scelta degli impianti di cantiere.

Per quel che concerne la fase di gestione dei lavori BBT Se, in una prima fase, ha conferito a Società di Ingegneria esterne la funzione di direzione dei Lavori e project management; anche in questo caso, come per gli appalti di lavori, sono state esperite da BBT Se gare pubbliche internazionali che hanno visto la partecipazione delle migliori società di ingegneria italiane e straniere.

Al tempo stesso, BBT SE ha inserito nel proprio organico, gradualmente, risorse senior e junior che hanno affiancato i tecnici esterni nella gestione dei primi appalti, certamente meno complessi, in modo da consentire alle proprie risorse di accrescere adeguatamente, sul campo, la propria esperienza e professionalità.

Grazie a questa accorta politica di formazione e gestione del proprio personale, BBT SE può oggi svolgere direttamente le funzioni di Direzione Lavori e Project Management anzidette, conseguendo risultati estremamente soddisfacenti sotto l'aspetto tecnico e sotto l'aspetto economico.

#### **4. Inquadramento geologico:**

Dal punto di vista geologico la Galleria di Base del Brennero attraversa le maggiori unità tettoniche che formano la catena alpina. Queste unità, che si presentano sotto forma di più falde sovrapposte, rappresentano i resti della zona di collisione tra la placca europea e quella adriatica (africana) e formano, in corrispondenza della zona interessata dal tracciato, una cupola al cui centro affiorano le unità Pennidiche e Subpennidiche della finestra dei Tauri, le unità tettoniche più profonde costituenti il nucleo della catena alpina.

I settori strutturali più profondi della Finestra dei Tauri sono rappresentati dai nuclei di gneiss centrale (nucleo di Tux a nord e nucleo del Zillertal a sud) che costituiscono il basamento parautoctono subpennidico (complesso della Falda del Venediger), unità tettoniche di natura continentale di origine europea, ammantati dalle unità pennidiche di natura oceanica del Complesso delle Falde di Vize e del Glockner, su cui giacciono poi le unità Austroalpine di origine africana (Adria). Verso sud la zona di faglia costituente il Lineamento Periadriatico, di importanza regionale, separa l'Austroalpino dal Sudalpino.

L'attuale struttura della catena montuosa alpina è il risultato di un processo deformativo polifasico avvenuto durante gli eventi orogenetici alpini.

I processi tettonici più rilevanti per l'area di progetto sono rappresentati dall'inizio della subduzione nel Cretaceo, dalla successiva fase collisionale tra le placche europea ed adriatica (africana) nel Terziario inferiore e dalla formazione della cupola della Finestra dei Tauri a partire dal tardo Terziario inferiore, legata alla sua esumazione tettonica. Nel corso dell'esumazione della finestra dei Tauri, svolsero un ruolo attivo le zone di faglia di importanza regionale che caratterizzano l'area di progetto, come il Lineamento Periadriatico al contatto Alpi Settentrionali-Alpi Meridionali.

L'aspetto dell'area di progetto del sottoattraversamento dell'Isarco è sì è modellato nel recente passato geologico, durante le varie fasi glaciali quaternarie. In seguito a questo, la Val d'Isarco è stata profondamente incisa. In epoca post-glaciale, la Val d'Isarco è stata riempita da terreni sciolti con vario spessore. Secondo i risultati delle indagini sui terreni sciolti, essi sono costituiti soprattutto da depositi fluviali del fiume Isarco, depositi da debris flow alimentati dai canali laterali e detrito di versante. Localmente possono essere ancora presenti dei depositi fluvioglaciali. I depositi quaternari si interdigitano tra loro più o meno fittamente secondo la strettezza della valle e da qui deriva la locale complessità del riempimento della valle stessa.

## **5. Metodologie di scavo:**

### *Lo scavo meccanizzato:*

A seconda delle necessità del caso, le frese utilizzate nell'ambito della costruzione della Galleria di Base del Brennero presentano una lunghezza che varia dai 180 ai 400 m e si compongono di una testa e di un back-up.

Il vantaggio dello scavo meccanizzato consiste nella più elevata velocità di avanzamento. Oltre a ciò, l'avanzamento con TBM garantisce maggiore sicurezza sul lavoro per gli operai. Nel caso della Galleria di Base del Brennero, la testa ha la dimensione di circa dieci metri di diametro ed è dotata da numerosi cutter che, facendo pressione sul fronte di scavo, frantumano la roccia. Il back-up, la struttura a traino situata dietro la testa della fresa, assicura lo smaltimento del materiale appena scavato, nonché l'approvvigionamento necessario all'avanzamento. Contiene, inoltre, gli impianti di ventilazione, di abbattimento delle polveri e di consolidamento della roccia.

### *Lo scavo in tradizionale:*

Lo scavo con metodo tradizionale, con successivo sostegno in calcestruzzo proiettato, rappresenta un metodo di scavo flessibile, che si rivela molto efficace in presenza di ammassi rocciosi instabili e mutevoli e in caso di geometrie delle sezioni di dimensioni variabili e complesse.

In presenza di condizioni di scavo complesse, alcuni tratti dell'opera vengono realizzati con avanzamento in tradizionale.

Tra questi vanno citati: alcune sezioni delle gallerie principali e del cunicolo esplorativo, entrambe le gallerie di interconnessione di Innsbruck, tutte le gallerie di accesso, i cameroni logistici e di ventilazione, le gallerie di interconnessione, le fermate di emergenza ed i cunicoli trasversali. Lo scavo si realizza generalmente mediante l'utilizzo di esplosivo (a sezione piena o parzializzata) con consolidamento del cavo in calcestruzzo proiettato.

Nel caso di scavo tradizionale, le fasi lavorative e la loro successione sono consequenziali e cioè: la predisposizione dei fori, il riempimento degli stessi con esplosivo ed il successivo brillamento. Dopo l'asporto del materiale così abbattuto, si procede con il sostegno del cavo con calcestruzzo proiettato, ancoraggi, centine metalliche e reti di armatura. Conclusa questa fase, si ricomincia con un nuovo ciclo di brillamento. In genere anche in conseguenza della natura e dello stato dei terreni da attraversare, fra un brillamento e l'altro intercorrono dalle 3 alle 6 ore.

### *Lo scavo in tradizionale con preconsolidamento del terreno :*

Lo scavo in tradizionale in materiale sciolto, caratteristico del fondo valle delle aree del "lotto Sottoattraversamento Isarco", viene realizzato dopo aver preventivamente consolidato il terreno.

Sono diverse le tecniche e le tecnologie che possono essere utilizzate per il preventivo consolidamento del terreno, da applicarsi in funzione delle caratteristiche del terreno da trattare e degli obiettivi da raggiungere, ovvero del grado di resistenza e di impermeabilità che deve avere il terreno una volta consolidato, ma anche in funzione delle possibili interferenze con strutture ed infrastrutture adiacenti alle aree di intervento.

Nel lotto "Sottoattraversamento Isarco" la Galleria di Base del Brennero dovrà sottopassare l'autostrada del Brennero A22, la strada statale SS12, la linea ferroviaria esistente Brennero-Verona e il fiume Isarco, per questo motivo è necessario procedere con diverse tecnologie di esecuzione degli interventi di consolidamento del terreno.

Nei tratti in cui non insistono le infrastrutture stradali né ferroviarie, né il fiume Isarco, il consolidamento del terreno, al contorno del profilo di scavo, sarà realizzato mediante l'esecuzione di colonne di jet-grouting verticale, di diametro 2,00m, intersecanti a quinconce, così da garantire anche l'impermeabilità del cavo.

Le colonne di jet-grouting saranno realizzate iniettando da un ugello di diametro 5mm, una miscela di acqua e cemento CEM I-32.5, in rapporto a/c pari a 1, ad una pressione di 400 bar, con velocità di rotazione di 4 giri/min ed una velocità di risalita di 14 sec / 4 cm. Per ogni colonna sarà iniettata una quantità di cemento pari a 1184 kg/m, con una portata di 268 lt/m di miscela.

Una volta ultimato l'intervento di jet-grouting e raggiunti gli obiettivi di impermeabilizzazione del cavo, si procede con scavo tramite escavatore e la messa in opera di centine e spritz beton armato con rete elettrosaldata, a sostegno del profilo di scavo.

Diversamente, in corrispondenza delle infrastrutture interferite, il consolidamento del terreno avviene direttamente in sotterraneo dal fronte di scavo, mediante iniezione di miscele cementizie e chimiche.

Dal fronte di scavo si procede all'esecuzione di perforazioni ed inserimento di tubi a manchette, aventi 3 valvole/m, da cui si inietta, ad una pressione controllata di 20 bar, circa 120 lt/valvola di miscela di acqua e cemento tipo 425, in rapporto a/c pari a 1,3, additivo antiritiro 1,5%, bentonite 3%, viscosità March 34" a 4,75mm, con una portata di 5-10 lt/min. Successivamente si procede all'iniezione di 80 lt/valvola di miscela chimica silicatica "inerte" tipo "LITOSIL" , per garantire una completa riduzione della velocità di falda ed una impermeabilizzazione del profilo di scavo non raggiungibile con le sole miscele cementizie, per via delle caratteristiche granulometriche dei terreni del fondo valle dell'Isarco. La miscela è ottenuta unendo un prodotto a base di silicati, un prodotto a base di soda ed una soluzione acquosa di sali, che attivano un processo chimico con la formazione , mediante cristallizzazione, di idrosilicato di calcio. L'idrosilicato di calcio è un sale inerte ed insolubile, che si deposita nei vuoti interstiziali.

Consolidato il terreno e verificate le condizioni di impermeabilità del cavo, si procede con lo scavo tramite escavatore e la messa in opera di centine e spritz beton armato con rete elettrosaldata, a sostegno del profilo di scavo.

In corrispondenza del sottoattraversamento dell'alveo del fiume Isarco, poiché è necessario garantire la perfetta impermeabilizzazione del cavo, è previsto il congelamento del terreno al contorno del profilo di scavo, previo consolidamento del terreno e riduzione della velocità di falda da 20m/giorno a 2 m/giorno, il che si consegue con iniezioni cementizie e chimiche.

La tecnica del congelamento consiste nell'"estrarre" calore al terreno tramite scambio termico.

In relazione alla durata dell'intervento di congelamento del terreno, si può procedere con il solo ausilio dell'azoto, che permette di raggiungere l'obiettivo in breve tempo ed è efficace quando l'effetto congelamento è desiderato solo per brevi periodi; è anche possibile usare salamoia, ma il tempo necessario a raggiungere l'obiettivo previsto è in tal caso molto elevato. Oppure, come è stato previsto nel lotto sottoattraversamento Isarco, si prevede un

utilizzo promiscuo, ovvero dapprima si raggiunge l'obiettivo di congelare il terreno a  $-10^{\circ}\text{C}$ , per uno spessore di 2,00m, iniettando, dalle sonde congelatrici posizionate lungo il contorno esterno del profilo di scavo, 1800 lt azoto per ogni metro cubo di terreno da congelare; questo, assorbendo il calore del terreno, passa dallo stato liquido allo stato gassoso, con conseguente congelamento dell'adiacente terreno.

Una volta ottenuto il congelamento di uno spessore di terreno di 2,00m, per mantenere la temperatura obiettivo di  $-10^{\circ}\text{C}$ , e garantire la massima efficienza, dalle sonde congelatrici non sarà più iniettato azoto, ma sarà fatta scorrere salamoia mediante impianto frigorifero di 35 W/mc.

Ultimati gli interventi e verificate le condizioni di impermeabilità del cavo, si procede con lo scavo tramite escavatore e la messa in opera di centine e spritz beton armato con rete elettrosaldata, a sostegno del profilo di scavo.

## **6. Il costo dell'opera:**

Il costo a vita intera dell'intera opera al 2025, data prevista per il completamento dei lavori, è di circa 8,8 miliardi di euro, come da delibera CIPE del 1° maggio 2016.

Il progetto è finanziato al 50% dai due Stati Austria e Italia, che beneficiano di un consistente contributo della Unione Europea nell'ambito dei programmi di finanziamento delle reti TEN-T.

## **7. Conclusioni:**

La Galleria di Base del Brennero costituisce uno dei principali progetti di collegamento trasportistico a livello europeo. Considerate le dimensioni dell'opera, l'obiettivo è quello di coniugarne gli aspetti ingegneristici con quelli di efficienza, sicurezza e sostenibilità ambientale.

La realizzazione della galleria di base del Brennero rappresenta una sfida progettuale sotto ogni punto di vista. E' fondamentale, allora, anche la scelta delle modalità contrattuali di esecuzione dei lavori, da adottare di volta in volta per i singoli lotti di lavori; si è visto quanto ciò possa giocare un ruolo determinante per la buona riuscita dell'opera, nel rispetto dei tempi e dei costi preventivati.

Lo spostamento in galleria del traffico merci che attualmente viaggia sulla già congestionata arteria autostradale, e che in futuro è destinato ad aumentare ancora, determinerà un indubbio beneficio ambientale per le positive ricadute che si avranno sull'habitat delle strette valli alpine attraversate, sia in termini di riduzione dell'inquinamento da rumore e da  $\text{CO}_2$ , che di un minor impatto sul paesaggio.

Infine, la realizzazione della galleria di base Brennero comporterà un miglioramento complessivo della qualità della vita delle popolazioni residenti. Anche nella fase di costruzione, verranno adottate tutte le soluzioni progettuali volte a tutelare i delicati equilibri ambientali e a razionalizzare l'uso delle risorse naturali esistenti.





**LO SCAVO DELLE GALLERIE LATO ITALIA FINO AL CONFINE: IL LOTTO “MULES 2-3” IL PIU’  
IMPORTANTE PROGETTO DI GALLERIE IN ITALIA DEGLI ULTIMI DEGLI ULTIMI ANNI**

Stefano Fuoco BBT-SE – Direttore Lavori Lotto “Mules 2-3”

Raffaele Zurlo BBT-SE – Amministratore

Stefano Casale BBT-SE – Geologo Lotto “Mules 2-3”

**Abstract**

L’articolo riporta una sintesi degli aspetti di maggior interesse caratteristici del progetto del lotto di costruzione denominato “Mules 2-3” della galleria di Base del Brennero. Mules 2-3 è l’ultimo dei grandi lotti italiani recentemente avviato che consentirà di eseguire gli scavi sino al confine di stato con l’Austria, a partire dalle progressive raggiunte al termine dei lotti precedenti. In particolare, questi ultimi comprendevano la realizzazione del cunicolo esplorativo della tratta “Aicha-Mules”, della lunghezza di circa 10.5 km, ed il lotto “Mules 1”, riguardante la realizzazione di tratte di Galleria di Linea e di Cunicolo Esplorativo all’interno della cosiddetta “Linea Periadriatica”, zona geologica soggetta ad un intenso processo tettonico e affetta da importanti incognite sul comportamento dell’ammasso allo scavo e sulla presenza di acqua. Alcuni aspetti peculiari di queste passate esperienze che hanno influenzato la progettazione delle opere appartenenti al lotto “Mules 2-3” costituiscono la base del presente articolo.

**Introduzione**

Come tutte le gallerie di base previste per l’attraversamento della catena alpina, il tunnel di Base del Brennero costituisce una sfida sia dal punto di vista tecnico (ingegneria e realizzazioni) che sociale (ambiente e territorio). Le formazioni geologiche interessate dallo scavo coprono in pratica tutto il ventaglio delle litologie di riferimento della catena alpina orientale. Anche lo stato di queste ultime spazia in un intervallo tale da coprire quasi tutte le condizioni in cui un ammasso roccioso può trovarsi. Si va da ammassi plutonici massivi aventi una elevata classe geomeccanica, ad ammassi rocciosi metamorfici fortemente influenzati da un intenso processo di tettonizzazione, caratterizzati da scarse resistenze meccaniche tipiche di una classe geomeccanica scadente. Le coperture presenti lungo il tracciato si attestano in media intorno agli 800-1000 m con una punta massima di circa 1800 m in corrispondenza del confine Italo-Austriaco. Il quadro è completato dall’attraversamento di zone peculiari, come la cosiddetta “linea Periadriatica” che identifica idealmente la zona di contatto tra la placca Africana e la placca Europea, all’interno delle quali sono presenti intrusioni geologiche di

diversa natura che, in termini generali ed a eccezione di episodi singolari, sono caratterizzate da scadenti caratteristiche meccaniche. Dal punto di vista idrogeologico, solo puntualmente sono attese venute d'acqua di una certa entità. Ad oggi, fortunatamente, le previsioni sulle venute d'acqua sono risultate significativamente inferiori a quelle previste in sede progettuale, soprattutto nella zona di contatto tra le due placche geologiche precedentemente citate, riducendo in questo modo il rischio derivante dalle reazioni allo scavo delle varie formazioni geologiche con riferimento specifico a quelle aventi scarsa capacità di autosostegno. La sintesi di alcune delle esperienze acquisite nell'ambito dello scavo delle tratte di galleria facenti parte dei lotti precedentemente appaltati, che hanno influenzato la progettazione e la gestione dell'appalto del lotto "Mules 2-3", è oggetto del presente articolo assieme ad una illustrazione generale delle componenti principali del lotto medesimo. Di interesse risulta anche la gestione delle verifiche di impatto dell'opera sull'ambiente e sul territorio da essa influenzato.

## Il progetto

La Galleria di Base del Brennero (BBT) costituisce la parte centrale del corridoio "Scandinavia - Mediterraneo", lungo oltre 9.000 km, facente parte della rete infrastrutturale TEN-T, "Trans European Network".

Il progetto prevede la costruzione di una galleria lunga circa 56 km, tra Innsbruck e Fortezza, che, in prossimità di Innsbruck, sarà collegata in sotterraneo all'esistente circonvallazione, raggiungendo complessivamente una lunghezza pari a 64 km (Fig.1). L'opera principale consiste in due gallerie a semplice binario, con un interasse variabile, compreso tra 40 e 70 m, collegate tra loro ogni 333 m tramite cunicoli trasversali. La peculiarità del sistema prescelto è rappresentata dalla collocazione del cunicolo esplorativo, la cui quota è di circa 12 m inferiore rispetto a quella delle gallerie principali per non interferire con la loro realizzazione (Fig.2). Il cunicolo, oltre ad assolvere la funzione primaria di indagine geognostica a scala reale in asse al tracciato della nuova infrastruttura sotterranea, consentirà lo svolgimento di importanti funzioni logistiche in fase costruttiva, sia per il trasporto dei materiali di scavo, che per l'approvvigionamento dei materiali di costruzione e, in fase di esercizio, per il drenaggio degli acquiferi intercettati.

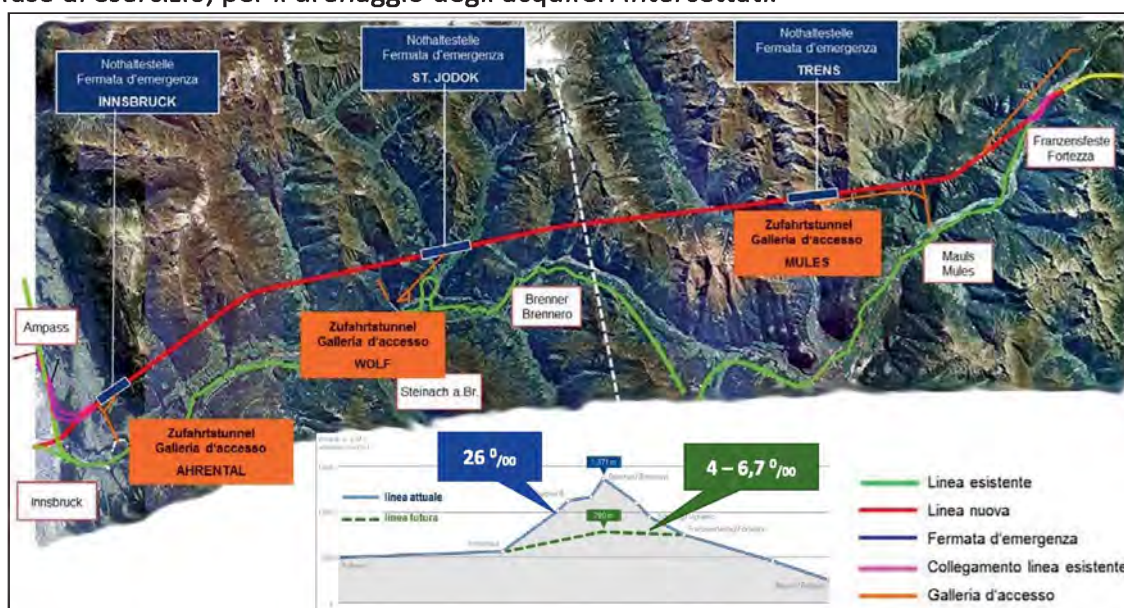


Figura 1. Area di progetto

Oltre agli imbocchi di Fortezza ed Innsbruck, quattro discenderie laterali collegano le gallerie di linea ed il cunicolo esplorativo con l'esterno; di queste, tre ricadono in territorio austriaco (Ampass, Ahrental e Wolf), mentre una è situata in territorio italiano, a sud dell'abitato di Mules, nel comune di Campo di Trens (BZ). Lungo la Galleria sono inoltre previste tre fermate di emergenza (FDE) collocate ad una distanza di circa 20 km l'una dall'altra, necessarie al soccorso di passeggeri in caso di incidenti, nonché per alloggiare gli impianti per la gestione dell'esercizio e per l'esecuzione dei lavori di manutenzione.

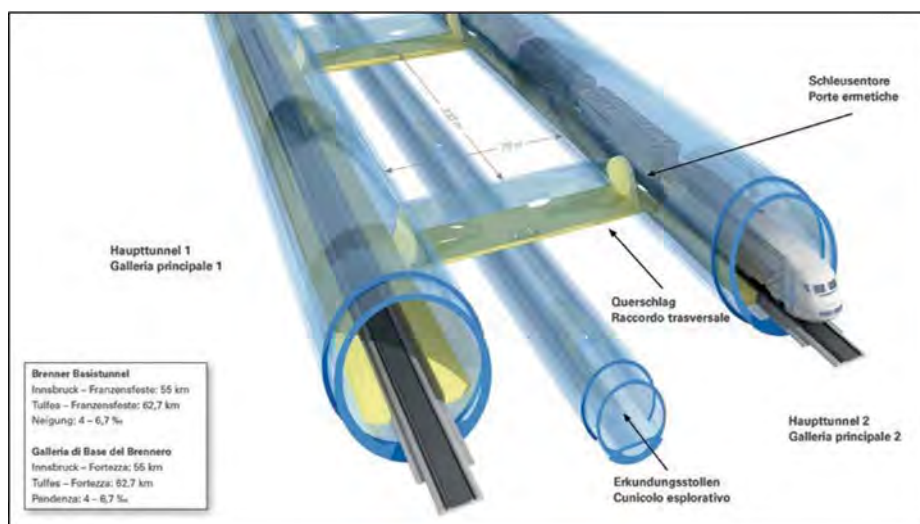


Figura 2. Sezione delle canne principali e cunicolo esplorativo

### Geologia e Idrogeologia

Dal punto di vista geologico la Galleria di Base del Brennero attraversa le maggiori unità tettoniche che compongono la catena alpina (Fig.3). Queste unità, che si presentano sotto forma di più falde sovrapposte, rappresentano i resti della zona di collisione tra la placca europea e quella adriatica e formano, in corrispondenza della zona di interesse del progetto, una cupola al cui centro affiorano le unità Pennidiche e subpennidiche della Finestra dei Tauri, costituenti le unità tettoniche più profonde del nucleo della catena alpina. A sud della Finestra dei Tauri vengono invece intersecate Unità Austroalpine e Sudalpine, entrambe attribuibili alla placca africana.

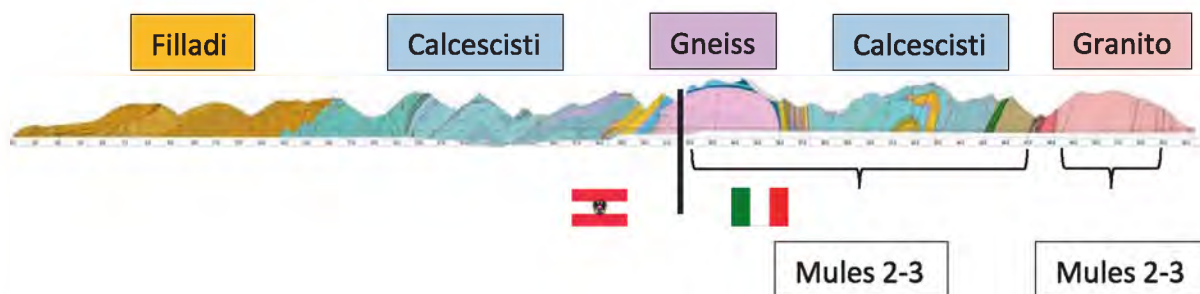


Figura 3. Litologie in cui si svilupperà la Galleria di Base. Sono inoltre evidenziate le tratte oggetto di scavi del lotto Mules 2-3

I contatti tettonici di queste unità corrispondono in parte a faglie fragili alla scala della crosta, che si estendono lateralmente e verticalmente per lunghe distanze, e sono appartenenti ai più grandi e noti sistemi di faglie delle Alpi. Tra tutti, spicca il lineamento Periadriatico, un lineamento tettonico costituito da un sistema di faglie regionali collegate

fra loro con orientamento prevalente est-ovest e giacitura subverticale; questa zona, ad elevata complessità geo strutturale, è stata attraversata con un progetto a sé stante ed un appalto dedicato, denominato Mules 1 (Lotto Periadriatica), caratterizzato da una molteplicità di elementi peculiari connessi con la sua vocazione “esplorativa”.

Considerata l’estensione dell’opera, la sua collocazione geografica e la variabilità geologica intrinseca, sono previsti ammassi rocciosi di diversa resistenza e comportamento meccanico. Per dare un’idea della consistenza degli ammassi rocciosi attraversati dalla Galleria di Base del Brennero, è di seguito riportata una tabella con le principali caratteristiche geomeccaniche della roccia intatta relativa alle litologie incontrate.

Litologia	Sviluppo lungo il tracciato	Formazioni attraversate nel Lotto Mules 2-3	Peso di Volume $\gamma$	Resistenza a compressione uniassiale $\sigma_{ci}$	Modulo elastico E
	(%)	(%)	(KN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(GPa)
Granito	12%	31%	26	89-131	29-34
Tonalite	2%	/	27	45	20-31
Ortogneiss	4%	10%	28	115	50
Calcescisti	44%	40%	27	50	40
Gneiss (Centrale)	12%	19%	27	105	45
Filladi	26%	/	27	33	23

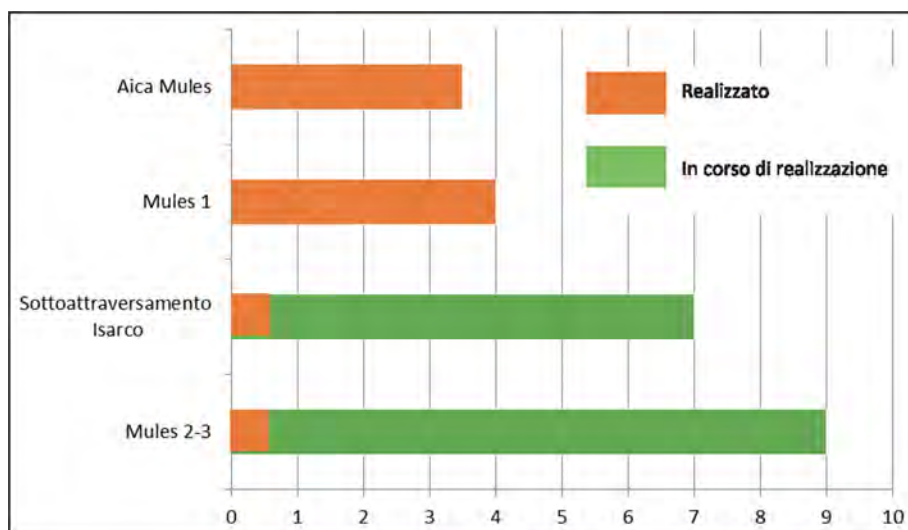
Figura 4. Caratteristiche geomeccaniche delle principali formazioni geologiche del BBT

Per quanto concerne l’assetto idrogeologico, considerate le litologie attese lungo l’asse della galleria ed il loro potenziale stato di fratturazione, la somma delle portate massime attese in fase transitoria ammonta complessivamente a 400-450 l/s. E’ tuttavia opportuno ricordare che ad oggi le venute d’acqua relative alle tratte già scavate sono risultate significativamente inferiori a quelle preventivate, riducendo il rischio derivante dalle reazioni allo scavo delle formazioni geologiche attraversate.

### Il Lotto Mules 2-3 – configurazione e metodo di scavo

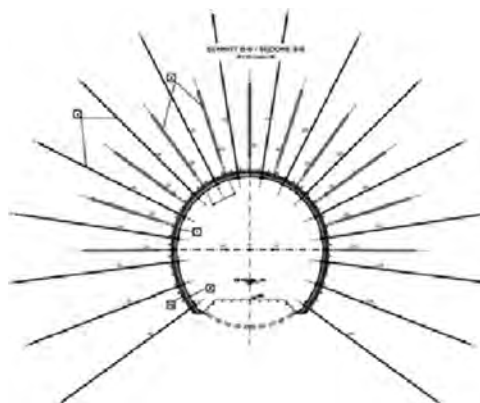
Il Lotto Mules 2 - 3 rappresenta il quarto lotto costruttivo in ordine temporale sul versante italiano, dopo il lotto Aica-Mules, il lotto Periadriatica ed il Lotto Sottoattraversamento dell’Isarco (Fig.5). Il Lotto Mules 2 - 3 include lo scavo di tutte le opere in sotterraneo nel tratto compreso tra Mezzaselva e il Brennero, per un’estensione di 22 km circa. Le principali opere comprese nel lotto sono: 40,3 km complessivi di gallerie di linea, 14,7 km di cunicolo esplorativo, la fermata di emergenza di Trens, con la relativa galleria di accesso, i cunicoli trasversali di collegamento, posizionati ogni 333 m tra le gallerie di linea, e le relative opere accessorie. Questo lotto prende il nome dall’accorpamento di due lotti costruttivi inizialmente destinati ad essere sviluppati in momenti diversi: nello specifico il lotto Mules 2 comprendeva la costruzione delle gallerie di linea sia verso sud, che verso nord fino alla fermata di emergenza (esclusa), mentre Mules 3 includeva lo scavo delle gallerie e del cunicolo verso Nord, la fermata di emergenza ed i rivestimenti.

Considerata l’estensione del progetto, gran parte delle opere sopra menzionate saranno eseguite mediante l’utilizzo di TBM, in coerenza con le previsioni progettuali. La soluzione sviluppata nel progetto esecutivo prevede che, dei circa 63 km complessivi da scavare.



**Figura 5. Durata, espressa in anni, dei lotti sviluppati nel versante italiano.  
In arancione le opere concluse, in verde quelle in corso d'opera**

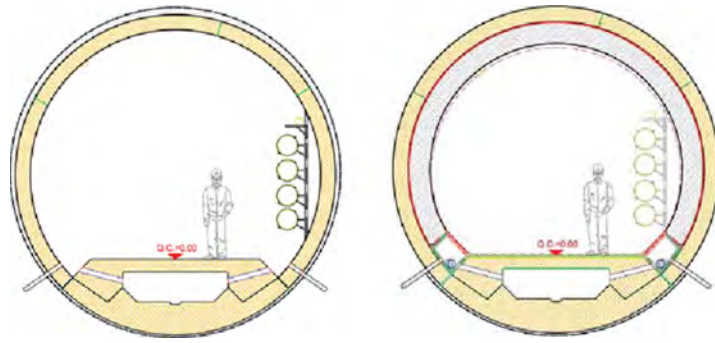
Nello specifico lo scavo del cunicolo esplorativo verso nord, considerata la sua rilevante finalità geognostica, precederà lo scavo delle gallerie di almeno 500 m, sarà eseguito in tradizionale per i primi 800 m (esempi di sezioni di scavo riportate in figura 6) e, successivamente, con TBM doppio-scudata fino al confine con l'Austria. In questa tratta è quindi prevista l'utilizzazione di due sezioni tipo, che si differenziano per la presenza o meno di un rivestimento definitivo (Fig.7).



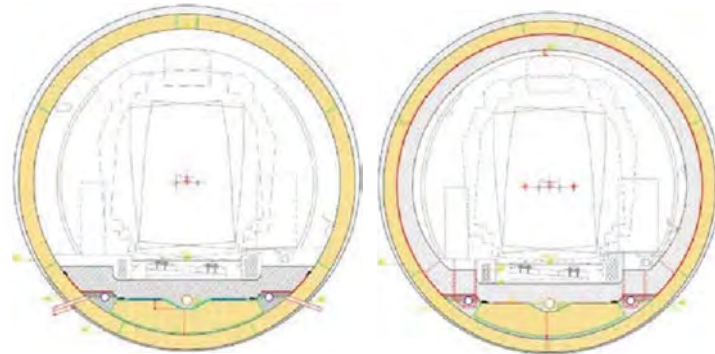
**Figura 6. Cunicolo esplorativo, esempi di sezione di scavo leggera (chiodatura radiale) e pesante (chiodatura radiale, centine e forepoling).**

Sempre verso nord, le gallerie principali saranno scavate in tradizionale fino al raggiungimento della fermata di emergenza, anch'essa naturalmente in tradizionale, dopo la quale, previa esecuzione di appositi cameroni di montaggio, partiranno due frese doppio scudate che raggiungeranno il confine. Anche per questa tratta, similmente al cunicolo, è prevista la realizzazione di sezioni tipo che si differenziano per la presenza o meno di un rivestimento definitivo, in relazione al comportamento degli ammassi rocciosi (Fig.8).

Tra la tratta delle gallerie di linea eseguita con scavo tradizionale e quella eseguita con scavo meccanizzato, è prevista la costruzione di una Fermata di Emergenza, necessaria al soccorso dei passeggeri di treni incidentati (Fig.9).

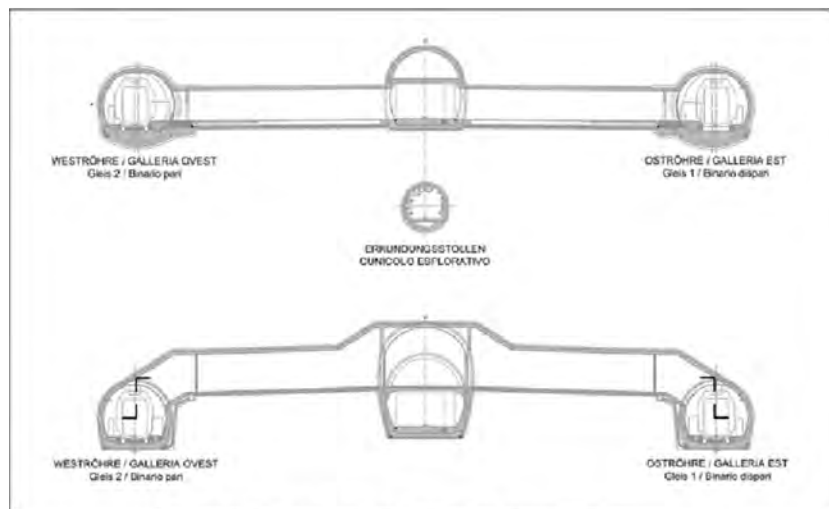


**Figura 7. Cunicolo esplorativo, scavo meccanizzato; sezione tipo applicata con e senza rivestimento gettato in opera**



**Figura 8. Galleria di linea, scavo meccanizzato; sezione tipo applicata con e senza rivestimento definitivo**

Per le condizioni di esercizio, manutenzione ed in caso di emergenza, sono previsti sistemi di aerazione e ventilazione dedicati, e l'accesso alla Fermata dalla superficie sarà garantito dalla galleria d'accesso, situata a ovest del tracciato delle due gallerie principali.



**Figura 9. Sezioni Fermata di Emergenza**

La sintesi delle modalità di scavo attuate e previste è riportata nella figura 10. Da questa figura si evince che per Mules 2-3, un totale di 46 km sarà realizzato con sistema meccanizzato, mentre 17 km saranno eseguiti con metodo tradizionale.

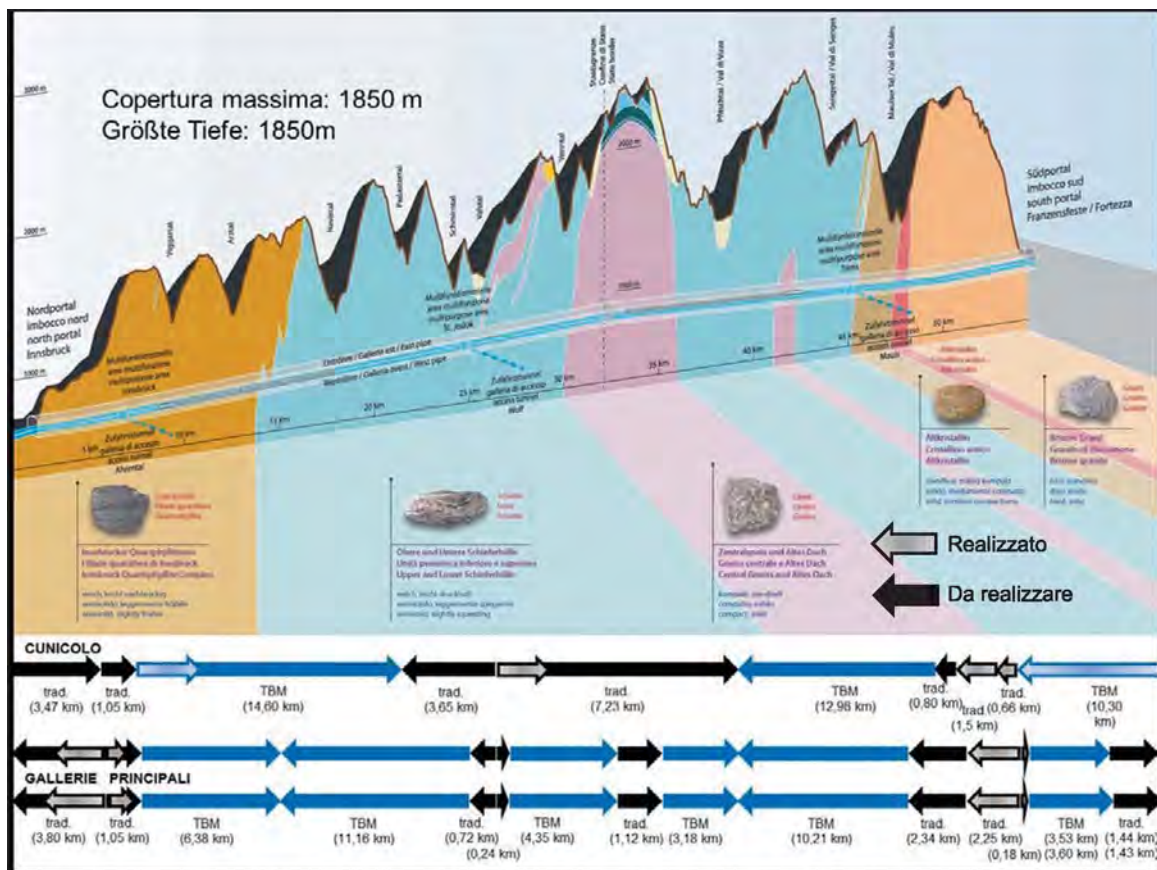


Figura 10. Metodi di scavo previsti. Le tratte sfumate sono già state realizzate.

### Stato di fatto

Quanto oggi realizzato, comparato con quanto ancora da realizzare, è illustrato in figura 11. A partire dal 2006, tra Italia ed Austria, sono stati aperti otto cantieri, evidenziati nella tabella sottostante (in grassetto gli attivi):

AUSTRIA	ITALIA
<b>Wolf</b>	<b>Aica</b>
Valle Padaster	<b>Mules</b>
<b>Ahrental</b>	<b>Sottoattraversamento Isarco</b>
Ampass	
<b>Tulfes</b>	

Le opere ad oggi realizzate sul versante italiano si sono sviluppate in diversi lotti costruttivi:

- nel lotto Aica-Mules è stato eseguito il cunicolo centrale (10,5 km) mediante fresa doppio scudata e rivestimento con anello e conci prefabbricati, la finestra di accesso di Mules (1,9 km) e la galleria di servizio di Hinterrigger (400 m), entrambe in tradizionale, oltre al tratto del cunicolo di circa 500 m verso nord, sempre in tradizionale, con sezione allargata;
- nell'ambito del lotto Mules Periadriatica (Mules 1), a partire dal punto di innesto della Finestra di Mules, è stato realizzato il cunicolo esplorativo nella tratta di attraversamento del lineamento Periadriatico (1,5 km ca.) in direzione Nord; sono state realizzate inoltre le gallerie principali in direzione nord, scavate per complessivi 3,7 km, i cameroni di montaggio TBM (sezione 350 m<sup>2</sup>, lunghezza 180 m ciascuno) propedeutici al montaggio delle frese, che scaveranno le gallerie principali in

direzione Sud, e la galleria logistica di collegamento fra il cunicolo esplorativo e la galleria di linea ovest (419 m).

Recentemente sono stati appaltati i lotti denominati "Sottoattraversamento dell'Isarco" e "Mules 2-3". I lavori delle opere principali del Lotto "Sottoattraversamento dell'Isarco" hanno avuto inizio nell'estate 2016 e prevedono la realizzazione delle due gallerie principali e di due gallerie di interconnessione alla linea esistente, per un tratto di circa 6 km. Il valore dell'appalto è di circa 300 Mio €. Il Lotto Mules 2-3 è stato affidato, per un valore contrattuale di circa 993 milioni di euro, nel mese di maggio 2016, con consegna dei lavori avvenuta a settembre 2016. Ad oggi sono pressoché ultimate le attività di cantierizzazione propedeutiche all'esecuzione degli scavi, il cui avvio è previsto entro la fine di gennaio 2017.

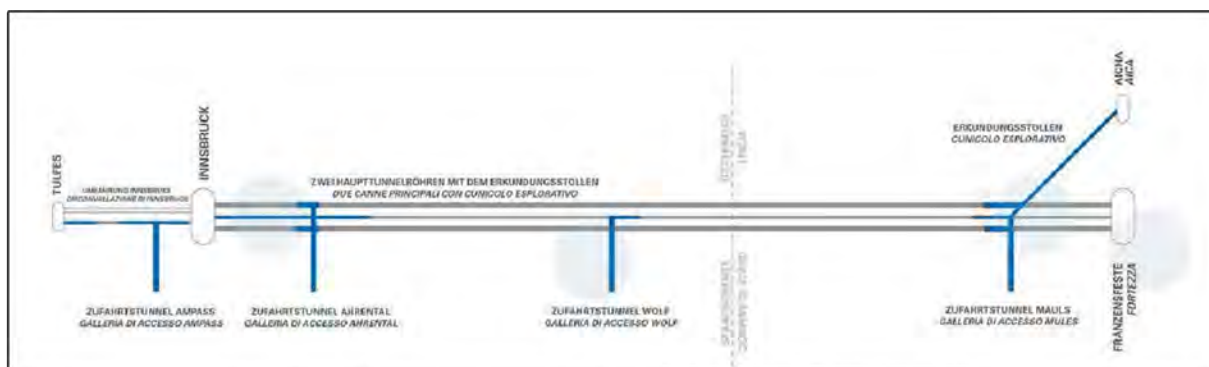


Figura 11. Stato avanzamento dei lavori (in blu le tratte già realizzate)

## Ritorno di esperienza dai lotti precedenti

### Generalità

Le realizzazioni ad oggi eseguite hanno permesso di acquisire dati sulle reazioni dell'ammasso roccioso allo scavo per gallerie all'interno di ammassi compatti, quali il Granito di Bressanone e la Tonalite di Mules, e di ammassi rocciosi soggetti ad un intenso processo tettonico, quali gli scisti milonitizzati/cataclasati individuati all'interno della linea Periadriatica. All'interno dei Graniti, oltre alla sezione del cunicolo centrale e delle gallerie di Linea, sono state realizzate caverne fino a 350 m<sup>2</sup>, mentre in corrispondenza del lineamento Periadriatico, le sezioni di scavo che hanno interessato l'ammasso sono state solo quelle relative al cunicolo ed alle canne principali.

In estrema sintesi, lo scavo delle gallerie e delle caverne all'interno degli ammassi compatti ha confermato quanto progettualmente previsto: convergenze limitate con comportamento dell'ammasso tendenzialmente in campo elastico e fenomeni, seppur limitati, di rock-burst sopra gli 800-1000 m, con manifestazione generalmente di tipo spalling. Solo in pochi casi si sono manifestati fenomeni di vero rigetto violento, anche se ciò si è limitato a porzioni di ammasso con volume limitato. Viceversa, all'interno dei materiali fortemente tettonizzati, il controllo delle deformazioni della cavità e del fronte di scavo hanno caratterizzato la risposta dell'ammasso.

### Il Cunicolo esplorativo nel lotto Aica-Mules

I primi 10,5 km del cunicolo esplorativo Aica-Mules sono stati scavati interamente nel Granito di Bressanone con TBM doppia scudata. Durante gli scavi sono state riscontrate due problematiche principali, ovvero l'attraversamento di una faglia subparallela al tracciato del



cunicolo e la presenza di fenomeni di rock-burst, associate a produzioni in media relativamente basse per la tecnica utilizzata.

Gli scavi, iniziati a Giugno 2008, si sono sviluppati per i primi due km in un ammasso roccioso estremamente resistente e compatto (I e II classe di Bieniawski), con produzioni nell'ordine dei 9,5 m/giorno, aumentate a 30 nei successivi 4 km, dove la roccia si è presentata meno compatta e più fratturata. Al km 6+151, dopo oltre un anno di scavi, dietro il back-up della TBM sono state registrate diverse lesioni sub-orizzontali sul paramento sinistro, a circa 20 m dal fronte; tali lesioni si sono progressivamente sviluppate, aumentando di ampiezza ed estendendosi a ritroso fino a circa 60 m dal fronte. Grazie alla ricostruzione eseguita col modello geologico, è stata riscontrata la presenza di una faglia sub verticale, sub parallela all'asse di scavo del cunicolo, non prevista in fase progettuale e con carichi idraulici molto elevati (Fig.12). La presenza congiunta di materiale destrutturato e del carico idraulico ha portato alla rottura dell'anello di calcestruzzo ed alla dislocazione dei carri del backup della macchina (Grandori et. al. 2011).

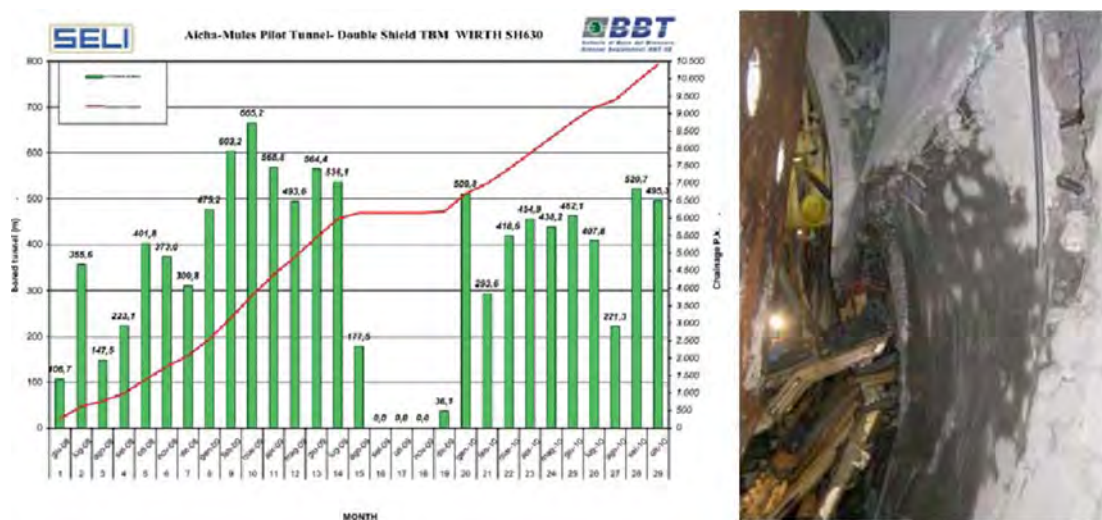


Figura 12. A sinistra il grafico relativo alla produzione mensile del cunicolo esplorativo. A destra un dettaglio della rottura dell'anello di calcestruzzo (Grandori et al. 2011)

Stabilizzatasi la situazione, è stata eseguita la messa in sicurezza della zona a rischio più elevato con interventi di chiodatura in calotta e la messa in opera di puntelli in legno e arretramento del back-up. Contemporaneamente a queste attività, sono stati eseguiti sondaggi per analizzare le condizioni geologiche a ridosso del piedritto sinistro della galleria. Come iniziale intervento di ripristino sono state iniettate resine espansive organo-minerali a tergo dei conci, per il riempimento delle zone maggiormente detensionate; successivamente sono state eseguite chiodature radiali con barre autoproforanti (lunghezza variabile 3-6 m) e carotaggi di drenaggio (4-6 m), oltre alla demolizione e sostituzione dei conci in c.a. gravemente danneggiati con pannelli in acciaio e successivo riempimento a tergo con malta cementizia (Fig.13). E' stata inoltre prevista l'installazione di 4 coppie di estensimetri a corda vibrante, rispettivamente su due conci sostitutivi, per la verifica del comportamento alla ripresa dell'avanzamento. Per lo scavo della tratta immediatamente successiva alla ripartenza della TBM è stato previsto un rivestimento in acciaio in grado di resistere a spinte asimmetriche molto più elevate di quelle sopportabili dal rivestimento standard in conci prefabbricati in c.a.. Dall'uscita della zona di faglia fino alla fine del cunicolo pilota sono stati installati conci in c.a. di spessore pari a 20 cm, con armature variabili a seconda della necessità.

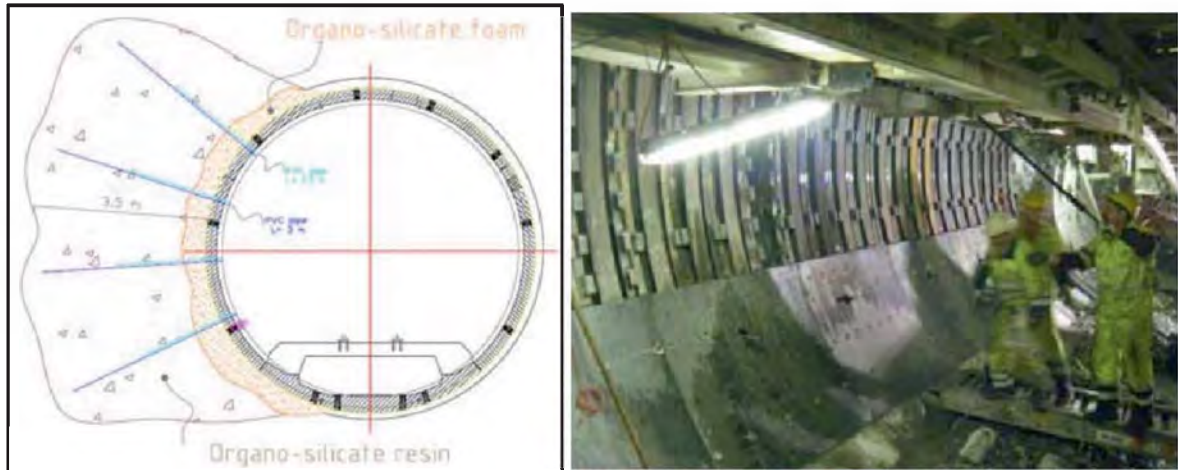


Figura 13. A sinistra il dettaglio relativo all'iniezione di resine. A destra l'installazione dei pannelli in acciaio in sostituzione dei conci danneggiati (Grandori et al. 2011)

Dopo soli 560 m dalla ripartenza della TBM, si è sviluppato un fenomeno di colpo di montagna, con importanti distacchi di roccia e blocco della testa fresante. Nei giorni antecedenti l'evento non erano tuttavia state riscontrate anomalie, né eventi che lasciassero presupporre lo sviluppo di tale fenomeno. Si è quindi inizialmente proceduto, dove possibile, alla rimozione manuale dei frammenti rocciosi, ma per liberare la parte superiore della testa fresante è stato necessario effettuare perforazioni dalla parte superiore dello scudo (Fig.14), propedeutiche all'esecuzione di volate di lieve entità: tali esplosioni hanno progressivamente liberato lo scudo anteriore, favorendo l'accumulo del materiale di smarino oltre la testa fresante, facilitandone così la rimozione manuale.

Volate leggere sono state eseguite anche in corrispondenza della parte bassa dello scudo fino a liberare definitivamente la TBM, che ha potuto gradualmente riprendere le operazioni di scavo. Questa procedura ha scongiurato la necessità di eseguire un by-pass laterale di emergenza, che avrebbe avuto ricadute temporali ed economiche considerevoli.

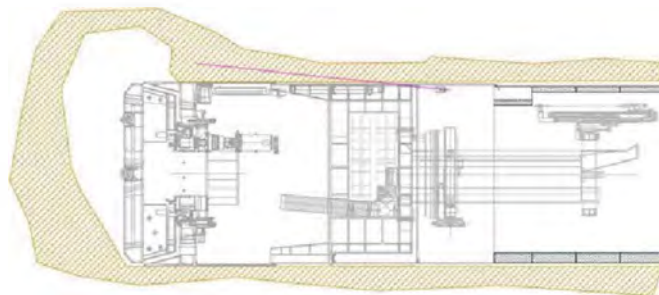


Figura 14. Perforazioni effettuate dalla parte superiore dello scudo (Grandori et al. 2011)

Gli scavi sono ripresi con avanzamenti dimezzati per prevenire lo sviluppo di nuove instabilità nell'ammasso roccioso; l'intercapedine tra l'anello e la roccia è stata riempita con pea-gravel. Nella sezione interessata da rockburst sono state inserite armature tubolari in acciaio, con successivo riempimento di malte cementizie o resine.

### Il Cunicolo Esplorativo nel Lineamento Periadriatico

Date le incognite sulle caratteristiche dei materiali presenti all'interno della fascia fortemente tettonizzata, prima dell'approccio alla zona ritenuta critica, all'interno del ciclo di

scavo del cunicolo esplorativo è stata introdotta l'esecuzione di sondaggi profondi in avanzamento rispetto al fronte di scavo al fine di investigare la qualità dell'ammasso in anticipo rispetto allo scavo. Inizialmente sono stati previsti sondaggio a carotaggio continuo, ma, in considerazione dell'eccessivo impatto sulla produzione comparato ai risultati ottenibili dal sondaggio all'interno di zone intrinsecamente disturbate per processi naturali, con conseguente incognita sull'origine del disturbo della carota e quindi sulla qualità dell'ammasso, tale tipologia di sondaggio è stata sostituita da sondaggi a distruzione con misura dei parametri di perforazione.

Contrariamente ai primi, la cui esecuzione interrompeva di fatto il ciclo produttivo, quest'ultima tipologia, dopo una opportuna organizzazione dell'attività specifica (attrezzatura e profondità), è risultata invece compatibile con il ciclo ordinario di scavo (il ciclo di scavo comprendeva al suo interno anche la realizzazione del sondaggio in avanzamento).

Le interferenze con la produzione dello scavo sono brevemente illustrate nella figura 15, mentre la figura 16 mostra un esempio di restituzione della velocità di avanzamento dell'attrezzo perforatore (CCD=Continuous Core Drillings, MWD =Measurements While Drillings) (Fuoco, Zurlo et al. 2016).

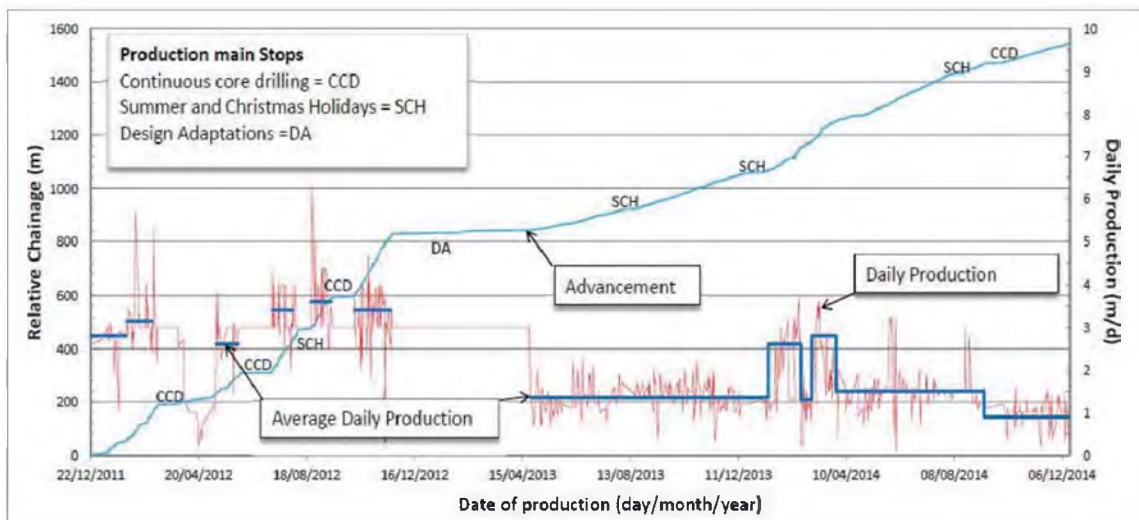


Figura 15. Produzione di scavo (Fuoco, Zurlo et al. 2016)

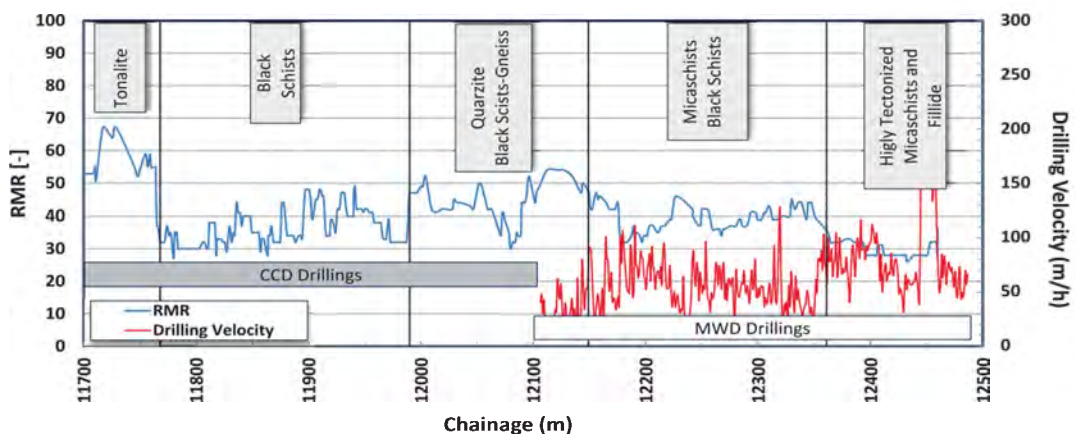


Figura 16. Confronto tra velocità di perforazione e valori di RMR (Fuoco, Zurlo et al. 2016)

I dati dei sondaggi in avanzamento rispetto al fronte, opportunamente analizzati, forniscono le indicazioni sulle sezioni tipo di scavo da applicare lungo il cunicolo. In accordo al

programma lavori, quest'ultimo veniva realizzato in anticipo sullo scavo delle soprastanti gallerie di linea e pertanto i risultati in termini di efficacia delle sezioni di scavo applicate venivano utilizzati per l'ottimizzazione del sistema di consolidamento e di sostegno delle gallerie di linea. Nel tratto interessato dalle faglie del lineamento Periadriatico, oltre alle condizioni dell'ammasso roccioso attraversato, sono state posizionate delle sezioni strumentate per la misura delle deformazioni e degli sforzi nei sistemi di sostegno e consolidamento. I dati analizzati hanno permesso sia di ottenere gli involuipi dei parametri di sollecitazione che di verificare l'appartenenza ai domini di rottura interessati. Le deformazioni riscontrate tramite le stazioni di convergenza sono mostrate in figura 17 in funzione del rapporto tra  $\sigma_{cm}$  (resistenza a compressione complessiva dell'ammasso) e  $p_0$  (pressione geostatica verticale esistente in situ). I valori di  $\sigma_{cm}$  sono stati determinati tramite i parametri  $\sigma_{ci}$  (resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso),  $m_b$ ,  $a$  ed  $s$  (costanti di Hoek-Brown), mentre  $p_0$  è stato stimato dal prodotto tra  $\gamma$  (peso specifico) e  $z$  (profondità). In figura 18 sono inoltre riportate le deformazioni registrate al fronte (esprese come rapporto tra il valore di estrusione ed diametro della galleria) in funzione della qualità dell'ammasso roccioso, rappresentato dal valore di RMR; in questo grafico si evince una correlazione tra la qualità dell'ammasso attraversato e l'estrusione misurata, con un limite massimo di stabilità identificato pari a 2.3-2.5 %.

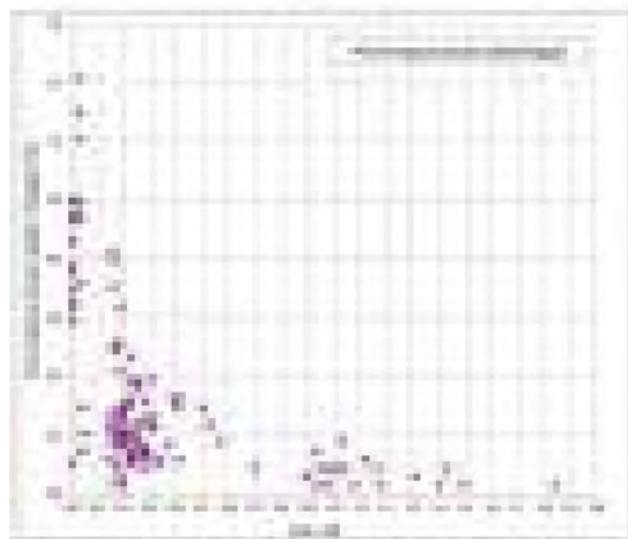


Figura 17. Deformazioni riscontrate tramite le stazioni di convergenza per cavità rivestita, in funzione del rapporto tra  $\sigma_{cm}$  e  $p_0$

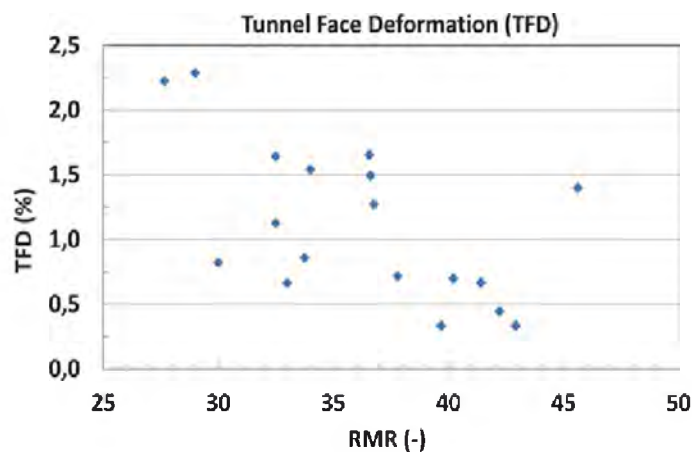


Figura 18. Confronto tra valori di deformazione del fronte di scavo e RMR (Fuoco, Zurlo et al. 2016)

Particolare attenzione è stata anche posta alla reazione del fronte di avanzamento; in figura 19 sono mostrati gli spostamenti misurati al fronte di scavo tramite estrusimetri incrementali (INCREX) in funzione della qualità dell'ammasso roccioso attraversato (rappresentato dai valori di RMR definiti direttamente nei rilievi del fronte).

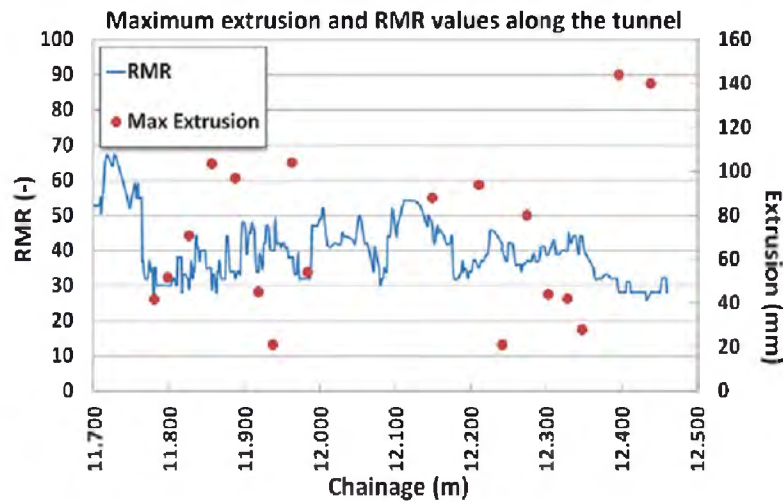


Figura 19. Confronto tra valori di estrusione misurati e RMR (Fuoco, Zurlo et al. 2016)

Un aspetto rilevante è rappresentato infine dall'incremento degli sforzi sviluppatasi nel rivestimento del cunicolo a seguito del passaggio dello scavo delle gallerie di linea (Fig. 20): nelle Core Zone dei tratti in faglia del lotto Periadriatica, sono stati rilevati incrementi sistematici nell'ordine del 30%.

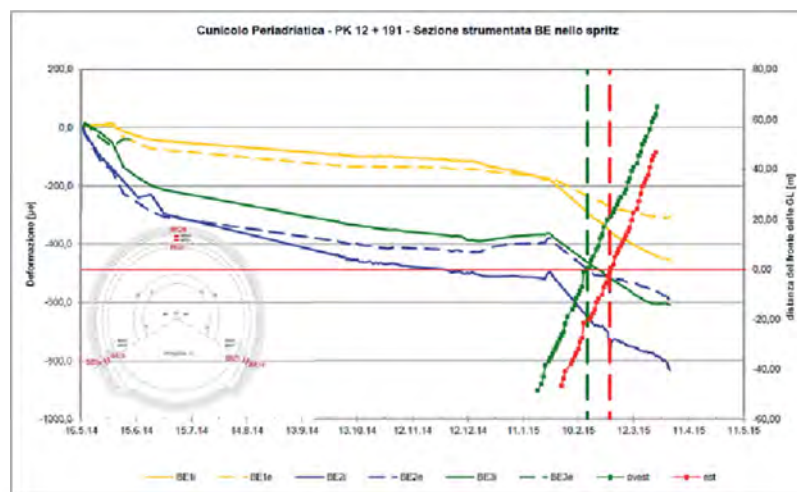


Figura 20. Deformazioni misurate sul rivestimento del cunicolo esplorativo con un incremento al momento del passaggio delle gallerie di linea (linee tratteggiate verticali vedi e rosse)

La strumentazione di monitoraggio utilizzata durante gli scavi ha consentito inoltre di sviluppare la procedura di back-analysis, favorendo la ridefinizione delle sezioni di scavo da applicare nei successivi e più impattanti scavi delle gallerie di linea e, ove necessario, la loro ottimizzazione e il confronto tra sollecitazioni ipotizzate in fase di progettazione e quelle effettivamente misurate nello scavo del cunicolo. Nel tratto attraversato dalla faglia del Lineamento Periadriatico sono stati aggiornati, in corso d'opera, gli interventi di consolidamento nelle gallerie di linea, sia in avanzamento che al contorno della sezione di scavo, privilegiando la soluzione di scavo a sezione piena con rivestimento a reazione rigida.

## **Impatto Ambientale**

Una gestione attenta delle risorse naturali e dell'impatto ambientale rappresenta un elemento cardine della progettazione e della realizzazione della Galleria di Base del Brennero. La compatibilità ambientale del progetto è stata verificata in modo indipendente e in base alle normative vigenti, sia in Austria che in Italia, con lo sviluppo di numerose misure compensative volte a minimizzare l'impatto ambientale. Gli imbocchi delle gallerie sono stati inseriti nel paesaggio con cura e i depositi per lo stoccaggio del materiale di scavo sono ubicati nelle immediate vicinanze delle gallerie di accesso laterali; circa il 25 % di tutto il materiale estratto durante la costruzione della Galleria di Base del Brennero può essere riutilizzato.

Particolare attenzione è stata inoltre riservata alle soluzioni logistiche adottate, in grado di ridurre drasticamente l'utilizzo della viabilità ordinaria per il trasporto del materiale di scavo e l'approvvigionamento dei materiali di costruzione; per limitare i disagi per la comunità locale, a Mules il materiale di scavo verrà trasferito nei depositi mediante nastri trasportatori ed il calcestruzzo verrà prodotto direttamente nel cantiere di Mules, favorendo il riutilizzo in situ del materiale scavato.

Inoltre, al fine della tutela delle risorse idriche, vengono costantemente eseguiti monitoraggi lungo l'intero tracciato presso tutte le sorgenti, fiumi, acque superficiali e di falda mediante 1.143 punti di misurazione, con regolare controllo di temperatura, pH e portata. In base allo studio dei dati ottenuti vengono inoltre definiti accorgimenti ed interventi specifici (impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso, interventi sostitutivi preventivi e di emergenza) da porre in essere nel caso si verifichi uno specifico rischio.

## **Impatto Sociale**

Nella realizzazione di un progetto di dimensioni ed impatto come la Galleria di Brennero, non si può prescindere dal riversare attenzione al rapporto con la popolazione. Già in fase di progettazione, BBT SE ha promosso diversi incontri informativi rivolti alle vicine comunità, al fine di descrivere le opere che sarebbero state oggetto dei lavori di costruzione, sia per raccogliere pareri e suggerimenti degli abitanti, che per illustrare e motivare le scelte progettuali adottate. Ulteriori serate informative sono state organizzate per informare la popolazione residente, ed in particolare i proprietari di immobili e terreni nelle immediate vicinanze della galleria, riguardo i lavori da eseguirsi ed i piani di monitoraggio messi a punto per gli edifici. A testimonianza del pieno coinvolgimento della popolazione, annualmente si organizza presso le aree di cantiere, sia in Italia che in Austria, la "giornata delle porte aperte" che richiama migliaia di persone, anche di provenienza esterna al territorio in cui si sviluppa il progetto.

Inoltre la partecipazione di BBT SE a congressi, convegni, fiere di settore e incontri informativi, organizzati sia a livello locale che internazionale, garantisce il coinvolgimento di diversi target di persone interessate, fornendo loro informazioni sugli aspetti tecnici del progetto e di quanto, di giorno in giorno, la realizzazione di quest'opera consente di insegnare agli addetti ai lavori.

## **Bibliografia**

Grandori R., Bieniawski Z.T., Vizzino D., Lizzandro L., Romualdi P., Busillo A.: Hard rock extreme conditions in the first 10 km of TBM driven Brenner Exploratory Tunnel. RETC 2011 Proceedings.

Fuoco S., Zurlo R., Marini D., Pigorini A.: Tunnel Excavation Solution in Highly Tectonized Zones. WTC ITA AITES 2016, S. Francisco (US).

Zurlo R., Voza A.: La progettazione geotecnica in corso d'opera di una grande infrastruttura strategica. Le grandi infrastrutture e la funzione strategica dei trafori alpine. FASTIGI 2015, Roma.

Zurlo R., Rea G., Roccia M.: Galleria di Base del Brennero. Descrizione dell'opera ed avanzamento attraverso la faglia Periadriatica. Proceedings of the Italian Tunneling Society Congress, 2013, Bologna.

Zurlo R., Skuk S., Roccia M.: Attraversamento della linea Periadriatica, Brenner Congress 2013.







**PRO  
ITER**  
Progetto  
Infrastrutture  
Territorio s.r.l.

# DIETRO L'OPERA, L'UOMO

*PROJECTS BUILT AROUND PEOPLE*

**Pro Iter S.r.l.**, operativa dal 1998, si colloca tra le prime società di ingegneria italiane completamente indipendenti per la **progettazione e direzione lavori di infrastrutture**.

Grazie alle competenze specialistiche sviluppate nel corso degli anni, Pro Iter S.r.l. è in grado di soddisfare le esigenze dei clienti in tutti i settori dell'**ingegneria integrata**, garantendo un servizio di consulenza di **elevata qualità, flessibile, efficiente e puntuale**.

*Pro Iter LLC, operating since 1998, is one of the first Italian engineering companies completely independent in the field of infrastructural design and works direction.*

*Thanks to its expertise achieved over the years, Pro Iter LLC is able to comply with its customers' requires in all the fields of integrated engineering services, by guaranteeing a high-quality, flexible, efficient and punctual consultancy service.*





**Autostrada tra Catania e Siracusa**  
Catania - Siracusa Motorway



**Galleria di Base del Brennero**  
Brenner Base Tunnel



**Circonvallazione di Bressanone**  
Bressanone Ring Road



**Linea a.v. Tel Aviv - Gerusalemme**  
High speed railway Tel Aviv - Jerusalem



**Sistema viabilistico di accesso a Expo 2015**  
Road system to Expo 2015



**Opere di urbanizzazione primaria del Complesso Polifunzionale di Assago**  
Multipurpose complex in Assago works for the provision services



**Tangenziale Est Milano**  
Ristrutturazione dello svincolo di Lambrate  
Milan East ring road - Restoration of Lambrate junction



**Tunnel "Via del Nord" Milano**  
Rilassetto viabilità zona Garibaldi Repubblica  
"Via del Nord" Tunnel in Milan  
Road system reorganization in Garibaldi Repubblica

- ✓ Infrastrutture stradali e ferroviarie
  - ✓ Opere in sotterraneo e fondazioni speciali
  - ✓ Strutture in c.a. - c.a.p. - acciaio
  - ✓ Produzione di energia
  - ✓ Analisi ambientali e progettazione del verde
  - ✓ Edilizia e urbanistica
  - ✓ Pianificazione territoriale
  - ✓ Opere idrauliche
  - ✓ Geologia e geotecnica
  - ✓ Assistenza tecnica, direzione lavori e sicurezza
- ✓ Roadways and railways
  - ✓ Underground works and special foundation
  - ✓ Reinforced / prestressed concrete and steel structures
  - ✓ Energy production
  - ✓ Environmental analysis and green areas design
  - ✓ Building and Town planning
  - ✓ Territorial plan
  - ✓ Hydraulic works
  - ✓ Geology and Geotechnics
  - ✓ Technical assistance, works direction and safety



**PRO  
ITER**  
Progetto  
Infrastrutture  
Territorio s.r.l.

via Sarmmartini 5  
20125 Milano - Italy  
Tel: +39 02 6787911  
Fax: +39 02 87152612  
mail@proiter.it

[www.proiter.it](http://www.proiter.it)



gruppo Antera

**SIG – Società Italiana Gallerie**

**Convegno “Le grandi infrastrutture ferroviarie alpine in costruzione: le scelte progettuali e costruttive per la realizzazione di tunnel lunghi e profondi”**

Samoter 2017 - Verona (VR) 23 – 24 febbraio 2017

---

**TUNNEL DI BASE DEL BRENNERO LATO ITALIA – LOTTO MULES 2-3  
LE SCELTE DI PROGETTO DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI**

**BRENNER BASIS TUNNEL ITALIAN SIDE – LOT MULES 2-3  
FINAL LININGS’ DESIGN CHOICES**

Matteo Moja – Pro Iter S.r.l. – Progettista settore Opere in Sottterraneo, Tunnels’ Engineer  
Enrico Maria Pizzarotti – Pro Iter S.r.l. – Direttore Tecnico, Technical Director

**Sommario**

I rivestimenti definitivi del sistema ferroviario del Tunnel di Base del Brennero sono stati progettati per garantire all’infrastruttura una vita utile di 200 anni. Tale obiettivo è stato perseguito mediante l’adozione di particolari accorgimenti progettuali, come l’aumento dei coefficienti di sicurezza sui materiali, la limitazione delle pressioni idrauliche, l’adozione di spessori di calcolo inferiori a quelli nominali, l’applicazione di combinazioni di carico eccezionali, ecc. Per garantire la durabilità dell’opera, particolare attenzione è stata dedicata anche al sistema di impermeabilizzazione e drenaggio delle gallerie, sia nelle tratte scavate con metodi tradizionali che in quelle meccanizzate. In quest’ultime, nelle zone critiche dal punto di vista geomeccanico, in presenza di materiali rigonfianti e in corrispondenza degli innesti con i Cunicoli Trasversali, è inoltre prevista la realizzazione di un rivestimento interno gettato in opera, rispettivamente con o senza arco rovescio.

**Abstract**

The final linings of the railway system of the Brenner Base Tunnel have been designed to guarantee a service life of 200 years. This goal has been pursued through the adoption of special design features, such as increasing the safety coefficients on the materials, the limitation of hydraulic pressures, the adoption of design thicknesses less than nominal, considering exceptional load combinations, etc. To ensure the durability, special attention was also devoted to the system of waterproofing and drainage in the tunnels excavated with traditional and mechanized methods. In the mechanized sections, where critical geomechanical conditions are expected, in the presence of swelling phenomena and in correspondence with bypass, an internal concrete lining, respectively with or without invert is also provided.

## 1 Introduzione

La Galleria di Base del Brennero (BBT) (Figura 1) è costituita da due canne principali, che da sole raggiungeranno ciascuna una lunghezza di 55 km (64 km se si considera anche la circonvallazione di Innsbruck) che corrono parallelamente alla distanza di 70 m l'una dall'altra. Ogni 300 m circa le due canne principali sono collegate mediante by-pass che assumono funzioni di alloggiamento impiantistico e di percorsi di sicurezza e sono parti integranti del sistema di raccolta delle acque drenate dalle gallerie. È presente inoltre un cunicolo, avente una funzione esplorativa in fase di scavo e di servizio e drenaggio in fase definitiva, che corre in mezzzeria alle due canne a una quota inferiore di circa 12 m. Completano il sistema 3 Fermate di Emergenza, di cui una lato Italia e 3 finestre di accesso laterale, tra cui quella di Mules lato Italia.

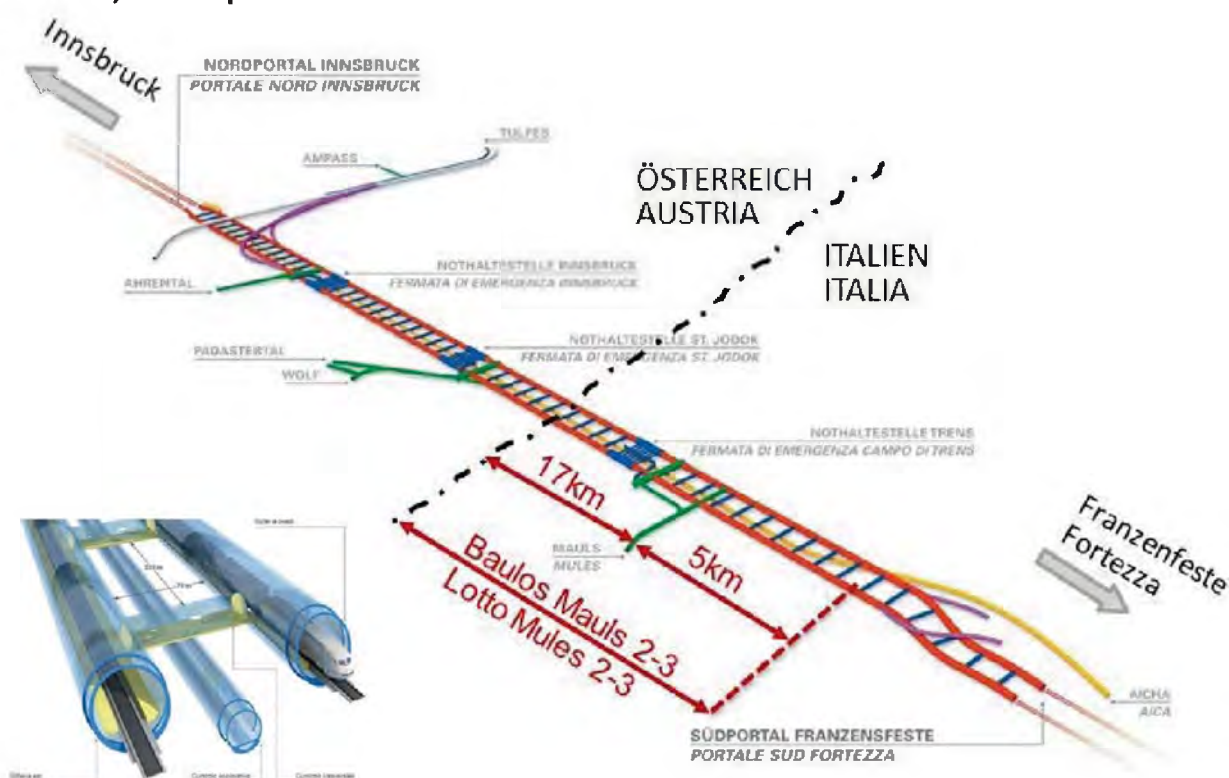


Figura 1 – Planimetria schematica della Galleria di Base del Brennero

Il Raggruppamento Temporaneo di Imprese RTI 4P, composto dalla Pro Iter S.r.l. (mandataria) e da Pöyry Schweiz SA, Pini Swiss Engineers SA e Pasquali-Rausa Engineering S.r.l. (mandanti), si è occupato della Progettazione Esecutiva del Lotto Mules 2-3 che riguarda gran parte delle opere previste sul territorio italiano, in particolare tutte quelle che ricadono nella tratta tra il Confine di Stato al Sotto-attraversamento dell'Isarco.

Il lotto prevede sia il dimensionamento dei rivestimenti definitivi delle tratte già scavate (Finestra di Mules, Caverne e prima tratta di Gallerie e Cunicolo Esplorativo in tradizionale verso nord) sia il dimensionamento delle sezioni di scavo delle Gallerie di Linea, del Cunicolo Esplorativo verso nord, dei Cameroni di montaggio delle TBM, della Fermata di Emergenza, ecc., per un totale di oltre 22 km di sistema. Le performance di progetto del sistema del sono state definite da un corpo di linee guida redatte in ambiente transnazionale, preliminarmente alla fase di progettazione esecutiva, conosciuto come Progettazione di Sistema (PdS). La PdS prevede, come premessa fondante, un obiettivo di vita utile dell'opera di 200 anni. Per ottemperare alle prescrizioni della PdS è stato necessario adottare una serie

di accorgimenti progettuali, in parte definiti dalla PdS stessa e in parte integrati attraverso un continuo e costruttivo confronto con il Responsabile Tecnico di BBT SE.

## 2 Inquadramento geologico

La Galleria di Base del Brennero attraversa, in territorio italiano, gran parte delle unità tettoniche che caratterizzano il sistema alpino (Figura 2), passando da rocce molto competenti come i graniti di Bressanone presenti nella tratta più a sud, a quelle meno competenti che caratterizzano il lineamento Periadriatico e la Falda del Vizze.

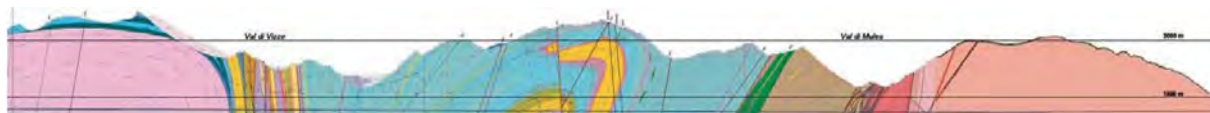


Figura 2 – Profilo geologico lato Italia

Da sud verso nord, molto sinteticamente, si incontra il granito di Bressanone, le tonaliti, le filladi e le rocce di faglia della Val di Mules, i paragneiss e i micascisti del basamento cristallino austroalpino, quindi calcestisti calcarei e non, marmi e scisti della Falda del Vizze, i metasedimenti mesozoici (marmi, quarziti, anidriti e gesso, scisti e micascisti, filladi) del triassico alla base della falda del Vizze fino al nucleo di gneiss granitico centrale del Tux.

Le coperture raggiungono i 1700 m e lungo il tracciato sono presenti numerose zone di disturbo tettonico e altre in cui sono previste copiose venute d'acqua, alcune delle quali connesse a sistemi idrogeologici termali di pregio, per le quali sono state dettate particolari prescrizioni in termini di salvaguardia.

## 3 Sezioni tipo

Come detto, il sistema ferroviario è costituito da due gallerie monodirezionali a singolo binario caratterizzate da un'aria di scavo variabile da 65 m<sup>2</sup> a 90 m<sup>2</sup> (Figura 3) in funzione della classe geomeccanica dell'ammasso attraversato e delle relative modalità di scavo. Solo nella tratta più a sud, verso Fortezza, dove sono previsti due binari per senso di marcia, e nella Fermata di Emergenza a nord di Mules, la sezione di scavo aumenta fino ad un massimo di 123 m<sup>2</sup>. Per affrontare le diverse configurazioni geometriche e la variabilità geomeccanica riscontrabile lungo il tracciato, ma anche per ottimizzare il cronoprogramma, in accordo con BBT SE sono state previste tratte scavate con metodi tradizionali e altre con metodi meccanizzati.

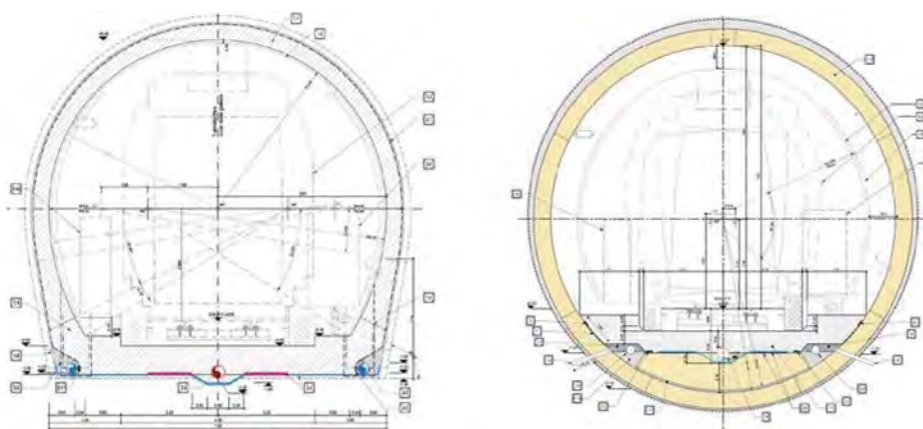


Figura 3 – Galleria a singolo binario – Sezioni tipo esemplificative per scavo in tradizionale e scavo meccanizzato (con rivestimento unico in conci prefabbricati)

In particolare, lo scavo in tradizionale è previsto per affrontare le Gallerie a doppio binario, la Fermata di Emergenza con annessa Galleria di Accesso e tutti i Cunicoli Trasversali, nonché le Gallerie di Linea a singolo binario e il Cunicolo Esplorativo tra la Finestra di Mules e i Cameroni di Montaggio delle TBM verso nord. Lo scavo delle Gallerie di Linea e del Cunicolo a nord della Fermata di Emergenza fino al Confine di Stato e delle Gallerie di Linea a singolo binario a sud della Finestra di Mules, viceversa, è previsto mediante metodi meccanizzati.

La sicurezza statica delle gallerie scavate in tradizionale è garantita, a lungo termine, dall'esecuzione di un rivestimento interno gettato in opera, armato o non, a cui è affidata la totalità dei carichi, trascurando cautelativamente il contributo del rivestimento di prima fase, come da esplicita prescrizione della PdS. Anche nelle tratte scavate con TBM, nell'attraversamento di tratte critiche dal punto di vista geomeccanico, in presenza di materiali rigonfianti o di configurazioni geometriche complesse, come gli innesti con i Cunicoli Trasversali, la sicurezza statica in esercizio è affidata a un rivestimento gettato in opera, con o senza arco rovescio (Figura 4), mentre per le restanti parti si è previsto un unico rivestimento in anelli di conci prefabbricati (Figura 3).

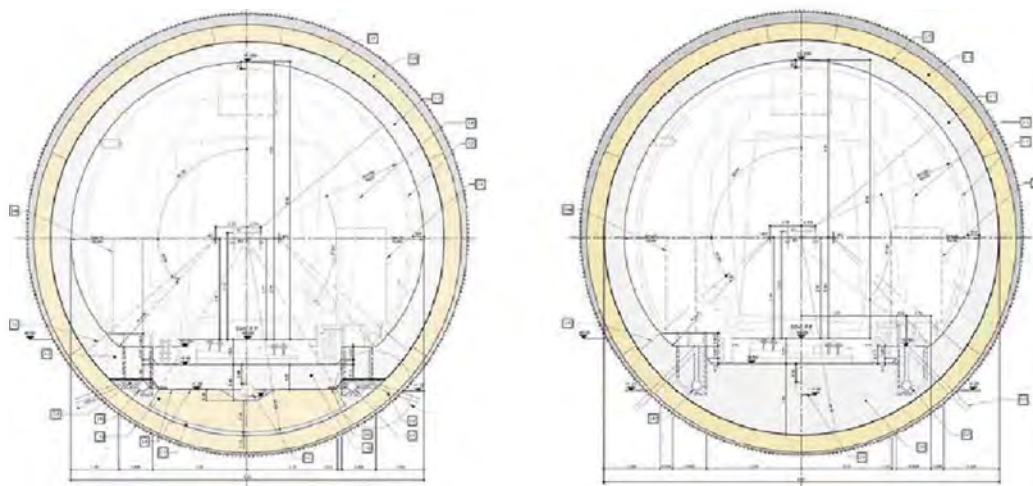


Figura 4 – Scavo meccanizzato con doppio rivestimento (con platea o con arco rovescio)

#### 4 Input della Progettazione di Sistema e dimensionamento strutturale

##### 4.1 Prescrizioni geometriche

Il dimensionamento di tutte le strutture è stato condotto considerando gli spessori di progetto derivanti dall'applicazione delle tolleranze di costruzione sugli spessori nominali, previste dalla PdS. Quest'ultima individua tre tipologie di tolleranze (Tabella 1):

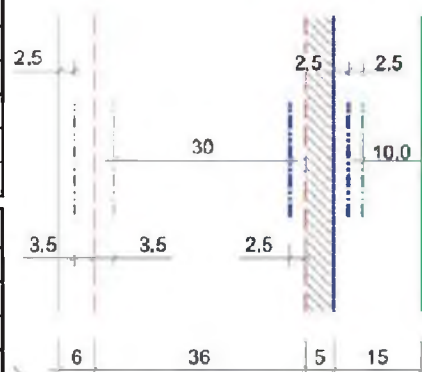
- di tracciamento ( $T_t$ );
- sui rivestimenti di prima fase ( $T_1$ ), siano essi realizzati con betoncino proiettato o con conci prefabbricati;
- sul cassero del rivestimento definitivo ( $T_c$ ).

L'entità di tali valori, variabile in funzione delle sezioni tipo, ha comportato una riduzione degli spessori di calcolo, rispetto a quelli nominali, variabile tra i 5 e i 7 cm. Per le sezioni scavate in tradizionale, per esempio, si è assunta una tolleranza sul betoncino proiettato di  $\pm 2.5$  cm e sul posizionamento del cassero di  $\pm 3.5$  cm, con una conseguente riduzione complessiva dello spessore nominale decisamente significativa, pari a 6 cm.

			T <sub>1</sub> [cm]	T <sub>2</sub> [cm]	T <sub>c</sub> [cm]
Scavo in tradizionale	Galleria principale	Orizzontale	±5	±2.5	±3.5
		Verticale	±2	±2.5	±3.5
	Galleria principale a due binari	Orizzontale	±8	±2.5	±3.5
		Verticale	±2	±2.5	±3.5
	Cunicolo esplorativo	Orizzontale	±35	±2.0	±3.0
		Verticale	±10	±2.0	±3.0
Cunicoli trasversali	Orizzontale	±4	±2.0	±3.0	
	Verticale	±2	±2.0	±3.0	

			T <sub>1</sub> [cm]	T <sub>2</sub> [cm]	T <sub>c</sub> [cm]
Scavo con TBM	Galleria principale TBM scudata	Orizzontale	±9	±3.5	±3.5
		Verticale	+5 / -13	±3.5	±3.5
	Galleria principale TBM aperta	Orizzontale	±9	±2.5	±3.5
		Verticale	+5 / -13	±2.5	±3.5
	Cunicolo esplorativo	Orizzontale	±35	±3.0	±3.0
		Verticale	±10	±3.0	±3.0



**Tabella 1 – Tolleranze di costruzione e rappresentazione grafica per le GL in tradizionale**

Un ulteriore vincolo imposto dalla Progettazione di Sistema ha riguardato gli spessori minimi strutturali, pari a 30 cm per le sezioni non armate e 35 cm per quelle armate.

#### 4.2 Carichi di riferimento

I rivestimenti definitivi sono stati dimensionati nei confronti di: I) carichi d'ammasso, comprensivi di quelli derivanti da fenomeni di swelling e squeezing; II) pesi propri; III) appendimento della linea di contatto; IV) carichi idraulici (Paragrafo 6); V) variazioni di temperatura; VI) carichi dovuti a fenomeni di viscosità e ritiro del calcestruzzo; VII) delle pressioni/depressioni aerodinamiche indotte dal passaggio dei convogli.

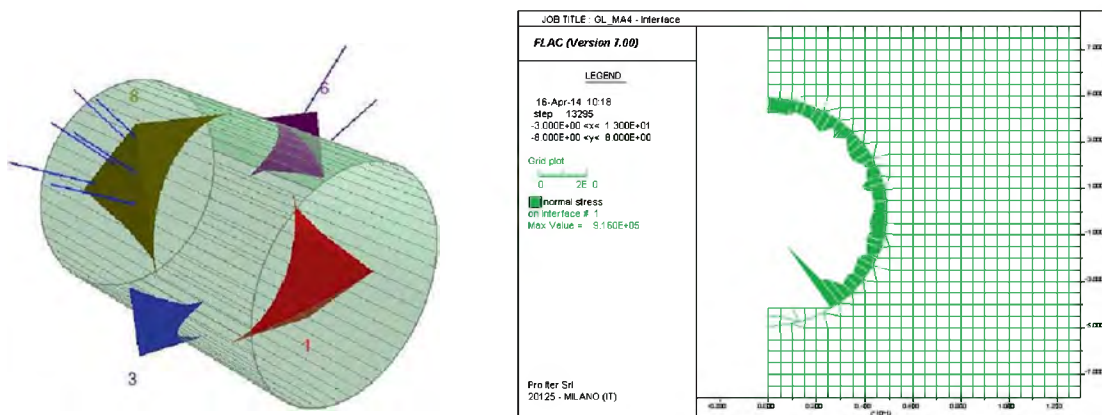
Per la definizione dei carichi d'ammasso sui rivestimenti definitivi sono state considerate due configurazioni (Figura 5):

1. Carichi concentrati dovuti al rilascio di blocchi rocciosi in materiali competenti con presenza di discontinuità persistenti;
2. Carichi distribuiti, in ammassi con comportamento spingente, rigonfiante e/o dipendente dal tempo.

L'entità dei carichi concentrati è stata valutata di volta in volta considerando la giacitura e le caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità caratterizzanti ciascuna tratta in oggetto.

L'entità dei carichi distribuiti è stata invece valutata mediante analisi di discretizzazione del continuo FDM in grado di modellare tutte le fasi di realizzazione delle varie parti d'opera fino all'installazione del rivestimento definitivo. I suddetti modelli hanno consentito anche la taratura e il dimensionamento di tutti i provvedimenti costruttivi di prima fase finalizzati al confinamento delle cavità durante le fasi di scavo.

Oltre al carico principale d'ammasso, particolare attenzione è stata dedicata alla valutazione dei carichi che inducono potenziali stati di trazione nei rivestimenti, al fine della verifica della possibilità di applicare sezioni non armate. In particolare, su tutti i rivestimenti è stato applicato un delta termico variabile in funzione della distanza dagli imbocchi come rappresentato in Tabella 2.



**Figura 5 – Esempio di definizione del carico concentrato e del carico d’ammasso**

Abstand Portal / Distanza dall'imbocco [km]	< 3,0		3,0 - 10,0		>10,0	
Temperaturgradient / gradiente della temperatura $\Delta T$ [°C]	5		2		2	
$\Delta T_{eff}$ [°C]	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate
	-16	16	-10	10	-6	6

**Tabella 2 – Variazione di temperatura in funzione della distanza dagli imbocchi**

Per quanto riguarda il ritiro del calcestruzzo gettato in opera (C30/37) si è assunta una deformazione media a tempo infinito pari al 50% del valore prescritto dalla normativa (0.27‰), applicata in modo differenziato in funzione delle fasi di getto, prescrivendo, d’altra parte, l’adozione di un mix-design, da validare con test di laboratorio, con impiego di un super-fluidificante, di inerti non calcarei e di un additivo espansivo.

Lo studio dei processi di carico e scarico tensionale indotti dal passaggio dei treni fornito nella PdS, ha evidenziato che si possono generare in galleria azioni aerodinamiche fino a valori massimi pari a +11 kN/m<sup>2</sup> in pressione e a -9 kN/m<sup>2</sup> in aspirazione. Poiché si tratta di azioni da considerare come eccezionali, le azioni aerodinamiche sono state considerate solo nelle verifiche delle relative combinazioni di carico agli SLU.

Infine, in accordo con le prescrizioni del DM 28/10/2005 “Sicurezza gallerie ferroviarie”, la stabilità di tutte le opere è stata verificata anche in caso d’incendio, in considerazione della curva temperatura-tempo RWS definita dalla UNI 11076 (Figura 7). Per tutte le parti d’opera è stato garantito un Livello di Prestazione minimo, in accordo alle NTC 2008, pari al livello III (mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell’emergenza, pari a 120’) mentre per alcune parti d’opera deputate alla gestione dell’emergenza (Fermata di Emergenza, accessi ai Cunicoli Trasversali, soletta del canale di aspirazione fumi nella Fermata di Emergenza e subito a valle della stessa) si è optato per incrementare il Livello di Prestazione al Livello IV (requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell’incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse). Tale incremento di sicurezza è stato ottenuto prescrivendo l’additivazione dei rivestimenti definitivi con fibre in polipropilene e la protezione dell’estradosso del canale di aspirazione fumi mediante materiale isolante.

#### **4.3 Combinazioni di carico**

Le azioni sinteticamente descritte al paragrafo precedente sono state considerate in combinazione tra loro definendo la matrice riportata nella Figura 6.



Lastfall / Caso di carico	ständig / permanente							vorübergehend / variabel			außergewöhnlich / eccezionali				
	Eigengewicht	Oberleitung	Sohlbeton	Wasserdruck	Gebälgsst ohne Aufröhren	Kriechen und Schwinden	Quell-druck	Temperatur (Sommer)	Temperatur (Winter)	Verkehrslast (Zugfahrt)	Erdbeben	Anpaß	Brand	Druck infolge Zugfahrt	Seig infolge Zugfahrt
	Peso proprio	Catenaria	Cerchi permanenti sull'arco rovescio	Carico idraulico	Carichi sulle rocce in contatto con l'acqua	Ritiro e riassorbimento	Swelling-Squeezing	Temperatura (estate)	Temperatura (inverno)	Carico ferroviario	Sisma	Impatto	Fuoco	Carico aerodinamico (pressione)	Carico aerodinamico (aspirazione)
Rivestimento / Dimensione	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Q1	Q1	Q2	E1	A2	A3	A1	A1
1	1.35							1.50							
	1.00							1.00							
2	1.35						1.00		1.50						
	1.00						1.00		1.00						
3	1.35	1.35	1.00					1.50							
	1.00	1.00	1.00					1.00							
4	1.35	1.35	1.00				1.00		1.50						
	1.00	1.00	1.00				1.00		1.00						
5	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35			1.50							
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00							
6	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00			1.50						
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00						
7	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35		1.35	1.50							
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00							
8	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00	1.35	1.50							
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00							
9	1.35	1.35	1.00					1.35	1.50						
	1.00	1.00	1.00					1.00	1.00						
10	1.35	1.35	1.00			1.00	1.35	1.50							
	1.00	1.00	1.00			1.00	1.00	1.00							
11	1.00	1.00	1.00					0.60	0.60				1.00		
12	1.00	1.00	1.00			1.00								1.00	
13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60	0.60		1.00				
14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		0.60	0.60		1.00				
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.60			1.00				
16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60		1.00				
17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60				1.00			
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60			1.00			
19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.60				1.00			
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		0.60			1.00			
21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60					1.00		
22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00							1.00		
23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.60					1.00		
24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						1.00		

Figura 6 – Combinazioni di carico

#### 4.4 Resistenze di progetto (Fattori di sicurezza sui materiali)

A valle della definizione delle sollecitazioni nei rivestimenti, il dimensionamento e le verifiche delle sezioni, armate e non, sono state svolte in accordo alle prescrizioni contenute nelle NTC 2008, sia agli Stati Limite Ultimi che agli Stati Limite di Esercizio. Tuttavia, i coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze in fase definitiva sono stati aumentati rispetto a quelli di Normativa per garantire la vita utile dell'opera di 200 anni. In particolare, per il calcestruzzo si è assunto un coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza pari a  $\gamma_c = 1.60$  e per l'acciaio pari a  $\gamma_s = 1.20$ , contro rispettivamente a 1.50 e 1.15 definiti dalla Normativa.

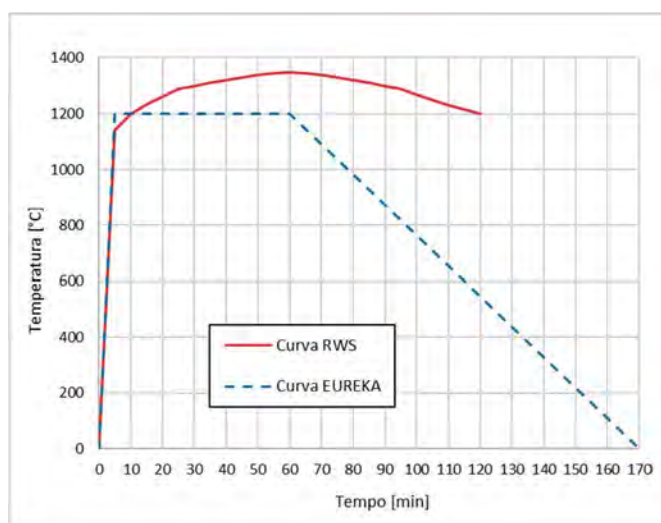
Per le verifiche nella situazione di dimensionamento eccezionale i fattori parziali di sicurezza sono stati assunti pari a  $\gamma_c = 1.20$  e  $\gamma_s = 1.00$ .

#### 5 Verifiche in caso di incendio

Come precedentemente accennato, la sicurezza di tutte le strutture definitive è stata garantita anche nei confronti di un possibile incendio, assumendo la curva di esposizione temperatura-tempo RWS, definita dalla UNI 11076. La verifica al fuoco dell'opera si è basata sull'applicazione di normative e raccomandazioni costruttive cogenti ma anche sull'implementazione di modelli specifici utili a caratterizzare il comportamento strutturale rispetto all'evento incendio in un'infrastruttura complessa quale la Galleria di Base del Brennero. In estrema sintesi, la verifica di resistenza al fuoco dei rivestimenti definitivi è stata condotta in accordo agli Eurocodici con il metodo di calcolo semplificato, disaccoppiando il problema termico da quello meccanico. Il primo step è consistito nel definire le mappe di temperatura degli elementi strutturali coinvolti dall'incendio risolvendo analiticamente l'equazione della trasmissione del calore di Fourier. Nota la distribuzione delle temperature all'interno della sezione si è quindi stimato il decadimento puntuale delle proprietà meccaniche degli elementi strutturali e si è proceduto al dimensionamento strutturale delle sezioni pressoinflesse così penalizzate.

Il modello di trasmissione del calore in regime non stazionario all'interno del rivestimento della galleria è stato risolto applicando una condizione al contorno di temperatura variabile

nel tempo secondo la curva RWS (Figura 7). Si precisa che tale curva si è dimostrata più gravosa rispetto alla curva EUREKA definita dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità concernenti la sicurezza delle gallerie ferroviarie nel sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.



**Figura 7 – Curve Temperatura-Tempo di riferimento**

Note le mappe di temperatura nella sezione in diversi istanti temporali, confermate anche dal confronto con i risultati di analisi numeriche più complesse, appositamente commissionate da BBT, che considerano il calcestruzzo come un mezzo poroso multifase [2], il decadimento puntuale delle proprietà meccaniche è stato valutato applicando sia il metodo dell'isotermia dei 500° sia il metodo a zone, entrambi proposti negli Eurocodici.

I due metodi hanno fornito risultati paragonabili in termini di sezione danneggiata nel caso di lato esposto al fuoco soggetto a uno stato di sforzo di compressione. Viceversa, in caso di lato esposto al fuoco soggetto ad uno stato di sforzo di trazione, solo il metodo a zone, considerando i coefficienti per la riduzione della resistenza a trazione  $k_{ct}(\theta)$  del calcestruzzo, ha permesso una definizione rappresentativa dello spessore danneggiato.

Alla luce di queste analisi, lo spessore di sezione che è stato trascurato nelle verifiche delle sezioni non armate in condizioni d'incendio è stato assunto pari a 5 cm e 7 cm rispettivamente in zona compressa ed in zona tesa.

Per le verifiche delle sezioni armate, in analogia a quelle non armate, sono stati distinti due casi:

- lato esposto al fuoco soggetto ad uno stato tensionale di compressione;
- lato esposto al fuoco soggetto ad uno stato tensionale di trazione.

Nel primo caso, la riduzione di resistenza del calcestruzzo in zona compressa è stata simulata riducendo la sezione di calcolo di 5 cm, in analogia a quanto previsto nelle sezioni non armate. Nel secondo caso, non considerando la resistenza a trazione del calcestruzzo in zona tesa nelle verifiche strutturali, le verifiche sono state effettuate considerando l'intero spessore della sezione e, in funzione della temperatura raggiunta nelle barre e del relativo coefficienti per la riduzione della resistenza a trazione  $k_s(\theta)=0.8$ , riducendo del 20% la resistenza caratteristica dell'armatura in zona tesa.

## 6 Sistema di impermeabilizzazione e drenaggio

Un'altra peculiarità del progetto è rappresentata dal sistema di impermeabilizzazione e drenaggio delle gallerie. In particolare, il drenaggio delle acque a tergo dei rivestimenti definitivi, che consente la captazione e l'allontanamento delle stesse, convoglia le portate drenate in alcuni Cunicoli Trasversali (Figura 8) da cui vengono scaricate nel Cunicolo Esplorativo sottostante, attraverso il quale vengono trasferite fino all'imbocco di Aica.

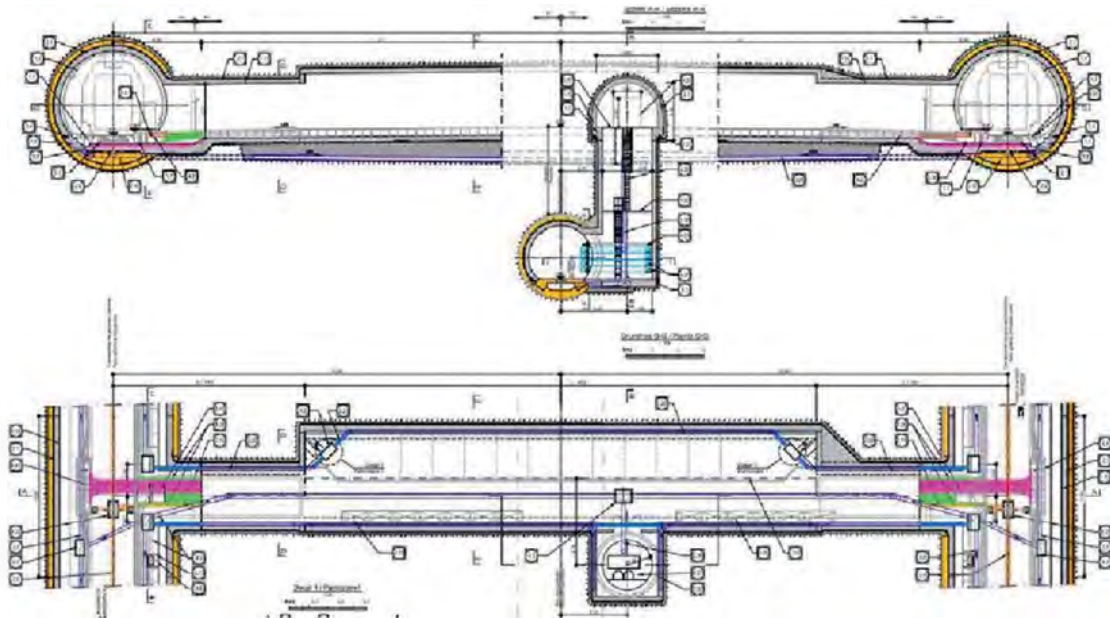


Figura 8 – Cunicoli Trasversali tipo 2 con scarico delle acque nel Cunicolo Esplorativo

Nelle sezioni scavate in tradizionale, il sistema di impermeabilizzazione in calotta è costituito da un telo in PVC accoppiato a un geotessuto. Nelle sezioni armate è inoltre prevista l'applicazione di uno strato di protezione, mentre nelle tratte con le maggiori venute d'acqua è prevista l'applicazione di un geocomposito drenante integrativo, posto a contatto con il rivestimento di prima fase, per garantire una maggiore capacità di captazione delle acque e escludere l'insorgere di pressioni idrauliche. In platea/arco rovescio non è prevista una impermeabilizzazione completa ma solo la posa di strisce di membrana bugnata drenante, sia parallelamente all'asse della galleria che trasversalmente (Figura ), al fine di convogliare le acque nei tubi di captazione posti a tergo delle murette (Figura 9 – Scavo in tradizionale: Particolare captazione acque in platea

10). Si noti che questi sono posti alla base delle murette stesse alla quota minima possibile e sono contornati da materiale drenante per favorire l'azione di riduzione delle pressioni idrauliche. L'inserimento di water-stop in corrispondenza delle riprese di getto completa il sistema di impermeabilizzazione.



Nelle tratte con rivestimento interno gettato in opera, invece, sono previsti conci con una semplice guarnizione ancorata in estradosso e il sistema di impermeabilizzazione del rivestimento interno ricalca la soluzione adottata per gli scavi in tradizionale con un telo in PVC, geotessuto, eventuale geocomposito e strato di protezione per i rivestimenti armati. Per garantire la dissipazione delle pressioni idrostatiche a tergo dei conci è inoltre prevista l'esecuzione di fori nei conci in corrispondenza del pacchetto drenante posto a tergo delle murette del rivestimento interno.

Tutto il sistema di drenaggio descritto presuppone il corretto funzionamento dei tubi di raccolta microfessurati posti a tergo delle murette. È stata pertanto dedicata particolare attenzione nella progettazione dei pozzetti che ne garantiscono l'ispezionabilità e la manutenzione. Quest'ultimi, disposti a interasse di 111 m e sagomanti diversamente in funzione delle diverse sezioni tipo, presentano dimensioni interne (60 x 120 cm) in grado di garantire l'accessibilità anche dei pozzetti più profondi, che raggiungono altezze di circa 180 cm.

## 7 Soluzioni progettuali adottate nei Camerone TBM

Il progetto prevede 4 Camerone di Montaggio delle TBM, due a sud e due a nord della Finestra di Mules, per il lancio delle rispettive TBM verso Fortezza e verso il Confine di Stato. Le sezioni di scavo sono dell'ordine dei 380 m<sup>3</sup> e in fase definitiva è prevista la realizzazione di un rivestimento interno, con le geometrie tipiche di una galleria artificiale, che consente di garantire la continuità dell'intradosso con le sezioni correnti delle gallerie di linea. La sicurezza della sezione è stata garantita mediante il riempimento del vuoto tra la sezione di scavo del camerone e la galleria artificiale. D'accordo con BBT, si è optato per limitare il riempimento a una quota compatibile con l'esecuzione di lavorazioni di manutenzione, senza prevedere l'intasamento completo della porzione più alta del camerone, garantendo però l'accessibilità a tale area per l'ispezione dei rivestimenti di prima fase. L'accesso è stato garantito mediante una rampa realizzata nel camerone logistico trasversale al Camerone di Montaggio della TBM (Figura 10) per i Camerone sud, e mediante dei 'camini' (Figura 11) per i Camerone nord.

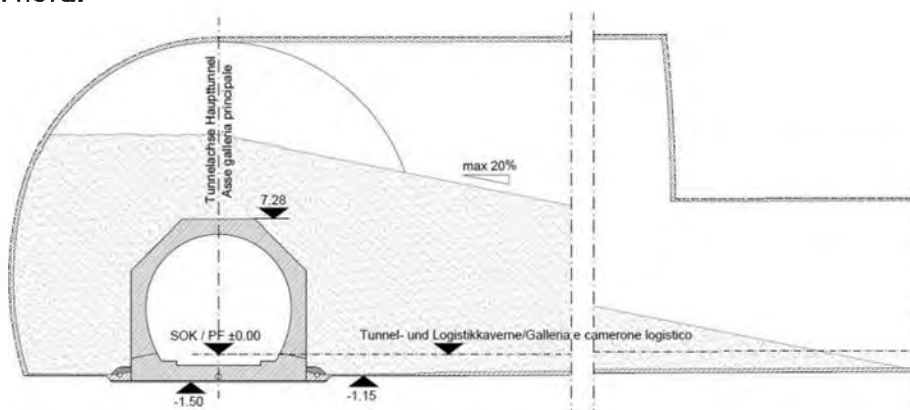
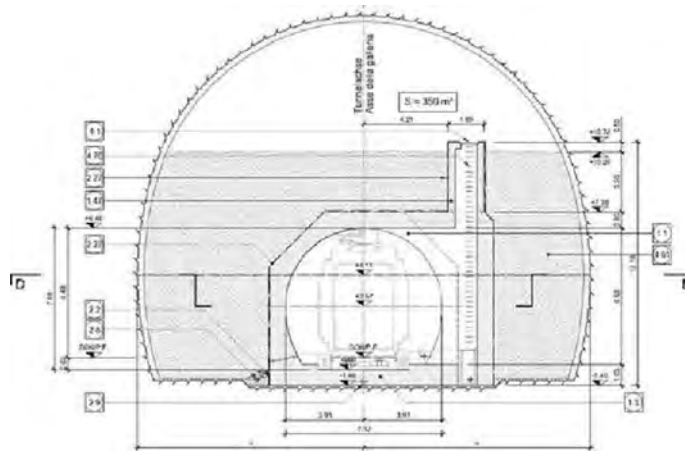


Figura 10 – Camerone di Montaggio TBM sud – Accessibilità in calotta mediante rampa dal Camerone Logistico di Mules



**Figura 11 – Camerone di Montaggio TBM nord – Accessibilità in calotta mediante ‘camino’**

## **8 Bibliografia**

- [1] M.Moja, E.M.Pizzarotti, 2016. *Tunnel di Base del Brennero: Protezione al fuoco dei rivestimenti*. Italian concrete days – Giornata Aicap e Congresso CTE, 27-28 ottobre 2016 (Roma)
- [2] F.Pesavento, B.A.Schrefler, 2014. *Valutazione dell’impatto da incendio nel Brenner Basis Tunnel*. CISM-Lab s.r.l., International Centre for Mechanical Sciences (Studio commissionato da BBT)

## **IL SOTTOATTRAVERSAMENTO DEL FIUME ISARCO: LA SFIDA IDROGEOLOGICA NEI TERRENI FLUVIO-GLACIALI NELLA VALLE ISARCO**

ANGELO LOMBARDI BBT SE, ULRICH BURGER BBT-SE, PAOLO PERELLO GDP cons.

### **Abstract**

Nell’ambito del progetto del Tunnel di Base del Brennero il lotto relativo al sottoattraversamento del Fiume Isarco nel settore di Fortezza rappresenta certamente una delle più importanti e peculiari sfide costruttive dell’intera opera. Gran parte delle opere in sotterraneo verrà realizzata nei depositi di fondovalle del fiume Isarco di origine fluvio-glaciale o da conoide detritico-alluvionale, qui costituiti da complesse alternanze di ghiaie e sabbie o sabbie limose, includenti livelli con cottoli di dimensioni decimetriche e frequenti blocchi di dimensioni fino all’ordine del metro o anche maggiori. A seguito di una prima fase di Progettazione Definitiva, terminata nel 2013, era stato previsto di realizzare le opere sotterranee spostando e parzializzando in più fasi il corso del fiume, per procedere poi allo scavo in sotterraneo con complesse operazioni di getto della soletta, che prevedevano tra l’altro l’impiego di lavorazioni da eseguirsi in immersione da parte di operatori subacquei. In fase di Progettazione Esecutiva, nel 2016 si è proceduto ad una revisione e semplificazione, prevedendo lo scavo a foro cieco con congelamento dei terreni. Dal momento che il progetto prevede consistenti operazioni di jet grouting e di congelamento dei terreni, la problematica idrogeologica ha costituito uno dei principali aspetti da tenere in conto per un corretto dimensionamento degli interventi.

### **1. Introduzione**

Il Tunnel di Base del Brennero rappresenta uno dei più estesi sistemi di gallerie ferroviarie d’Europa. La maggior parte dello sviluppo di tali gallerie avviene in roccia e sotto forti coperture. Tuttavia l’accesso al tunnel da sud, in territorio italiano, prevede anche lo scavo di un nodo complesso di gallerie da realizzarsi sotto basse coperture, in terreni sciolti e sottopassando un tipico corso d’acqua alpino: si tratta del cosiddetto sottoattraversamento del Fiume Isarco. Il nodo di gallerie prevede l’esecuzione delle due canne principali, che poi si raccorderanno al successivo lotto costruttivo in roccia verso nord e delle due gallerie di interconnessione alla linea storica in corrispondenza della stazione di Fortezza. La realizzazione delle gallerie, collocate nell’ambito di un tipico fondovalle alpino riempito da terreni fluviali e fluvio-glaciali, richiederà l’impiego di diverse tecniche di scavo per superare tratte con problematiche e caratteristiche differenti. Dal punto di vista tecnico la tratta più impegnativa sarà sicuramente costituita dal sottoattraversamento vero e proprio del fiume Isarco, che in realtà rappresenta una tratta piuttosto breve, dell’ordine dei 60m di lunghezza.

In tale breve tratta però, a distanza di poche decine di metri una dall'altra, dovranno essere scavate quattro gallerie con pochi metri di franco rispetto al fondo alveo del Fiume Isarco. Una prima fase di Progettazione Definitiva è terminata nel 2013 ed ha previsto, per la tratta di sottoattraversamento del fiume, di realizzare le opere sotterranee spostando e parzializzando in più fasi il corso d'acqua, procedendo poi allo scavo in artificiale con complesse operazioni di getto della soletta, che prevedevano tra l'altro l'impiego di lavorazioni da eseguirsi in immersione da parte di operatori subacquei. In fase di Progettazione Esecutiva, nel 2016, si è proceduto ad una revisione e semplificazione, prevedendo lo scavo a foro cieco con congelamento dei terreni. Il Modello idrogeologico è stato aggiornato nel corso del progetto. Le indagini ed esperienze fatte nelle diverse fasi vengono descritte in questo articolo.

## 2. Inquadramento morfologico, geologico ed idrogeologico

La zona di indagine è un'area di ca. 1 km<sup>2</sup> nel fondo-valle dell'Isarco, di seguito denominata anche Alta Valle Isarco, situata ca. 2 km a nord della stazione ferroviaria di Fortezza. Oltre al fondovalle, largo da 200 a 500 m, sono oggetto dell'indagine anche i due fianchi della valle. La valle studiata ha una configurazione piuttosto stretta ed è delimitata da entrambi i lati da versanti montani ripidi e ad andamento monotono. Dei sistemi di faglia che intersecano la zona sono testimonianza in prima linea le valli laterali molto strette. In corrispondenza della confluenza delle valli laterali maggiori, ossia della Val Vallaga e della Valle Rio Bianco, si sono formati dei conoidi alluvionali, situati l'uno di fronte all'altro, all'incirca in corrispondenza dello stesso tratto della valle principale. Questi conoidi alluvionali, entrambi coperti da bosco, presentano una pendenza di 20° - 30°. Il fondovalle, leggermente in pendenza, è delimitato dai versanti montani e dai conoidi alluvionali. La morfologia locale originaria è stata modificata dalla costruzione della rete di infrastrutture di traffico. In particolare il conoide alluvionale della Val Vallaga è stato fortemente modificato in corrispondenza della base dall'incisione diagonale, profonda ca. 15 m, della ferrovia del Brennero. Anche l'Isarco ha praticato una striscia di incisione in entrambi i conoidi alluvionali di ca. 30 m di larghezza e di 10 m di profondità massima.

La zona di indagine si trova, sotto il profilo geologico, nell'ambito alpino orientale e, sotto il profilo tettonico, a sud della linea Periadriatica. Nel periodo ercinico sul margine meridionale del basamento cristallino, costituito dalle filladi quarzifere di Bressanone, si è avuta l'intrusione e la formazione di un corpo di granodiorite, noto in letteratura con il nome di granito di Bressanone. Entrambi i versanti montani del tratto di valle tra Mezzaselva e Fortezza appartengono al suddetto massiccio di Bressanone. Le formazioni del massiccio intrusivo di Bressanone sono coperte da depositi quaternari. Essi consistono in un accumulo eterogeneo di materiali sabbiosi-ghiaiosi e di sedimenti di sabbie fini - limosi. Nel fondovalle predominano depositi alluvionali. Si tratta dei sedimenti depositi dall'Isarco e dai conoidi di deiezione formati dai fiumi affluenti.

L'idrogeologia locale è caratterizzata essenzialmente dai corpi idrici superficiali del fiume Isarco, del Rio Vallaga e del Rio Bianco. Nei depositi alluvionali del fondovalle e nei conoidi di deiezione situati a fianco di essi vi è una falda idrica sotterranea che, almeno a tratti, è in contatto idraulico con il fiume Isarco. L'andamento della falda idrica nel fondovalle varia tra ca. 4 m e 10 m sotto il piano campagna. Il potente acquifero costituisce un flusso che



accompagna il fiume Isarco ed ha, come direzione principale, la direzione di scorrimento del corso fluviale. L'orizzonte della falda idrica è delimitato ai lati ed alla base dal substrato roccioso del granito di Bressanone. Dai conoidi di deiezione del Rio Vallaga e del Rio Bianco vi è un apporto laterale di acqua di falda.

### 3. Indagini e modello idrogeologico in fase di Progetto definitivo – Fase I

Oltre alla raccolta e valutazione della documentazione esistente ed al rilevamento di dettaglio geologico e geomorfologico, è stato eseguito un primo programma d'indagini con sondaggi a carotaggio continuo e la costruzione di un primo pozzo (denominato PW) per la valutazione idrogeologica dell'acquifero in fondovalle.

Sono stati realizzati complessivamente 16 sondaggi di prospezione geologica-geotecnica con carotaggio continuo per la rilevazione delle condizioni geologiche locali. I fori sono poi stati utilizzati come piezometri di misura del livello della falda. Le profondità dei sondaggi variano da 21m a 81m.

Per la rilevazione dei livelli del fiume Isarco durante le misurazioni piezometriche sono state allestite tre stazioni provvisorie di misura del livello di falda.

Per una valutazione di massima della trasmissività nelle diverse zone dell'area di indagine, nei piezometri sono state effettuate delle prove di pompaggio brevi, della durata da 2 a 4 ore.

Nella seguente tabella sono riportati in forma riassuntiva i risultati di questo primo calcolo.

<b>Codice Piezometro</b>	<b>Trasmissività [m<sup>2</sup>/s]</b>	<b>Spessore acquifero [m]</b>	<b>Permeabilità [m/s]</b>
MW1	1,27 * 10 <sup>-2</sup>	80	1,58 * 10 <sup>-4</sup>
MW4	1,42 * 10 <sup>-2</sup>	30	4,73 * 10 <sup>-4</sup>
MW6	2,12 * 10 <sup>-2</sup>	100	2,12 * 10 <sup>-4</sup>
MW8	4,92 * 10 <sup>-3</sup>	60	8,21 * 10 <sup>-5</sup>
MW9	2,17 * 10 <sup>-2</sup>	80	2,72 * 10 <sup>-4</sup>
MW12	2,83 * 10 <sup>-2</sup>	60	4,72 * 10 <sup>-4</sup>
MW13	1,06 * 10 <sup>-2</sup>	80	1,32 * 10 <sup>-4</sup>

Tabella 1: Risultati delle prove di pompaggio nei piezometri

Per caratterizzare il comportamento dell'acquifero all'emungimento della falda, è stata eseguita una prova di pompaggio di lunga durata nel pozzo PW.

Questa prova di emungimento costituiva l'indagine più importante in fase di progettazione definitiva, poiché il progetto prevedeva che lo scavo in artificiale della tratta di sottopasso vero e proprio del fiume avvenisse in artificiale con forte abbassamento del livello di falda tramite campi pozzi. Pertanto la realizzabilità del progetto dipendeva integralmente dalla possibilità di ottenere abbassamenti del livello d'acqua con quantitativi di pompaggio gestibili e realizzabili.

Dal punto di vista geologico il campo di prova è ubicato sul fondovalle nella zona di transizione tra i sedimenti alluvionali e i sedimenti del conoide di deiezione del Rio Bianco. La successione dei sedimenti interessati consiste prevalentemente di sabbie e ghiaie con

pietre e blocchi con un diametro massimo di 0,8 m. All'interno di questi sedimenti si trovano lenti di sabbia e ghiaia con presenza di limo variabile da bassa a moderata.

Dal punto di vista idrogeologico la falda è sostanzialmente localizzata all'interno di un unico acquifero con superficie libera, fatte salve alcune possibili compartimentazioni locali dovute alla presenza di intercalazioni di materiali fini. In corrispondenza del pozzo la soggiacenza della falda è pari a circa 10m. Tenendo conto dei dati di misurazione del livello di falda disponibili inoltre emerge che al di sotto del Fiume Isarco la falda può essere localizzata da 0 a 3m di profondità, a seconda del punto di misurazione lungo l'asta.

La prova di pompaggio è stata condotta con una portata costante di 104 l/s per 14 giorni. Nel pozzo e nei seguenti piezometri è stato registrato il livello di falda con sistema automatico di registrazione dei dati ad intervalli di 5 minuti: GT1, MW7, MW8, MW9, MW10, MW11, MW13, MW14. Il risultato dell'abbassamento della falda nei vari punti di misurazione è rappresentato nel diagramma della figura 1.

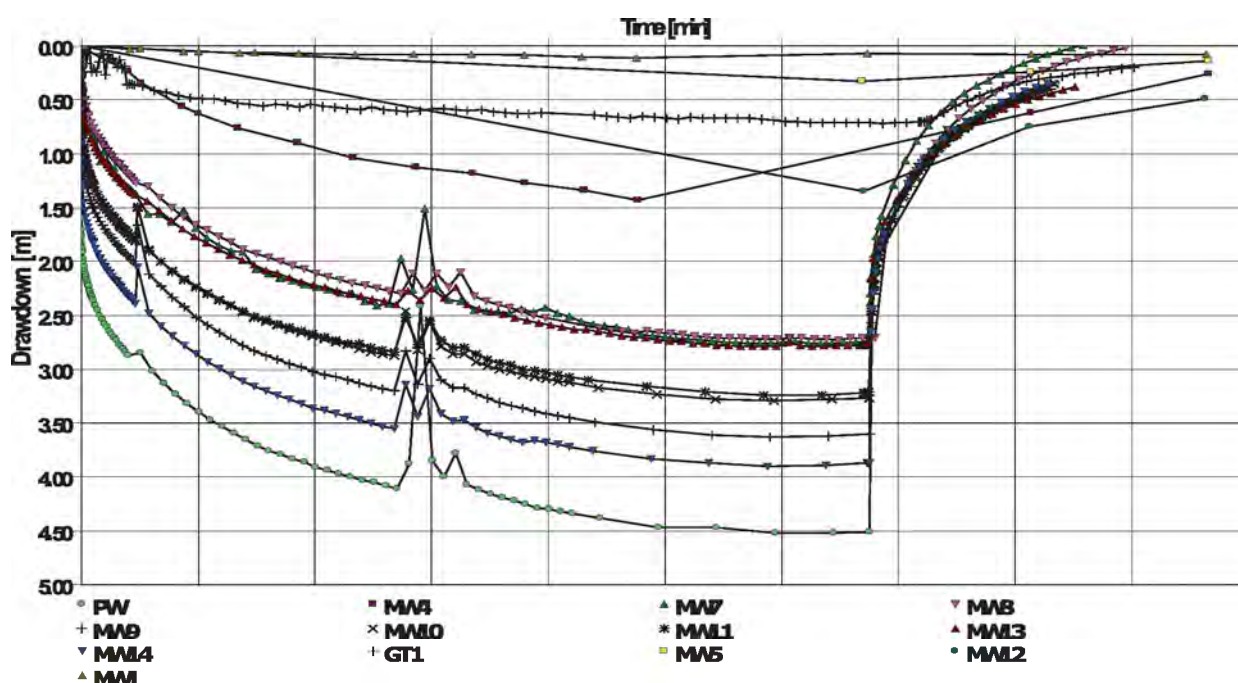


Figura 1: Abbassamento del livello di falda nei piezometri e nel pozzo PW, con pompaggio pari a  $Q = 104 \text{ l/s}$  per 14 giorni.

Dal grafico si evince quanto segue:

1. L'abbassamento massimo del livello di falda raggiunto è di circa 4,5 metri.
2. L'abbassamento nel pozzo di pompaggio è rimasto praticamente invariato nelle ultime 48 ore della prova. È stata quindi raggiunta in pratica la condizione di stabilità.
3. Nel piezometro MW1, che è situato circa 400 m a monte rispetto al pozzo di pompaggio, è stato rilevato un abbassamento di circa 10 cm.
4. Nel piezometro MW12, che è situato alla stessa distanza (400 m) ma a valle rispetto al pozzo di pompaggio, è stato rilevato un abbassamento di circa 1,35 m.

Da quanto rappresentato ai punti 3 e 4 possono essere già tratte le seguenti conclusioni: i valori di abbassamento non sono distribuiti in modo simmetrico attorno al pozzo di pompaggio. Il cono di abbassamento ha verosimilmente raggiunto il substrato cristallino poco permeabile che confina lateralmente l'acquifero poroso di fondovalle. In tal modo si è verificata una diminuzione generalizzata del livello della falda su tutta la sezione della valle, di entità maggiore verso il centro (ove è ubicato il pozzo) e minore verso i bordi.

L'analisi idrogeologica delle curve di abbassamento è stata effettuata nei piezometri della tabella 2:

Piezometro	Prof. [m]	L da PW [m]	T [m <sup>2</sup> /s]	Kf <sub>h</sub> [m/s]	Kf <sub>v</sub> [m/s]	Sy [m/s]
MW7	43	61.0	2.93E-2	2.93E-4	1.03E-4	3.30E-2
MW8	50	71.8	2.95E-2	2.95E-4	1.06E-4	5.80E-2
MW9	81	11.43	2.56E-2	2.56E-4	2.05E-4	7.00E-2
MW10	21	25.4	2.4E-2	2.4E-4	9.60E-5	7.80E-2
MW11	45	22.2	3.09E-2	3.09E-4	1.29E-4	5.07E-2
MW13	45	112.9	2.67E-2	2.67E-4	2.00E-5	2.10E-2
MW14	21	6.0	2.84E-2	2.84E-4	2.84E-4	7.01E-2

Tabella 2: Risultati dell'interpretazione della prova di pompaggio nei singoli piezometri

Sulla base delle conoscenze acquisite è stato elaborato un modello tridimensionale di flusso della falda nell'area d'indagine. Il modello della falda è stato calibrato sulla scorta di due misure piezometriche (novembre 2005 e febbraio 2006) e della prova di pompaggio di lunga durata effettuata. Con l'aiuto del modello di falda sono stati determinati i tempi di deflusso, gli effetti delle opere progettate sul deflusso della falda e le necessarie portate di pompaggio per diversi scenari di abbassamento della falda, previsti nel progetto definitivo.

Il raggio d'influenza dell'intervento di pompaggio nel tratto di valle indagato raggiunge rapidamente, anche con portate medie, i limiti laterali dell'acquifero di fondovalle costituiti dai bordi sepolti impermeabili in roccia. Al raggiungimento dei bordi laterali da parte del cono di influenza del pozzo si è verificato un aumento della velocità di abbassamento riconducibile ad uno svuotamento accelerato dell'acquifero di fondovalle. Nel tratto vallivo indagato, per i motivi sopra illustrati, è possibile ottenere, almeno dal punto di vista idrogeologico, abbassamenti della falda molto significativi. In base alla simulazione del modello di flusso, è possibile indurre nel tratto indagato un abbassamento della falda fino ad una quota di 2,5 m sotto la prevista quota di progetto del piano ferro. In caso di un intervento di abbassamento della falda nel tratto di valle indagato, il rapporto idraulico tra Isarco e falda assume una importanza decisiva.

#### 4. Indagini e modello idrogeologico in fase di Progetto definitivo – Fase II

Per una validazione ottimale del modello idrogeologico numerico e per un calcolo preciso dell'intervento di abbassamento della falda, prevista per la soluzione di progetto in galleria artificiale, è stato pertanto prevista l'esecuzione di un'ulteriore campagna d'indagine mediante l'esecuzione di una prova di emungimento di lunga durata e grande portata, con

realizzazione di una "barriera idraulica" costituita da più pozzi lungo il previsto tracciato della galleria.

Allo scopo, negli anni 2009 e 2010, BBT SE ha eseguito ulteriori indagini idrogeologiche integrative nella zona di progetto, realizzando ulteriori sondaggi per l'installazione di piezometri, perforazioni di pozzi d'acqua, misurazioni del livello d'acqua, prove di pompaggio, ecc., al fine di effettuare una validazione e un aggiornamento del modello numerico idrogeologico eseguito nella fase I.

Nella fase II sono stati eseguiti quindi 27 nuovi sondaggi per l'installazione di piezometri e 4 nuove perforazioni di pozzi d'acqua. Ad ottobre 2010 è stata eseguita una prova di pompaggio combinata con portata costante nei 4 nuovi pozzi FoBr01 - FoBr04 nonché nel pozzo esistente PW, rilevando le curve di abbassamento dei pozzi di estrazione e di tutti i piezometri situati nella zona di indagine (Prova Generale) e misurando i livelli dell'acqua di falda in 44 punti di misurazione, di cui 39 piezometri e 5 pozzi di estrazione.

Il regime di emungimento della falda è presentato nel diagramma della figura 2:

Prova di pompaggio generale del 11-10-2010+04-11-2010																			
PORTATA EMUNTA DAI POZZI [litri/s]																			
	domenica	lunedì	martedì	mercoledì	giovedì	venerdì	sabato	domenica	lunedì	martedì	mercoledì	giovedì	venerdì	sabato	domenica	lunedì	martedì	mercoledì	giovedì
Data	10/10/2010	11/10/2010	12/10/2010	13/10/2010	14/10/2010	15/10/2010	16/10/2010	17/10/2010	18/10/2010	19/10/2010	20/10/2010	21/10/2010	22/10/2010	23/10/2010	24/10/2010	25/10/2010	26/10/2010	27/10/2010	28/10/2010
Pozzo																			
Fo-Br01-09	0	26	27	30	30	30	30	30	30	30	30	30	32	32	32	32	0	0	0
Fo-Br02-09	0	90	88	87	87	87	87	85	85	85	85	85	85	85	85	85	0	0	0
Fo-Br03-09	0	111	111	111	111	111	111	111	111	110	110	109	108	107	107	107	0	0	0
Fo-Br04-09	0	0	0	0	121	118	116	116	115	115	115	115	114	114	114	115	0	0	0
Pozzo PW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	99	99	99	99	0	0	0

Figura 2: Periodi e portate di emungimento della prova di pompaggio "Prova Generale"

La portata massima con tutti e 5 i pozzi in pompaggio simultaneo è stata pari a ca. 440 l/s. La prova di pompaggio ha causato un forte abbassamento del livello di falda in gran parte dell'area d'indagine. L'abbassamento massimo, fino a 10 m, è stato raggiunto nella zona del triangolo formato dai pozzi FOBr03, FOBr04 e PW. Rispetto alla prova di pompaggio nel pozzo PW eseguita nel 2005, la prova ha determinato maggiori abbassamenti del livello di falda e soprattutto sono stati interessati anche i settori occidentali dell'area di indagine, tanto da ottenere anche nuove informazioni sulla situazione idrogeologica in questo settore.

A seguito della prova e dei monitoraggi idrogeologici ante-prova è stata aggiornata la simulazione numerica idrogeologica a suo tempo eseguita durante la fase I. Ciò ha permesso di trarre alcune conclusioni importanti; prima di descriverle è però necessario chiarire che in una prima fase di modellizzazione era stato assunto che il fiume Isarco e la falda non fossero in contatto idraulico. Le conclusioni sono le seguenti:

- il modello restituisce in modo soddisfacente il flusso di falda indisturbato evidenziato dai nuovi dati di monitoraggio raccolti a seguito della realizzazione delle indagini di fase II
- Nella simulazione della prova di pompaggio "Prova Generale", con una portata totale di quasi 450 l/s, il modello ha restituito valori di abbassamento di gran lunga più elevati in tutti i settori ad eccezione dell'area presso il campo sportivo.
- In generale, il modello sottostima la portata emunta durante la prova di pompaggio.
- Considerato però che il bilancio idrico del modello in condizioni indisturbate è realistico, è necessario assumere la presenza di un'ulteriore fonte di alimentazione della falda che si attiva solo quando è in corso una attività di pompaggio e solo in determinate aree del modello.
- Si è ipotizzato che tale ulteriore fonte di alimentazione è rappresentata dal Fiume Isarco; si può quindi facilmente comprendere che il fiume Isarco assume un ruolo straordinario.

A seguito di queste considerazioni si è dunque ritenuto opportuno eseguire una seconda modellizzazione, considerando il Fiume Isarco come limite alimentante. Al fine di rappresentare con risoluzione sufficiente nel modello l'andamento dell'Isarco, le cui caratteristiche morfologiche e idrauliche variano fortemente all'interno dell'area d'indagine, si è provveduto a suddividere ulteriormente il limite al contorno del fiume "Isarco" (vedi figura 3). La nuova simulazione ha fornito risultati compatibili con la prova di emungimento eseguita

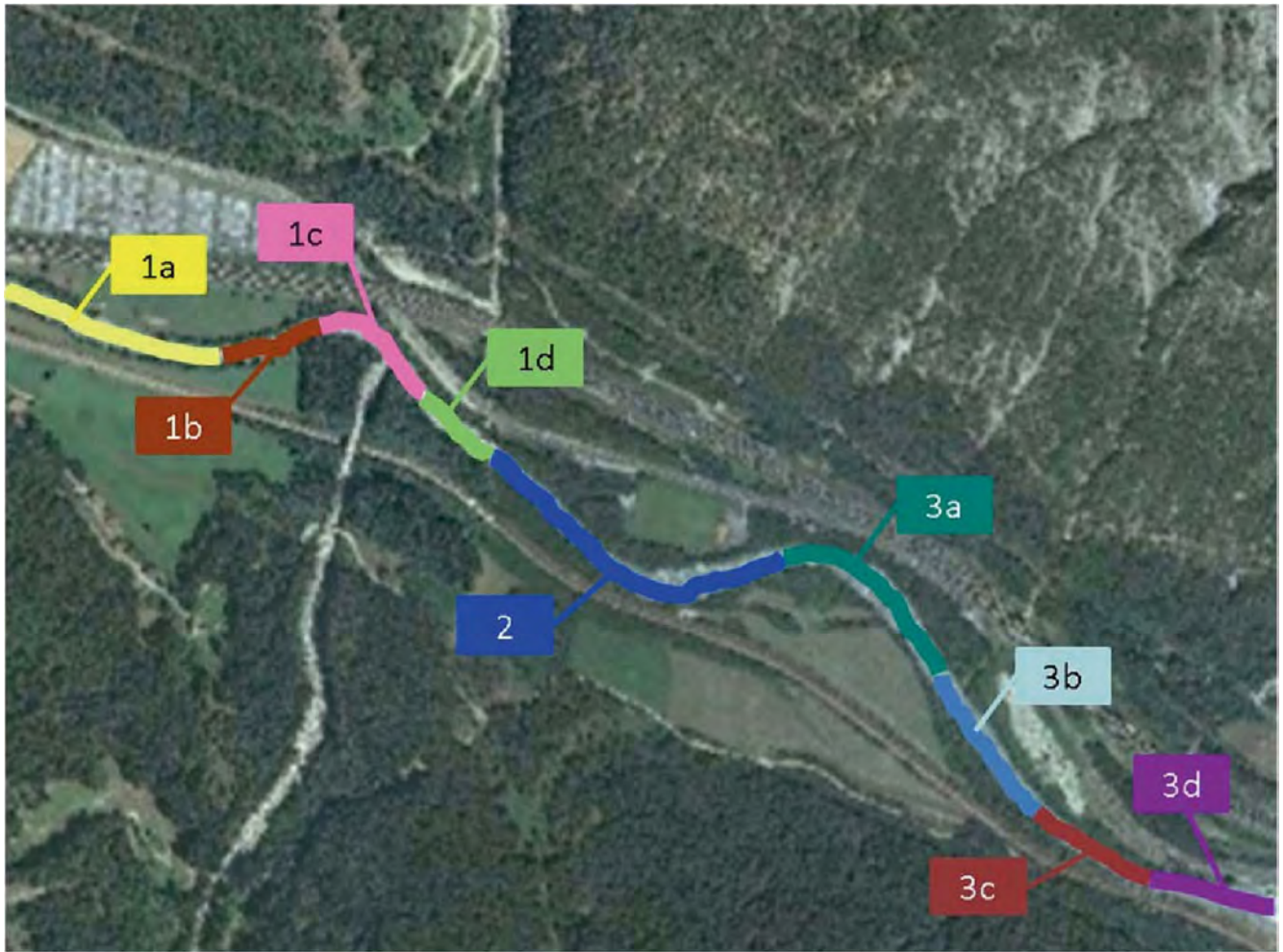


Figura 3: Suddivisione del fiume Isarco in vari settori con caratteristiche idrauliche diverse

A questo punto, disponendo di un modello calibrato sia in condizioni naturali, sia in condizioni perturbate (pompaggio), è stato possibile eseguire delle simulazioni per definire i diversi scenari di dewatering della futura area di cantiere da adottare per la progettazione delle opere.

In Figura 4 è rappresentato lo scenario di “dewatering 2” che prevede un abbassamento della falda da un quota assoluta di 763m ad una quota assoluta di 756m nella zona dell'intervento corrispondente ad un abbassamento minimo della falda di 7m. Per tale abbassamento nella zona di scavo il modello prevede altresì un abbassamento significativo nell'intera area al contorno, quindi anche in settori esterni a quello di scavo (vedi figura 4). Secondo i calcoli di diversi scenari è stata scelta una configurazione di pompaggio costituita da sette pozzi di estrazione con una portata complessiva di 490 l/s.

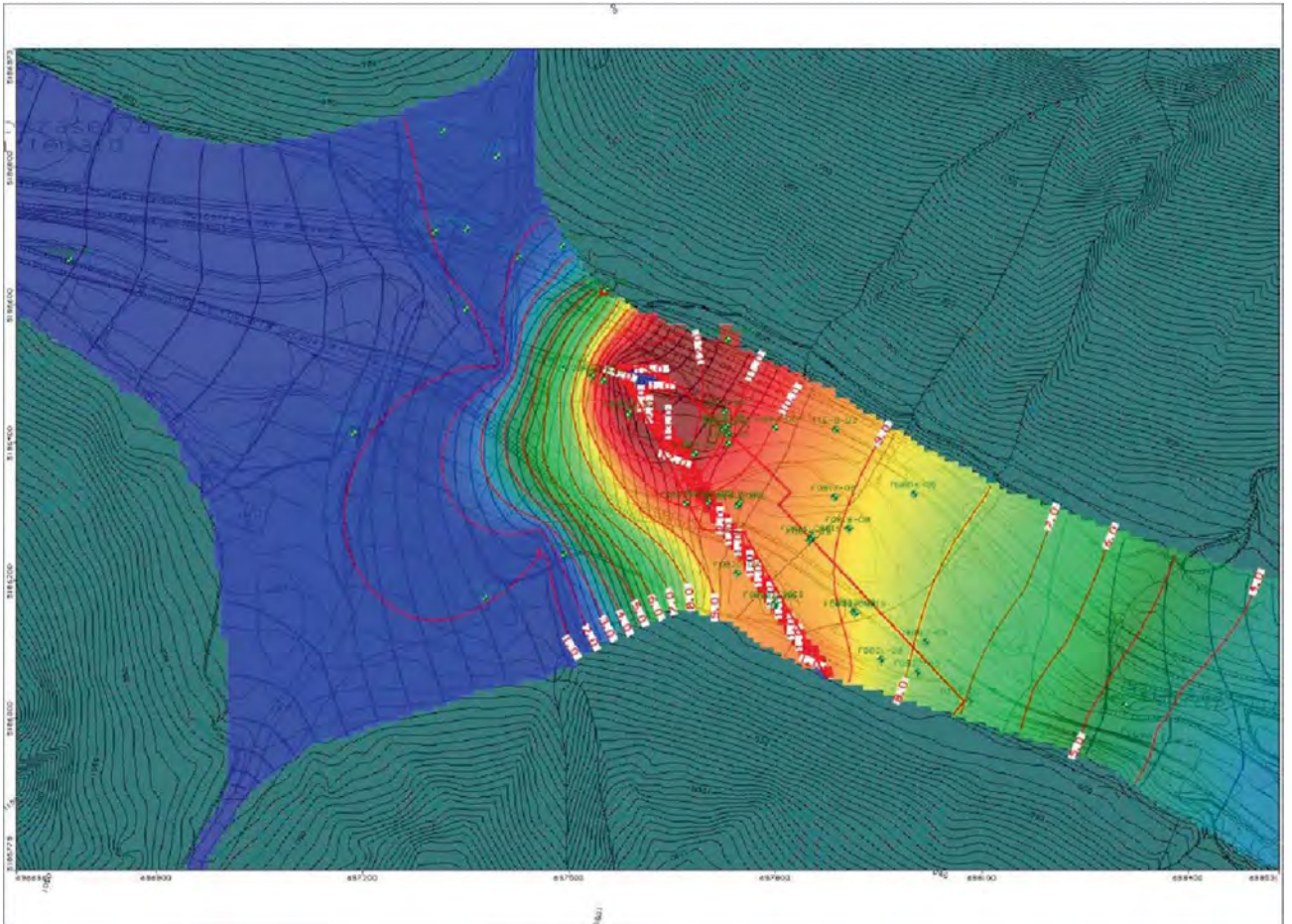


Figura 4: Planimetria ottenuta con simulazione numerica idrogeologica; nella planimetria sono riportate le isolinee degli abbassamenti per lo scenario di dewatering 2.

### 5. Progetto Definitivo

Sulla base del modello geologico, geotecnico ed idrogeologico è stato elaborato il progetto definitivo, che prevedeva la realizzazione delle gallerie abbassando la falda con una serie di pozzi e spostando e parzializzando in più fasi il corso del fiume. La figura 5 rappresenta le vari fasi di costruzione.

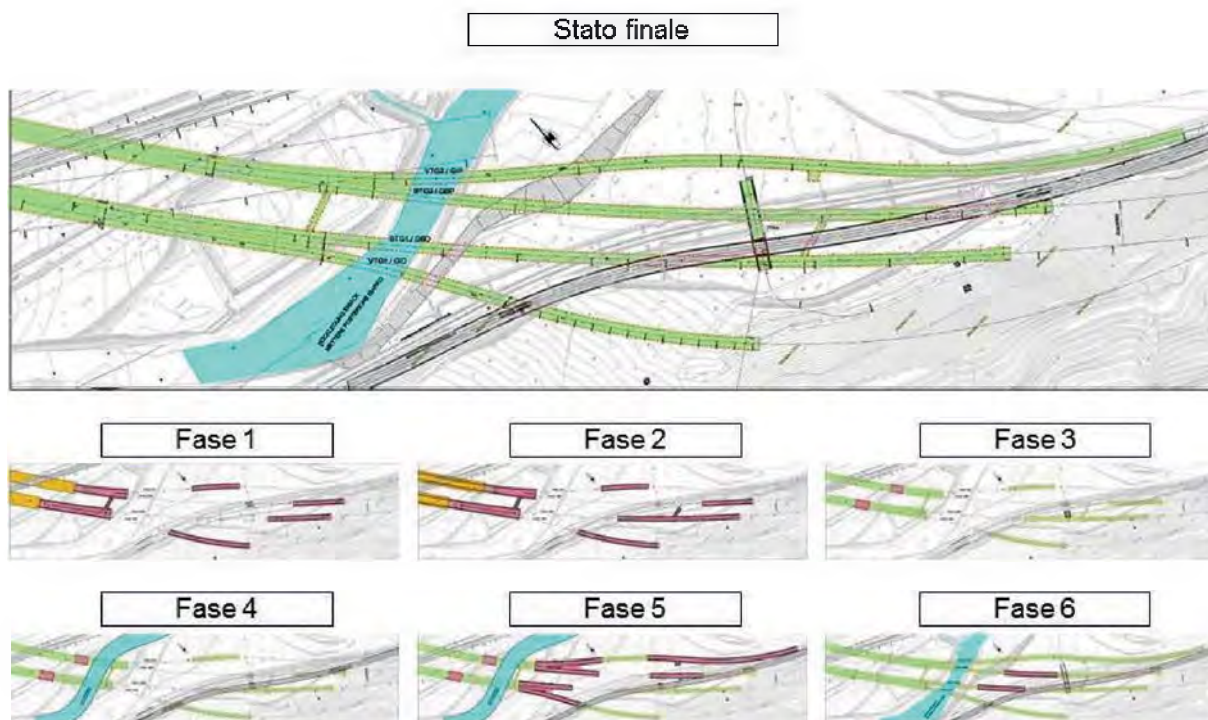


Figura 5: Progetto definitivo - Costruzione in vari fasi spostando l'Isarco

#### 6. Indagini e modello idrogeologico in fase di Progetto esecutivo

In fase di Progettazione Esecutiva, nel 2016, è stata sviluppata una diversa soluzione progettuale, finalizzata a semplificare la soluzione costruttiva e a ridurre l'impatto ambientale. Tale soluzione prevede essenzialmente lo scavo in galleria naturale del settore di fondovalle, preceduto da interventi di consolidamento dei terreni nei diversi settori, mediante jet-grouting, iniezioni e congelamento dei terreni ed eliminando essenzialmente l'abbassamento della falda e lo spostamento provvisorio del fiume, originariamente previsti. Dal momento che il progetto prevede consistenti operazioni di jet grouting e di congelamento dei terreni, la problematica idrogeologica ha costituito uno dei principali aspetti da tenere in conto per un corretto dimensionamento degli interventi.

Nella soluzione prevista dal Progetto definitivo assumeva importanza fondamentale la valutazione su grande scala (ettometrico-chilometrica) dei parametri idrogeologici, quali ad esempio la conducibilità idraulica, per cui era stata scelta ed effettuata un'indagine mediante una prova di pompaggio a scala regionale. Per contro nella soluzione di Progetto esecutivo, assumono maggiore importanza le caratteristiche locali (scala decametrica o al più ettometrica). Pertanto, le permeabilità dei terreni sono state determinate puntualmente con classiche prove tipo Lefranc, mentre le velocità di falda sono state determinate attraverso l'esecuzione di test di tracciamento con immissione nei fori di sondaggio di fluorescina sodica (vedi figura 6).

Le conducibilità idrauliche dei depositi alluvionali variano perlopiù tra  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-3}$  m/s, generando, anche in presenza di gradienti idraulici non particolarmente elevati, velocità di falda dell'ordine di alcuni metri al giorno.



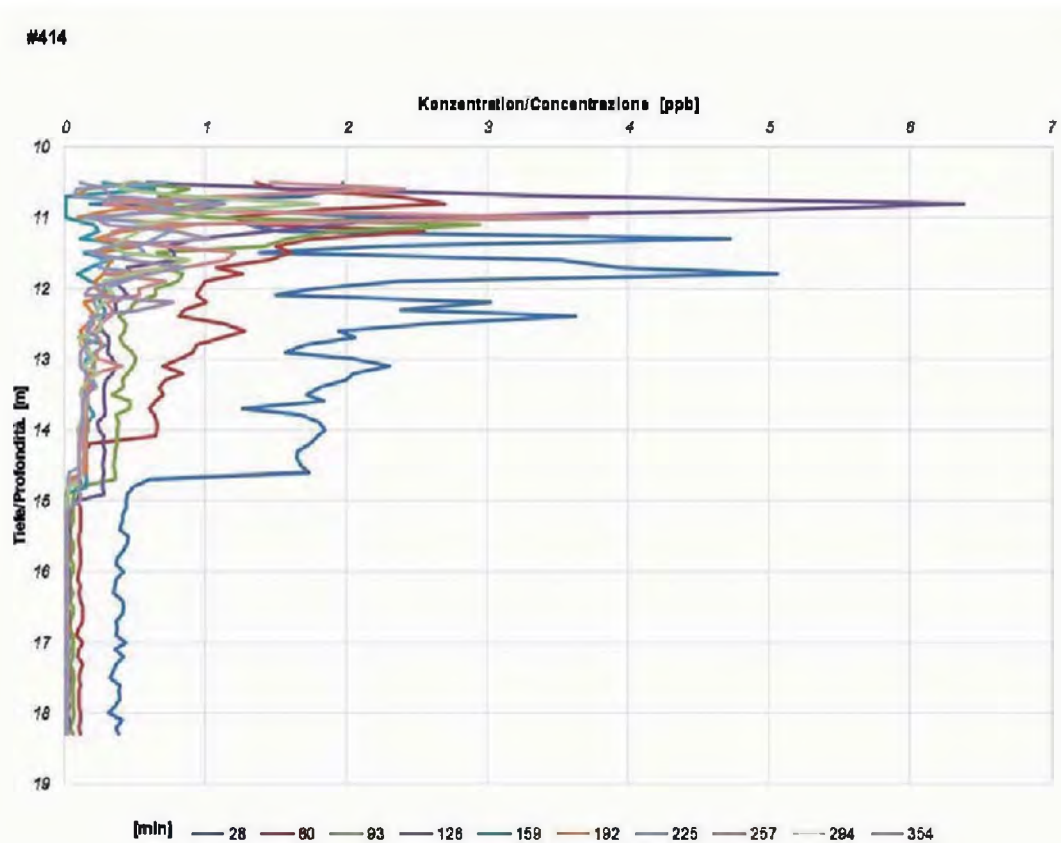


Figura 6: Risultanze dei test di tracciamento con immissione in fori di sondaggio mediante fluorescina sodica e misurazione della conducibilità elettrica in varie fasi (da 28min dopo inserimento tracciante a 354min)

Il progetto esecutivo prevede inoltre l'esecuzione di ulteriori sondaggi in fase di progettazione costruttiva, al fine di disporre di un maggiore dettaglio della situazione geologica del sottosuolo lungo il tracciato delle opere.

Alcuni di questi sondaggi sono già stati realizzati. Ciò ha consentito una migliore definizione delle facies litologiche e quindi, in definitiva, una migliore definizione degli strati con importanza idrogeologica permettendo di individuare con buona approssimazione i sedimenti alluvionali e i sedimenti di conoide.

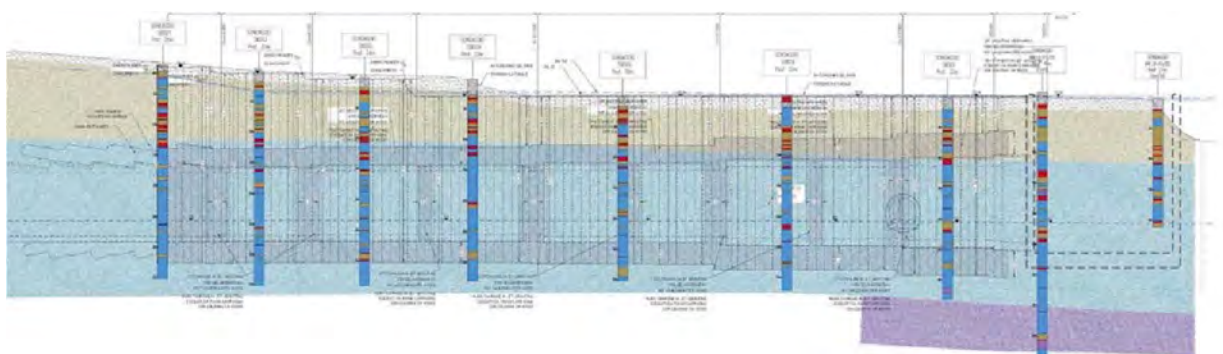


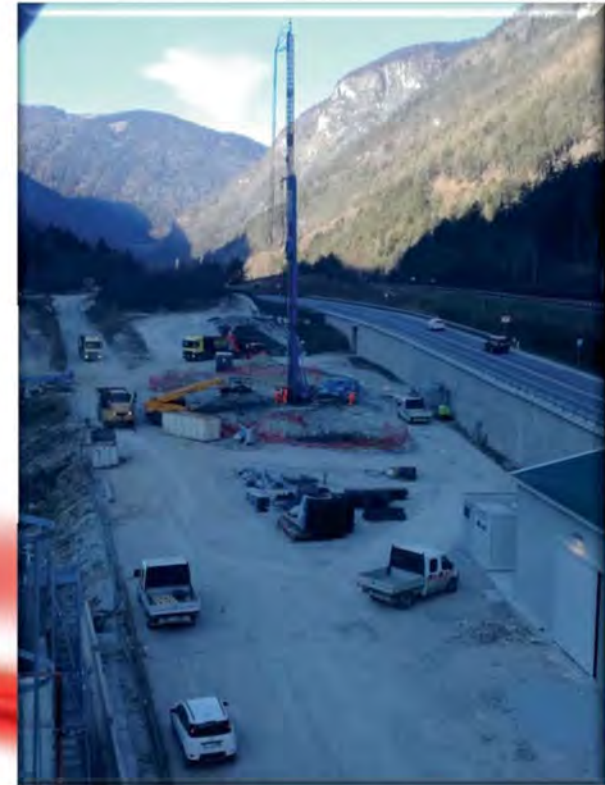
Figura 7: indagine di dettaglio lungo l'asse.



# Congelamento



# Jet-Grouting



# Gallerie





**IL SOTTOATTRAVERSAMENTO DELL'ISARCO IN GALLERIA NATURALE:  
UTILIZZO DELLA TECNICA MISTA DI INIEZIONE-CONGELAMENTO DEI TERRENI**

Alberto Palomba – Isarco S.c.a.r.l. Project Manager  
Giovanna Cassani – Rocksoil S.p.a. Direttore Tecnico  
Martino Gatti – Rocksoil S.p.a. Responsabile di Progetto

**Abstract**

Il tracciato del nuovo collegamento ferroviario del Brennero sottopassa il fiume Isarco in località Fortezza, dove avviene anche l'interscambio con la linea ferroviaria esistente attraverso gallerie di interconnessione. In corrispondenza dell'alveo del fiume, in presenza di ricoprimenti variabili tra 5 e 8 m, sono quindi da realizzare 4 gallerie sotterranee, con diametro di scavo di circa 10 m, due per i binari di linea e due per le interconnessioni. Con lo scopo di minimizzare l'impatto delle nuove opere sul fiume, si è proposto di realizzarle con scavi a foro cieco, a partire da pozzi realizzati sulle sponde del fiume, previa esecuzione di interventi di iniezione e congelamento al contorno del profilo di scavo. Verranno illustrate tali tecnologie di consolidamento dei terreni, anche alla luce di un primo campo prova realizzato per la messa a punto dei parametri operativi e delle specifiche tecniche.

**Abstract**

The high speed railway of the Brenner Basis Tunnel shall underpass the Isarco River, near Fortezza, with four 10 m diameter tunnels, two of them to interchange the existing line, with very shallow cover, ranging between 5 and 8 m under the river bed. To minimise the environmental impact of the works it is proposed to build them by conventional method. The excavation will start from shafts on the riverbanks, after ground improvement and soil freezing made all along the tunnels profiles. The methodology for the tunnels excavation is explained, describing the ground treatment technologies, taking into account a full-scale trial site prepared near the river in order to define the operational specifications.

## 1. Introduzione

Nell'ambito dei lavori di realizzazione del Nuovo Collegamento Ferroviario del Brennero si prevede il sottoattraversamento del fiume Isarco mediante 4 gallerie a singolo binario: due ospitano le gallerie principali, di binario pari e dispari, e due sono dedicate alle gallerie di interconnessione con la linea storica esistente. Le 4 gallerie, scavate a foro cieco a partire da pozzi posti lateralmente l'alveo del fiume, presentano lunghezze comprese tra 56 e 63 m. La tipologia delle opere, e le modalità realizzative, sono state scelte al fine di minimizzare l'impatto delle fasi realizzative con il fiume Isarco, non solo evitandone lo spostamento in fase transitoria, ma anche non alterando il suo normale flusso a tutela del contesto ambientale presente e dell'assetto ecomorfologico; sono infatti previste solo modeste parzializzazioni dell'alveo nel periodo di magra per consentire la realizzazione delle opere di protezione del fiume, quali la sistemazione degli argini e del fondo alveo con massi ciclopici. Nella Figura seguente si riporta uno stralcio planimetrico del sottoattraversamento, con indicazione dell'ubicazione dei pozzi di attacco ed il tracciato planimetrico delle gallerie.

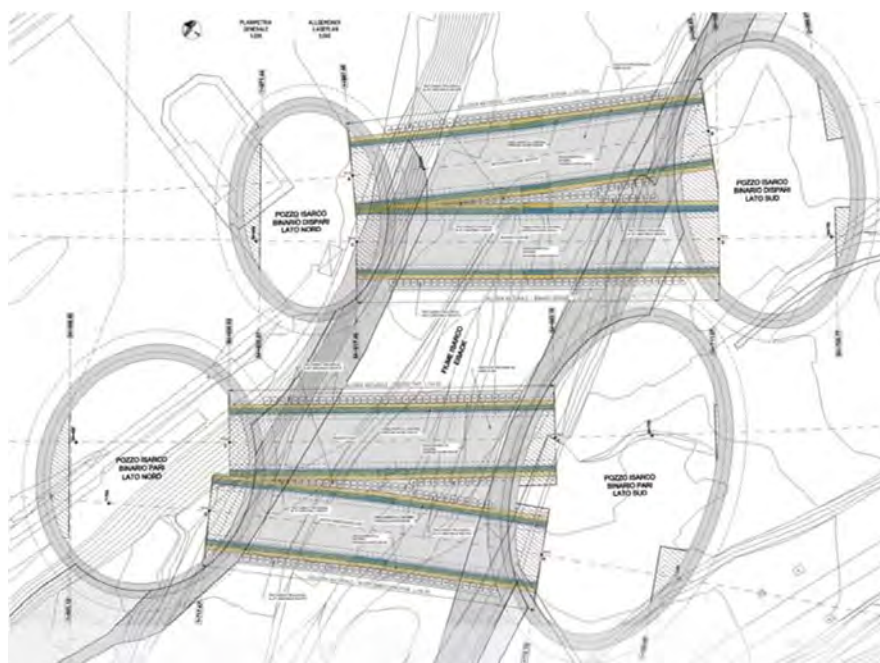


Fig. 1 – Schema planimetrico delle gallerie di sottoattraversamento del fiume Isarco

Considerati i modesti valori di ricoprimento rispetto al fondo alveo del fiume, variabili in calotta tra 5 e 8 m, ed il delicato contesto geotecnico ed idrogeologico, descritto nel successivo capitolo, si è ritenuto che lo scavo in sotterraneo potesse avvenire solo previa esecuzione di interventi di consolidamento dei terreni, sovrapponendo più tecnologie: nella fattispecie l'adozione di "iniezioni di miscela cementizie ed impermeabilizzanti" in abbinamento alla tecnologia del "congelamento". Quest'ultima appare infatti come la soluzione più sicura per garantire la tenuta idraulica del profilo di scavo; nel contempo la fascia di terreno congelato presenta prestazioni meccaniche tali da affidargli anche la statica della galleria nel breve termine, in associazione al rivestimento di prima fase. Data la presenza di un fiume a pochi metri dal terreno da congelare, la fase transitoria di attivazione del congelamento si presenta come la più critica a causa della velocità che l'acqua può

presentare nello spessore di subalveo; da qui la necessità di eseguire, in anticipo alla fase di congelamento, il trattamento di una fascia di terreno al contorno della galleria mediante iniezioni di miscele, atte a ridurre la permeabilità del terreno e con essa la velocità di circolazione della falda e dell'acqua di circolazione di subalvea.

## 2. Breve quadro geologico-geotecnico

Le opere di sottoattraversamento dell'Isarco ricadono nei depositi alluvionali del fondovalle, lasciati dal fiume, e nei conoidi di deiezione dei rii affluenti. Tali depositi sciolti, eterogenei sia per composizione che per granulometria, consistono in ghiaie e sabbie arrotondate, con frequenti trovanti e intramezzati da spessi strati di limo sabbioso. I fianchi della valle sono invece coperti da materiale di granulometria grossolana composti da detrito di versante, sedimenti alluvionali e materiale disgregato dagli agenti atmosferici. I frammenti di roccia più voluminosi, fino a 1 m, sono costituiti da granito. Ad eccezione dei livelli limosi, che costituiscono comunque una minoranza, i depositi sciolti hanno un comportamento granulare incoerente, con valori di angolo d'attrito compreso tra 30 e 40°. Nei depositi alluvionali del fondovalle e nei conoidi laterali è presente una falda idrica sotterranea. La soggiacenza della falda varia da circa 4 a 10 m sotto il piano di campagna, pochi metri in corrispondenza del fiume. Il potente acquifero costituisce un flusso che accompagna il fiume Isarco lungo la sua stessa direzione, pur rimanendo indipendente da esso.

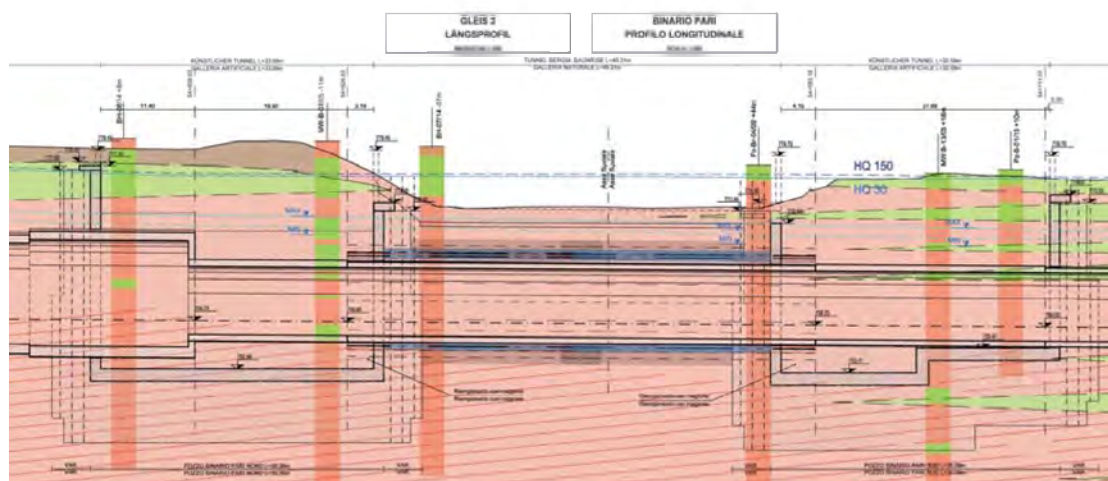


Fig. 2 – Profilo geologico-tecnico lungo le gallerie di sottoattraversamento

L'orizzonte della falda idrica è delimitato ai lati ed alla base dalla superficie della roccia del granito di Bressanone. Nell'ambito degli studi per la redazione del progetto sono stati condotti approfondimenti idrogeologici nel settore del fondovalle, in prossimità delle future gallerie, con l'obiettivo di valutare le caratteristiche dell'acquifero ed in particolare determinare i valori di permeabilità massima e di velocità della falda, che rivestono notevole importanza per la riuscita degli interventi di consolidamento. I depositi alluvionali presentano una conducibilità idraulica massima pari a  $1.9 \times 10^{-3}$  m/s, con una velocità massima della falda, stimata mediante prove con traccianti, pari a 14-16 m/g circa.

## 3. Descrizione dell'intervento

La realizzazione delle gallerie avverrà da pozzi, di forma ellittica, ubicati sulle sponde del fiume; si provvederà all'esecuzione degli interventi di consolidamento dai pozzi stessi con



lunghezze di perforazione di circa 35 m, al fine di garantire una sovrapposizione centrale degli interventi di almeno 4-5; successivamente lo scavo avverrà una galleria alla volta, eseguendo da subito il rivestimento definitivo, in calcestruzzo armato.

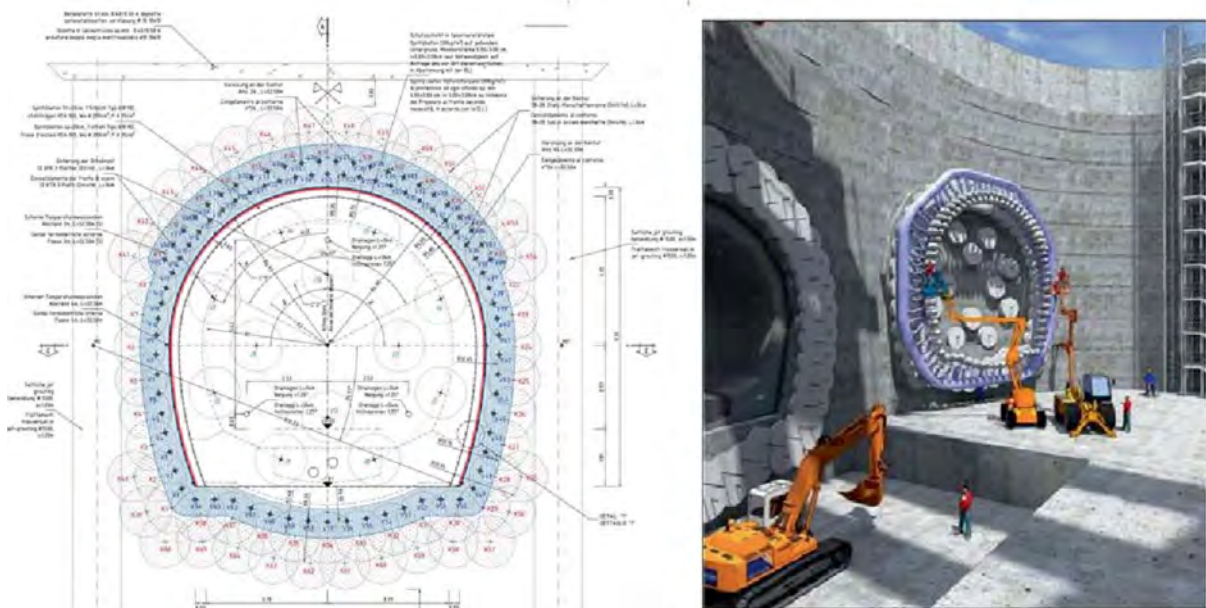


Fig. 3 – Sezione con interventi di consolidamento e schema prospettico

In Figura 3 si riporta una sezione trasversale rappresentativa degli interventi proposti; nel dettaglio si prevede l'esecuzione di:

- 66 perforazioni per la realizzazione di interventi di consolidamento mediante iniezione di miscela cementizie ed integrative impermeabilizzanti, eseguite da tubi di diametro 2" attrezzati con valvole, in ragione di 3 vlv/ml, per iniezioni selettive ripetute ("tube a manchette"). Le perforazioni sono disposte su due circonferenze al contorno del cavo, a passo di circa 1.00 m; l'interasse tra le due raggiere è di circa 0.80 m, così da creare una fascia trattata dello spessore di circa 2.0-2.5 m oltre il profilo del futuro scavo.
- 88 perforazioni per la posa di sonde congelatrici, poste all'interno di tubi in acciaio diametro 114 mm/spessore 10 mm, disposti al contorno del cavo ad interasse di circa 50 cm. In corrispondenza della calotta, per circa 120 gradi, i tubi sono posati su due file, la più esterna, con interasse di circa 56 cm, è posta a distanza di 40 cm da quella interna.
- Perforazioni per la posa di sonde termometriche per il controllo dell'efficacia del congelamento, disposte attraverso lo spessore congelato ed in estradosso allo stesso, specie in corrispondenza della calotta, nel settore più prossimo al fiume.
- 12 perforazioni al fonte di scavo, attrezzate con elementi strutturali in VTR a tre piatti, e tubo in PVC 2 vlv/ml per la realizzazione di consolidamenti in corrispondenza del nucleo-fronte.

Per tutte le perforazioni sarà eseguito il controllo topografico delle deviazioni, così da ricostruire un modello tridimensionale a garanzia della buona riuscita dei trattamenti; in presenza di scostamenti geometrici significativi sarà infatti necessario procedere all'integrazione delle perforazioni, al fine di rispettare la continuità del trattamento. Le tecnologie da impiegarsi per la realizzazione dell'intervento sono state messe a punto nell'ambito di uno specifico "campo prova", eseguito nel periodo giugno-settembre 2015, che ha permesso di dettagliare i parametri operativi di intervento e sperimentare l'efficacia

dei trattamenti predisponendo le specifiche tecniche dei requisiti richiesti. Il campo prova, realizzato in adiacenza al fiume Isarco poco più a valle rispetto alla posizione del sottoattraversamento, ha previsto la realizzazione di un pozzo, a pianta rettangolare di dimensioni 12.70 m per 8.00 m, successivamente impiegato quale fondazione della spalla del ponte di attraversamento del fiume, parte della viabilità di Cantiere. Il pozzo è stato realizzato mediante trattamenti colonnari in jet-grouting, a costituire le paratie perimetrali di sostegno degli scavi ed il tappo di fondo, consentendo tra l'altro la messa a punto dei parametri operativi della tecnologia del jet-grouting "bifluido", con diametri resi nel range 1500-2000 mm, impiegata in altre parti del Progetto. Successivamente, dall'interno del pozzo, sono state eseguite perforazioni sub-orizzontali per l'esecuzione in prima fase di iniezioni di miscele cementizie e impermeabilizzanti ed in seconda fase degli interventi di congelamento, realizzando "in piccola scala" un cilindro consolidato a simulare i futuri trattamenti per la realizzazione delle gallerie. In Figura 4 si riportano alcune immagini del campo prova.

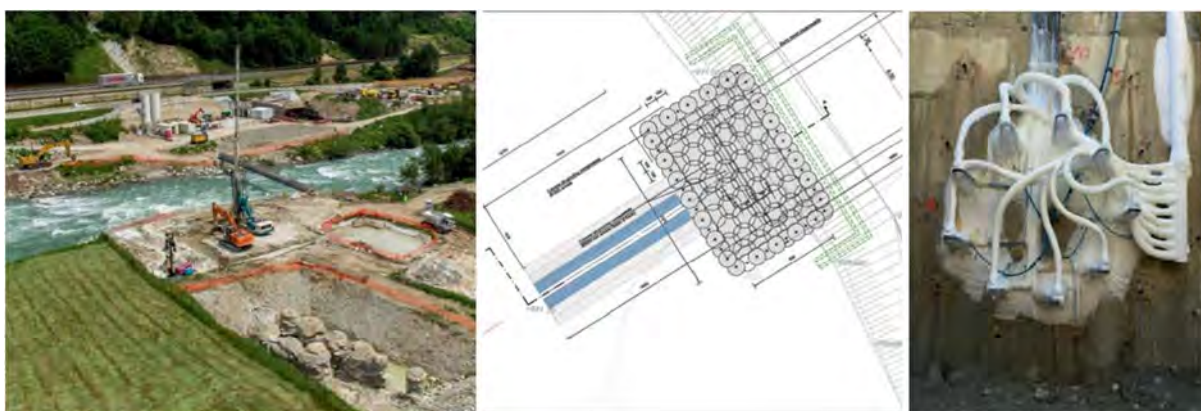


Fig. 4 – Campo prova per la messa a punto delle tecnologie – Ubicazione e schema planimetrico

Un aspetto progettuale rilevante riguarda anche l'interferenza, nel lungo termine, tra le nuove opere in costruzione ed il fiume; vi è infatti da escludere la possibilità che azioni di scalzamento del fiume possano nel tempo minare la durabilità e l'efficienza delle opere. Di concerto con gli Uffici preposti della Provincia, si è quindi prevista una sistemazione del fondo alveo mediante disposizione di massi ciclopici legati con intasamento di calcestruzzo fluido, a formare una superficie irregolare, di pezzatura idonea a contrastare efficacemente l'azione idrodinamica della corrente ed a stabilizzare il fondo alveo; si è previsto inoltre la realizzazione di soglie a monte ed a valle dell'intervento così da regolare efficacemente la corrente. Nell'ambito delle attività di sistemazione del fiume, si è reso possibile anche prevedere alcuni trattamenti verticali in jet-grouting a confinare opportunamente le porzioni di sottoterraneo successivamente coinvolte nella realizzazione delle gallerie.

#### 4. Tecnologie di consolidamento

Le modalità di esecuzione degli interventi di consolidamento rivestono una notevole importanza nel successo di scavi in sottoterraneo come quelli in esame; per questo motivo le specifiche di esecuzione dei trattamenti, derivate da esperienze pregresse degli Autori e da dati di letteratura, sono state verificate e tarate sul posto al fine di tenere conto delle caratteristiche peculiari dei terreni da trattare e del contesto idrogeologico locale. Nel seguito si descrivono le prescrizioni di progetto, così come derivate anche dalle esperienze

raccolte nel campo prova, eseguito dalla Consortile Isarco Scarl (Salini-Impregilo mandataria, Strabag, Collini e Integra) e con l'assistenza del gruppo di Progettazione e Direzione Lavori.

#### 4.1 Perforazioni

La fase di perforazione per l'installazione della strumentazione per l'esecuzione dei consolidamenti ha rappresentato, durante il campo prova, un aspetto tecnico piuttosto complesso, a causa della presenza della falda e della granulometria molto eterogenea del terreno, che comprende anche l'abbondante presenza di grossi blocchi e trovanti. Durante il campo prova sono state quindi testate alcune tipologie di perforazioni con l'impiego di differenti utensili, al fine di trovare la soluzione migliore che garantisca la fattibilità dei fori in tempi ragionevoli ed il migliore controllo delle deviazioni rispetto alla traccia teorica di progetto. Sono state quindi definite due tipologie differenti: per il congelamento le perforazioni saranno eseguite utilizzando dei tubi metallici di diametro 114 mm che saranno direttamente lasciati nel terreno per ospitare le sonde congelatrici; per le iniezioni le perforazioni saranno eseguite con il sistema tipo "simmetrix", che consente di perforare contemporaneamente con il rivestimento costituito da un tubo metallico di diametro 140mm. Terminata la perforazione verrà recuperata la testa perforante e la batteria di aste, inserito il tubo per l'iniezione che, a differenza di quanto utilizzato solitamente sarà in acciaio per facilitarne l'inserimento anche in presenza di venute d'acqua o materiale dal foro, ed infine verrà recuperato il rivestimento esterno contemporaneamente alla realizzazione dell'iniezione di guaina del tubo valvolato. Le perforazioni, da eseguirsi sottofalda, prevedono l'uso del "preventer", così da evitare il drenaggio dell'acqua ed il trascinamento di materiale fine. Durante il campo prova sono state registrate deviazioni talora sensibili delle perforazioni, nel range dell'1.0-1.5%, dovute principalmente all'eterogeneità granulometrica del terreno ed alla presenza di grossi ciottoli e trovanti. Si è anche sperimentato l'impiego della tecnologia HDD, con diverse tipologie di utensili direzionali, senza successo. Si ritiene che le deviazioni saranno in parte mitigate in corso d'opera, rispetto al campo prova, considerando le maggiori masse delle sonde impiegate ed alcuni apprestamenti in partenza, sulle testate dei pozzi; sono state comunque individuate deviazioni ammissibili massime per gli interventi di iniezioni pari al 2% ed interasse massimi ammissibili pari a 90 cm per le perforazioni dedicate al congelamento. Per tutte le perforazioni dovrà essere misurato l'effettivo andamento plano-altimetrico mediante misurazioni di precisione topografica con sistemi del tipo "Maxibor". In questo modo sarà possibile individuare i fori che hanno subito deviazioni eccessive ed intervenire con eventuali perforazioni integrative.

#### 4.2 Iniezione di miscele cementizie ed impermeabilizzanti

Per l'esecuzione dei consolidamenti mediante iniezione di miscele si è previsto nell'ambito del campo prova cementi tipo 425, con rapporto A/C pari a 1.0 per la miscela di guaina, e con rapporto A/C pari a 1.2-1.4 per la miscela di iniezione; in quest'ultimo caso la resistenza della miscela a 48 ore risultava maggiore di 3 MPa. Quale miscela impermeabilizzante si è impiegata la miscela tipo Litosil, miscelando componenti a base di silicati. I mix-design delle miscele testate sono stati poi riportati in progetto. Le iniezioni sono state condotte in due passate a seguito dell'iniezione di guaina: la prima con miscele cementizie e la seconda con miscele impermeabilizzanti. Si sono adottate pressioni nel range 15-25 bar (spunti di aperture delle valvole anche superiori a 30 bar) considerando una pressione residua (di

interruzione dell'iniezione) di 5 bar. Qualora la pressione residua non sia stata raggiunta l'iniezione è stata sospesa a volumi controllati pari a 120 lt/vlv per la passata con miscele cementizie e 80 lt/vlv per la passata con miscele impermeabilizzanti. Le portate sono state regolate nel range 5-10 lt/min. A consuntivo del campo prova si sono riscontrati volumi iniettati mediamente pari a 86.5 l/vlv di miscele cementizie (prima passata) e 72.2 l/vlv di miscele impermeabilizzanti (seconda passata); si segnala però la presenza di un numero non trascurabile di valvole che non si sono aperte, probabilmente per la presenza di trovanti, che ha abbassato sensibilmente il calcolo della media dei volumi iniettati. Una volta terminato l'intervento di iniezione di miscele, prima di procedere all'intervento di congelamento, si sono eseguite alcune prove di permeabilità, di tipo Lafranc, nei terreni trattati, al fine di riscontrare la riduzione di permeabilità auspicata per il controllo delle velocità di falda. Le prove sono state condotte da perforazioni eseguite dalla superficie, secondo lo schema di Figura 5 che rappresenta una vista dello schema del campo prova. In Figura 5 sono anche riportati i risultati delle prove, che mostrano come i terreni trattati abbiano fornito permeabilità inferiori di oltre due ordini di grandezza a quelli del terreno naturale misurate con le prove con traccianti, che risultavano compresi tra  $1.54 \times 10^{-3}$  e  $2.14 \times 10^{-3}$  m/s, a testimonianza del buon esito del trattamento.

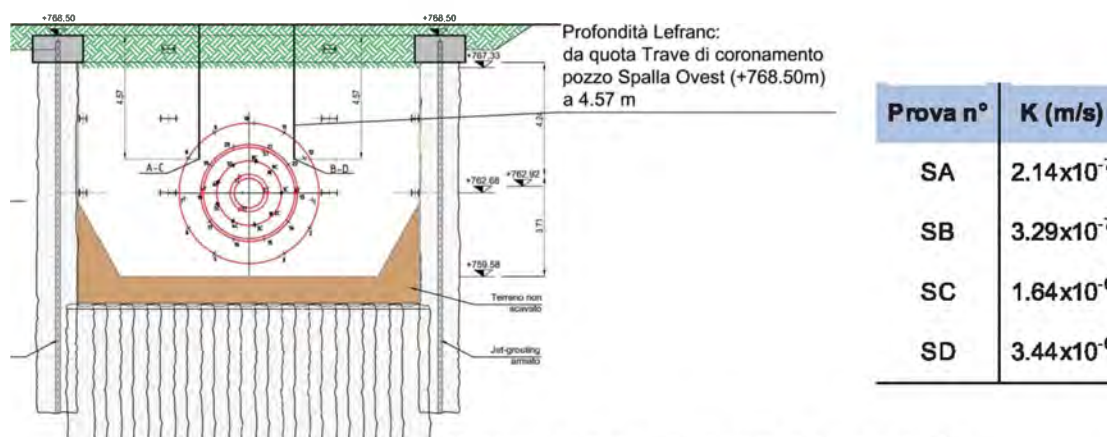


Fig. 5 – Campo prova – Ubicazione e risultati prove di permeabilità

Al termine del consolidamento è stato anche realizzato un foro spia centrale con diametro di perforazione 140 mm, e lunghezza pari a 12.00 m; è stato attrezzato con tubo in PVC microfessurato  $D = 2''$ . Si osserva che durante le prime perforazioni di prova nel terreno vergine erano state misurate venute dal foro con portate comprese tra 2100 e 2400 l/min (35 e 40 l/sec). Terminato il consolidamento dal foro spia, anche dopo lo spurgo eseguito con acqua in pressione, è stata invece misurata una portata di 1.0 l/min circa. Le specifiche tecniche determinate nel campo prova sono state quindi adottate come parametri di progetto.

#### 4.3 Intervento di congelamento

La tecnologia del congelamento prevede dapprima l'estrazione progressiva di calore dal terreno finché la sua temperatura risulti al di sotto del punto di congelamento dell'acqua di falda (fase di congelamento) e, successivamente, il mantenimento della temperatura raggiunta dosando opportunamente il flusso di calore estratto, fino a che le operazioni di scavo e costruzione della struttura definitiva siano completate (fase di mantenimento). Lo

scopo viene raggiunto mediante l'impiego di sonde, al cui interno viene fatto circolare in prima istanza "azoto liquido" in un circuito aperto (con temperature tra -100°C e -60°C) e successivamente, per la fase di mantenimento, "salamoia" in un circuito chiuso. In progetto si è definito "congelato" il terreno che raggiunge una temperatura minore o uguale di -10 °C; si è previsto un guscio congelato a tale temperatura pari a 1.00 m, con resistenza a compressione superiore a 5 MPa. Attraverso la distribuzione dei sensori delle sonde termometriche è possibile ricostruire una "mappatura" delle temperature nel terreno soggetto all'intervento e determinare correttamente lo spessore del guscio congelato; allo scopo, per ciascun sensore, in funzione della sua posizione, che tiene conto anche delle eventuali deviazioni, è possibile definire una temperatura "target", raggiunta la quale l'intervento di congelamento può dirsi raggiunto. Le temperature target possono essere individuate, a partire dal dato di progetto (-10°C a distanza di 0.50 m dall'asse della sonda congelatrice) mediante un andamento logaritmico, come mostrato nel grafico di Figura 6 (a); la curva che definisce la diminuzione della temperatura "T" all'interno del terreno in funzione della distanza "x" dalla sonda congelatrice è:  $T = A+B \cdot \ln(x)$ , dove A e B sono facilmente valutabili imponendo le condizioni al contorno di progetto.

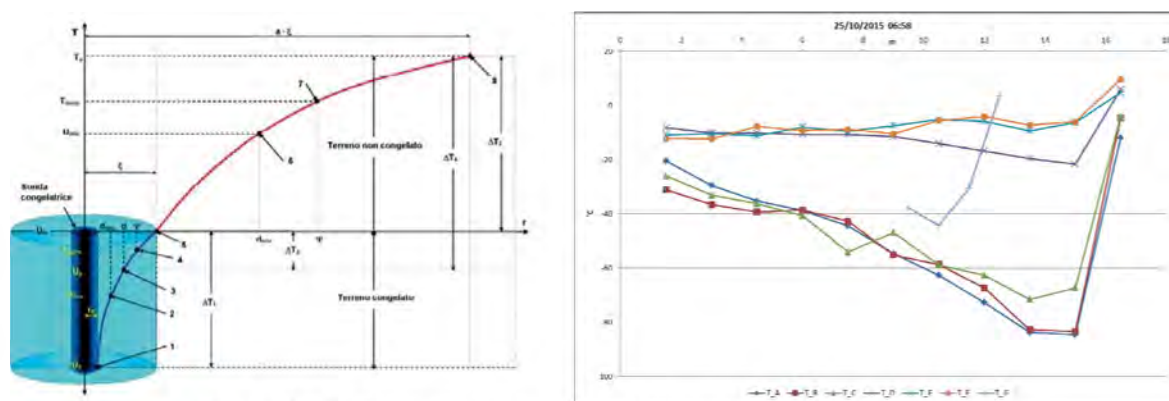


Fig. 6 – (a) Andamento teorico della temperatura nel terreno; (b)

Le attività svolte nell'ambito del campo prova hanno permesso di verificare l'efficacia del trattamento di congelamento, valutando i consumi di azoto ed una stima preliminare dei kW necessari per il mantenimento a salamoia. Al termine della fase di congelamento si sono riscontrate temperature mediamente nel range -15÷-25 °C (talora anche fino a -40-50 °C), osservando le minori temperature a fondo foro, dove si sono riscontrate temperature localmente anche fino a -80°C, secondo il noto comportamento ad "effetto pera". L'andamento tipico delle temperature lungo una sonda termometrica è riportato in Figura 6 (b) (a destra fondo foro). La registrazione giornaliera dei consumi di azoto ha consentito di ricavare, a congelamento raggiunto, dopo circa 4 gg, un consumo specifico di circa 1800 litri di azoto per ogni metro cubo di terreno trattato, con potenze di mantenimento, nei giorni successivi, dell'ordine dei 200 W/m<sup>3</sup>.

## 5. Fasi esecutive e dettagli tecnici

Per la realizzazione delle opere si prevedono le seguenti fasi esecutive:

1. Esecuzione dell'intervento di consolidamento al contorno del cavo, a partire dai due pozzi: si prevede l'esecuzione di perforazioni rivestite, con impiego del preventer per limitare le fuoriuscite di acqua, l'inserimento del tubo di iniezione in acciaio valvolato

del diametro 2", attrezzato con 3 vlv/ml, e l'esecuzione dell'iniezione di guaina con miscele cementizie contemporaneamente all'estrazione del rivestimento in acciaio del foro di perforazione. Si procede quindi all'iniezioni di miscele cementizie ed integrative impermeabilizzanti, a "volumi e pressioni controllati" in più passate.

2. Esecuzione di prove di permeabilità all'interno della fascia di terreno consolidato per verificare la buona riuscita del trattamento, ovvero il raggiungimento dei valori di permeabilità ridotte; nel caso di risultati non soddisfacenti, si dovranno riprendere le iniezioni o eseguire interventi integrativi.
3. Esecuzione dell'intervento di consolidamento al fronte, sempre a partire dai due pozzi adiacenti la galleria, secondo le modalità già indicate per la fase 1.
4. Esecuzione dell'intervento di congelamento: si prevede l'esecuzione di perforazioni, sempre con preventer, e la posa in opera di tubi in acciaio diametro 114 mm, spessore 10 mm. All'interno dei tubi in acciaio si posano le sonde congelatrici costituite da due tubi coassiali (quello esterno di diametro 76 mm (3") in acciaio AISI inox austenitico spessore 5.6 mm, quello interno di diametro 1" in rame con spessore 1.5 mm) ponendo in opera le predisposizioni per il passaggio di salamoia e azoto. In alcune perforazioni si prevede la posa di sonde termometriche. Si attiva quindi l'impianto di congelamento per l'esecuzione del trattamento, sotto il controllo dei dati derivati dalle sonde termometriche. La fase di congelamento avviene mediante azoto, per poi procedere al mantenimento, durante le fasi di scavo e rivestimento, con salamoia.
5. Al termine degli interventi di iniezione e di congelamento si opereranno i controlli preventivi all'esecuzione dello scavo: a) l'esame della documentazione di monitoraggio dei dati termometrici e b) l'esecuzione di alcuni drenaggi all'interno del nucleo della galleria per evacuare l'acqua intrappolata e per verificare l'efficacia dell'intervento di congelamento. Tenuto conto che si è operato l'intervento di congelamento al contorno del profilo di scavo per l'intera lunghezza della galleria, da pozzo a pozzo, si dovrà riscontrare il progressivo esaurimento delle venute d'acqua a testimoniare l'assenza di falle, nel profilo congelato, che possano alimentare in continuo l'azione di drenaggio.
6. Si procederà quindi alla realizzazione della galleria, operando lo scavo a piena sezione, per singoli sfondi di 1.0 m, seguiti dalla posa dei rivestimenti di prima fase costituito da centine metalliche inglobate in uno strato di spritz-beton; uno strato di spritz-beton sarà posto anche a protezione del fronte di scavo nell'ambito delle attività di gestione della sicurezza. Qualora durante lo scavo si intercettino trovanti o grossi blocchi lapidei occorrerà impiegare agenti chimici espandenti tipo "Bristar" o demolitori meccanici locali (tipo cunei) in modo da creare il minor disturbo possibile. Per campi di 12.5 m si opererà lo scavo ed il getto dell'arco rovescio, la posa del sistema di impermeabilizzazione e, a distanza funzione dei valori di deformazione del cavo rilevati, il getto della calotta.

Le gallerie di sottoattraversamento sono a "tenuta di pressione"; si prevede quindi un'impermeabilizzazione di tipo "full round" senza drenaggio delle acque di falda. Si prevede la posa di uno strato di geotessile,  $\geq 900\text{g/m}^2$  contro scavo, seguito da due strati di PVC, uno di impermeabilizzazione, spessore pari a 3 mm, ed uno di protezione, spessore pari a 2 mm. Il sistema proposto prevede inoltre la compartimentazione dei conci di getto: ciascun cono del rivestimento definitivo viene isolato rispetto ai conci adiacenti mediante opportuni giunti, in fibra minerale e con bandelle in PVC dotate di 6 elementi di ancoraggio, così da poter facilmente individuare le porzioni di impermeabilizzazione eventualmente danneggiate ed intervenire per la riparazione mediante l'iniezione di opportune resine, attraverso valvole

disposte nella misura di 1 ogni 24 m<sup>2</sup>. Per la realizzazione del rivestimento definitivo si sono impiegati cls di ottime caratteristiche, finalizzati a garantire compattezza e minore penetrabilità all'acqua: si è adottata una classe di resistenza C35/45, impiegando additivi cristallizzanti in caso di contatto all'acqua. Inoltre si è previsto nel getto l'inserimento di fibre in polipropilene, in ragione di 2 kg/m<sup>3</sup>, quale azione di protezione passiva in caso di incendio. Da ultimo si è previsto un notevole infittimento dell'armatura longitudinale, di ripartizione, al fine di migliorare la statica della galleria verso possibili azioni di trascinamento della corrente di subalveo, agenti ortogonalmente l'asse delle gallerie.

#### 6. Prove e controlli, monitoraggio

Il sistema di prove e controlli messo a punto durante l'esecuzione del campo prova sarà seguito anche nella fase di costruzione delle opere, consentendo di verificare, passo passo, la qualità degli interventi eseguiti ed il raggiungimento dei requisiti di progetto per ciascuna delle lavorazioni elementari descritte al capitolo 4. A seguito degli interventi di iniezione di miscele cementizie e impermeabilizzanti saranno eseguite, all'interno della fascia di terreno consolidato, n°4 prove di permeabilità per ciascun fronte di avanzamento (n° 8 per galleria). La verifica della buona riuscita del trattamento sarà soddisfatta al raggiungimento dei valori di permeabilità ridotti prescritti: permeabilità attesa < 5 × 10<sup>-6</sup> m/s, indicativamente due ordini di grandezza inferiori ai valori di permeabilità dei terreni non trattati. Durante la preparazione delle prove di permeabilità saranno prelevati anche dei campioni indisturbati di terreno trattato, sui quali saranno eseguite delle prove di resistenza e deformabilità in laboratorio (prove di taglio diretto e prove di compressione non confinata con misurazione delle deformazioni) per verificare il raggiungimento dei parametri attesi in Progetto. Nel caso i valori di permeabilità residui, al termine dei trattamenti, non soddisfino i requisiti di progetto, dovranno essere riprese le iniezioni con ulteriori passate e, in ultima analisi, prevedere l'esecuzioni di interventi integrativi con nuove perforazioni. Per l'intervento di congelamento, oltre al controllo di deviazione dei fori, sono previsti controlli delle temperature nel terreno mediante la distribuzione delle sonde termometriche all'interno del guscio di terreno congelato da progetto; una volta riscontrato che ogni temperatura target sia stata raggiunta andrà eseguita la prova di drenaggio nel nucleo della galleria a riscontro dell'assenza di falle. Qualora il controllo delle temperature del guscio congelato dovesse indicare zone con temperature superiori ai valori stabiliti, occorrerà aumentare le portate di azoto in fase di congelamento o le frigorifiche in caso di mantenimento con salamoia. In particolare, se durante la fase di mantenimento si riscontrasse un progressivo aumento delle temperature occorrerà impiegare il sistema di congelamento con azoto per il ripristino della situazione. Qualora a seguito del controllo delle portate, mediante drenaggi, si riscontrassero portate superiori ai valori indicati, occorrerà aumentare le portate di azoto o eseguire integrazioni al sistema di congelamento (nuove perforazioni).

Infine durante le fasi di scavo delle gallerie è previsto un sistema di monitoraggio che prevede stazioni di misura della convergenza e celle di pressione, così da valutare il comportamento tenso-deformativo del cavo e dei rivestimenti di prima fase. Nel lungo termine, durante la fase di esercizio dell'infrastruttura, saranno installate stazioni di misura degli spostamenti anche mediante adozione di attrezzature sofisticate quali l'impiego di "fibra ottica".

**LA PROGETTAZIONE TRANSFRONTALIERA DI SISTEMA DI BBT: UNA BUONA SINTESI DEGLI  
APPROCCI PROGETTUALI ITALO AUSTRIACI  
THE BBT CROSS-BORDER GENERAL DESIGN: A WELL-ROUNDED COMBINATION OF ITALIAN AND  
AUSTRIAN DESIGN APPROACHES**

ANTONIO VOZA BBT-SE – R.U.P. contratto progettazione esecutiva lotto Mules 2-3

**Abstract**

L'intervento espone i contenuti interdisciplinari della documentazione relativa alla progettazione di sistema sviluppata da BBT a supporto delle attività di progettazione dei singoli lotti di cui si compone l'infrastruttura, mettendo in evidenza il beneficio derivante dalla selezione di best-practices in uso nei due paesi che concorrono alla costruzione dell'opera, nell'intento di armonizzarne i contenuti e con la finalità di elaborare un criterio-guida uniforme considerate le peculiari caratteristiche strutturali dell'opera ed il lungo percorso temporale della progettazione interessata.

**1. Introduzione**

La realizzazione di un'infrastruttura di dimensioni e complessità quali quelle della Galleria di Base del Brennero, è il frutto di un lavoro progettuale connotato da due caratteristiche molto peculiari: lo sviluppo temporale dei lavori, condizionato dalla suddivisione in lotti funzionali e costruttivi; la sinergia di due Paesi finanziatori, che mettono a fattor comune i rispettivi know-how tecnologici.

Queste due caratteristiche, ossia la durata dell'attività del progetto, e la presenza di due soggetti artefici dello stesso, richiedono di essere governate ed attentamente gestite al fine di conseguire il miglior risultato realizzativo, trasformando elementi di potenziale complessità in fattori di arricchimento.

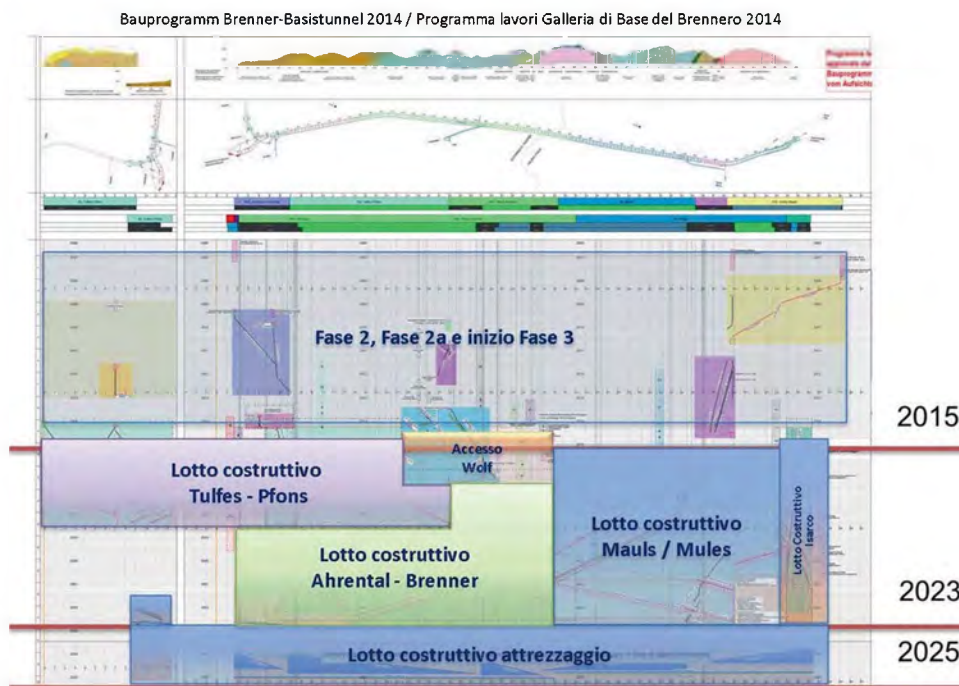
In questo senso, BBT si è dotata di un dispositivo che le ha permesso di cogliere, nell'ambito del lungo percorso di gestazione del progetto, le acquisizioni di maggior efficacia nel campo ingegneristico in provenienza dai due paesi: tale dispositivo si chiama Progettazione Transfrontaliera di Sistema (Regelplanung).

**2. Le fasi storiche del progetto - i lotti costruttivi**

Il progetto BBT nasce da lontano , ma prende concretezza alla fine degli anni novanta. Il 01.12.99 viene avviata la **Fase 1**, che comprende lo sviluppo del progetto preliminare e dei lavori di prospezione. La **Fase 2** ha inizio nel 2003, con la stesura del progetto definitivo approvato nel 2009, e il contestuale avvio dei lavori del cunicolo esplorativo nel 2006 (**Fase**



2a). Nel 2011 è iniziata la **Fase 3** che riguarda la costruzione delle canne principali e l'attrezzaggio tecnologico e ferroviario dell'opera, da concludersi entro il 2025. Una volta completato ed approvato il Progetto Definitivo dell'intera opera, si è reso necessario suddividere la stessa in una serie di lotti costruttivi non funzionali per ciascuno dei quali è stato elaborato un progetto esecutivo ad hoc.



*La suddivisione in lotti costruttivi nel programma generale dei lavori di BBT*

### 3. La Progettazione transfrontaliera di Sistema

E' in questa fase (2010/11) che BBT ha ritenuto di commissionare ad un qualificato team multidisciplinare di progettisti (HBI-ILF-Geodata), la redazione di una linea guida generale con la quale supportare i progettisti dei successivi lotti costruttivi nel loro compito.

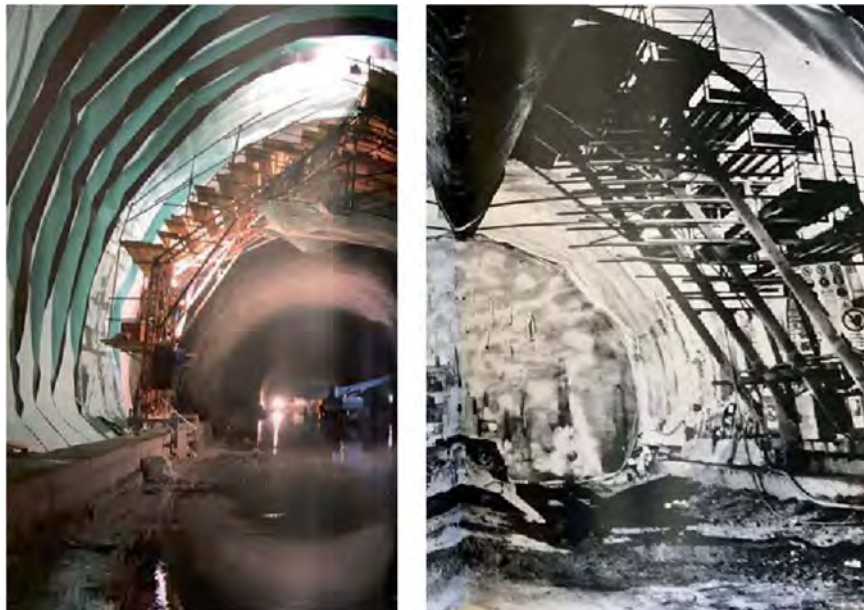
Il team, sempre sotto la supervisione di tecnici BBT, ha costituito a sua volta un'interfaccia con esperti specialisti dei due paesi e principalmente dei due enti ferroviari coinvolti ovvero RFI e ÖBB.

Sono stati creati 7 working group sulle seguenti aree di competenza:

- 1: coordinamento, comprensione generale del progetto;
- 2: trasformazione delle coordinate topografiche;
- 3: geologia, geotecnica;
- 4: costruzione;
- 5: specifiche tecniche;
- 6: ventilazione, sicurezza;
- 7: attrezzaggio ferroviario.

Ciascuno di questi gruppi di lavoro aveva il compito di raccogliere la documentazione di riferimento progettuale più attuale in uso nei due paesi ed a livello europeo, confrontarla, effettuandone un filtro critico nell'ottica del progetto della galleria di base, ed elaborare una guida a supporto delle progettazioni esecutive dei vari lotti. Ma non solo di un'opera di

armonizzazione normativa si è trattato: spesso il lavoro ha avuto l'obiettivo di cogliere introdurre e normare a livello dei capitolati esecutivi di ciascuna parte dell'opera, la best practice di riferimento nel paese, facendola così diventare patrimonio di riferimento del cantiere BBT.



*Nel campo del tunnelling Italia ed Austria sono portatrici di due approcci progettuali e due filosofie operative diversi ma spesso complementari (a sx cantiere raccordo ferroviario Bassa Valle Inn (A), a dx cantiere Variante di Valico (I) )*

L'obiettivo è stato quello di massimizzare gli standard qualitativi del progetto, garantendo al tempo stesso un criterio di omogeneità delle caratteristiche dell'opera e quindi dei suoi requisiti prestazionali.

#### 4. Lo scopo dell'attività

L'organizzazione dei gruppi rispondeva nel particolare all'esigenza di portare a compimento la definizione di alcune tematiche progettuali tra cui:

- L'ottimizzazione della configurazione e localizzazione dei posti multifunzione;
- L'eliminazione della finestra di Vizze e la contestuale progettazione della galleria di accesso al posto multifunzione di Trens;
- L'adeguamento della livelletta del tracciato;
- L'ottimizzazione delle gallerie di collegamento alla circonvallazione di Innsbruck;
- L'ottimizzazione del progetto dell'ingresso alla Stazione di Innsbruck;
- L'aggiornamento del progetto della ventilazione in galleria e dell'aerodinamica, delle emissioni (aria e rumore) in base al programma lavori aggiornato.

Inoltre, è stato condotto l'aggiornamento del modello geologico idrogeologico e geotecnico del tracciato sulla base dei dati acquisiti con le prospezioni acquisite.

Sono stati definiti dettagli della progettazione in merito alle predisposizioni delle opere civili interferenti con l'attrezzaggio ferroviario.

Sono stati elaborati documenti di progetto schematico e di dettaglio, relativi alla gerarchia impiantistica dei cunicoli di collegamento dal punto di vista idraulico, alla ventilazione in fase di esercizio, all'antincendio.

Sono stati definiti i confini di progettazione all'interno di un lotto in considerazione della complessa successione di fasi di lavoro e delle interferenze operative sussistenti su ciascuna parte del cantiere.

## 5. Alcuni dei principali risultati conseguiti

Il lavoro iniziato nel 2011 e conclusosi nel 2015 consiste in una raccolta organizzata di circa 100 documenti tra relazioni e tavole principali e oltre 500 allegati. Si espongono nel seguito i contenuti di quattro tra i principali studi sviluppati e diventati riferimento essenziale per i progettisti dei lotti costruttivi, attraverso l'impiego della Progettazione di Sistema.

### 5.1 Linee guida geomeccaniche

Le linee guida geomeccaniche sono uno strumento finalizzato alla realizzazione di un progetto geomeccanico coerente. Il documento disciplina la progettazione geologica e geotecnica nei due paesi con criteri univoci al fine di ottenere progetti geomeccanici comparabili per le singole sezioni della galleria principale. Attraverso l'applicazione delle linee guida si garantisce l'adeguata considerazione delle informazioni provenienti dai progetti geomeccanici già prodotti e dai tratti di cunicolo esplorativo già realizzato. Per lo sviluppo delle linee guida sono state considerate le Direttive austriache per la progettazione geotecnica di opere sotterranee con metodo tradizionale o meccanizzato (pubblicate dalla Osterreichische Gomechanische Gesellschaft OGG) e la direttiva italiana per la progettazione, l'appalto e la costruzione di gallerie sotterranee (pubblicata da AGI, ANIM, GEAM, IAEG, ITCOLD SIG, SIGI).

Le linee guida sono suddivise in tre blocchi principali:

Blocco A= introduzione e informazioni base rilevanti

Blocco B= B1 : decisione preliminare del metodo di scavo

B2 : pianificazione geomeccanica dettagliata

Blocco C= progettazione tecnica definitiva

Nel blocco A sono introdotti scopi, evoluzione e struttura generale della linea guida, e sono richiamati modelli di riferimento utili, relativi a progetti geomeccanici già realizzati.

Nel Blocco B1 è schematizzato il modello decisionale relativo alla scelta del metodo di scavo.

Nel Blocco B2 sono invece descritti i singoli passi che debbono essere svolti per il progetto geomeccanico delle gallerie principali.

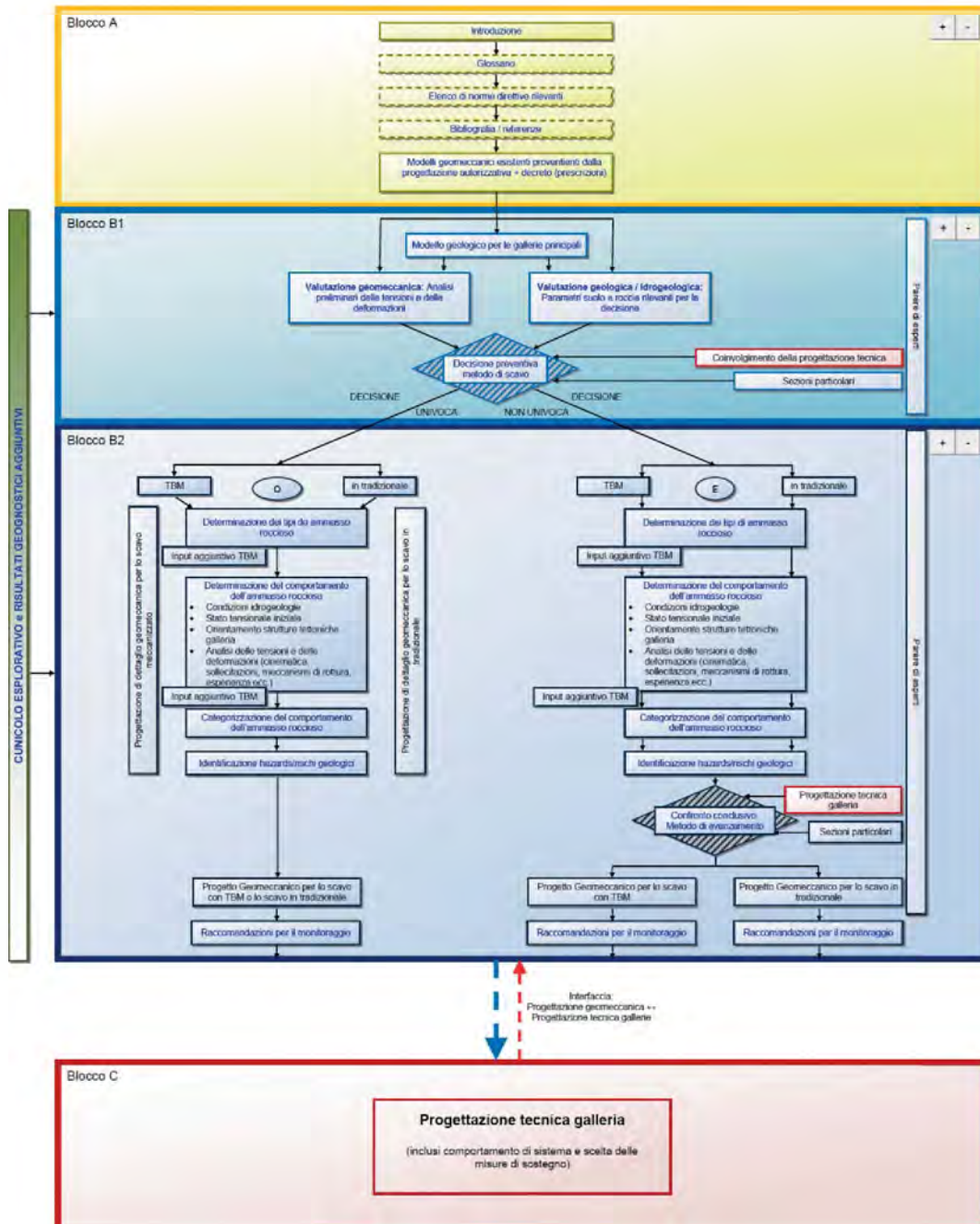
Il Blocco C contiene gli elementi della progettazione vera e propria ed è la parte demandata all'esecuzione dei singoli progettisti di ciascun lotto costruttivo.

Ciascun blocco del diagramma di flusso è spiegato attraverso schede informative che illustrano il contenuto di ogni fase ed i risultati che devono essere raggiunti. A loro volta tali schede sono organizzate in tre livelli, uno più generale, uno più di dettaglio con le informazioni necessarie ad ogni componente del diagramma di flusso ed uno ulteriormente più dettagliato con criteri decisionali e riferimenti nazionali ed internazionali rilevanti.

L'adozione della linea guida ha avuto una rilevante funzione di omogeneizzazione dei criteri geomeccanici di progettazione. Per la fase di costruzione, la linea guida

consente di unificare la procedura di gestione delle occorrenze geomeccaniche impreviste con un unico approccio operativo sui diversi cantieri e quindi “apre” la possibilità di intervenire sullo scenario operativo a qualsiasi tecnico qualificato che sia a conoscenza della metodologia, con l’obiettivo di facilitare ed accelerare la risoluzione delle criticità. Rappresenta, in definitiva, un approccio secondo i canoni della qualità alla progettazione specialistica di questo settore.

Linee guida geomeccaniche BBT



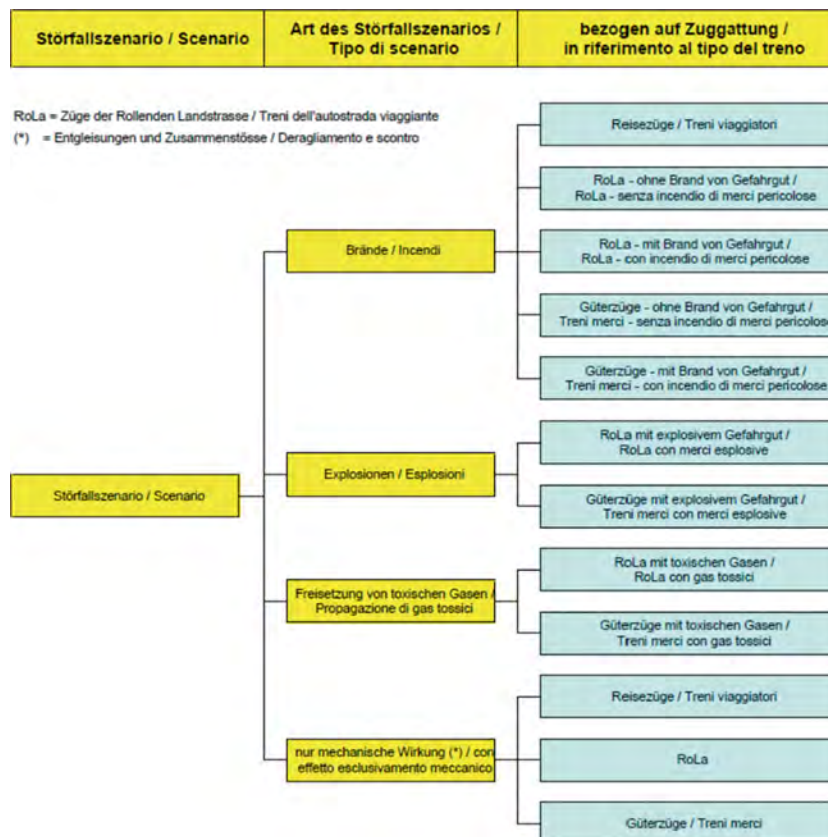
Lo schema a blocchi delle linee guida geomeccaniche, elaborate dal WG3

## 5.2 Analisi numerica del rischio

La valutazione numerica del rischio è stata condotta con il fine di valutare, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, in che misura le modifiche progressivamente apportate dopo la stesura del Progetto Definitivo 2008 abbiano inciso sulla sicurezza complessiva dell'infrastruttura. Tra queste modifiche si elencano:

- Modifiche del tracciato di ingresso alla stazione di Innsbruck
- Modifiche dell'allacciamento alla circonvallazione di Innsbruck
- Nuova configurazione delle fermate d'emergenza
- Eliminazione di due posti di comunicazione (decisione non definita dal gruppo di lavoro della Progettazione di Sistema ma successivamente da commissione mista RFI-OBB).
- Adattamento dei parametri dimensionali rilevanti per la sicurezza
- Spostamento locale dei cunicoli trasversali
- Configurazione dei cunicoli trasversali tecnici
- Eliminazione dei binari di precedenza (decisione non definita dal gruppo di lavoro della Progettazione di Sistema ma successivamente da commissione mista RFI-OBB).

L'analisi numerica sviluppata ha potuto dimostrare il conseguimento di una significativa riduzione del rischio collettivo e del rischio individuale grazie all'adozione degli schemi progettuali introdotti dopo il PD2008.



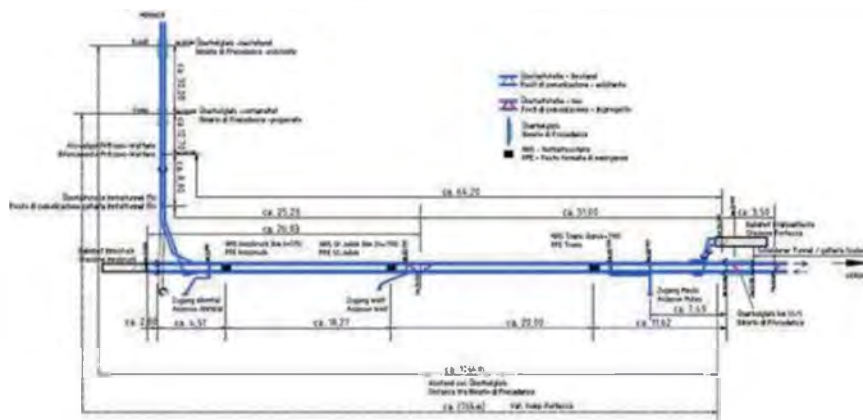
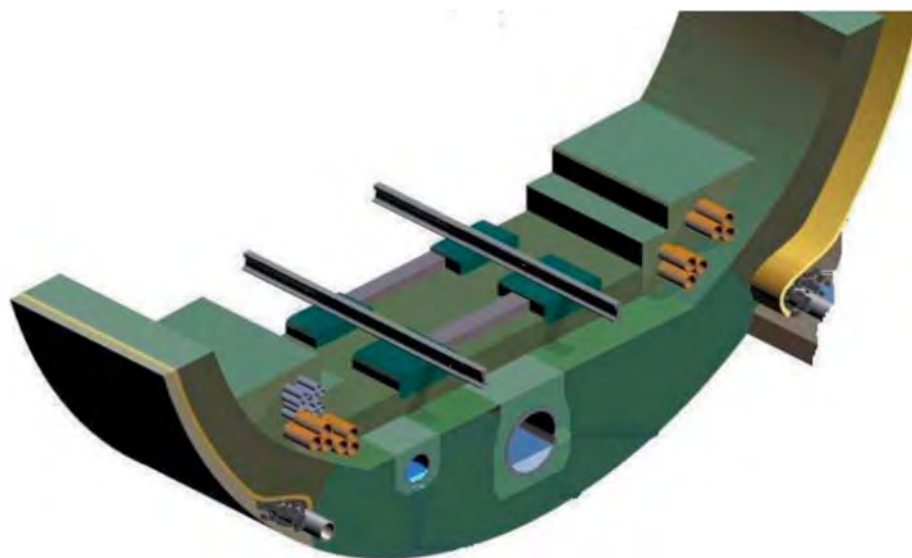
*Scenari di guasto rappresentativi considerati nell'analisi di rischio sviluppata dal WG6*

### 5.3 Dimensionamento delle vie cavi

Il dimensionamento della sezione ottimale dal punto di vista della disposizione delle vie cavi è stato il frutto di un lavoro organizzato in tre fasi principali:

- Una prima fase in cui sono state confrontate alcune possibili configurazioni principali della sezione di galleria principale;
- Una seconda in cui è stato valutato lo spazio necessario per i cavi dei vari impianti elettrici previsti, con particolare riferimento a :
  - impianti elettrici di supporto;
  - impianti di telecomunicazione;
  - sistema di comando e controllo;
  - altri attrezzaggi di sicurezza elettrica.
- Una terza fase in cui sono state studiate le soluzioni tipologiche specifiche della galleria principale per pozzetti, cavidotti e TLC

Lo schema assunto quale elemento di riferimento prevede la presenza di tre fermate d'emergenza collocate ad una distanza reciproca di circa 20 km (Innsbruck, St. Jodok e Trens) e di un posto di comunicazione.

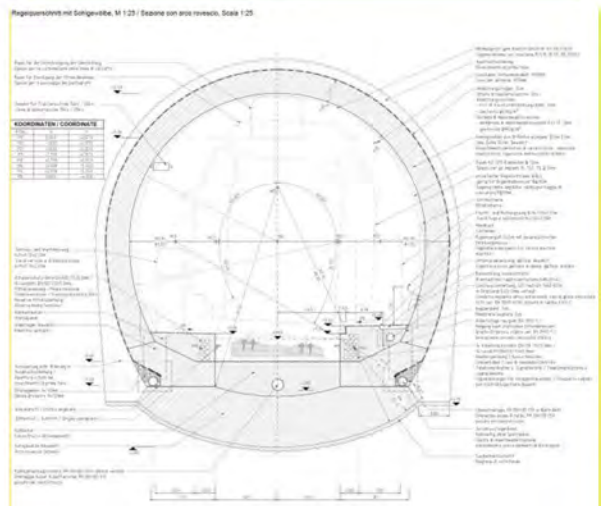
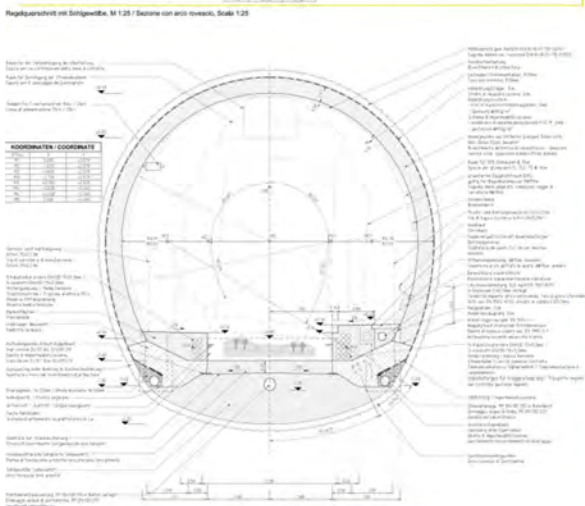
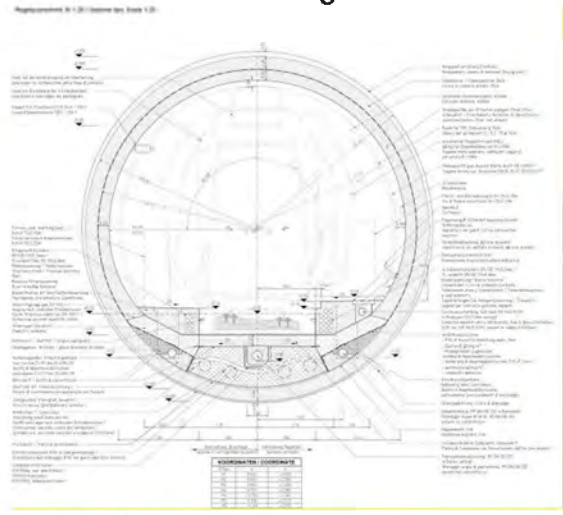
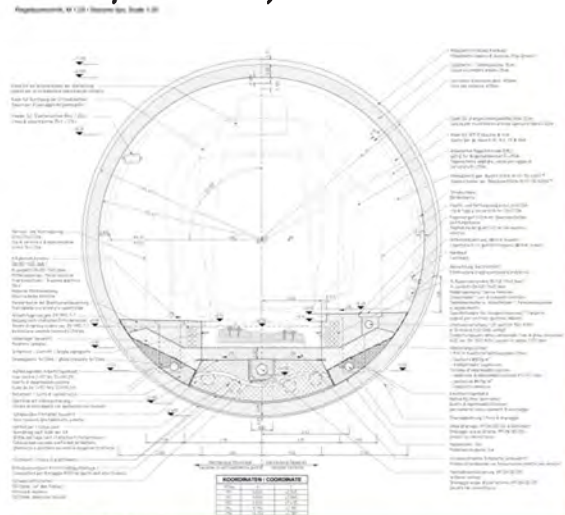


*Studio assometrico della disposizione dei cavi nella sezione tipo e schema di riferimento dell'infrastruttura sviluppati dal WG7*

## 5.4 Layout delle sezioni tipo

Il progetto dell'arredo e della conformazione geometrica di sezioni tipo di scavo, destinate ad incontrare una enorme variabilità di condizioni naturali, deve essere flessibile rispetto a tale circostanza, ma allo stesso tempo, caratterizzato da una unicità della concezione ingegneristica in relazione alle esigenze sia di costruzione che di esercizio dell'opera. A tale fine sono stati sviluppati schemi diversi adatti sia allo scavo meccanizzato che allo scavo con metodo tradizionale, prevedendo nell'ambito di queste categorie, diverse possibilità di adattamento alle condizioni geologico –geomeccaniche previste dal profilo di previsione. In sintesi, esistono:

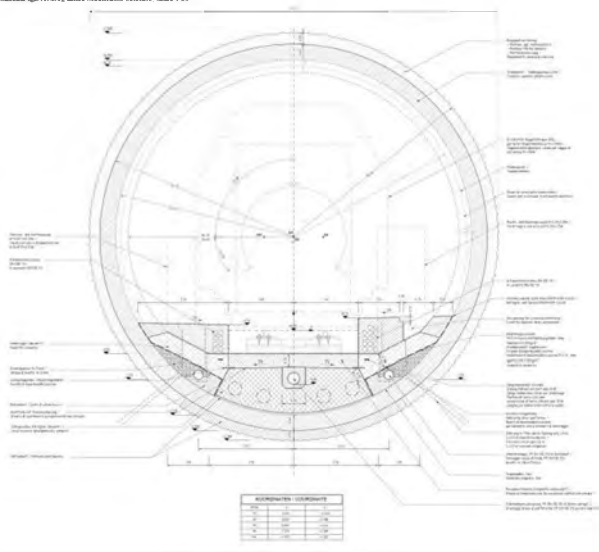
- per le tratte scavate con metodo meccanizzato (circa il 75% dell'intera opera) due possibilità di rivestimento: singolo, o doppio (con rivestimento interno gettato in opera dopo la posa dell'anello);
- per le tratte scavate con metodo tradizionale: diverse possibilità di curvatura dell'arco rovescio o, addirittura, di sua eliminazione in relazione alle caratteristiche geomeccaniche.



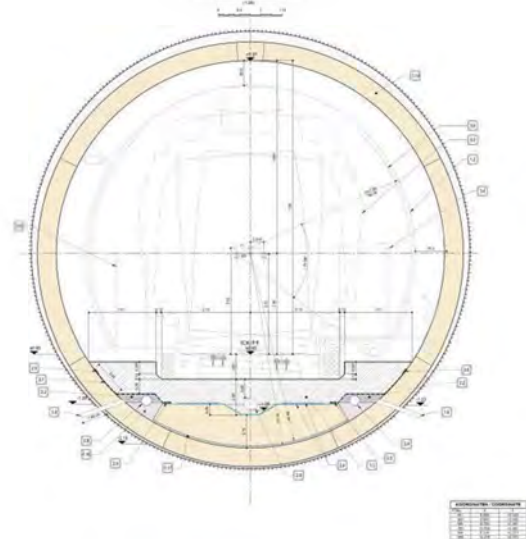
*I quattro principali layout delle sezioni tipo di scavo del BBT elaborati dal WG4: dall'alto a sx, in senso orario TBM rivestimento singolo, TBM rivestimento doppio, Tradizionale in ammasso spingente, Tradizionale.*

Il confronto grafico illustra la derivazione, a partire dalle sezioni della Progettazione di Sistema, dei due schemi di progetto andati in gara nei due lotti principali in Austria ed in Italia. Tenuto conto delle differenze insite nel concetto normativo nazionale di Ausschreibungsplanung (progettazione d'appalto) austriaco e Progetto Esecutivo italiano, e tenuto conto delle razionalizzazioni ed ottimizzazioni rispettivamente apportate, si coglie l'unicità del modello funzionale dettato dalla Progettazione di Sistema, che ha posto la base per una caratterizzazione omogenea dell'infrastruttura.

Regionale HT-10/2 ohne Oberbauverwechslung M 1:25  
Schnitte typ HT-10/2 nach Auslieferung der Bauteile, Seite 1-21

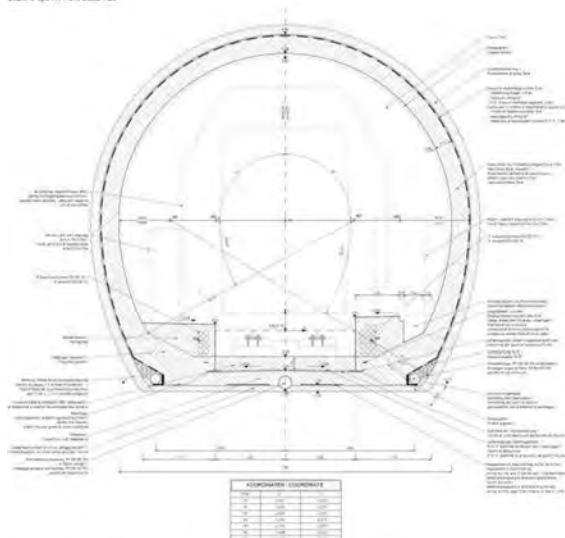


Querschnitt GL - Sezione tipo GL



**Il confronto tra le sezioni tipo delle progettazioni esecutive di gara: scavo TBM singolo rivestimento, a sx Pfonz- Brenner, a dx Mules 2-3**

Regionale HT-2/1 M 1:25  
Schnitte typ HT-2/1, Seite 1-23



QUERSCHNITT GL-E-TM SEZIONE TIPO GL-E-TM



**Il confronto tra le sezioni tipo delle progettazioni esecutive di gara: scavo tradizionale, a sx Pfonz- Brenner, a dx Mules 2-3**



Si comprende come al ventaglio di possibilità progettuali dettate dalle specifiche esigenze locali, fa comunque riscontro un'unica concezione del progetto della disposizione degli spazi interni con riferimento alla funzione di gestione idraulica delle acque d'ammasso e delle acque di piattaforma, delle esigenze di attrezzaggio ferroviario, oltre che evidentemente, in relazione ai criteri di sicurezza statica, di funzionalità manutentiva e gestionale dell'infrastruttura. In questo senso, il lavoro prodotto dal WG4 ha costituito sicuramente il nucleo di maggiore ricchezza della Progettazione transfrontaliera di Sistema in termini di accuratezza delle soluzioni individuate, ed ha permesso di colmare positivamente le differenze in termini di livello di dettaglio che i capitolati tradizionalmente applicati nei due paesi continuano a presentare, in conseguenza di differenti standard richiesti dalle normative nazionali.

## 6. Conclusioni

Il lavoro che si è illustrato costituisce sicuramente un punto di forza dell'attività di un ente appaltante come BBT che ha la prerogativa di realizzare un'opera di caratteristiche non ordinarie nel panorama ingegneristico di un Paese. Il tipo di esperienza fin qui condotta e conclusa come presupposto delle progettazioni riguardanti gli appalti principali attualmente in essere (Mules 2-3 in Italia, e Pfonns-Brennero in Austria ), indirizza positivamente e stimola a recepire continuamente l'innovazione tecnologica secondo un ruolo in cui l'ente appaltante, accrescendo le proprie competenze, sviluppi una crescente "attività" ingegneristica e non limiti le proprie capacità alla pur delicata e necessaria supervisione dei lavori o delle gare d'appalto. Ma, ancora di più, l'esperienza della Progettazione transfrontaliera di Sistema sviluppata da BBT, documenta l'altissimo valore intellettuale del confronto delle idee che sempre arricchisce l'uomo e le sue opere.



*Mules, Porte Aperte 2016*

## **L’ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO: ASPETTI PROGETTUALI PER IL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA**

ALESSANDRA SCIOTTI – ITALFERR S.p.A. – Responsabile U.O. Gallerie

NORBERT CASAGRANDE – ITALFERR S.p.A. – Progettista U.O. Gallerie

STEFANO RODANI – ITALFERR S.p.A. – Progettista U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche

STEFANIA VAGNOZZI – ITALFERR S.p.A. – Progettista U.O. Gallerie

### Abstract

L’Accesso Sud alla Galleria di Base del Brennero prevede un intervento di quadruplicamento della linea ferroviaria tra Verona e Fortezza, con un prevalente sviluppo in sotterraneo delle nuove opere infrastrutturali; in particolare, in due dei quattro lotti funzionali in cui è suddivisa la tratta, il tracciato è in sotterraneo per complessivi 50 km. La nota illustra gli elementi salienti, legati al contesto geologico e geotecnico, alle grandi coperture, all’interazione con fenomeni deformativi di versante e alla valutazione dell’impatto sulle risorse idriche, che, esaminati con approcci teorici e sperimentali, hanno condotto alla definizione delle soluzioni progettuali per le opere in sotterraneo.

### 1. Introduzione

Il quadruplicamento della linea ferroviaria Fortezza – Verona rappresenta uno dei progetti individuati in via preliminare per la rete centrale nel settore dei trasporti dell’Unione Europea. L’intervento ricade nel Corridoio “Scandinavo-Mediterraneo” della Rete Ten-T (Trans European Network-Transport). La parte centrale alpina di questo allineamento è costituita dalla Linea di accesso Nord Monaco-Innsbruck, dalla Galleria di Base del Brennero e dalla Linea di accesso Sud Fortezza-Verona (Fig. 1).



Fig. 1 - Linea di accesso Sud Fortezza-Verona.

Nell’ambito della Linea di Accesso Sud, collocata interamente in territorio italiano, lungo le valli dei fiumi Isarco ed Adige, sono stati individuati quattro lotti funzionali. I lotti oggetto del presente articolo sono rappresentati dalla Tratta Fortezza - Ponte Gardena (Lotto 1) e dalla

Circonvallazione di Trento e Rovereto (Lotto 3), per i quali sono stati sviluppati rispettivamente il Progetto Definitivo e il Progetto Preliminare.

## 2. Inquadramento generale Lotti 1 e 3

Il tracciato ferroviario del Lotto 1 si sviluppa nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, tra Fortezza e Ponte Gardena, per complessivi 23 km, quasi interamente in sotterraneo, per mezzo di due gallerie naturali a doppia canna denominate Scaleres (L =15,4 km) e Gardena (L =6 km), separate da un ponte sul fiume Isarco. La copertura massima raggiunge rispettivamente 780m nella Galleria Scaleres e 590 m nella Galleria Gardena. Il collegamento alla linea esistente avviene tramite rami di interconnessione che si sviluppano prevalentemente in sotterraneo; le finestre costruttive e di sicurezza Aica-Varna/Forch, Albes e Chiusa completano il sistema di gallerie, che complessivamente ha uno sviluppo di 62 km circa.

Il tracciato ferroviario del Lotto 3 è ubicato nel territorio della Provincia Autonoma di Trento, tra l'abitato di Marco (Comune di Rovereto) a Sud e la parte Nord-occidentale della città di Trento. Le opere in progetto insistono in minima parte sul fondovalle dell'Adige (tratte all'aperto e galleria artificiale) ed in larga parte all'interno del versante in sinistra idrografica della Val d'Adige per i tratti in sotterraneo: il tracciato si estende per circa 36 km, con sviluppo in sotterraneo per più del 75% del tracciato, con la galleria Zugna (L=16,7 km) e la galleria Trento (L=11 km), entrambe previste a doppia canna. La copertura massima è pari rispettivamente a 960m nella Galleria Zugna e 250 m nella Galleria Trento.

Dal punto di vista geologico generale il tracciato del quadruplicamento della linea ferroviaria Fortezza – Verona si sviluppa all'interno delle Alpi Meridionali o Sudalpino (Fig. 2 (a)), porzione di catena alpina costituita da nuclei ercinici metamorfici e non, e da sedimenti Permo-mesozoici e Terziari, variamente piegati in più fasi dall'Eocene al Plio-Quaternario ma non metamorfosati.

I contesti litologici interessati dal Lotto 1 ed il Lotto 3 risultano tuttavia significativamente diversi (Fig. 2b).

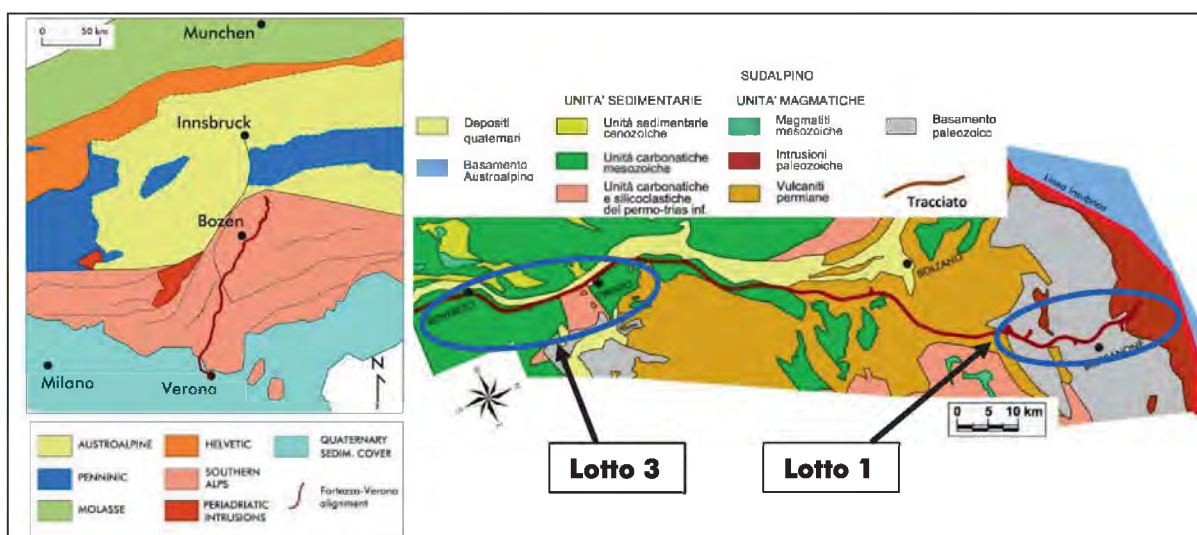


Fig. 2 - a) Assetto strutturale semplificato del settore alpino di interesse (stralcio mod. da TRANSALP W.G., 2003); b) Schema geologico dell'area interessata dal Lotto 1 e dal Lotto 3.

Il tracciato del Lotto 1 Fortezza - Ponte Gardena si inserisce in un'area caratterizzata dalla presenza di un basamento metamorfico (Unità di Bressanone) all'interno del quale sono intruse rocce magmatiche di tipo granitoidi relativamente più recenti. Le opere in sotterraneo attraversano per gran parte del loro sviluppo le Filladi di Bressanone (Fig. 3 (a)). Lungo lo sviluppo della Galleria Scaleres, nel tratto iniziale del tracciato partendo da Nord, si rinviene in percentuale rilevante anche il Granito di Bressanone.

Il tracciato del Lotto 3 si sviluppa, invece, in un'area in cui prevalgono potenti sequenze sedimentarie mesozoiche di natura carbonatica ed in misura minore terrigene. Le unità incontrate lungo gran parte dello sviluppo della Galleria Zugna sono costituite prevalentemente da calcari e dolomie dotati di buone proprietà meccaniche. I calcari presentano un'elevata carsificabilità, moderata invece nelle dolomie. Riguardo alla Galleria Trento, gli ammassi attraversati presentano una forte eterogeneità e, oltre a calcari e dolomie, sono presenti rocce ignee e metamorfiche. Complessivamente, lungo lo sviluppo delle due gallerie prevalgono le unità della successione dolomitico-calcareo (Fig. 3 (b)).

In entrambi i casi al bedrock roccioso si sovrappone un'ampia varietà di coperture detritiche quaternarie che rappresentano il prodotto di dinamiche glaciali, post-glaciali e alluvionali recenti.

Per il Lotto 1 si prevede l'applicazione di sistemi di scavo in tradizionale e meccanizzato. Per lo scavo di entrambe le Gallerie Zugna e Trento del Lotto 3 è previsto il ricorso al metodo di scavo meccanizzato.

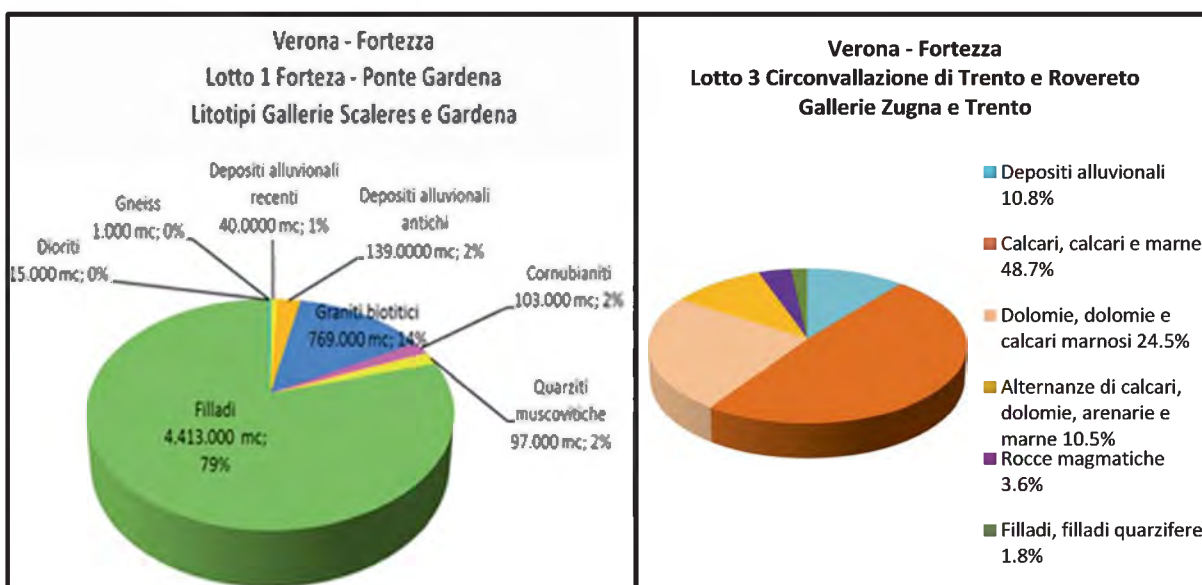


Fig. 3 – Litotipi presenti nelle opere in sotterraneo del Lotto 1 (a) e del Lotto 3 (b).

### 3. Aspetti idrogeologici

Nello sviluppo della progettazione è stata dedicata particolare attenzione al tema dell'interazione tra opere in sotterraneo e acque di falda. Le previsioni in fase di progetto sono state finalizzate alla localizzazione delle venute, alla valutazione dell'entità dei potenziali afflussi in galleria e agli eventuali risentimenti che questi possono comportare sull'assetto idrogeologico di superficie, con particolare riferimento alla variazione del regime delle sorgenti. In quanto legato a fenomeni compositi e complessi, il rischio di impatto sul

sistema idrogeologico rappresenta, tuttavia, un elemento non semplice da qualificare e quantificare. Pertanto, il margine di incertezza di tali valutazioni può essere ragionevolmente contenuto solo attraverso un'approfondita conoscenza del sistema idrogeologico interessato dall'opera, consolidata anche attraverso un adeguato piano di monitoraggio ante-operam delle risorse idriche. In generale, l'avvio del piano di monitoraggio ante-operam andrebbe predisposto sin dalle prime fasi di progettazione (a partire dallo Studio di Fattibilità tecnico-economica) ed aggiornato ed arricchito al procedere della progettazione, al fine di conseguire informazioni utili per una modellazione idrogeologica più affidabile.

Nell'ambito del Progetto Definitivo del Lotto 1 i rilievi idrogeologici hanno interessato un'area di circa 250 km<sup>2</sup> (Fig. 4), che comprende una porzione del bacino del Fiume Isarco e il bacino del Rio Funes.

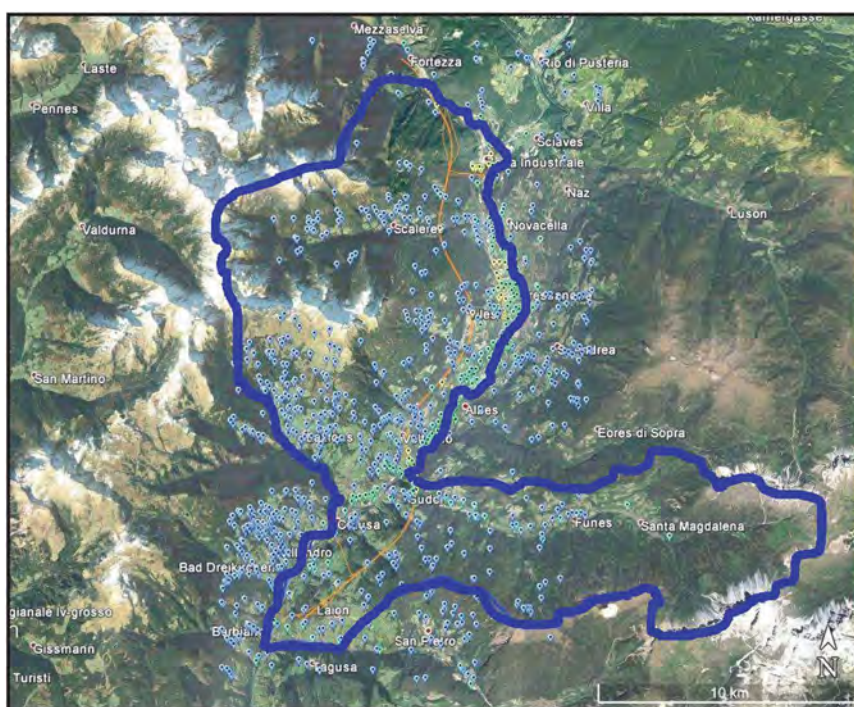


Fig. 4 - Lotto 1: area interessata dai rilievi idrogeologici e ubicazione punti censiti in Banca Dati.

Tali attività sono state precedute e accompagnate da uno studio geologico che ha rappresentato la prima base di riferimento per le valutazioni idrogeologiche e nell'ambito del quale sono stati eseguiti: rilevamento geologico-geomorfologico (scala 1:5000 e 1:2000); analisi di fotogrammetria multiscalare e multitemporale, interferometria satellitare; rilievi geomeccanici; 43 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (5500 m di perforazione totali) attrezzati con piezometro; tomografia elettrica (31 km totali); stendimenti sismici (10 km totali).

Lo schema di lavoro dello studio idrogeologico è compendiato nel diagramma di Fig. 5.

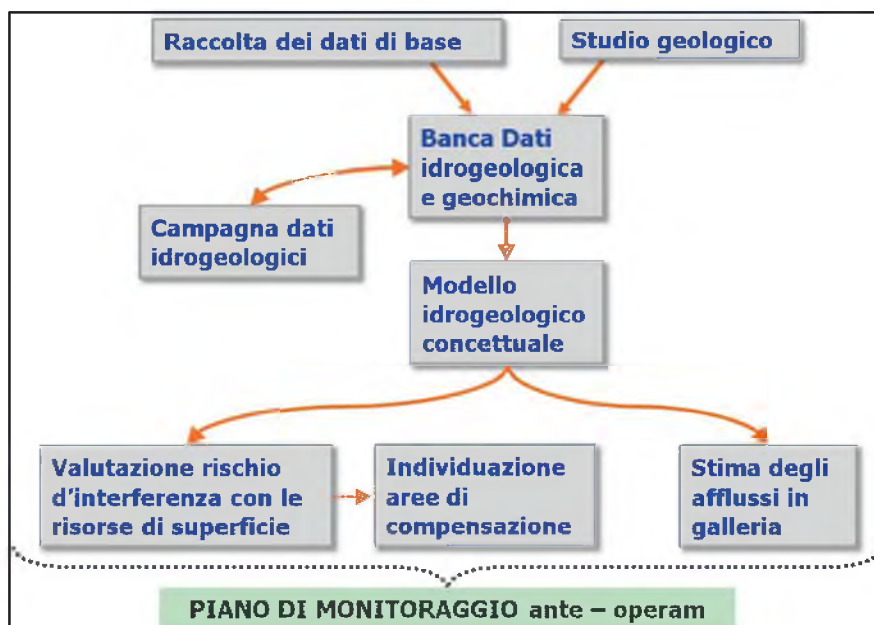


Fig. 5 - Flusso di lavoro per lo studio idrogeologico del Lotto 1.

La fase iniziale del lavoro è consistita nella ricerca di dati presso fonti sia private che pubbliche. È stata così raccolta un'elevata mole di materiale che ha richiesto un accurato lavoro per estrapolare i contenuti di reale interesse idrogeologico e per omogeneizzare dati espressi in formati diversi. Le informazioni successivamente sono state inserite in una Banca Dati idrogeologica e geochemica georiferita, tale da rendere possibile un rapido utilizzo delle informazioni per interrogazioni ed elaborazioni statistico-spaziali, nonché ai fini di un più semplice inserimento di dati futuri. Durante la suddetta fase di censimento sono state raccolte ed organizzate informazioni su circa 1200 punti d'acqua (Fig. 4).

Uno dei primi utilizzi della Banca Dati è consistito nella definizione dei punti risorsa idrica da assoggettare ai rilievi idrogeologici durante il Progetto Definitivo, selezionando prioritariamente quelli (sorgenti e pozzi) captati e immessi in strutture acquedottistiche di tipo pubblico. Le attività svolte nell'ambito della campagna di rilievo sono consistite in:

- verifica dei punti acqua selezionati fra i dati raccolti;
- ricerca ed individuazione di nuovi punti d'acqua presenti nell'area di studio;
- analisi dei principali parametri chimico-fisici;
- misure di soggiacenza di pozzi e piezometri;
- misure di portata su pozzi e sorgenti.

Dalla sovrapposizione combinata della base conoscitiva geologica e geologica-strutturale con i dati idrogeologici reperiti e con quelli direttamente acquisiti è stato sviluppato il modello idrogeologico di riferimento. Sulla base di quest'ultimo è stata successivamente condotta una valutazione delle potenziali interferenze dell'opera in progetto sui punti d'acqua caratterizzati nel corso della campagna idrogeologica (in totale su 126 punti d'acqua).

Ai fini della valutazione del rischio d'interferenza con un criterio unitario si è fatto ricorso ad un metodo parametrico che prevede la definizione di un indice di rischio, indice DHI - Drawdown Hazard Index (Dematteis et al, 2001; Torri et al., 2007), basato sulla valutazione combinata di fattori di natura geologico-strutturale, idrogeologica e topografica, modificando a vantaggio di sicurezza alcuni parametri d'ingresso del calcolo.

Lo schema idrogeologico prevalente nell'area interessata dal Lotto 1 prevede un flusso superficiale, localizzato nelle coperture detritiche permeabili per porosità o nella porzione

corticale alterata del substrato roccioso, che alimenta buona parte delle sorgenti presenti nell'area; più in profondità, nel basamento roccioso scarsamente permeabile, è atteso un deflusso idrico minore.

In tale contesto, considerate le caratteristiche litologiche e strutturali delle formazioni attraversate, l'assetto idrogeologico profondo e le coperture delle gallerie in progetto, per la maggioranza delle sorgenti che rispondono allo schema suddetto, non si prevedono significative conseguenze a seguito degli scavi delle gallerie. In tal senso sono di supporto le elaborazioni dell'indice di rischio DHI per le diverse sorgenti prese in considerazione che hanno messo in luce basse o trascurabili probabilità di impatto per la gran parte di esse.

Al fine di continuare a tenere sotto controllo i punti d'acqua nel tempo, è stato inoltre predisposto ed avviato un piano di monitoraggio ante-operam delle risorse idriche, articolato su base pluriennale. Il piano, iniziato nel 2013, è attualmente giunto alla sua terza annualità e prevede campagne cadenzate così strutturate:

- ✓ rilievi di parametri chimico-fisici (temperatura, conducibilità elettrica specifica, residuo fisso, potenziale red-ox, pH, torbidità, quantità di ossigeno);
- ✓ analisi idrochimiche degli elementi maggiori (Sodio, Potassio, Calcio, Magnesio, Cloruri, Solfati, ione Bicarbonato, Nitrati, Silice);
- ✓ analisi idrochimiche degli elementi in traccia (Arsenico, Alluminio, Stronzio, Litio, Fosfati, Uranio, Piombo, Selenio, Boro, Antimonio, Cadmio, Ferro, Nichel);
- ✓ analisi isotopiche ( $\delta$  18O,  $\delta$  2H, 3H), anche su campioni di precipitazione atmosferica;
- ✓ misure di soggiacenza dei piezometri e di pozzi;
- ✓ misure di portata di sorgenti, di pozzi ed in alveo ai corsi d'acqua.

La rete dei punti monitorati inizialmente, ossia durante la prima annualità, è stata integrata con l'aggiunta di nuovi punti di misurazione fino a raggiungere la configurazione attuale che consta di oltre 150 punti di rilievo.

Il piano di monitoraggio sta fornendo e fornirà strumenti per un'omogeneizzazione ed un ulteriore progresso delle conoscenze idrogeologiche riguardanti l'area di progetto. Ciò consente un affinamento del modello idrogeologico che corrisponde anche alla possibilità di controllo (ed eventuale aggiornamento) del rischio di impatto attribuito ai punti d'acqua in sede di Progetto Definitivo ed al calcolo su ulteriori punti monitorati durante le nuove campagne di misura. In termini di stima del rischio, attraverso i dati acquisiti nel corso del monitoraggio, è attualmente possibile estendere il calcolo dell'indice DHI ad un totale di 181 punti d'acqua, con risultati in linea con le ipotesi di progetto.

Le informazioni derivanti dal monitoraggio idrogeologico in corso andranno inoltre a costituire un patrimonio dati continuo e consolidato, sulla base del quale sarà possibile predisporre un successivo mirato progetto di monitoraggio delle risorse sia in corso d'opera che al termine delle fasi realizzative, per verificare le effettive condizioni dell'assetto idrogeologico al contorno dell'opera terminata.

#### 4. Aspetti geotecnici

Le principali criticità geotecniche per le opere in sotterraneo del Lotto 1 riguardano le elevate coperture, l'attraversamento di importanti lineamenti tettonici, ortogonali alla valle dell'Isarco (quali la linea di Funes), la variabilità delle caratteristiche meccaniche della formazione delle Filladi in relazione ai caratteri strutturali predominanti (scistosità) e alla

presenza di livelli di grafite, la possibilità di una risposta deformativa allo scavo accentuata (comportamento spingente) nell'attraversamento sotto grandi coperture di zone tettonizzate.

Per il Lotto 3 le principali criticità geotecniche sono connesse alle elevate coperture (Galleria Zugna), all'eterogeneità delle formazioni incontrate (Galleria Trento) ed alle zone di transizione litologica, spesso di tipo tettonico, agli elevati carichi idraulici (Galleria Zugna) nell'attraversamento delle zone tettonizzate, ed in particolare, di formazioni carsificabili (Gruppo dei Calcari Grigi), ed infine al probabile comportamento spingente di alcune unità ad elevate coperture.

Per quanto le condizioni geologiche, idrogeologiche e geotecniche differiscano lungo lo sviluppo dei tracciati dei Lotti 1 e 3, tuttavia, sono presenti alcuni elementi di criticità comuni, quali quelli rappresentati dai fenomeni gravitativi di versante, descritti in sintesi a seguire.

#### 4.1. Lotto 1 Tratta Fortezza - Ponte Gardena

Il tracciato del Lotto 1 si sviluppa su parte del bacino idrografico dell'Isarco, attraversando versanti caratterizzati da elevata acclività, con cambi di pendenza legati alla presenza di depositi fluvio-glaciali, e da fenomeni franosi più accentuati nella porzione meridionale del tracciato. I fenomeni di instabilità dei versanti che si affacciano sulla valle dell'Isarco sono strettamente connessi all'evoluzione recente dell'area, legata alla fase di ritiro dei ghiacciai e all'erosione al piede esercitata dal corso d'acqua, sebbene quest'ultima sia attualmente impedita da opere di protezione spondale e non costituisca meccanismo di recenti inneschi. In particolare, in prossimità di Ponte Gardena, nella tratta interessata dalle Interconnessioni alla linea storica, è stato evidenziato un esteso e complesso corpo di frana quiescente, al cui interno sono presenti fenomeni di riattivazione più recente. Peraltro, al piede del versante si sviluppa un'importante infrastruttura, sottoattraversata con basse coperture dalle gallerie ferroviarie.

Gli studi geologici e le analisi interferometriche satellitari sviluppati nel corso della progettazione hanno consentito di definire l'estensione dell'area interessata da movimenti e di caratterizzarne l'evoluzione nel tempo attraverso dati satellitari che coprono un arco temporale compreso tra il 1992 e il 2011 (Fig. 6).

I risultati degli studi non hanno evidenziato una recente e/o attuale attività a grande scala del versante, mentre è stato ben individuato e studiato il corpo di frana attivo nella porzione inferiore del pendio, interessato da movimenti con velocità media dell'ordine di 5 mm/anno e con valori massimi fino a 9 mm/anno. Il corpo di frana ha una natura articolata e composita, con zone caotiche, alternate ad orizzonti rocciosi variamente fratturati e discontinui; il substrato è costituito da un ammasso roccioso a luoghi più o meno integro e continuo, a luoghi invece molto fratturato e al limite incoerente.

In considerazione della criticità del contesto attraversato, in termini di instabilità del versante e di interferenza con strutture preesistenti, la scelta progettuale si è indirizzata verso la modifica del tracciato delle Interconnessioni alla linea storica, per allontanarlo dalle zone attive, con l'adozione del metodo di scavo meccanizzato con fronte in pressione (EPB) per garantire un miglior controllo dei fenomeni di interazione tra opere in sotterraneo, versante e infrastruttura stradale, e la realizzazione di interventi di salvaguardia delle opere interferite (consolidamenti preventivi e strutture di protezione in prossimità delle fondazioni).



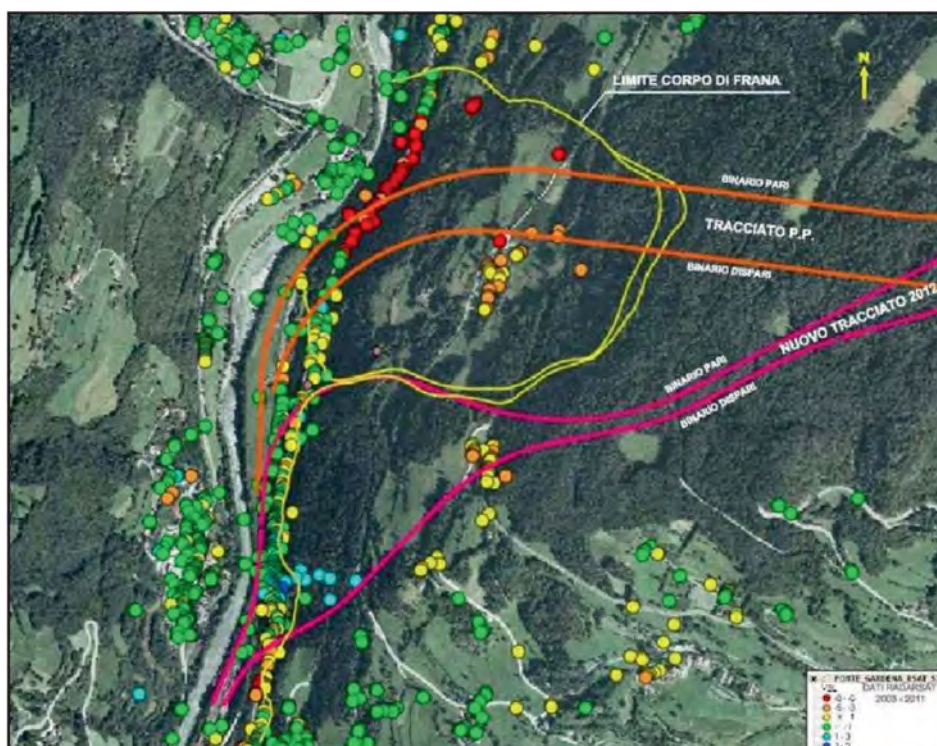


Fig. 6 - Planimetria con la mappa delle velocità medie dei PS, il limite dell'area instabile e il nuovo tracciato.

#### 4.2. Lotto 3 Circonvallazione di Trento e Rovereto

Lungo il tracciato del Lotto 3 sono presenti alcuni importanti fenomeni gravitativi, quali la DGPV del Monte Marzola ed il deposito di frana stabilizzato dei Lavini di Marco.

Il Monte Marzola è contraddistinto da una complessa dinamica di versante che ha dato luogo a grandi accumuli di frana e numerose trincee di deformazione. Per quanto riguarda i fenomeni gravitativi profondi, responsabili di importanti distacchi e frane di crollo, la deformazione viene legata alla presenza di una superficie di taglio basale (Crosta, 2002), impostata in corrispondenza di un livello gessoso della Formazione a Gracilis, emergente nella parte alta del versante (Fig. 7). Tale ipotesi dovrà essere approfondita nelle successive fasi progettuali.

Fra i dati disponibili sull'area della Marzola, si citano quelli di monitoraggio derivanti da Interferometria satellitare. Nel corso dello sviluppo del Progetto Preliminare, al fine di integrare le serie storiche di misure disponibili (forniti dalla Provincia Autonoma di Trento) con i dati più recenti, è stata effettuata un'analisi interferometrica dei dati relativi alla costellazione COSMO-SkyMed per il periodo temporale 2011-2015 (Fig. 8).

È stata studiata un'area di sviluppo pari a circa 34 km<sup>2</sup>, estesa a tutto il versante occidentale del Monte Marzola. In sintesi, le velocità di spostamento stimate con le acquisizioni discendenti COSMO-SkyMed sul versante del Monte Marzola sono risultate in linea con i valori di spostamento stimati a partire dalle acquisizioni discendenti di ERS ed ENVISAT: velocità medie annue <5mm/anno in superficie nell'area attraversata dal tracciato (Fig. 8 (b)).

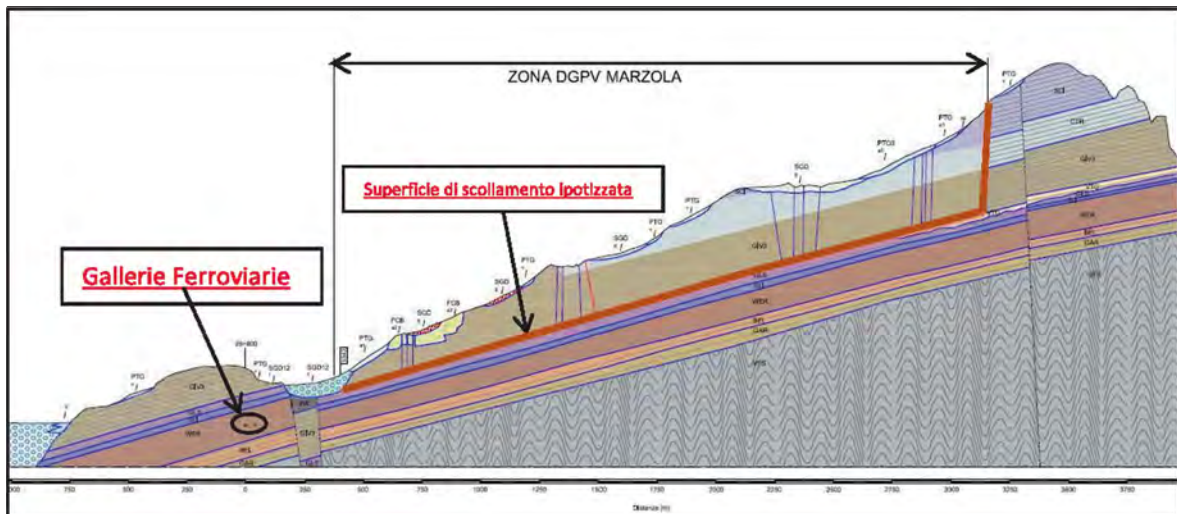


Fig. 7 – Galleria Trento - DGPV del Monte Marzola.

Per la comprensione dell'estensione del fenomeno negli strati profondi, sono disponibili dati inclinometrici (sondaggio PAT 3898), che mostrano minime deformazioni, dell'ordine di 1 mm/anno alla profondità di 80 m. In prossimità di questo sondaggio, le coperture a quota estradosso della Galleria Trento sono pari a circa 160m. Il sondaggio ha rilevato la presenza di una coltre detritica di spessore importante (75 metri circa), che, sulla base del modello geologico proposto nell'ambito del presente studio, non viene interessata dallo scavo delle gallerie in progetto. In ogni caso, lo scavo delle gallerie in prossimità dell'area interessata dal fenomeno del Monte Marzola rappresenta un elemento di attenzione che andrà approfondito nelle successive fasi progettuali, in particolare, per la corretta caratterizzazione geotecnica degli ammassi attraversati.

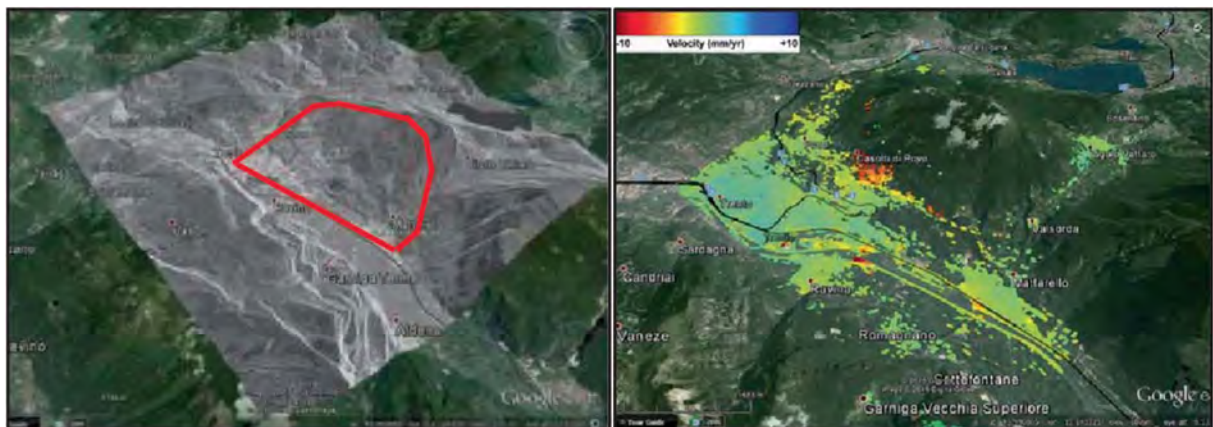


Fig. 8 – (a) Immagine di ampiezza COSMO-SkyMed acquisita sull'area di interesse; (b) Mappa delle velocità medie dei PS stimate sull'intero periodo di monitoraggio (4 anni).

I depositi gravitativi dei Lavini di Marco sono stati originati da un vasto fenomeno di scivolamento traslativo planare a blocchi lungo superfici di strato nei calcari del Gruppo dei Calcari Grigi, che ha dato origine al versante in roccia delle "Laste di Lizzana" (zona di distacco), sede di un Geosito dedicato alle impronte dei dinosauri, ed alla formazione di un

esteso accumulo caotico di blocchi, originato in seguito ad eventi avvenuti in età storica, che ha occupato parte del fondovalle dell'Adige immediatamente a Sud di Rovereto. Sulla base delle indagini eseguite per la redazione del Progetto Preliminare, in corrispondenza del tratto iniziale in naturale lato Sud (Fig. 9), lo scavo della Galleria Zugna si collocherà all'interno del deposito di frana stabilizzato, costituito a quota galleria da depositi granulari eterometrici caratterizzati dalla presenza di massi e blocchi di elevata volumetria. Pertanto, se a seguito di successivi approfondimenti di indagine e progettuali, verrà confermata la presenza di trovanti, la TBM da adottare per lo scavo di questa galleria dovrà essere opportunamente progettata, sia per quanto riguarda la testa fresante, sia per quanto riguarda ulteriori accorgimenti (p.e., un'ulteriore camera iperbarica) al fine di consentire l'uso in sicurezza al fronte di utensili e attrezzature che consentano di fronteggiare l'evenienza dei blocchi di grandi dimensioni.

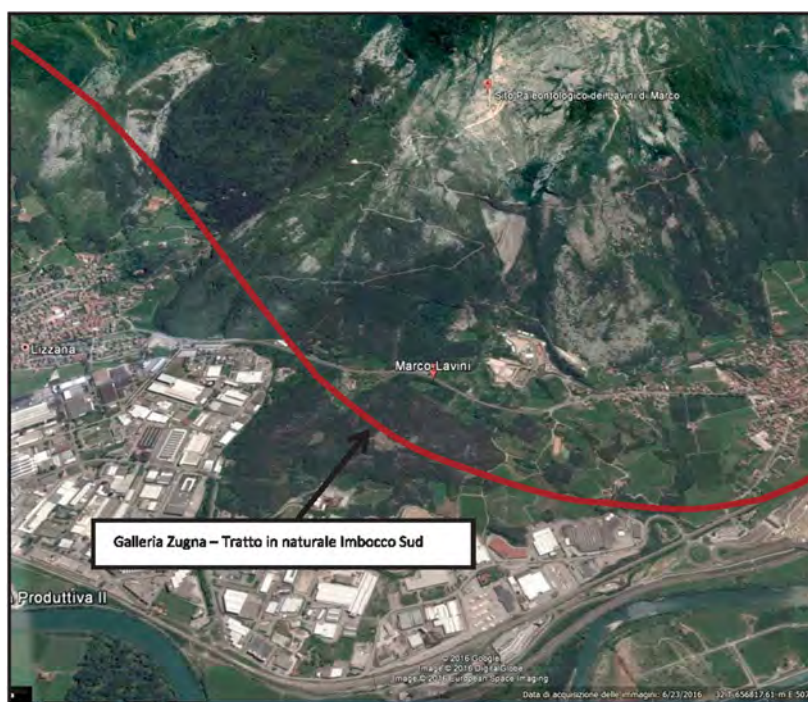


Fig. 9 – Lotto 3 – Depositi gravitativi Lavini di Marco.

#### Bibliografia:

Crosta (2002), "Convenzione per lo Studio dei fenomeni di instabilità di versante del Monte Marzola (prov. Trento) - RELAZIONE FINALE e allegati".

Dematteis, A., Kalamaras, G., Eusebio, A. (2001). "A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunnelling", AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, Milano, Italy 10-13 June, II, pp. 257-264.

Torri, R., Dematteis, A., Delle Piane, L. (2007) "Drawdown hazard of springs and wells in tunneling: predictive model and Verification". Proc. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, Lisbon 17-21 Sept. 2007, 10 pp.

Transalp Working Group (2003), "The TRANSALP seismic profile and the CROP 1A sub-project", Mem. Descr. Carta Geol. d'It., LXII, pp. 107-126.

## “The northern access to the Brenner Base Tunnel”

Dipl.- Ing. Johann HERDINA Member of the Executive Board, Tyrolean Hydropower Company (TIWAG)

Dipl - Ing. Reinhold Palla hbpm Engineers Ltd.

### 1. Introduction:

The northern access to the Brenner Base Tunnel is divided into two parts. The first part being constructed between 2003 and 2012 and the second part between Kundl and the German borderline which is still in a preparation phase.

The first part reaches from the Innsbruck bypass tunnel which is also one of the entrances to the Brenner Base tunnel and the village of Kundl. This part was constructed first on the whole line between Munich and Verona. In this part of the axis the traffic passing from Germany to Italy in north south- or south north direction is crossed by traffic running in Austria east to west. Therefore this stretch was the primary bottleneck on the axis between Munich and Verona. The whole project length is 41 km and 80 % of these lengths involve tunnels, galleries are open cut tunnels.

The cost for the construction of this section from 2003 through to 2012 ran up to 2.3 Billion Euro.

40 km total length of line

34 km tunnel

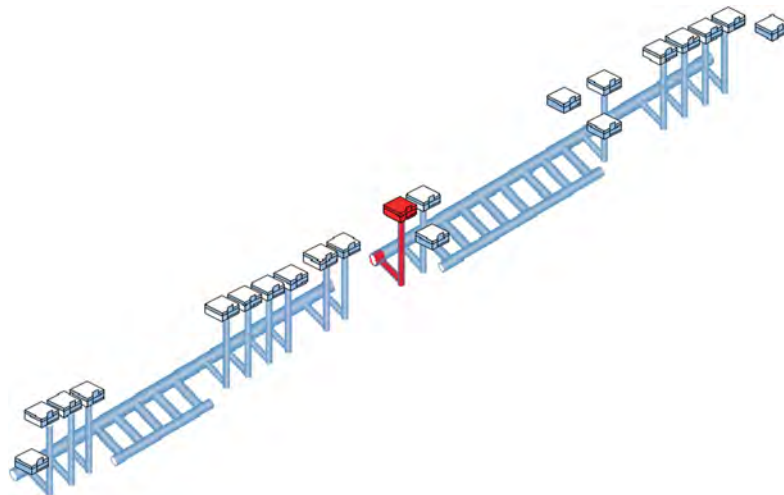
10 km rescue tunnels and cross drifts

35 escape shafts

35 shaft top elements

8 operational buildings

7 rescue area



**Title:** Tunnel pattern of the lower Inn valley

The tunnel pattern is basically a double track single bore tunnel with rescue tunnels or escape shafts every 500 meters. 10 kilometers of rescue tunnels were built and 35 escaped shafts had to be constructed in the project.

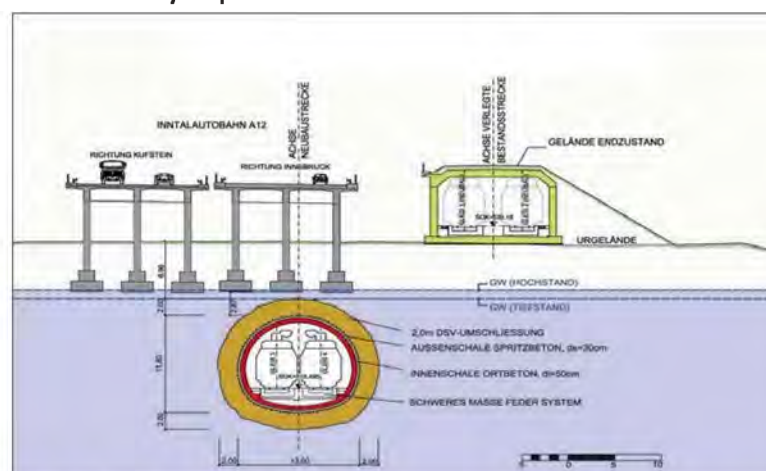
As the tunneling had to be done in a very tensely populated alpine valley most of the tunnelling was done as very shallow tunnels in soft ground and under the ground water table.

## 2. Tunnelling methods used for the construction:

Basically all known tunnelling methods were used in this first section of the lower Inn valley from conventional hard rock tunnelling down to specialized tunneling concepts. As most of the tunneling had to be done under the ground water table tunnelling concepts using compressed air conditions for the excavation was one option and another option was using a slurry TBM-machine. Up to the date of construction no TBM-machine of the size with a diameter of more than 13 meters had been used in an inneralpine valley under these conditions.

## 3. The tunneling concept – Stans:

Near the valley of Stans the new railway line had to underpass the motorway where the motorway was constructed on a bridge to overpass a small river. For a stretch over 750 meters the tunnel was constructed under compressed air conditions with a jet grouted ring that had been constructed beforehand from the surface. This meant that for the jet grouting the boreholes had to be set very exact as the concrete ring should not only be watertight up to a certain extent but should also reduce the need of compressed air during the excavation phase. As the tunnel had to pass underneath the existing railway line some of the cross sections had to be grouted with slanting piles. This method turned out to be successful but very expensive to construct in the end.

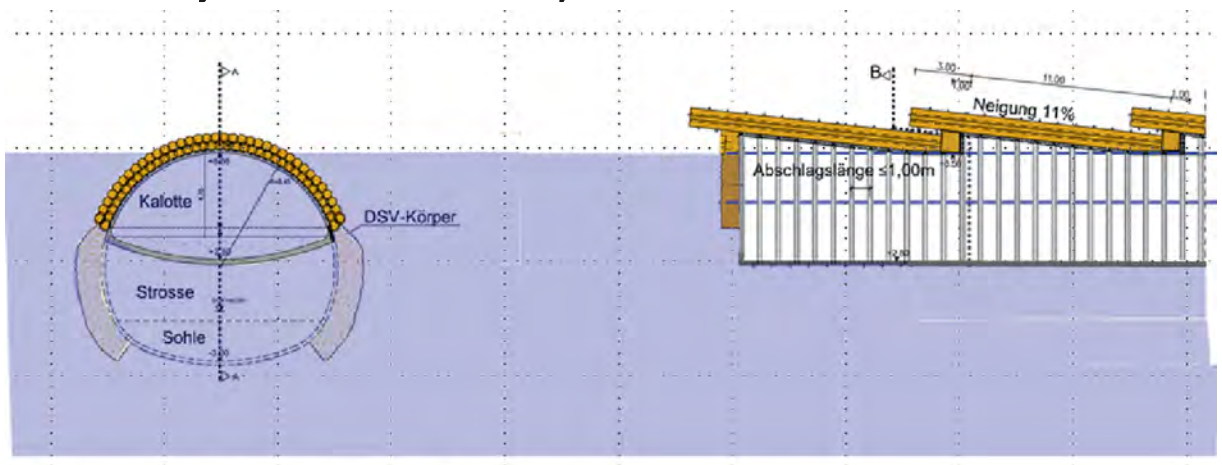


**Title:** Cross section in Stans

#### 4. The tunnelling concept of Fritzens:

##### a) Tunnelling under horizontal jet piles:

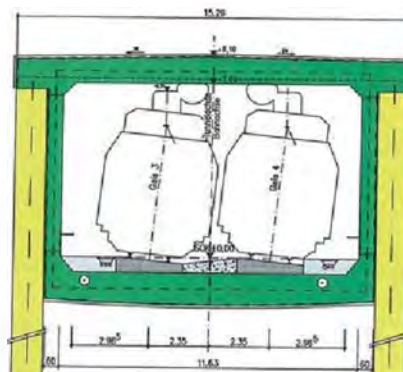
Near the village of Fritzens the new railway line had to pass underneath the railway station of Fritzens without disturbing the traffic on the existing line. Therefore only a minimum of settlements were allowed and even less up heave. This was the first time horizontal jet grouting in a tunnel was combined with excavation and jet grouting under compressed air conditions. This method could only be chosen as highly experienced engineers were on the job site, which had already done work with horizontal jet grouting and work under compressed air conditions. The loss of compressed air during the excavation was one of the main worries before starting the work. Even under these conditions the job was finished successfully.



**Title:** Cross section with horizontal jet piles

##### b) Tunnelling under a slab concrete roof:

On the same lot a different tunnelling method was used where excavation was pouring done in compressed air conditions but under a slab concrete roof that was erected on concrete bore piles. The difficult part of this tunnelling method was the innerlining in the tunnel under compressed air conditions in the appropriate quality requested by the owner.

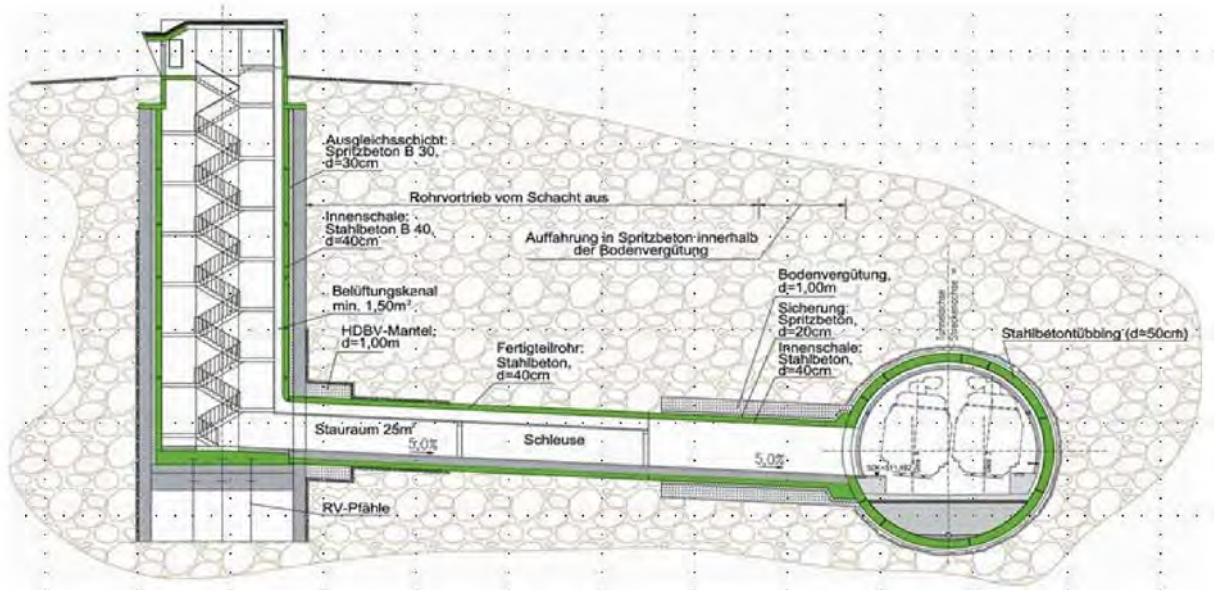


**Title:** Cross section with concrete slab roof on concrete piles

## 5. Tunnelling with slurry TBM in an alpine valley

A long stretch of more than 9 km was excavated with slurry TBM's in two different lots. The specially manufactured TBM's had a diameter of 13,05 meters and there were two identical TBM-machines running on two different lots. The motorway had to be underpassed in four different points and the existing railway line had to be crossed underground at three different points two road bridges were also to be undermined. As mentioned into the introduction every 500 meters there was the need to construct a rescue tunnel and a rescue shaft.

Most of the difficulties during the construction of this part came from the interface between rescue tunnel and main tunnel. To construct a watertight cross passage between the two different tunnels needed a large amount of professional knowledge and perfect handwork.



**Title:** Cross section with rescue shaft, rescue tunnel and main TBM-tunnel

Rescue tunnels were constructed by pipe jacking method and the ground for the interconnection of the rescue tunnel with the main tunnel was pretreated either by jet grouting, with concrete piles or by construction of diaphragm walls.

The jet grouting method gave the least reliable ground pretreatment and therefore some problems occurred exactly in these interconnections.

Having two TBM's working in the same softground conditions with the same diameter built by the same company gave interesting insight into the different performances that were achieved by the two different joint-venture companies. A medium excavation rate was achieved between 7 and 10 meters per day. A maximum daily rate was achieved between 24 and 30 meters.

## **6. Conclusion:**

Tunnelling under difficult conditions in with shallow overburdains in and underneath the grandwater table is a large challenge but, as has been shown on the first section of the lower Inn valley northern access route to the Brenner Base Tunnel, can be achieved if experienced designers, owners and construction companies work together on a project.

Without this experience in a project of this size and complexity, it would not be surprising to find a project to end up in disaster.

The first section of the northern access to the Brenner Base Tunnel could be finished in 2012 and was put into operation at the beginning of December 2012. Since then for more than four years the line has being running without any great difficulties and has allowed to shift traffic from the road to the rail. This uptil now is more local computer traffic than international heavy vehicle traffic.





# TUNNEL EURALPIN LYON TURIN at work

## 9TBM

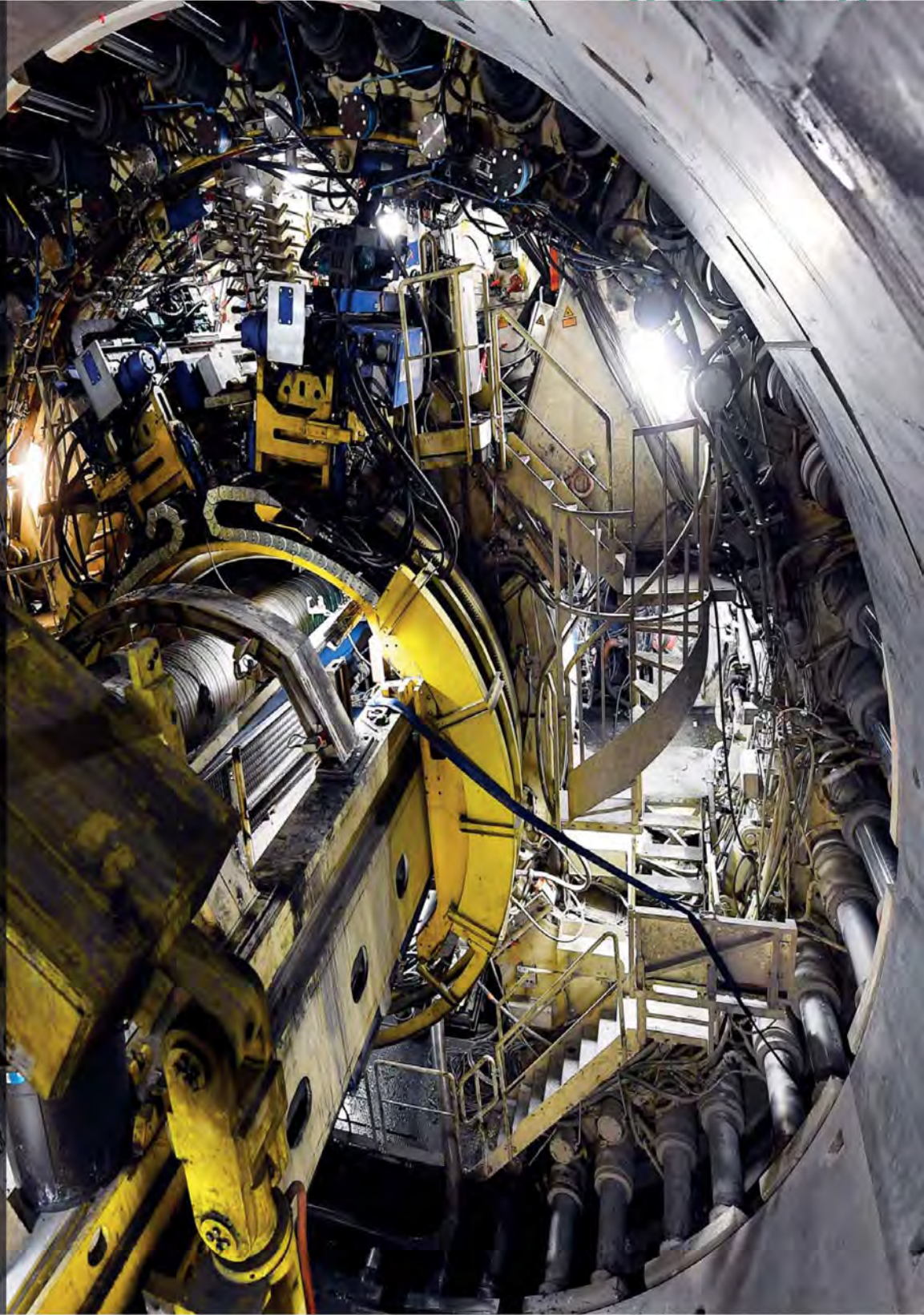
working to build  
the world's longest  
RAIL TUNNEL

## 57,5KM

BETWEEN  
FRANCE AND ITALY

## - 155

months  
until the opening



[www.telt-sas.com](http://www.telt-sas.com)





## **IL TUNNEL DI BASE DEL MONCENISIO: LE SCELTE DELLA COMMITTENZA E LO STATO DEI LAVORI**

MARIO VIRANO, DIRETTORE GENERALE TELT SAS  
MANUELA ROCCA E MARZIA GIACOIA SEGRETERIA GENERALE TELT SAS

### Abstract

Nato nel 2015, TELT è il promotore pubblico per la realizzazione della sezione transfrontaliera della Nuova Linea Torino-Lione (NLTL) che comprende il **Tunnel di Base del Moncenisio** di 57,5 km, il più lungo d’Europa. Competitività e sostenibilità guidano la NLTL fin dagli intenti originari, ovvero liberare le Alpi, il Monte Bianco, il Fréjus e la costa marittima dalle emissioni e dal congestionamento dei tir. TELT prosegue su questa via con l’adesione al Global Compact delle Nazioni Unite, lo stretto monitoraggio ambientale e l’attenzione alle risorse. Oggi, con circa 800 addetti ai lavori, l’opera è in corso: il **10% delle gallerie è già scavato** e il **20% è contrattualizzato**. Le due frese, Federica a Saint-Martin-La Porte e Gea a Chiomonte, scavano l’una verso l’altra. Dal 2017, con le gare per i lavori, entra in vigore anche il Regolamento antimafia bi-nazionale che istituisce controlli su tutta la filiera. Operativi nel 2029 con la tratta fondamentale del **Corridoio Mediterraneo** della rete TEN-T, nel segno della legalità, dell’efficienza e del rispetto dell’ambiente.

### 1. Un’opera in corso di realizzazione

La storia della Nuova linea ferroviaria Torino-Lione è costellata di eventi assunti alle cronache giornalistiche ma proprio quest’enfasi mediatica ha finito per oscurare l’autentico significato e il grandissimo potenziale dell’opera.

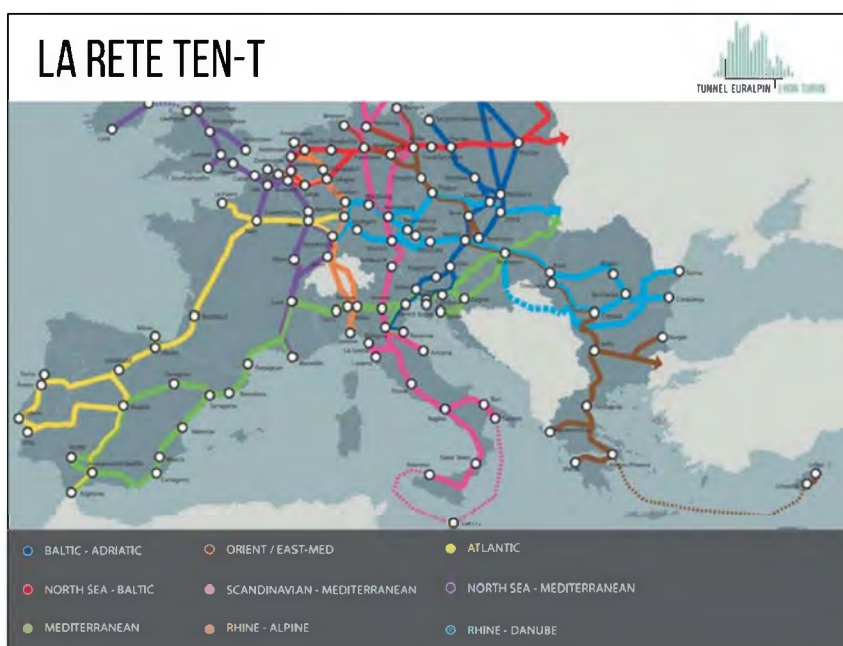
Forse solo oggi, dopo la ratifica dell’**Accordo Francia-Italia del 2015** (con le integrazioni del 2016) per l’avvio definitivo dei lavori, si può raccontare davvero che cosa la Torino-Lione rappresenta per l’Italia, per la Francia e per l’Europa.

Dopo il progetto originario del 2001 annullato per la parte italiana e riformulato ex-novo sulla base dell’accordo di Pra Catinat del 2008, dal 2015 è al lavoro il promotore pubblico TELT per passare alla realizzazione concreta. Sono trascorsi 15 anni ma, pur con le rilevanti modifiche tecniche apportate, rimangono immutati gli intenti originari: aumentare la competitività economica, diminuire l’impatto ambientale del trasporto merci (soprattutto) sull’arco alpino, con il trasferimento modale dalla strada alla ferrovia e attuare il progetto di integrazione fisica dell’Europa. L’importanza dell’opera si comprende guardando al contempo molto lontano e molto vicino.



**Figura 1 – Il percorso della Nuova Linea Torino-Lione**

La Nuova Linea Torino-Lione è l’anello mancante del Corridoio Mediterraneo, 3.000 km di via ferroviaria che collega Siviglia a Budapest e che rappresenta il **18% della popolazione europea** e il **17% del PIL continentale**<sup>1</sup>. Questo corridoio è parte della Rete TEN-T (Figura 2): nove assi e 28 Paesi (ante-Brexit) che, attraverso il miglioramento dei trasporti, stanno perseguendo una progressiva e reciproca integrazione. Intanto, dall’Oriente la Nuova Via della Seta avanza sui binari di infrastrutture ferroviarie AV/AC finanziate soprattutto dai cinesi nei Paesi del Sud-est asiatico, del Caucaso e del Medio-Oriente, con l’obiettivo di raggiungere più velocemente e in modo più sicuro i mercati europei.



**Figura 2 – I nove corridoi della Rete TEN-T**

<sup>1</sup> Directorate General for Mobility and Transport – European Commission “Mediterranean Core Network Corridor Study – Final Report 2014”

Anzi, i treni cinesi sono già qui, come testimoniano gli arrivi a Lione, Rotterdam e Londra rispettivamente il 16 aprile, il 30 settembre 2016 (Figura 3) e fine gennaio 2017.



Figura 3 – I percorsi ferroviari della nuova via della seta

Se guardiamo a questo orizzonte immenso la Torino-Lione sembra solo uno dei tanti collegamenti in corso d'opera, eppure la nuova linea ferroviaria ha il compito di soddisfare un traffico di merci di consistenza non facilmente eguagliabile dalle altre linee in costruzione: sull'Asse italo-francese transitano più di **40 Milioni di tonnellate all'anno**, dato superiore a quello che attraversa le Alpi Svizzere (38 M) e pari a circa il 60% del volume che attraversa la frontiera tra l'Austria e l'Italia<sup>2</sup>. Se si considera la bilancia commerciale Francia-Italia stiamo parlando di circa **75 MLD d'interscambio** (dati 2015 in crescita del 2,5% rispetto al 2014) mentre se allarghiamo l'esame all'Ovest dell'Europa (oltre alla Francia, anche Penisola Iberica e Inghilterra) siamo nell'ordine di 140 MLD € l'anno.

<sup>2</sup> Dati Alpinfo 2014

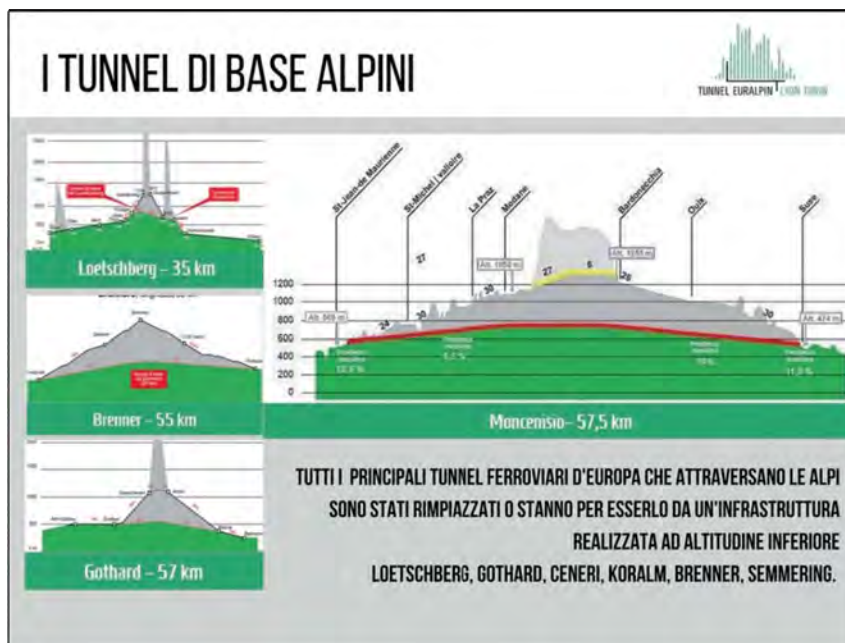


Figura 4 – confronto tra il tunnel di base del Moncenisio e gli altri tunnel alpini

Perché tutti questi scambi, ancorché crescenti nonostante la crisi, non avvengono sulla via ferroviaria? Perché la linea storica del Moncenisio, con l'ultracentenario Tunnel del Fréjus, non è più efficiente né competitiva. Ecco perché il 70% del traffico sull'arco alpino occidentale avviene su strada. Ammodernare la linea storica non eliminerebbe l'handicap del Tunnel del Fréjus (del 1871) e le **pendenze del 30%** non consentono velocità, capacità, risparmi e controllo delle emissioni di una linea di pianura. I treni sono competitivi solo se viaggiano in piano e l'unico modo per realizzare una linea di pianura quando c'è una montagna è forare la montagna alla quota di pianura e realizzare un tunnel di base. Il tunnel del Moncenisio (di 57,5 km), il cuore della Torino-Lione, non è un caso isolato: Lötschberg, Gotthard, Ceneri, Zimmerberg, Brenner, Koralm, Semmering (Figura 4) sono tutti i valichi alpini in cui si stanno realizzando i tunnel di base.

Siamo in un contesto da cui non si può prescindere e che ha come istanze principali l'ambiente e l'economia. Da un lato la visione più ad ampio raggio della strategia europea che dalla **COP21 (Conferenza sul clima) di Parigi 2015** s'impegna a ridurre le emissioni di gas serra, dall'altro la **Convenzione Alpina** che vede tra i firmatari Italia, Francia, Svizzera, Austria e Slovenia per il riequilibrio modale.

La Torino-Lione porterà alla riduzione di 3 M teq di CO<sub>2</sub> trasferendo fino a 1.000.000 di veicoli dalla strada alla rotaia. In altre parole, contribuirà ad una riduzione di emissioni pari al quantitativo prodotto da una città di 300.000 abitanti (come Nizza ad esempio).

E questo avrà importanti **ricadute sul turismo alpino**, grazie al decongestionamento dal traffico di tir e al dimezzamento dei tempi di percorrenza per i passeggeri (ad esempio sulla tratta Parigi-Torino da 6h a 3h47' e tra Torino e Lione da 3h43' a 1h47').

TELT sta procedendo con questa duplice prospettiva: da una parte l'ottica europea, dall'altra l'attenzione al territorio in cui l'opera si snoda.

In entrambi i casi le scelte sono comuni: ambiente, innovazione, sicurezza, legalità e competitività.

## 2. Lo stato dei lavori tra sostenibilità, ambiente e territorio



Figura 5 – Lo stato dei lavori a fine 2016

Dal 2001 sono state realizzate **tre gallerie geognostiche lato Francia** e sono due le indagini in corso a **Saint-Martin-La-Porte** e a **Chiomonte**. La scelta del Promotore, condivisa con la Commissione Intergovernativa e con la Commissione Europea, è stata quella di realizzare una galleria geognostica a Saint-Martin-La-Porte in maniera che possa essere utilizzata poi come opera definitiva senza costi supplementari, essendo scavata nell'asse e con il diametro del tunnel di base e diventando un tratto del tubo sud del tunnel di base.

I lavori di scavo complessivi occuperanno in totale 160 km (57,5 km per ciascuno dei due tubi del tunnel e la restante parte costituita dalle discenderie e dai bypass di sicurezza, uno ogni 330 m).

### 2.1 Promuovere la qualità delle opere e la competitività

Per affrontare la sfida, TELT si è dotata di un planning serrato, in conformità con il **Grant Agreement** concordato dai due Governi con la UE, stabilendo tempi, costi e responsabilità, con l'obiettivo di assicurare fluidità dei processi, garantire la percezione quotidiana dell'avanzamento dei lavori e delle criticità, il monitoraggio delle performance.

L'approccio della committenza al progetto è quella della **Work Breakdown Structure (WBS)** che ripartisce in livelli gerarchici, dal generale al particolare (e viceversa), tutte le componenti del progetto e ne consente la pianificazione, la gestione e il monitoraggio.



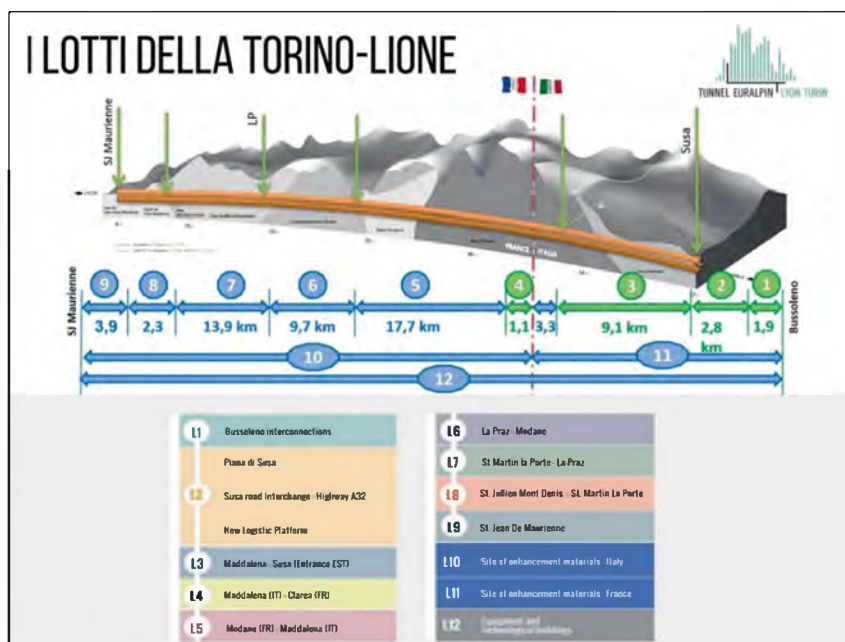


Figura 6 – Rappresentazione della divisione in lotti geografici

In linea con questa metodologia, l'opera è suddivisa in **dodici lotti geografici** (Figura 6) con la successiva attribuzione a ciascun lotto di più contratti, suddivisi tra appalti di costruzione (con importi da 150 M€ a 1.500 M€) e comprensivi di una parte di engineering (circa il 3-5% dell'appalto principale).

Il picco dei lavori è previsto tra il II semestre 2018 e fine 2019, per il rispetto del Grant Agreement, e tra il secondo semestre 2017 e l'inizio del 2018 ci sarà la maggior quantità di gare. Il principio seguito nell'articolazione dei lotti in contratti mira a ottimizzare l'impiego dei fondi pubblici, promuovere la concorrenza, massimizzare le ricadute sui territori interessati. Per quanto riguarda le attività no-core è stata intrapresa l'adesione a centrali uniche di acquisto (UGAP in Francia e CONSIP in Italia) per i servizi aziendali che prescindono dai lavori (interpretariato, cancelleria, viaggi ecc.)

Il rispetto del planning e l'utilizzo ottimale delle risorse passa attraverso:

- Un **personale** altamente specializzato e un'organizzazione interna efficiente (a partire dalle funzioni preposte alla contrattualistica)
- Una programmazione delle attività e una **pre-informazione del mercato**, per consentire a tutti gli interessati di prepararsi per i bandi pubblici che saranno emessi<sup>3</sup>.
- Un **albo dei fornitori** ex. Art. 46 decreto 2016-360 del codice civile francese.

Per questi obiettivi, nella primavera 2017 TELT organizzerà dei Road Show in Europa (in primo luogo in Francia e in Italia) per illustrare tutte le tematiche giuridiche, tecniche ed economiche per la partecipazione alle gare.

## 2.2 Le ricadute economiche sul territorio

Per rendere possibile quest'opera, TELT si è già dotata di oltre 100 addetti (50% in Francia e 50% in Italia). Si prevede che i cantieri genereranno un fabbisogno di circa **4.000 persone** con un potenziale indotto di circa il doppio.

<sup>3</sup> Si ricorda che il Promotore è tenuto, ai sensi dell'Accordo 2012 tra Francia e Italia, a bandire le gare ed eseguire i lavori secondo il diritto francese e che questa disposizione è altresì integrata con l'applicazione anche in Francia della normativa antimafia.

TELT lavora per integrare l'opera nel territorio e rendere evidenti alle comunità locali le ricadute positive della Nuova Torino Lione. In Francia la **Démarche Grand Chantier**, un progetto nato a seguito delle procedure di concertazione tra lo Stato, la Région Auvergne-Rhône-Alpes, il Dipartimento di Savoia e il Sindacato di Maurienne con il Contratto di Maurienne del 30 settembre 2016, punta a fare del cantiere della Torino-Lione e dello sviluppo della regione un obiettivo comune. La mobilitazione dei partner e delle amministrazioni locali è dimostrata dall'impegno economico dei firmatari dell'importo di 40,7 M € da qui al 2020. La Démarche riguarda in particolare le questioni di occupazione, formazione, alloggio, supporto al tessuto economico e sviluppo locale.



Figura 7: gli impegni fondamentali della Démarche Grande Chantier

TELT si appresta a firmare con i partner della Démarche, un'intesa relativa alle gare che saranno bandite per i lavori definitivi, con impegni da tradurre, ove possibile, in **prescrizioni contrattuali nei bandi di gara**.

Nella Val di Susa, com'è noto, la situazione resta complessa e in Italia non esiste uno strumento legislativo analogo a quello della Démarche. La Regione Piemonte ha promulgato la **LR 4/2011 (Cantieri, Sviluppo, Territorio)** la cui applicazione percorre oggi i primi passi. L'Osservatorio continua a essere il luogo del dialogo tra le collettività locali e il governo centrale, in particolare per le compensazioni finanziate dallo Stato, per favorire, come in Maurienne, il radicamento territoriale del cantiere.

TELT sta avviando iniziative di promozione e supporto al territorio, in collaborazione con le istituzioni e le realtà locali.

### 2.3 L'ambiente, questione prioritaria

La sostenibilità dell'opera e il rispetto dell'ambiente sono tra gli aspetti che maggiormente caratterizzano le scelte fatte per la costruzione della Nuova Torino-Lione.

TELT ha infatti chiesto, ottenendolo, di iscriversi al **Global Compact nel 2015**, impegnandosi ad applicare principi di rigore ambientale e a fornire una reportistica ogni due anni.

Questo impegno si traduce in azioni concrete, a partire dai cantieri, tutti concepiti come stabilimenti industriali, per arrivare agli strumenti di monitoraggio continuo di **135 parametri**, innovativi e sottoposti a verifiche.

L'opera prevede il riutilizzo del 50% del materiale di scavo per il rivestimento della galleria (conci), mentre la restante parte verrà trasportata prevalentemente tramite ferrovia ai siti di deposito. Si punta alla limitazione dell'impiego di risorse energetiche attraverso le fonti di energia rinnovabile (fotovoltaiche e geotermiche) e le due stazioni internazionali di Susa e di Saint-Jean- de-Maurienne sono concepite con attenzione al paesaggio e architetture di qualità (nel caso di Susa, a valle di un concorso internazionale vinto dall'architetto giapponese Kengo Kuma).



**Figura 8:** alcuni esempi di integrazione e di racconto del cantiere

Non basta garantire la compatibilità dell'opera a regime: occorre agire anche sulla qualità dei cantieri. In tale direzione va il progetto dei "cantieri parlanti" (Figura 8) per renderli luoghi comunicativi per i visitatori, con allestimenti informativi, multimediali e contributi di artisti.

#### 2.4 Il tema chiave della Legalità

La Torino-Lione è il primo caso in Europa di normativa antimafia applicata indipendentemente dalla nazionalità dei cantieri. Questo grazie alla ratifica dell'Accordo 2015 che prevede nel Protocollo Addizionale il Regolamento dei contratti per i lavori della sezione transfrontaliera. TELT crea quindi un sistema di trasparenza e di controllo nei due Paesi coinvolti nell'opera contro le infiltrazioni mafiose: a svolgere gli accertamenti antimafia per gli appalti sarà una **struttura bi-nazionale** costituita dal prefetto di Torino e dal suo omologo francese con una *White list* bi-nazionale.

### 3. Bibliografia

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC  
Ufficio federale dei trasporti UFT - Divisione Finanziamento (2014). "Alpinfo 2014".

Directorate General for Mobility and Transport – European Commission (2014).  
“Mediterranean Core Network Corridor Study – Final Report 2014”.

Mario Virano (2016). Le scelte di buon uso del suolo e del sottosuolo negli attraversamenti alpini del nord ovest d’Italia lungo il Corridoio Mediterraneo. Gallerie e grandi opere sotterranee, Società Italiana Gallerie.

Manuela Rocca (2016) - Nuova Linea Torino-Lione: da progetto ferroviario a progetto di territorio con ‘Smart Susa Valley’ – Le Strade - Aeroporti Autostrade Ferrovie, Edizioni La Fiaccola srl.



## **IL CUNICOLO GEOGNOSTICO DELLA MADDALENA - LESSON LEARNED**

**MAURIZIO BUFALINI TELT SAS – DIRETTORE GENERALE AGGIUNTO  
MARIA ELENA PARISI TELT SAS – RESPONSABILE ATTIVITA' GEOLOGIA**

### **Abstract**

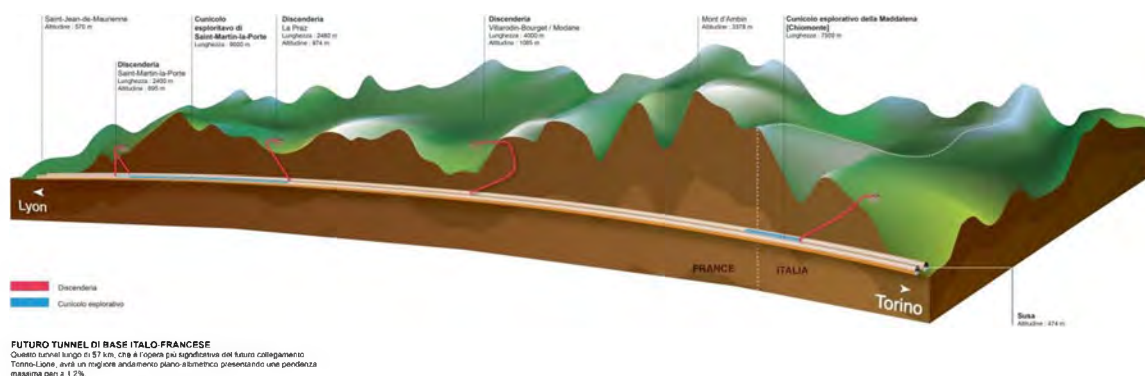
Il Cunicolo Geognostico della Maddalena fa parte delle opere della Sezione Transfrontaliera che interessa il territorio che va da Saint-Jean-de-Maurienne (Francia) a Susa-Bussoleno (Italia) e corrisponde alla prima fase funzionale della parte comune del nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione. Lo scavo ha avuto inizio nel 2012 e dopo i primi 200 m realizzati in tradizionale, lo scavo è proseguito con metodo meccanizzato, TBM aperta di diametro 6,30 m. Ad oggi il cunicolo ha superato i 6,7 km di lunghezza nel Massiccio d'Ambin. L'analisi dei dati prodotti (geologici, idrogeologici, geomeccanici, di scavo...) permette di affinare il quadro conoscitivo progettuale del Tunnel di Base in vista prima della fase esecutiva poi di quella costruttiva dell'opera principale.

### **1. Introduzione**

La Sezione Transfrontaliera, partendo da ovest, è costituita dall'attraversamento del settore all'aperto di Saint Jean de Maurienne, dal Tunnel di Base di circa 57 km che attraversa le Alpi Occidentali, dall'attraversamento all'aperto della Piana di Susa, dal Tunnel d'Interconnessione e dall'ingresso nella stazione di Bussoleno. Il Tunnel di Base, opera principale, attraverserà terreni di natura e qualità geotecnica e geomeccanica eterogenee, si incontreranno terreni sciolti (depositi alluvionali, depositi glaciali), rocce con diverse competenze (scisti arenacei/scisti ricchi in carbone), rocce evolutive (anidriti, gessi), rocce molto resistenti (micascisti, gneiss, ecc...) o molto abrasive (quarziti) e strutture duttili e fragili. Per indagare l'ammasso roccioso alla quota del futuro tunnel ferroviario sono state realizzate, oltre a 65 km di sondaggi e 260 km di indagini geofisiche, delle opere preliminari impegnative, in particolare tre discenderie in Francia per una lunghezza complessiva di 9 km, da ovest ad est:

- la discenderia Saint Martin la Porte di lunghezza 2329 m;
- la discenderia di La Praz di lunghezza 2480 m
- la discenderia di Villarodin Bourget/Modane di lunghezza 4036 m

Dal 2012 in Italia è iniziato lo scavo del Cunicolo Geognostico della Maddalena, ancora in corso, per una lunghezza complessiva di circa 7 km. Con l'inizio del 2015 si è dato avvio alla costruzione delle opere sotterranee del cantiere Saint Martin La Porte 4, che vede come opere principali la realizzazione di una discenderia complementare di lunghezza 1800 m, già terminata, e la galleria geognostica tra Saint Martin La Porte e La Praz di 8,8 km sul tracciato ed alla sezione del futuro tunnel di base, il cui scavo con la fresa è iniziato nell'estate 2016 (vd. Figura 1).



**Figura 1- Le opere preliminari del Tunnel di Base**

Alla data di redazione del presente lavoro lo scavo del Cunicolo Geognostico della Maddalena sul territorio italiano, ha superato i 6,7 km, poche centinaia di metri e si oltrepasseranno i 7 km, sarà a questa progressiva che terminerà lo scavo.

## 2. Il Cunicolo Geognostico della Maddalena

L'imbocco del cunicolo geognostico si trova in località La Maddalena nel Comune di Chiomonte (Torino) a quota 670 m. s.l.m.. Il tracciato del cunicolo della Maddalena è caratterizzato da una lunghezza pari a 7020 m, da un diametro di 6,30 m e da una pendenza che varia lungo il tracciato. I primi 1500 m sono in salita, il punto di minimo a 4100 m.

A partire da 3500 m il tracciato del cunicolo si immette in asse tra le due canne del futuro Tunnel di Base per proseguire in posizione più elevata (vd. Figura 2).

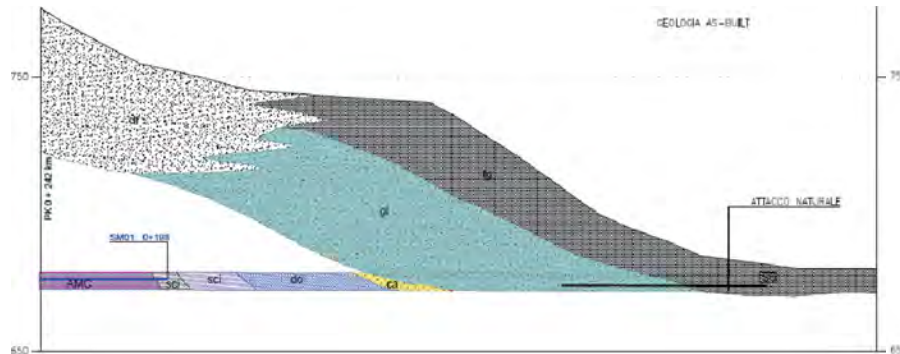


**Figura 2- Il Cunicolo Geognostico della Maddalena (tracciato in rosso)**

Durante tutto lo scavo sono stati eseguiti rilievi geologici, idrogeologici e geomeccanici, sondaggi, prove in situ e di laboratorio, monitoraggi geofisici, monitoraggi tensionali e deformativi. Nei paragrafi successivi si riassumono succintamente le principali risultanze dei dati raccolti.

## 2.1 Geologia attraversata

Il Cunicolo Geognostico della Maddalena attraversa, per la maggior parte, le rocce del Massiccio d'Ambin; solo i primi 200 metri di scavo (pK 0+198), iniziati a gennaio 2013 con metodo tradizionale, hanno interessato le coperture quaternarie (depositi fluvioglaciali (fg) e depositi glaciali indifferenziati (gi)), brevi livelli di carniole (ca), dolomie (do) e micascisti grigio chiari e scuri (sci) (vd. Figura 3).



**Figura 3- Scavo in tradizionale, primi 200 m del Cunicolo Geognostico della Maddalena (AS BUILT)**

Lo scavo meccanizzato ha preso avvio nel novembre 2013, dopo il montaggio della TBM aperta sul piazzale antistante il portale del cunicolo. La macchina, denominata Gea, è un modello Robbins, tipo "Main Beam", con diametro della testa fresante di 6,30 m, con n°43 cutters di diametro 17", con n°7 motori da 315 kW, con massima capacità di spinta di 13.600 kN, potenza alla testa di 2.205 kW, una coppia di grippers per ancorare la TBM al contorno della galleria durante lo scavo, un sistema di nastro per il trasporto dello smarino e con un peso complessivo (TBM inclusi i n°16 carri del backup) di 350 t (vd. Figura 4).

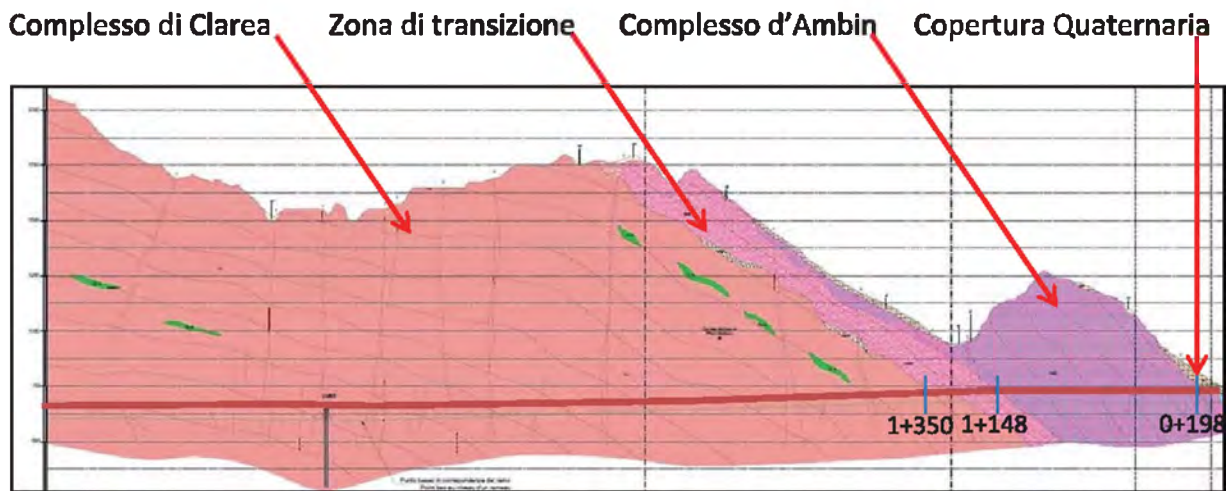


**Figura 4- Gea, la TBM del Cunicolo Geognostico della Maddalena**

Le prime rocce che sono state attraversate con la TBM sono stati gli gneiss aplitici afferenti al Complesso d'Ambin (da pK 0+198 a 1+148), poi una zona di transizione rappresentata da gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (da pK 1+148 a 1+350) e infine i micascisti di Clarea e gli gneiss minuti del Complesso di Clarea (da pK 1+350) (vd. Figura 5).

Durante lo scavo non sono state attraversate le lenti di metabasiti segnalate in letteratura e in taluni casi rinvenute in affioramento in superficie entro i litotipi del Complesso di Clarea.





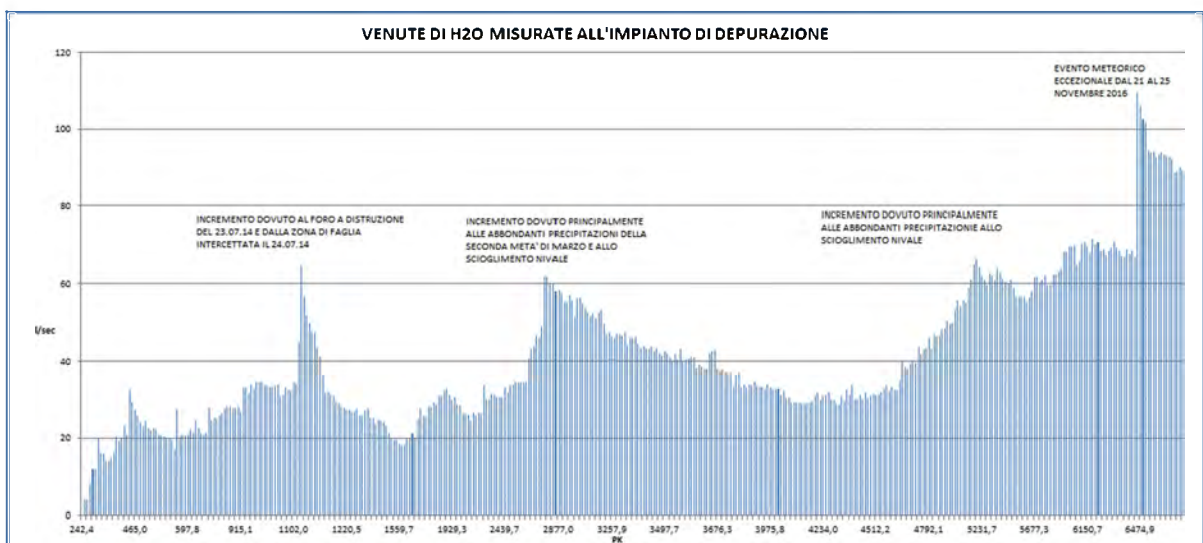
**Figura 5- Geologia incontrata dallo scavo del Cunicolo Geognostico della Maddalena**

La scistosità principale è orientata con direzione media NE-SW, con locali deviazioni N-S, valori dell'immersione variabili da 90 a 140, l'inclinazione della scistosità presenta angoli variabili da bassi a medi (da 10 a 50°).

I sistemi di discontinuità (giunti e fratture) sono presenti con una certa ricorrenza un numero di 5-6 famiglie, in genere disposte secondo sistemi NE-SW e NW-SE e in taluni casi N-S. Le famiglie più pervasive sono quelle impostate sulla scistosità. I sistemi di faglie si presentano sia impostati sulla scistosità preesistente con giaciture medie 120/45 sia ad alto angolo, orientate sempre in prevalenza lungo direzioni medie NE-SW e più limitatamente ENE-WSW. Lo scavo meccanizzato con fresa TBM aperta ha superato la pk 6+700 con coperture di quasi 2000m. Al raggiungimento della pk 6+900 circa arriverà in territorio francese.

## 2.2 Idrogeologia

Le portate delle venute d'acqua incontrate durante lo scavo della galleria sono state inferiori a quelle previste in progetto, raggiungendo una portata complessiva, in regime transitorio, pari a circa 90 l/s contro i 143-279 l/s previsti, misura realizzata il 24/12/2016 con fronte di scavo alla pk 6+690 (vd. Figura 6).



**Figura 6- Venute d'acqua cumulate misurate all'impianto di depurazione, con evidenza di picchi dovuti a eventi meteorici importanti.**

Le venute d'acqua, soprattutto di tipo diffuso piuttosto che puntuale, sono oggetto di continue analisi di laboratorio e monitoraggio nel tempo al fine di definire la loro provenienza e le caratteristiche geochimiche delle stesse.

Tra le prime considerazioni che si possono trarre, le analisi isotopiche realizzate sostengono un'origine meteorica delle acque prelevate e le analisi chimiche evidenziano in particolare le seguenti tipologie di famiglia: (i) Acque bicarbonato-calciche, magnesiache ( $\text{HCO}_3\text{-Ca,Mg}$ ) di bassa salinità tipiche di circuiti idrici poco profondi con brevi tempi di residenza, (ii) acque bicarbonato-sodiche ( $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ) di bassa salinità originate per interazione acqua-roccia relativamente prolungata, (iii) acque cloruro-sodiche  $\text{Cl-Na}$  (simili a quelle delle Terme di Vinadio), probabilmente prodotte per lisciviazione di rocce cataclastiche relativamente ricche di inclusioni fluide a cloro-sodio, precedentemente influenzate da circolazione di fluidi idrotermali, e (iv) acque formatesi per miscela fra acque bicarbonato-sodiche e acque cloruro-sodiche.

Inoltre mediante il monitoraggio delle risorse idriche del Torrente Clarea e delle sorgenti, si constata che lo scavo del Cunicolo non ha interferito con l'andamento del regime caratteristico di ciascuna risorsa idrica.

### 2.3 Temperatura dell'ammasso e delle acque sotterranee

Il monitoraggio del gradiente geotermico è stato realizzato tramite la misura della temperatura della roccia in foro (lunghezza 3m) eseguito sul paramento della galleria.

Le stazioni di misura sono di due tipologie, "mobili" con una frequenza ogni 50 m e "fisse" ad ogni 500 m.

Dalle misure effettuate si evidenzia che (vd. Figura 7):

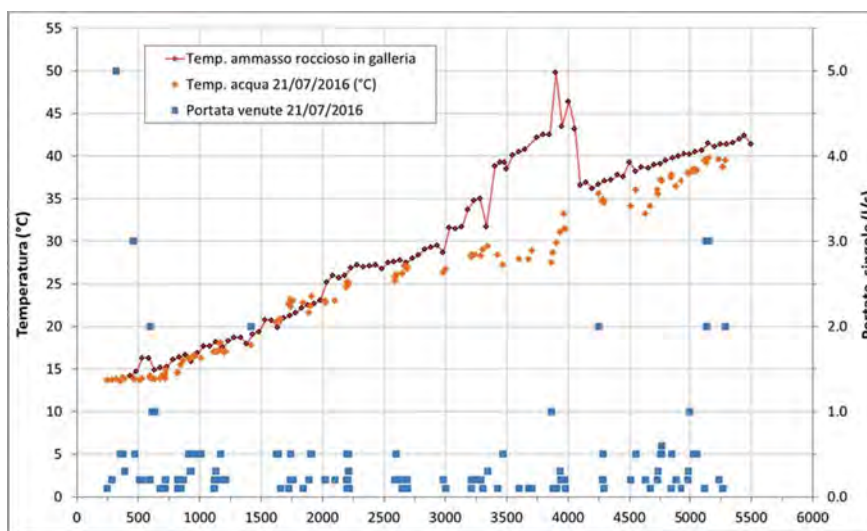
- la temperatura dell'ammasso roccioso cresce con regolarità e i dati di temperatura del massiccio sono correlati con le variazioni di copertura in modo più sistematico a partire dalla pk 4+000;
- si evidenzia una anomalia termica positiva tra la pk 3+400 e 4+050;
- fatta eccezione per la tratta di anomalia positiva, il gradiente medio nel cunicolo sembra prossimo a  $1.2 \pm 1.3 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ , inferiore rispetto a quello di previsione di  $3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ .



**Figura 7- Curva rossa andamento della temperatura dell'ammasso, curva marrone copertura della topografia in relazione all'avanzamento dello scavo (progressive, pK sull'asse delle ascisse)**

Ad integrazione del dato relativo alla temperatura dell'ammasso roccioso, considerando i dati di temperatura dell'acqua registrati nel monitoraggio delle venute con cadenza bimensile, si possono fare le seguenti considerazioni (vd. Figura 8):

- in linea generale, la temperatura della roccia e delle acque seguono un trend di crescita simile;
- la temperatura dell'acqua in corrispondenza del tratto in cui è stata rilevata l'anomalia positiva della temperatura della roccia mostra, al contrario, un valore inferiore di circa 4-5 °C, si parla allora di anomalia negativa dell'acqua;
- la temperatura dell'acqua incontrata in galleria può essere considerata in equilibrio termico con quella della roccia, a parte il settore interessato dall'anomalia termica.



**Figura 8- Temperatura della roccia, portata e temperatura delle singole venute e portate (aggiornamento luglio 2016)**

#### 2.4 Geomeccanica e comportamento allo scavo

Le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso scavato sono rappresentate in modo sintetico dalla classe media per circa il 51% (classe RMR III - Bieniawski, 1989), dalla classe di buona qualità per circa il 42% (classe RMR II - Bieniawski, 1989) e da quella di ottima qualità per circa il 6% (classe RMR I - Bieniawski, 1989). L'ammasso di qualità scadente (classe RMR IV - Bieniawski, 1989) è trascurabile, meno dell'1% (vd. Figura 9).

Questi dati confortanti hanno permesso di affinare il Progetto Definitivo del Tunnel di Base nelle medesime unità, con il raggiungimento dello scopo geognostico di questa opera preliminare.

Dal punto di vista del comportamento allo scavo, l'ammasso analizzato mostra comportamento teorico, in assenza di interventi di stabilizzazione, compreso tra la generale stabilità in condizioni elastiche al rilascio gravitativo caratterizzate da cunei/blocchi rocciosi con locale potenziale sviluppo di fenomeni minori di rottura fragile (spalling/rockburst).

I principali fenomeni di rilascio gravitativo si sono manifestati principalmente a partire da circa pk 3+500 coinvolgendo buona parte della calotta, per scistosità sub-orizzontale, ed in alcuni casi anche le zone alte dei paramenti.

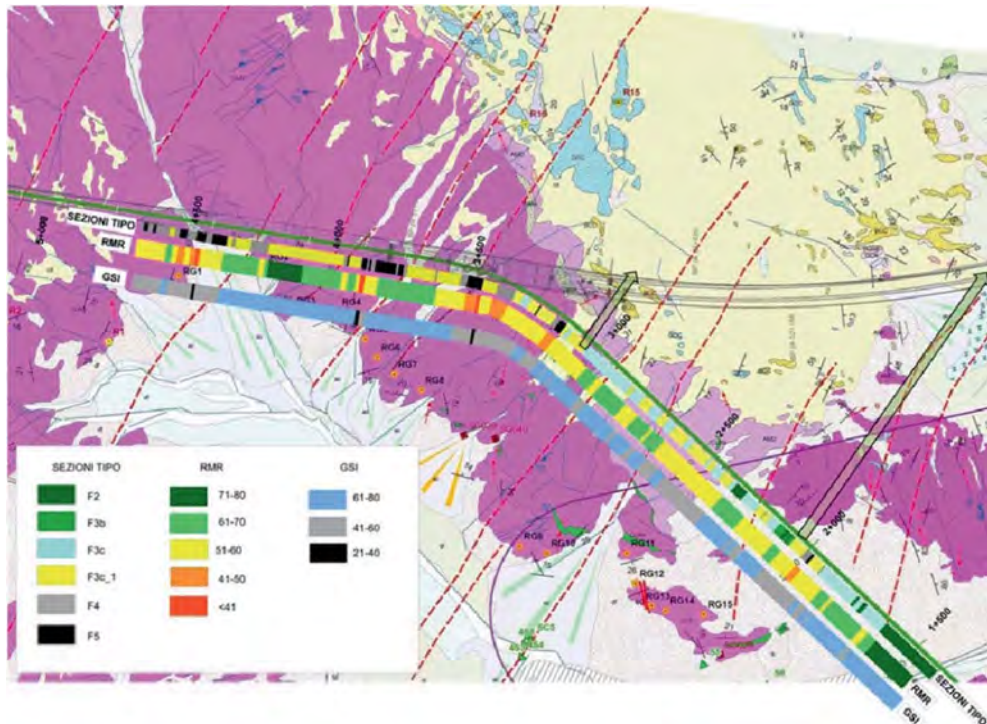


Figura 9 – Distribuzione areale sul tracciato del Cunicolo della Maddalena delle condizioni geomeccaniche riscontrate e delle sezioni tipo applicate.

Relativamente ai fenomeni di rottura fragile si segnala un solo evento di maggiore intensità alla progressiva pk 4+200, che ha interessato circa 10-12m di scavo (vd. Figura 10).



Figura 10 – Evento di rottura verificatosi alla pk 4+200 circa del Cunicolo geognostico della Maddalena.

In particolare la porzione di ammasso roccioso interessato era stato classificato con valori di  $RMR=61\div72$  (quindi in classe II di Bieniawski) e  $GSI=62\div75$ , a livello strutturale l'ammasso era

caratterizzato dalla presenza di scistosità sub-orizzontale e da discontinuità inclinate spesso con riempimenti carbonatici e la copertura topografica di circa 1000m. In seguito a questo evento, per le sezioni tipo da applicare, è stato introdotto il sistema a barre metalliche in calotta tipo McNally.

Questo sistema oltre ad avere lo scopo di contrastare efficacemente i fenomeni di distacco di roccia in calotta, permette tempistiche di messa in opera minori rispetto alle sezioni F4 e F5, mantenendo al contempo adeguati margini di sicurezza per le maestranze. In figura 11 è rappresentata la distribuzione delle sezioni tipologiche applicate nel Cunicolo Geognostico della Maddalena.

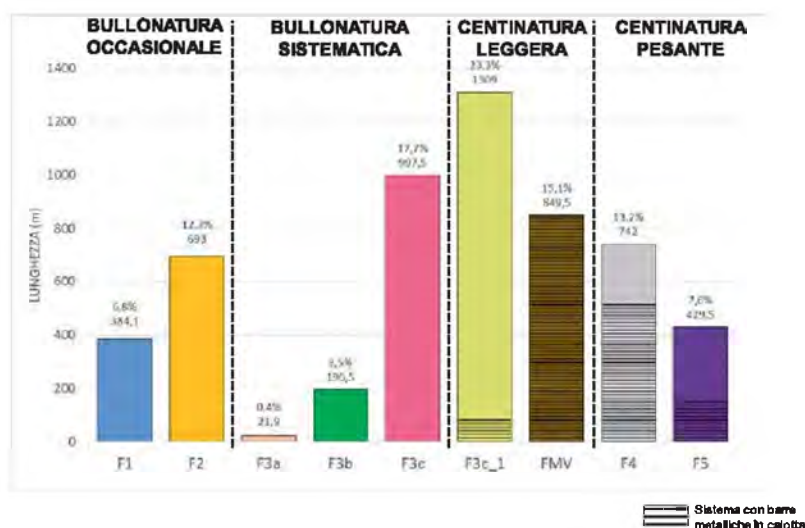


Figura 11 – Distribuzione delle sezioni tipo applicate nel Cunicolo fino al mese di Agosto 2016.

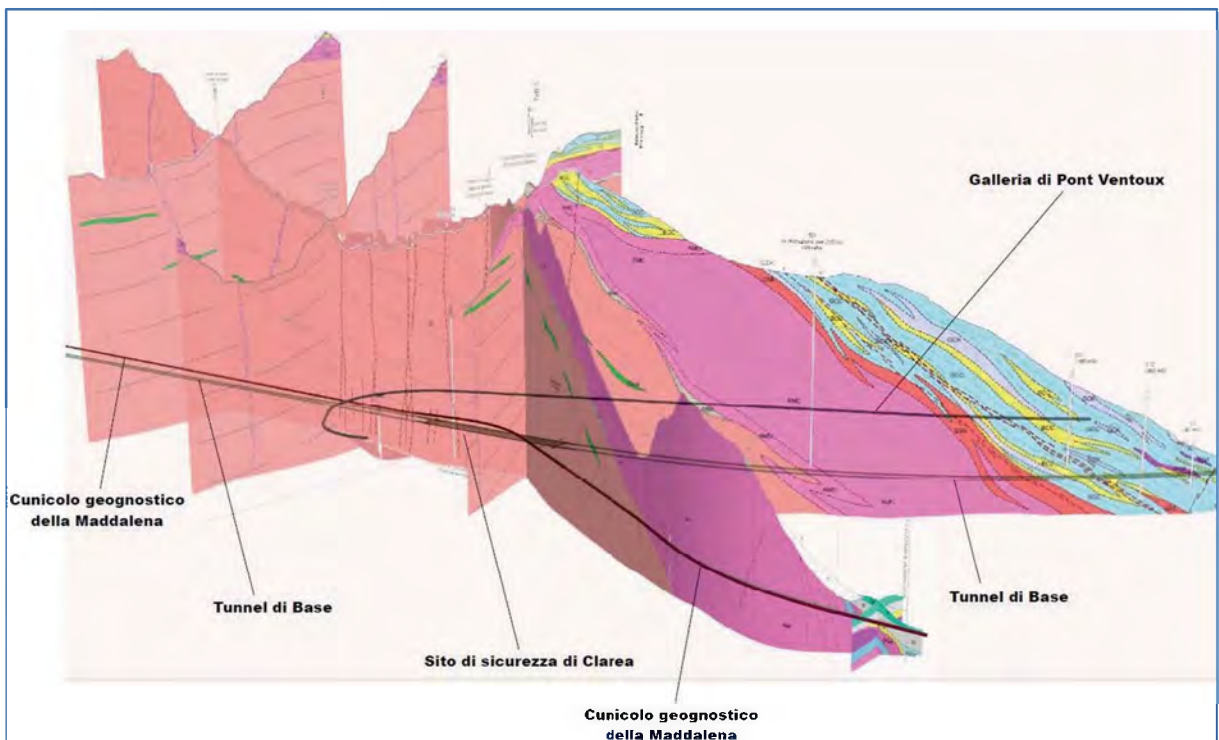
Nel prosieguo dello scavo i fenomeni di rottura fragile sono risultati meno intensi.

### 3. Ricadute del Ritorno di Esperienza del Cunicolo Geognostico della Maddalena sul Tunnel di Base

L'analisi dell'insieme delle informazioni acquisite attraverso lo scavo del cunicolo ma anche attraverso le numerose indagini e monitoraggi realizzati all'interno della galleria, ha permesso di aggiornare e migliorare in modo sostanziale il quadro conoscitivo relativo all'ammasso roccioso del Massiccio d'Ambin, aumentando il grado di affidabilità delle previsioni, a supporto dell'affinamento del Modello Geologico di Riferimento per la realizzazione del Tunnel di Base (vd. Figura 12) con il raggiungimento dello scopo geognostico di questa opera preliminare.

Tra i risultati più interessanti vi sono l'aver riscontrato dal punto di vista geomeccanico e idrogeologico delle generali buone condizioni senza grosse criticità e venute d'acqua di modesta entità.

Per quanto riguarda il comportamento dello scavo sotto le alte coperture, ha portato ad osservare fenomeni sistematici di rottura fragile per effetto dei rilasci tensionali, con aumento di volume per dilatanza, ma senza significativo rilascio di energia cinetica e quindi senza importanti proiezioni di blocchi ("bulking without ejection") dovuti sia all'esistenza di fratture pervasive sia alla scistosità generalmente sub-orizzontale dell'ammasso.



**Figura 12 – Ricostruzione geologica 3D delle opere nel settore Tunnel di Base – Sito di Clarea – Maddalena.**

Relativamente ai materiali di scavo del Cunicolo della Maddalena (gneiss aplitici e micascisti di Clarea) é stata eseguita una campagna di indagini al fine di verificare l' idoneità dei materiali per la produzione di aggregati da calcestruzzo con l' obiettivo di ottimizzare i coefficienti di valorizzazione rispetto a quelli proposti nella fase progettuale precedente (Progetto Definitivo).

Lo studio sui materiali condotto tramite prove di vagliatura in cantiere, prove di caratterizzazione geotecnica degli aggregati e di qualità per calcestruzzo, ha portato a concludere che il coefficiente di valorizzazione potrebbe passare da 0,5 a 0,65 implicando un aumento della disponibilità di aggregati che potrebbe arrivare a 1.100.000 t. Per quanto siano ovviamente fondamentali le caratteristiche intrinseche dei materiali per una opportuna valorizzazione dello stesso, la tipologia della testa fresante della TBM, la preparazione degli aggregati al fine di ottenere una forma e granulometria conformi, il confezionamento del calcestruzzo secondo formulazioni specifiche, risultano essere altrettanto importanti per una buona politica di valorizzazione della risorsa naturale.

#### 4. Bibliografia

Burdin J. (2016) – Materiali di scavo provenienti dalla galleria della Maddalena, Prove di Qualità per aggregati e per calcestruzzo.

Brino L., Monin N., Fournier C., Bufalini M. (2013), “Nuova Linea Torino-Lione - Ritorni d’esperienza”, Congresso Internazionale SIG - Gallerie e spazio sotterraneo nello sviluppo dell’Europa, Bologna, 17-19 ottobre 2013

Darmendrail X., Brino L., Burdin J. (2011), “Bilancio e risultati degli studi sulla gestione e valorizzazione dei materiali di scavo del Tunnel di Base della Nuova Linea Torino Lione”, Verona, Convegno SIG, 2-3 marzo 2011.

Fornari E., Gilli P., Rolando M., Sorlini A. (2014), “Some unusual aspects in the Construction Management of La Maddalena Exploratory Adit in Italy for the Turin-Lyon HSR project”, AITES-ITA 2014 World Tunnel Congress, Foz do Iguaçu, Brazil, 9-15 may 2014.

Monin N., Brino L., Darmendrail X. (2011°), “Le projet ferroviaire Lyon-Turin – 20 ans d’études et de reconnaissances techniques pour la conception du tunnel de base”, Journées Scientifiques Arnould, juin 2011.

Monin N., Chabert A., Brino L. (2011b), “Nuova Linea Torino Lione – Ritorni d’esperienza dalla discenderia di La Praz”, Swiss Tunnel Congress 2011, Lucerna, 8-10 giugno 2011.

Monin N., Brino L., Fabre F. (2011c), “Du modèle géologique prévisionnel à la géologie excavée: exemple de la descenderie de Villarodin-Bourget/Modane (LTF)”, Congrès International AFTES 2011, Lyon, 17-19 octobre 2011.

Monin N., Burdin J., Brino L., Colas J., Divet L., Chaussadent T. (2013), “Preliminary tests on high sulphate content aggregates for tunnel lining concrete”, World Tunnel Congress, Geneva, 3-5 June 2013.

Monin N., L. Brino, A. Chabert. (2014), Le tunnel de base de la nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin : retour d’expérience des ouvrages de reconnaissance, Congress, AFTES Lyon 2014.

Parisi M.E., Monin N., Brino L., Bufalini M., Fournier C. (2010), “Approccio metodologico per determinare le previsioni idrogeologiche e le venute d’acqua nell’ambito della progettazione della Nuova Linea Torino Lione – Ritorno di esperienza della Discenderia di La Praz, Le acque di superficie e sotterranee e le infrastrutture di trasporto dalla pianificazione all’esercizio”, Convegno Nazionale Associazione Idrotecnica Italiana, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica IRPI-CNR, Società Italiana di Geologia Ambientale SIGEA, Roma, 6-7 maggio 2010.

Parisi M.E., Farinetti A., Gilli P., Brino L. (2015), “First results from the excavation of the Lyon-Turin Maddalena Exploratory Tunnel”, ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly, May 22-28, 2015, Dubrovnik, Croatia.

Rettighieri M., Triclot J., Mathieu E., Barla G., Panet M. (2008), “Difficultés liées aux fortes convergences rencontrées lors du creusement de la descenderie de Saint-Martin-la-Porte”, Proc. Int. Congress, AFTES, Building underground for the future, Monaco, oct. 2008.

Subrin D., Vu T.M., Sulem J., Robert A., Monin N., Brino L. (2009), “Geometrical treatment of convergence and levelling data for the description of the anisotropic behaviour of carboniferous coal schists met in the St-Martin-La-Porte access gallery”, AITES-ITA 2009 World Tunnel Congress, Budapest, 23-28 maggio 2009.

## **LA NUOVA LINEA FERROVIARIA LIONE-TORINO: settore Saint-Martin-la-Porte: una zona geologica complessa**

PIERGIUSEPPE GILLI DIRETTORE COSTRUZIONI TELT  
ELSA HUGOT RESPONSABILE GEOLOGIA Francia

### Abstract

Gli accessi al Tunnel di Base in fase di realizzazione è possibile grazie ad alcune discenderie o gallerie d'accesso italiani e francesi. Quella di Saint-Martin-la-Porte è la prima discenderia partendo dall'ingresso ovest del Tunnel di Base. Con un'altitudine di partenza di 695m e una lunghezza di 2329m per raggiungere la quota del futuro tunnel di base (circa 624m), la sua realizzazione ha costituito l'oggetto di due appalti precedenti. Tale suddivisione è legata all'intercettazione di formazioni geologiche aventi caratteristiche negative. Questi terreni carboniferi (Houiller), che presentano convergenze molto marcate, hanno portato all'ottimizzazione dell'orientamento dell'opera rispetto agli strati geologici per terminare lo scavo. I numerosi adattamenti hanno avuto un impatto considerevole sull'esecuzione dello scavo e hanno imposto la realizzazione di un pre-sostegno e un sostegno pesante.

Quanto appreso dai lavori di scavo dei cantieri della discenderia di Saint-Martin-La-Porte viene presentato da un punto di vista geologico, geotecnico e idrogeologico, insieme alle maggiori incertezze residue al termine di questi cantieri. Sarà inoltre descritta l'influenza di tali esperienze sulla realizzazione delle opere esplorative di Saint-Martin-la-Porte 4. I suddetti lavori sono iniziati nel 2015 e saranno presentati i primi risultati ottenuti a partire dalle opere di scavo già realizzate nel 2016.

### 1- Scavo della discenderia di Saint-Martin-la-Porte (SMP): esperienza maturata

Realizzata tra il 2003 e il 2009, la discenderia di Saint-Martin-la-Porte si trova nel settore di contatto tra il Sub-brianzonese e la zona carbonifera brianzonese. Dal PM0 al PM1545, ha attraversato in sequenza la zona calcarea, marne e dolomie della zona sub-brianzonese, quindi l'anidrite del fronte dell'Houiller, prima di entrare nelle formazioni dell'Houiller verso il PM805. Lo scavo della discenderia è poi proseguito fino al PM1545 all'interno delle stesse formazioni, giungendo alla fine della discenderia dal PM1545 al PM2329, in una galleria orizzontale (35m) e in una parte della Canna Sud del Tunnel di Base (128m).

#### 1.1. Contesto geologico

Il settore della discenderia è caratterizzato dalla sovrapposizione della zona carbonifera brianzonese con la zona sub-brianzonese, per mezzo del Fronte dell'Houiller, struttura tettonica costituita a livello dell'opera da passate ettometriche d'anidrite (Rettighieri et al., 2008). In particolare, lo scavo ha incontrato l'unità dell'Houiller produttivo (Unità di Encombres, hE), che è caratterizzata dalla predominanza di facies scistose e carboniose (60%),



oltre che facies arenose (25%) e una proporzione significativa di livelli tettonici frantumati (15%). Queste formazioni si presentano generalmente senza continuità e all'interno di una struttura molto disturbata, si traducono quindi in fenomeni importanti per i quali il terreno esercita una compressione "squeezing ground" (Hoek, 2001 e Barla, 2001), che si manifestano con le seguenti caratteristiche:

- convergenze radiali metriche, associate a un'ampia zona decompressa intorno alla galleria (convergenze fino a 2 metri di perdita di diametro, per un diametro iniziale di 10 metri);
- un marcato comportamento differito, che rende difficoltoso stabilizzare le deformazioni con profili di sostegno classici;
- un comportamento anisotropo che coincide con l'orientamento preferenziale dei principali piani di fragilità meccanica.

### 1.2. Metodo di scavo e sostegni realizzati: esperienza acquisita

Lo scavo di questa discenderia ha incontrato difficoltà eccezionali per l'attraversamento dei terreni dell'Houiller produttivo. Le convergenze sono state di ampiezza molto marcata, in un settore in cui lo spessore dei terreni di copertura era moderato, inferiore a 300 m.



**Figura 1 – Problemi delle convergenze incontrate nella discenderia SMP**

Queste difficoltà non erano state previste. La messa a punto di un metodo di scavo e di sostegno è stata realizzata progressivamente sulla base dell'auscultazione continua e rigorosa delle deformazioni del terreno e dei sostegni e di un'analisi approfondita dei dati dell'auscultazione e delle osservazioni in loco.

Le dette analisi hanno portato alla modifica del tracciato della discenderia, all'adattamento alle forti convergenze della sezione di scavo e alla definizione di una modalità multi-fase per lo scavo e il sostegno, le cui principali caratteristiche sono (Rettighieri et al., 2008):

- un pre-sostegno mediante bullonatura davanti al fronte di abbattimento
- una prima fase di sostegno flessibile dietro al fronte maggiore, con bulloni e centine scorrevoli;
- una seconda fase di sostegno più rigido realizzato a 30 m dietro al fronte maggiore con centina scorrevole e guscio in calcestruzzo proiettato, che include scoli con elementi comprimibili;

- infine, un rivestimento in calcestruzzo colato di 1 m di spessore a 80 m dal fronte maggiore.

La soluzione adottata ha generato costi e ritardi considerevoli e inaspettati. La volontà di superare questa zona difficile in tempo "mascherato" ha in parte giustificato l'avvio della realizzazione delle opere ricognitive di SMP4, così da limitare l'impatto dello scavo di questa zona geologica sul programma generale del Tunnel di Base.

## 2. Opere geognostiche per SMP4

Il cantiere per l'esecuzione delle opere geognostiche per SMP4 a partire dalla discenderia esistente di Saint-Martin-la-Porte è diviso in 4 parti (Figura 2):

- **Parte 1:** inizio al PM 500 della discenderia esistente, di una seconda discenderia (parte 3a), sistemazione della base della discenderia esistente con metodo convenzionale e realizzazione della camera di montaggio della trivella;
- **Parte 2:** esplorazione geognostica e scavo con trivella della canna Sud del tunnel di base tra Saint-Martin-la-Porte e La Praz (circa 9 km);
- **Parte 3:** esplorazione geognostica e attraversamento del fronte dell'Houiller sull'asse della canna sud del Tunnel di Base (tra le basi delle due discenderie di Saint-Martin-La-Porte)

**3a:** scavo con metodo convenzionale di una discenderia complementare che permette di raggiungere, dal PM500 della discenderia esistente, il PK 10 del tunnel di base.

**3b:** esplorazione e scavo con metodo convenzionale della canna sud del tunnel di base tra la base della discenderia complementare fino al PK11,5 della discenderia esistente, attraverso la zona carbonifera produttiva, il cui limite è circa a PK10-10,4 del Tunnel di Base.

- **Parte 4:** sistemazione della base della discenderia di La Praz con metodo convenzionale (prolungamento della discenderia esistente e camera di smontaggio della trivella).

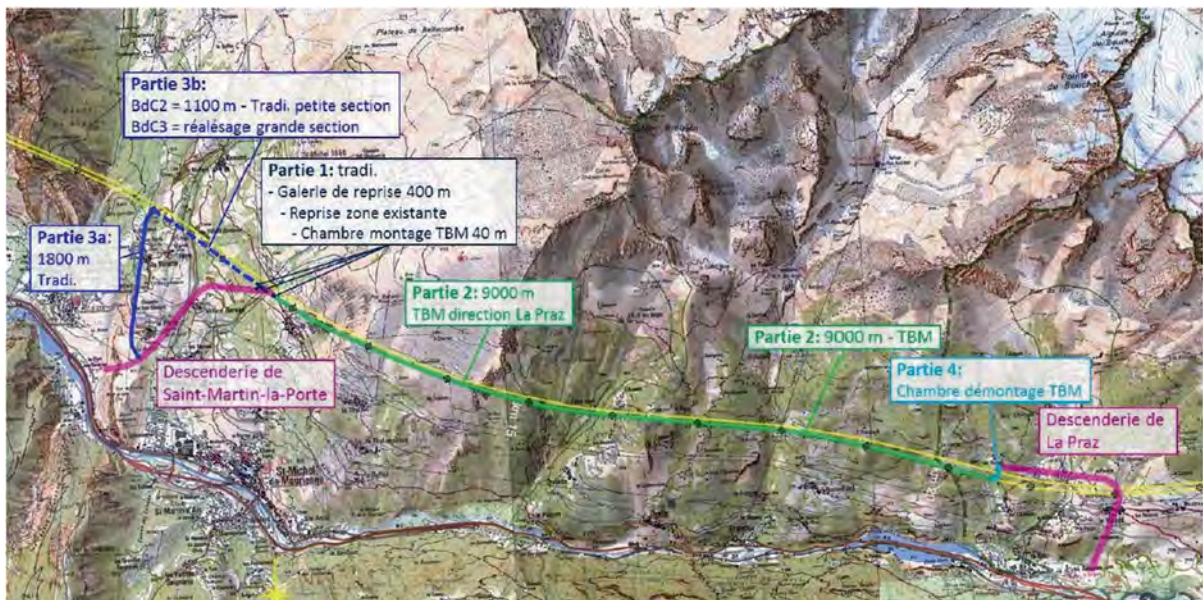
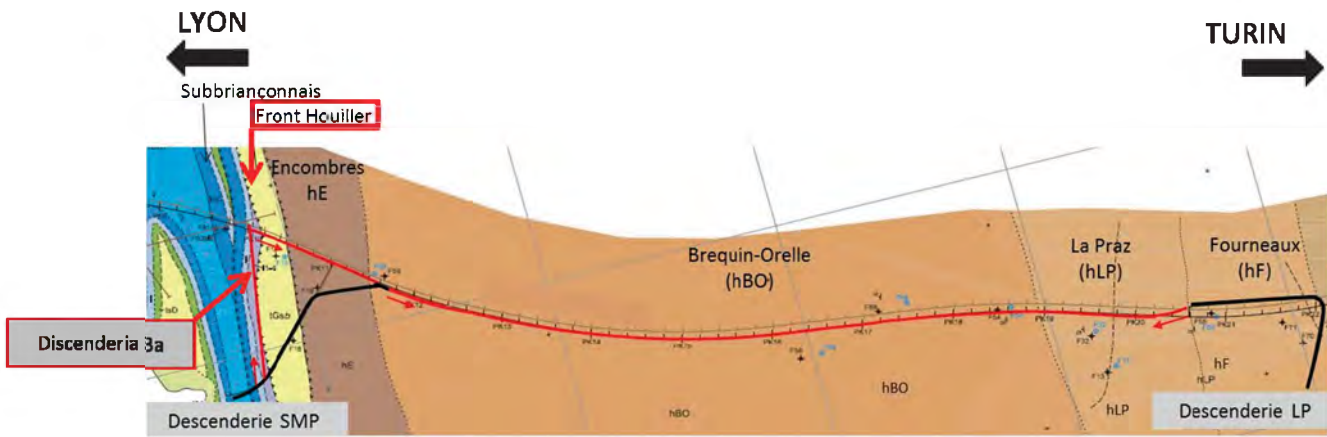


Figura 2 – Le opere di ricognizione per SMP4

Le opere previste nel contesto della ricognizione hanno l'obiettivo di migliorare la conoscenza geologica, idrogeologica, geomeccanica e geotecnica del settore. La figura 3 specifica il contesto geologico previsionale delle opere per SMP4.



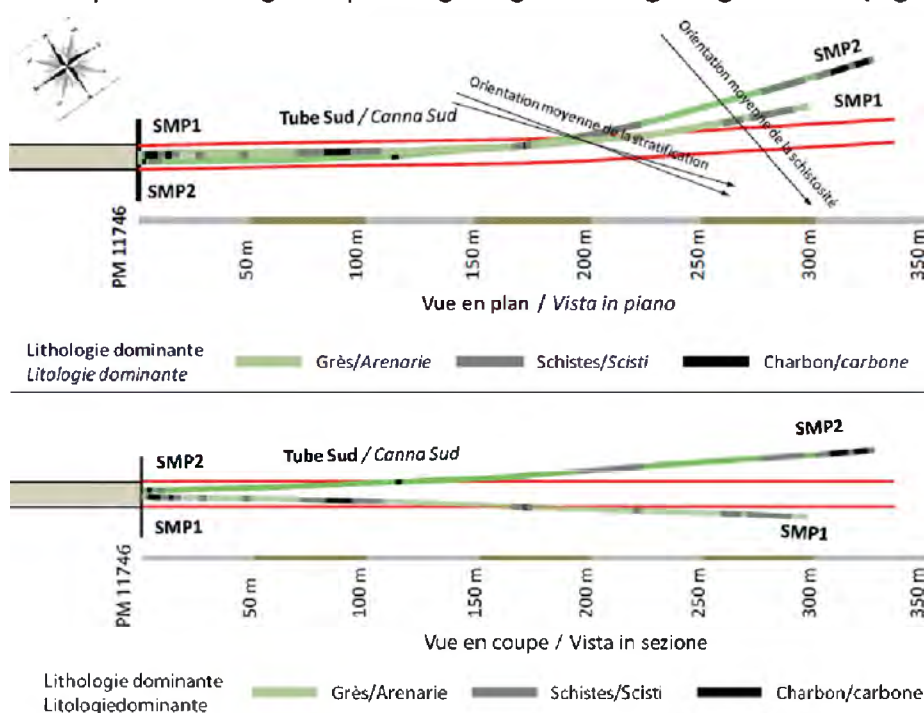
**Figura 3 - Contesto geologico previsionale (accanto al progetto)**

La galleria esplorativa realizzata in asse alla Canna Sud dalla base della discenderia complementare (parte 3a), fino alla base della discenderia di SMP, deve superare un contatto tettonico regionale molto importante, il fronte dell'Houiller, e verificare le condizioni di scavo di un tunnel di diametro elevato in condizioni particolarmente difficili. Tenuto conto degli elementi geologici e idrogeologici conosciuti, è necessario considerare le opere principali in modo separato, poiché i problemi strutturali, geologici e idrogeologici sono diversi da un settore all'altro.

**2.1. Parte 1: prolungamento della base della discenderia di SMP, in asse alla canna sud del Tunnel di Base e camera di montaggio della trivella**

**2.1.1. Dati prodotti dalle fasi precedenti di ricognizione e incertezze residue**

La realizzazione delle trivellazioni orizzontali SMP1 e SMP2 realizzate alla base della discenderia di SMP nell'asse del futuro Tubo Sud del Tunnel di base in direzione Est hanno permesso di comprendere meglio il quadro geologico e idrogeologico locale (Figura 4).



**Figura 4 - Rappresentazione degli insiemi litologici principali delle trivellazioni SMP1 e SMP2 con orientamento della scistosità e della stratificazione nelle trivellazioni (PR-C3B-0049\_Ritorno di esperienza della discenderia di Saint-Martin-la-Porte)**

La sequenza litostratigrafica da attraversare è ben nota ed è costituita da metarenarie, scisti neri più o meno arenosi con livelli carboniosi dell'unità di Brequin-Orelle. Tuttavia, queste due trivellazioni, sebbene forate in direzione quasi parallela alla direzione di avanzamento del futuro scavo, con una deviazione minima, hanno evidenziato:

- la difficoltà di correlare le informazioni litologiche di una trivellazione all'altra, a causa dell'eterogeneità dell'ammasso roccioso e della complessità legata alla deformazione duttile della roccia;
- la presenza di una stratificazione a pendenza ridotta/media verso est o sud-est, associata a una scistosità a forte pendenza verso Ovest;
- la ridotta probabilità di incontrare livelli di carbone di spessore plurimetrico;
- la quantità limitata d'acqua e l'assenza di faglie e corridoi di fratturazione importanti.

L'incertezza principale è quindi legata al carattere eterogeneo del massiccio, con fronti misti e alternanze su ogni scala di banchi arenosi e livelli scistosi e carboniosi.

#### 2.1.2. Dati provenienti dalle opere di scavo di SMP4

In questo settore, i lavori riguardano la realizzazione e/o la ripresa delle opere annesse alla base della discenderia esistente. Le formazioni geologiche incontrate sono conformi alle previsioni. Il fronte è asciutto o umido, con ridotta presenza di acqua (trasudamento). L'eterogeneità dell'ammasso roccioso è confermata anche alla scala del fronte.

Lo scavo della camera di montaggio della trivella viene realizzato nella zona carbonifera brianzese, in arenarie e scisti neri più o meno carboniosi, questi si tagliano in lamine che portano a una variazione della resistenza globale del fronte da media a negativa. La presenza di una fratturazione importante (varie famiglie congiunte) al momento dello scavo di alcuni passaggi provoca il distacco di blocchi dalla volta. Le convergenze rilevate in questo settore sono ridotte e diventano più significative dell'ordine di qualche centimetro nella parte inferiore della camera di montaggio al momento dello scavo. Queste osservazioni sono dovute all'alternanza delle formazioni arenose e carboniose in banchi di resistenza variabile e al prolungamento delle centine in seguito agli scavi successivi degli stross (4 livelli di stross da 2 a 3,7 m di altezza), che si trovano senza appoggio alla base a causa dell'assenza della controvolta. Queste convergenze si arrestano dopo la realizzazione della contro-volta.

#### 2.2. Parte 2: tronco scavato con trivella tra SMP e LP lungo la canna sud del Tunnel di base

##### 2.2.1. Dati prodotti dalle fasi precedenti di ricognizione e incertezze residue

Questa parte ha come obiettivi:

- acquisire l'esperienza necessaria per convalidare l'affidabilità dell'esecuzione del tunnel di base, con l'ausilio di una trivella nell'Houiller;
- determinare le caratteristiche e gli adattamenti da prevedersi sulle trivelle;
- adattare la sezione di scavo, la geometria e le caratteristiche meccaniche dei conci;
- verificare le ipotesi sulla geologia, idrogeologia e geotecnica

In questo settore dei lavori, la conoscenza delle condizioni geologiche generali deriva dalle diverse fasi di studio del progetto (APR/PR/PRF) e dalle successive integrazioni geognostiche in particolare per trivellazioni profonde. Il settore è caratterizzato da una copertura topografica importante, che causa difficoltà nell'estrapolazione delle osservazioni geologiche e strutturali in superficie. Inoltre, le trivellazioni realizzate in questa zona si trovano a una distanza minima di 900-1000 m rispetto al tracciato stesso, il che comporta difficoltà per la correlazione delle informazioni litostratigrafiche e tettoniche. Tuttavia, sulla base degli studi

sul terreno e dell'analisi delle trivellazioni, viene evidenziato un aumento progressivo della frazione arenosa e conglomeratica all'interno della zona carbonifera brianzonese e andando da ovest verso est, vale a dire dall'unità di Brequin-Orelle verso l'unità di La Praz. Questo si accompagna a una riduzione, allo stesso modo progressiva, dei livelli carboniosi, in termini di quantità e di spessore.

Questa zona è stata ritagliata dalla discenderia di Saint-Martin-la-Porte, il modello geologico è quindi relativamente attendibile perpendicolarmente alla discenderia, ma il limite dell'unità di Encombres (hE) e dell'unità di Brequin-Orelle (hBO) non può essere posizionato in modo preciso, a causa di una progressiva transizione tra queste due unità (Figura 5).

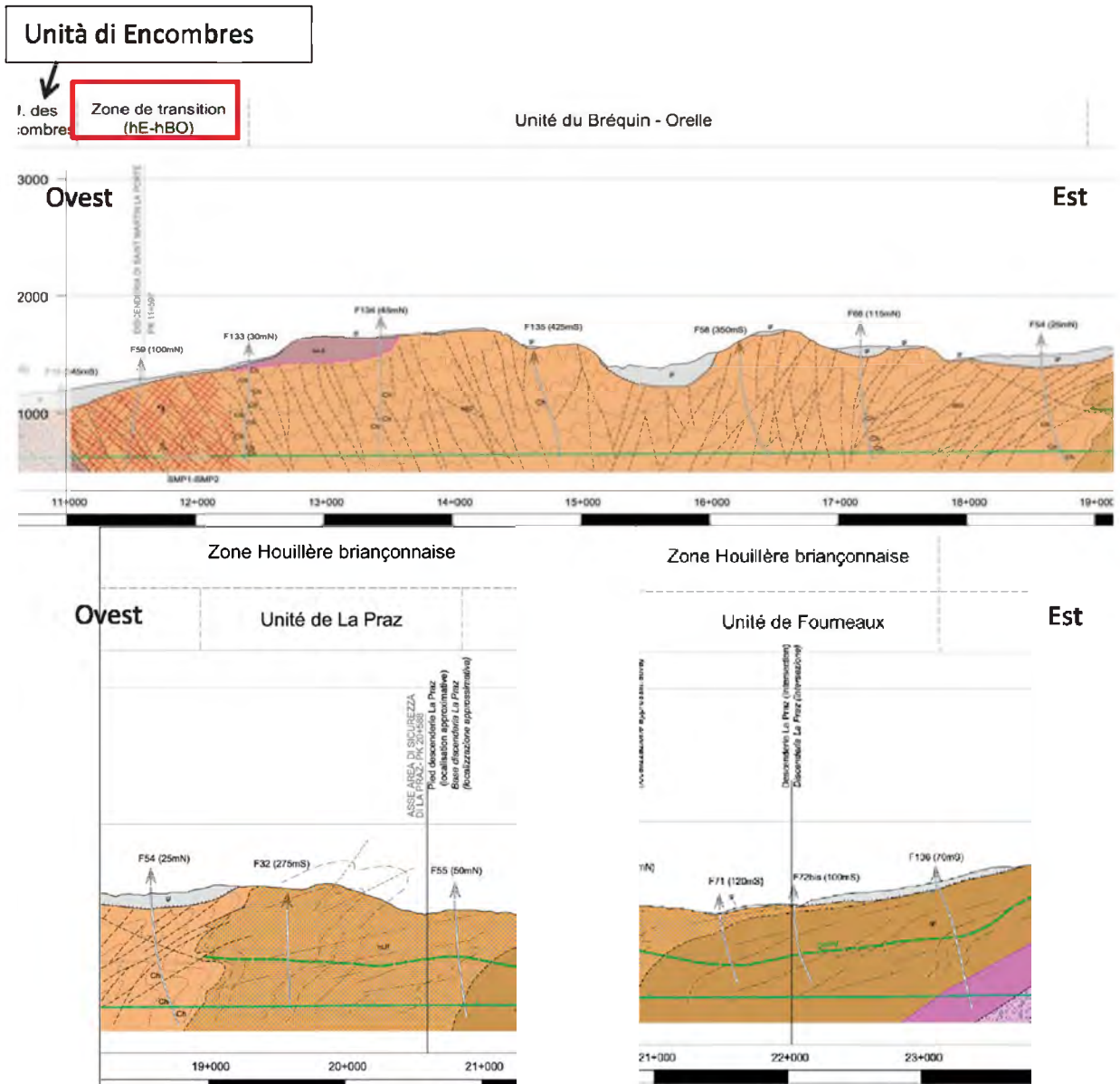


Figura 5 - Estratti della sezione geologica del Tunnel di Base (zona carbonifera brianzonese)

Le trivellazioni indicano una circolazione idrica abbastanza ridotta, con zone localizzate di circolazione d'acqua, anche alla quota del tunnel, ma con velocità di scorrimento molto basse; la permeabilità generale della roccia rimane ridotta, eccezion fatta per le zone di faglia potenziale, la cui posizione è molto difficile determinare. Le maggiori incertezze riguardano:

- le variazioni litologiche anche all'interno delle unità: per esempio l'alternanza arenaria scisto nell'unità Brequin-Orelle (hBO)
- la difficoltà di prevedere un quadro litostratigrafico preciso e quindi l'incertezza della localizzazione, la frequenza e la ripartizione delle varie rocce, e in particolare degli scisti neri e dei livelli carboniosi, associati alle caratteristiche geomeccaniche più sfavorevoli;
- la presenza di fronti di scavo misti legati all'eterogeneità e all'alternanza rapida e frequente delle facies, soprattutto nella parte ovest, con la comparsa inaspettata di nuovi livelli scistosi e/o carboniosi;
- l'estrapolazione delle faglie osservate in superficie o nella trivellazione alla quota del tunnel;

Tra le altre difficoltà vi sono:

- la complessità strutturale duttile, poiché il corrugamento degli strati può causare variazione nella geometria di intersezione tra la/e scistosità e il fronte di avanzamento, con conseguenti variazioni nella localizzazione e intensità delle instabilità del fronte e della superficie;
- l'importante presenza d'acqua che si può riscontrare, soprattutto nella parte profonda del massiccio, con flussi lenti;
- la permeabilità associata alle rocce delle zone di faglia (pieghe con faglie nell'estremità dell'unità di Bréquin-Orelle, faglie nelle arenarie dell'unità di La Praz);
- la posizione delle zone di presenza d'acqua;

#### 2.2.2. Dati provenienti dalle opere di scavo di SMP4

Lo scavo eseguito con trivella si sviluppa nella zona carbonifera. Si inizia con la presenza di metarenarie, con grado di scistosità e fratturazione variabile, accompagnate da scisti neri di spessore multi-decimetrico. Le fratture sono persistenti e aperte e il loro orientamento forma diedri e placche di dimensione multi-decimetrica e si trovano sul fronte in direzione della testa di taglio. Su circa 200 m sono presenti fronti di arenarie più massicci, meno fratturati (carboniferi arenosi). I materiali arenosi comportano un'abrasività importante delle frese. Sondaggi geognostici all'avanzamento evidenziano una zona a bassissima resistenza meccanica intorno al PM12+100. Allo scavo, questa è associata al carbonifero scisto-carbonioso, formato da banchi di carbone destrutturato di spessore metrico, circondati da scisti neri. Questa formazione favorisce la rottura del fronte maggiore e franamenti frequenti (forte instabilità del fronte, sviluppo di campane e superamento dei profili) e causa difficoltà per la rimozione dei materiali di scavo, legate anche alle elevate velocità di estrazione. Il fronte è spesso asciutto o presenta una presenza d'acqua ridotta.

### 2.3. Parte 3a: nuova galleria geognostica dalla discenderia di SMP, fino all'intersezione con il Tunnel di Base al PK10+140.

#### 2.3.1. Dati prodotti dalle precedenti fasi geognostiche e incertezze residue

Le incertezze riguardanti la localizzazione e la caratterizzazione delle litologie e dei contatti tettonici tra la zona del sub-brianzonese, il fronte dell'Houiller e la zona carbonifera. In sintesi, in questo settore è possibile enumerare le seguenti incertezze:

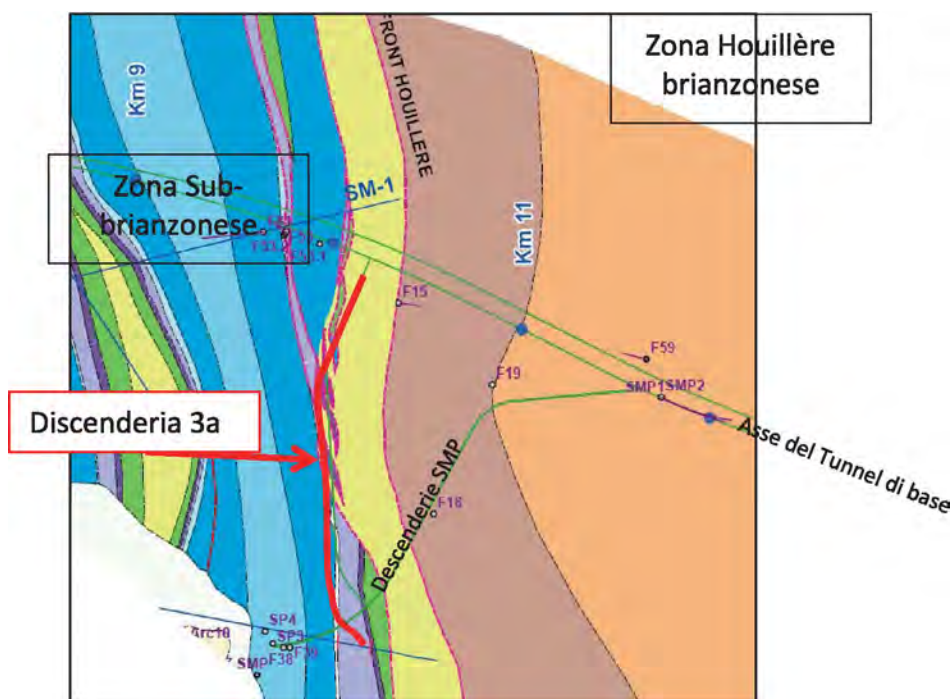
- la composizione delle sequenze carbonatiche della zona sub-brianzonese;
- la localizzazione del fronte dell'Houiller e le sue caratteristiche geometriche e strutturali;

- la localizzazione del contatto tra le anidriti del fronte dell'Houiller e gli scisti dell'unità di Encombres (hE);
- la presenza di falde acquifere;
- la presenza di zone carsiche all'interno del fronte dell'Houiller e/o intorno alla zona sub-brianzonese.

L'incertezza maggiore è legata al parallelismo tra la discenderia 3a e le strutture geologiche, in particolare il fronte dell'Houiller e le anidriti e carniole associate, che si estendono in direzione meridiana. Piani o zone di taglio secondari, associati al fronte dell'Houiller principale, si staccano dalla base di quest'ultimo e attraversano le sequenze carbonatiche che vi si trovano sotto. In questa zona è possibile una scagliatura (raddoppiamento tettonico) all'interno delle formazioni carbonatiche della zona sub-brianzonese.

### 2.3.2. Dati provenienti dalle opere di scavo di SMP4

Lo scavo delle rocce sub-brianzonesi ha evidenziato la presenza di massicci calcarei grigi e neri, di calcari neri scistosi o calcescisti, calcari marnosi, calcari re-cristallizzati e dolomie. Queste litologie si ritrovano sul fronte maggiore in successione progressiva, talvolta in contatto netto e discordante. Termina nei dintorni del PM550 della discenderia 3a con un contatto tettonico tra i calcari scistosi neri e le anidriti. Ne segue una successione di fronti di scavo principalmente evaporitici che sottolineano la presenza di un ammasso roccioso strutturalmente e litologicamente complesso, costituito da un fronte talvolta omogeneo, formato da sequenze carbonatiche o anidritiche, ma spesso misto, formato da calcari/anidriti; i calcari compaiono spesso sotto forma clastica all'interno degli anidriti. Le anidriti segnano il contatto tettonico tra la zona sub-brianzonese del Fronte Penninico a ovest e il Fronte dell'Houiller della Zona carbonifera brianzonese a est (Figura 6).



**Figura 6 - Aggiornamento della cartina geografica (parte 3a) accanto al progetto e alla localizzazione delle perforazioni**

La realizzazione dei carotaggi esplorativi perpendicolarmente al tracciato della discenderia 3a ha permesso anche di dettagliare la geometria del contratto degli anidriti e della zona

carbonifera, che si trova a 230-250 m a est della discenderia. Il contatto si presenta in piano, con una geometria ondulata su grande scala e si sviluppa in direzione N-S.

Nei calcari della zona sub-brianzonese, la presenza d'acqua è generalmente diffusa e di portata ridotta. La presenza d'acqua più significativa è associata a zone di carso, in cui la portata è maggiore, intercettate durante la trivellazione della galleria trasversale, con 100 l/s relativamente a una cavità carsica di 80-100m<sup>3</sup>. Per le osservazioni, è necessario tenere in considerazione la presenza di carso associata alle zone di contatto calcari/anidriti. La zona di contatto tra i due litotipi permette la formazione di serbatoi idrici. Questi serbatoi sembrano avere un'estensione ridotta e non essere collegati tra loro. La portata osservata al fronte maggiore raggiunge qualche decina di litri al secondo, con una riduzione del tempo in funzione della misura dei serbatoi. Con i dati a disposizione non è possibile valutare i tempi di prosciugamento, che possono essere di qualche settimana o maggiori.

#### 2.4. Parte 3b: galleria geognostica tradizionale lungo la Canna Sud del tunnel di base, fino alla camera di montaggio della fresa

In questo settore, le incertezze principali riguardano:

- la natura delle rocce formano il Fronte dell'Houiller alla quota del tunnel. Nella discenderia di SMP e la trivellazione F15, il contatto tra FH e rocce evaporitiche, oltre al contatto basale degli evaporiti con gli altri litotipi, è netto e non marcato da fenomeni di dissoluzione operata da gessi o carnirole, né da deformazioni tettoniche importanti. Invece, nella trivellazione F81, le anidriti vengono associate a una zona di taglio complessa, con uno spessore di circa 100 m, responsabile della formazione di una serie di scaglie tettoniche di dolomie triassiche; calcescisti cretacei, calcari giurassici e, alla base, altri anidriti. Il contatto basale degli anidriti è contrassegnato da importanti fenomeni di dissoluzione profonda, che sono di "carniole" incoerenti dello spessore di circa 30 m circa
- la presenza d'acqua in corrispondenza delle zone carsiche all'interno delle eventuali carnirole tettoniche;
- la permeabilità associata alle rocce delle zone di eventuali faglie;
- la posizione delle zone di presenza d'acqua;
- il comportamento del massiccio roccioso a est del Fronte dell'Houiller, soprattutto nel settore basale della Zona Houillère Brianzonese, che è stato riconosciuto in galleria e nella trivellazione, come fortemente deformato dal taglio tettonico. Nella discenderia di SMP, questa zona tettonizzata era associata a convergenze eccezionalmente elevate dovute a due fattori concomitanti a) le caratteristiche geo-meccaniche negative degli ammassi rocciosi e b) la presenza di una Deformazione Gravitaria Profonda del Versante sotto la volta, il che causa uno spessore insufficiente nella roccia sana in calotta con un carico litostatico importante;
- quest'ultimo fattore non è più presente nel Tunnel di Base, ma la carica litostatica globale aumenta, ed è quindi possibile che le convergenze, sebbene ancora elevate a causa delle condizioni geo-meccaniche generali negative, si manifestino in valori più contenuti;
- l'estensione reale della zona tettonizzata alla base del fronte dell'Houiller, il cui spessore potrebbe variare da 60-80 m minimo, fino a 200-230 m circa; non è disponibile alcun altro dato oltre a quelli sulla discenderia e la trivellazione F15 definire il tetto per questa zona (estremità Est).



## 2.5. Parte 4: camera di smontaggio della trivella alla base della discenderia di La Paz

### 2.5.1. Dati prodotti dalle precedenti fasi geognostiche e incertezze residue

In questo settore, la discenderia ha attraversato l'unità di Fourneaux su tutta la sua lunghezza e termina nella zona a preponderanza scistosa.

La discenderia ha attraversato alternanze di scisti arenosi, scisti filladici e scisti neri, senza livelli carboniosi e solo qualche livello di scisti grafitici. Da un punto di vista strutturale, la discenderia ha confermato la struttura a fianco inverso della grande piega evidenziata dai rilievi di terreno realizzati, il che permette un'estrapolazione relativamente affidabile delle strutture osservate nella discenderia verso il Tunnel di Base.

La trivellazione LP1, orizzontale, realizzata alla base della galleria nell'asse del futuro Tunnel di Base in direzione ovest, ha evidenziato una situazione litostratigrafica abbastanza omogenea, con una sequenza di conglomerati e micro-conglomerati, arenarie grossolane, medie e fini e qualche passaggio di scisti non carboniosi.

### 2.5.2. Dati provenienti dalle opere di scavo di SMP4

Lo scavo in questo settore ha evidenziato metarenarie scistose, talvolta conglomeratiche, con scisti neri carboniosi/grafitici. Stratificazione e scistosità vengono spesso confuse. La presenza d'acqua è localizzata (trasudamento) o specifica, dell'ordine di 2-3 l/s, talvolta maggiore, 20 l/s. Essendo alcune zone fortemente tettonizzate e fratturate ma con una resistenza del fronte corretta, le instabilità sono localizzate a livello degli scisti neri.

## 3. Bibliografia

Rettighieri, M., Triclot, J., Mathieu, E., Barla, G., & Panet, M. (2008). Difficulties associated with high convergences during excavation of the Saint Martin La Porte access adit. Proc International Congress: 395–404.

Hoek E (2001). Big tunnels in bad rock. Journal of Geotechnical and Geornvironmental Engineering, vol. 127, 9, pp 726-740.

Barla G. (2001) Tunneling under squeezing rock conditions. Tunnelling Mechanics. D.Kolymbas (Editor), pp. 169-228.

## **L’APPROCCIO ALLA SICUREZZA IN FASE DI ESERCIZIO**

**LORENZO BRINO DIRETTORE INGEGNERIA PRESSO TELT SAS  
PAOLO POTI RESPONSABILE SICUREZZA FERROVIARIA PRESSO TELT SAS**

### **Abstract**

Dopo un rapido excursus sul progetto del tunnel di base transfrontaliero del Moncenisio, lungo 57,5 km, e delle sue principali caratteristiche di tracciato viene definito il quadro normativo di riferimento, accennando agli aspetti relativi alla sua armonizzazione.

Segue una disamina sugli aspetti infrastrutturali, sulle procedure operative e sulle dotazioni impiantistiche per garantire la sicurezza in fase di esercizio ferroviario, per prevenire gli incidenti, per garantire le condizioni di sicurezza durante l’esodo dei viaggiatori e l’accesso delle squadre di soccorso in caso di incidente.

La trattazione include anche cenni alle procedure ipotizzate per il transito in sicurezza delle merci pericolose.

### **1. Il tunnel di base del Moncenisio, principali caratteristiche di progetto**

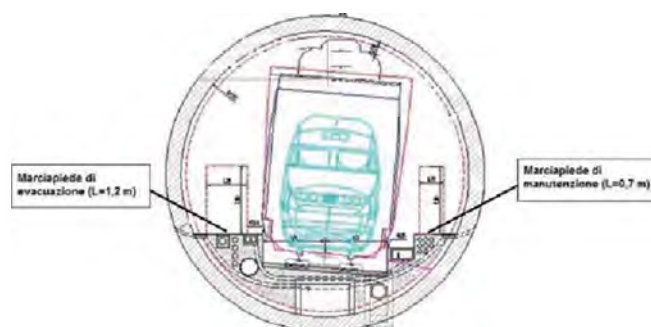
La Nuova Linea Torino - Lione, è costituita da tre parti: parte nazionale francese (di competenza SNCF-Reseau); parte comune italo francese (tratta internazionale); parte nazionale italiana (di competenza RFI).



**Figura 1: Nuova Linea ferroviaria Torino-Lione.**

Come illustrato nella figura 1, la tratta internazionale comprende una sezione transfrontaliera che si estende da St-Jean-de-Maurienne a Susa/Bussoleno e la cui progettazione/realizzazione è di competenza della società italo-francese TELT (Tunnel Euralpin Lyon Turin). Tale sezione è costituita: da un’area all’aperto a St-Jean-de-Maurienne

(3,7 km) che comprende la nuova stazione viaggiatori di St.-Jean de Maurienne, l'area di sicurezza e l'interconnessione con la linea storica francese; dal tunnel di base del Moncenisio (57,5 km); da un'area all'aperto nella piana di Susa (2,7 km), che comprende la nuova stazione viaggiatori internazionale e l'area di sicurezza di Susa; dal tunnel d'interconnessione (2,1 km) verso il fascio binari esistente di Bussoleno; da un'area all'aperto d'interconnessione con la linea storica a Bussoleno (0,9 km). La sezione transfrontaliera della tratta comune ha pertanto una lunghezza totale di 66,9 km e comprende: 2 aree di sicurezza all'esterno (Saint-Jean-de-Maurienne e Susa); 3 aree di sicurezza sotterranee (La Praz, Modane e Clarea, accessibili dall'esterno tramite discenderie); 1 discenderia aggiuntiva per l'accesso dei soccorsi a Saint Martin la Porte. I due tunnel (di base e d'interconnessione) sono composti da due canne a binario unico collegate per mezzo di connessioni realizzate ogni 333 m (distanza ridotta a 50 m nelle aree di sicurezza sotterranee del tunnel di base). Lungo entrambi i tunnel, il profilo trasversale della sezione corrente è composto da un marciapiede di servizio ed evacuazione (largo non meno di 1,20 m – dal lato della seconda canna), un binario di circolazione ferroviaria e un marciapiede di manutenzione sul lato esterno (vd. Figura 3).



**Figura 2: Sezione trasversale del tunnel (tipologico)**

Il tunnel di base dispone in particolare di un impianto di illuminazione e di impianti di estrazione fumi da attivarsi in caso di incidente, di rilevatori, di un sistema di raccolta dei liquidi e di una rete antincendio. La Nuova Linea Torino Lione sarà una linea a traffico misto viaggiatori e merci progettata con velocità di tracciato nominale a 250 km/h. La linea potrà essere percorsa dalle seguenti categorie di treni:

- Treni viaggiatori alta velocità (AV): velocità massima di esercizio 220 km/h sulla tratta Saint-Jean-de-Maurienne–Susa;
- Treni di Autostrada Ferroviaria a grande sagoma (AFGG) e Treni di Autostrada Ferroviaria Modalohr (AFM): velocità massima di esercizio 120 km/h.
- Treni merci convenzionali (M), di lunghezza massima di ciascun convoglio 750 m. Velocità massima di esercizio: 100 o 120 km/h a seconda della categoria.

In questo contesto, l'esame delle possibili soluzioni innovative adottabili per garantire gli standard di sicurezza nell'esercizio ferroviario nel tunnel di base (di cui la figura 4 ne evidenzia lo schema e le principali opere connesse) rappresenta l'oggetto dell'articolo.



**Figura 3 - Schema del Tunnel di Base di 57,5 km e delle principali opere connesse**

## 2. Quadro normativo di riferimento e conseguente armonizzazione internazionale

In un contesto di opera ferroviaria transfrontaliera sotto il controllo della Commissione Intergovernativa italo-francese (CIG), si è svolto negli anni un complesso lavoro di armonizzazione normativa che ha condotto a principi di gerarchizzazione delle norme applicate al progetto. Tali norme sono state distinte innanzi tutto in due macro-categorie: le norme generali non strettamente ferroviarie (quali ad esempio le norme relative alla geologia, all'ambiente e alle infrastrutture non ferroviarie come le strade) e le norme di tipo ferroviario. All'interno di questa seconda macro-categoria, le norme sono state raggruppate in tre sezioni, ovvero: norme "trasversali" valide sia per linee ad alta velocità sia per linee convenzionali/storiche, norme specifiche per linee ad alta velocità, norme specifiche per linee convenzionali. Il quadro normativo include inoltre raccomandazioni tecniche di Associazioni Internazionali che vengono applicate al progetto, per temi molto specifici, come linee guida e raccomandazioni di buona pratica. Dal punto di vista applicativo sulla sezione internazionale le norme o regolamenti applicabili sono definiti secondo l'ordine di priorità seguente:

1. le direttive europee e le norme STI si applicano prioritariamente al progetto.
2. In difetto, i criteri di sicurezza dettati dalla CIG prevalgono sulle regole nazionali. La CIG può stabilire regole più restrittive delle direttive europee e delle norme STI, salvo che per il materiale rotabile.
3. In mancanza di direttive europee, di norme STI o di criteri della CIG, si applica la norma nazionale italiana o francese più restrittiva, con riserva di verificare la coerenza dell'insieme delle disposizioni.

E' ovvio che il rispetto delle STI è una condizione di integrazione in sicurezza della sezione internazionale al sistema ferroviario transeuropeo al quale sarà raccordata da entrambe le parti attraverso le sezioni francesi ed italiane (cfr. figura 2). Al contrario, per tutte le opere "non lineari" strettamente legate alla loro collocazione geografica (è ad esempio il caso degli edifici tecnici), vale il principio di territorialità, ovvero si applica la normativa del Paese di appartenenza.

In un contesto normativo del genere, TELT ha sviluppato un Dossier Preliminare di Sicurezza (DPS) richiesto per approvazione dall'Agenzia Nazionale Francese di sicurezza Ferroviaria (EPSF) già all'atto dell'approvazione del Progetto Definitivo e comunque consegnato, per analisi non vincolante, anche all'Agenzia Nazionale italiana di Sicurezza Ferroviaria (ANSF).

### 3. Gli impianti per la normale sicurezza di esercizio ferroviario (segnalamento, telecomunicazioni)

La circolazione ferroviaria nella tratta transfrontaliera sarà gestita dal sotto-sistema interoperabile **European Rail Traffic Management System (ERTMS) di livello 2** che non prevede segnalamento fisico laterale. L'architettura ERTMS è il nuovo sistema europeo di gestione del traffico ferroviario e si basa su due sotto-applicazioni:

- un' applicazione globale di radiotrasmissione per esigenze ferroviarie, il *Global System for Mobile communications – Railways (GSM-R)* che permette scambi sicuri d'informazioni tra gli apparati di gestione del traffico e i treni;
- un'applicazione per la gestione del distanziamento dei treni, l'*European Train Control System (ETCS) livello 2*, che gestisce il controllo del movimento dei treni e fornisce un sistema di protezione automatico (ATP) (vd. Figura 4).

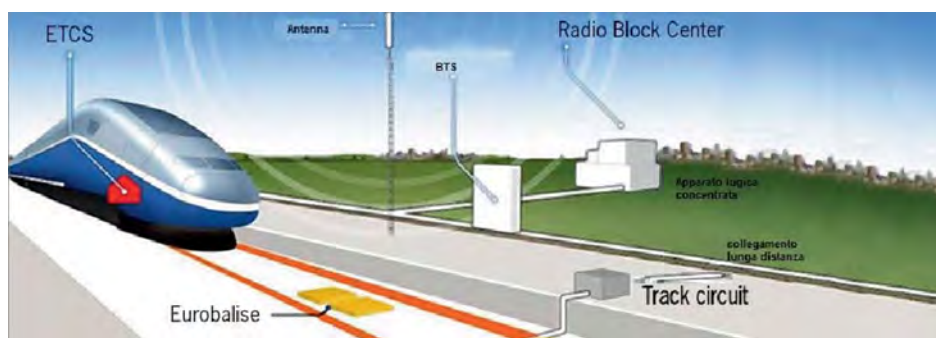


Figura 4 - Schema degli apparati dell'ERTMS/ETCS liv.2

**Le telecomunicazioni** nella tratta transfrontaliera sono composte dalle seguenti applicazioni:

- telecomunicazioni di emergenza in galleria
- video sorveglianza (descritta nei paragrafi seguenti);
- radio;
- sistemi di diffusione sonora (descritti nei paragrafi seguenti);
- sistemi di telefonia ferroviaria;
- sistemi trasmissivi.

L'applicazione di telefonia di emergenza permette, a mezzo di colonnine SOS posizionate all'interno delle gallerie in prossimità di ciascun ramo di collegamento, la comunicazione tra le persone (sia personale, sia viaggiatori) e i Posti di Comando e Controllo (PCC) nonché con i locali tecnici posizionati all'esterno delle gallerie.

**L'applicazione radio**, oltre al GSM-R su tutta la linea, prevede numerose sotto-applicazioni radio:

- TETRA per la manutenzione ed i servizi di soccorso e di sicurezza interni;
- GSM-P Reti operatori di telefonia mobile;
- ACROPOL per le comunicazioni della Polizia Nazionale francese;
- ANTARES per le comunicazioni della Protezione Civile francese;
- RUBIS per le comunicazioni della gendarmeria francese;
- TETRAPOL rete collegata a RUBIS e ACROPOL;
- PUMA per le comunicazione con il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco italiano.

**L'applicazione di telefonia ferroviaria** è destinata alle relazioni telefoniche ferroviarie necessarie all'esercizio/manutenzione della linea ed alla circolazione dei treni.

**Il sotto-sistema trasmissivo** utilizza i cavi a fibra ottica posti lungo linea per collegare gli apparati (TVCC, telefonia, segnalamento, ecc) da e verso i PCC.

#### 4. I sistemi di sicurezza preventiva previsti in galleria e all'esterno

In un tunnel di eccezionale lunghezza, gli impianti e dispositivi di sicurezza intervengono in maniera decisiva nel controllo dell'infrastruttura in modo da assicurare la protezione preventiva delle persone e dei beni. Pertanto gli impianti di sicurezza propriamente intesi sono costituiti dai seguenti dispositivi:

- rilevatori incendio (fumo e fiamma);
- rilevatori di gas
- portali termografici;
- rilevatori di sagoma;
- rilevatori di boccole calde (RTB);
- rilevatori di deragliamento;
- stazioni meteo;
- telecamere di videosorveglianza.

**I rilevatori incendio (fumo e fiamma)** hanno lo scopo di rilevare qualsiasi tipo di fuoco non compartimentato su ogni tipo di treno in movimento. Ogni 1333 m (4 rami) sarà installata un'area con quattro rilevatori di fiamma per ciascuna canna e un tubo posizionato lungo la volta per il prelievo e l'analisi dei campioni di fumo.

**I rilevatori di gas** hanno l'obiettivo di rilevare, quanto prima possibile, la comparsa di particelle di gas nei tubi ferroviari al fine d'impedire al convoglio successivo d'imbattersi nella nube di gas. Anche in questo caso un passo di rilevamento di 1333 m è stato ritenuto sufficiente.

Sono stati inoltre previsti dei **portali termografici** nelle zone all'aperto vicine agli imbocchi dei tunnel. I portali termografici hanno lo scopo di rilevare punti anormalmente caldi presenti sul materiale rotabile, in modo da poter rilevare in anticipo potenziali pericoli di incendio e quindi fermare il convoglio prima che entri nel tunnel. Inoltre sono autorizzati a percorrere il tunnel solo i treni di Autostrada Ferroviaria la cui sagoma cinematica non ecceda la sagoma d'ostacolo massima autorizzata nel tunnel. Il **rilevamento di sagoma** sarà realizzato su ogni binario della Nuova Linea e della Linea Storica in provenienza dalle reti SNCF-R e RFI. La posizione del portale di rilevamento di sagoma e termografico è pensata per consentire la frenatura di un convoglio viaggiante a 120 km/h prima del suo ingresso in galleria (almeno a 4 km dall'accesso ai tunnel). I rilevatori termografici saranno ubicati nello stesso punto dei rilevatori di sagoma in modo da essere posti in opera su un unico portale.

**I rilevatori di boccole calde (RTB)**: il dispositivo di rilevamento di temperatura delle boccole è in grado di rilevare il surriscaldamento anormale di una boccola. L'ubicazione degli RTB è stata ottimizzata per permettere un'eventuale fermata di emergenza nell'area di sicurezza più prossima.

**I rilevatori di deragliamento**: è quindi importante che a monte di ogni gruppo di scambi sia posizionato un apparato di rilevamento dello stato delle ruote del treno in quanto eventuali imperfezioni potrebbero danneggiare gli scambi fino a produrre il deragliamento del treno. L'ubicazione di questi rilevatori è grosso modo la stessa dei dispositivi RTB.

**Le stazioni meteorologiche**: posizionate in prossimità degli imbocchi del tunnel, permettono una serie di misurazioni basilari per l'esercizio ferroviario in ambiente alpino. In particolare per monitorare gli impatti aerodinamici dei convogli e governare la pressione in galleria vengono costantemente misurate la velocità e la direzione del vento e la pressione

atmosferica e, se del caso, segnalato il superamento delle soglie preimpostate con conseguente possibile degrado della circolazione.

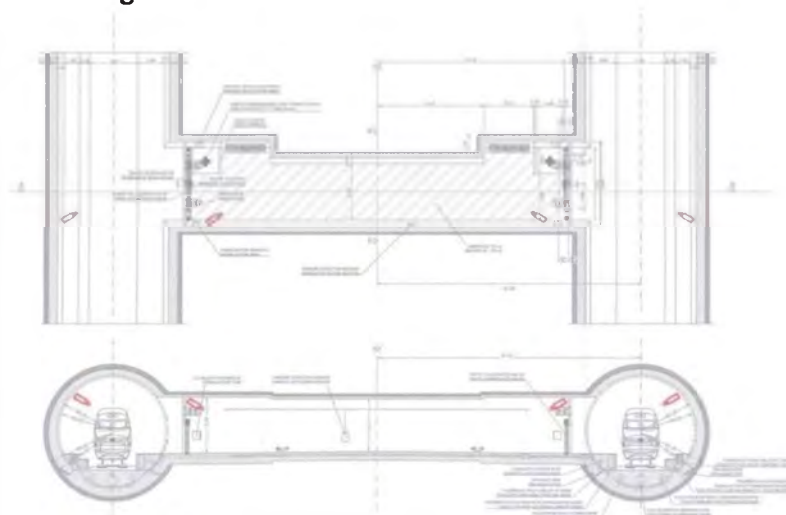


Figura 5. Esempio di installazione delle telecamere in un ramo

Infine le **telecamere di videosorveglianza** hanno lo scopo di fornire la visione più completa possibile dell'intera infrastruttura sia in galleria che all'aperto. Le immagini di tutte le telecamere sono registrate e trasmesse in sequenza ad uno schermo plurivisione sito nel PCC. Il numero di telecamere oggi previsto è di oltre mille di cui il 90% per il solo tunnel di base.

#### 5. Gli impianti destinati alla sicurezza in caso di incidente/incendio ferroviario

In caso di incidente ferroviario gli impianti fissi antincendio di estinzione/attenuazione possono giocare un ruolo fondamentale soprattutto in ambienti confinati come le gallerie. Nel progetto TELT essi sono previsti di tre tipologie: impianto ad idranti per la protezione dei tunnel e delle aree di sicurezza esterne; impianto a nebulizzazione ad alta pressione per la protezione delle aree di sicurezza interne; impianto ad estinguente gassoso nei locali tecnologici all'interno dei tunnel nonché nei locali dei fabbricati tecnologici all'esterno. In entrambe le canne dei tunnel sarà installata una condotta coibentata sempre piena che alimenterà gli idranti posizionati ogni 111 m nella sezione corrente.

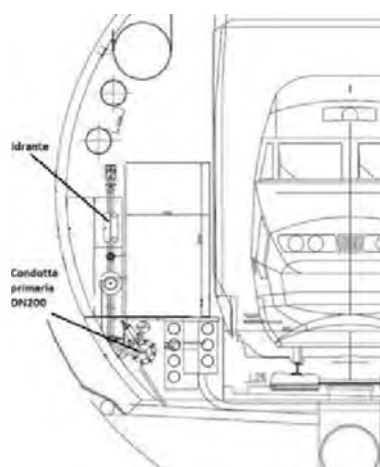


Figura 6 – Sezione in galleria in corrispondenza di una derivazione per idrante

La tubazione installata nella canna non coinvolta dall'incendio potrà essere utilizzata per rialimentare la stazione di pressurizzazione in funzionamento permettendo così di soddisfare la richiesta dei vigili del fuoco italiani e francesi di garantire la funzionalità dell'impianto per almeno 5 ore. Per il tunnel di base sono previste 4 stazioni di pressurizzazione interne (ai piedi delle 4 discenderie) e 2 stazioni di pressurizzazione esterne (una ad ognuno degli imbocchi). Per contro la figura 7 evidenzia come all'interno di ciascuna area di sicurezza oltre al normale impianto ad idranti sarà installato un impianto ad acqua nebulizzata finalizzato all'attenuazione dell'incendio a protezione di un tratto di binario lungo 750m.

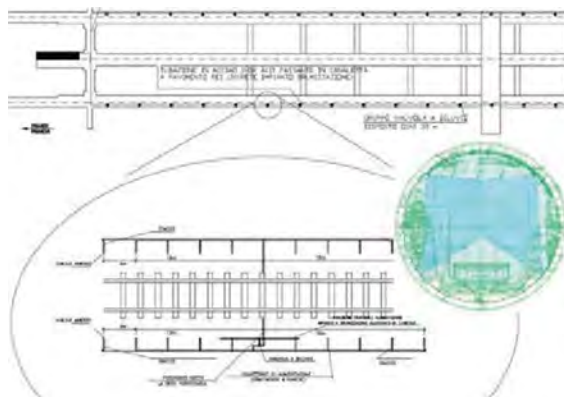


Figura 7 – Schema tipo di un impianto di nebulizzazione nelle aree di sicurezza in galleria.

L'utilizzo dell'impianto è previsto per ogni tipologia di treno ma nel caso di treni passeggeri solo ad evacuazione terminata. Difatti l'attivazione della nebulizzazione durante l'evacuazione viene esclusa dalle procedure per due motivi: la creazione potenziale di zone di nebbia che durante l'esodo potrebbero confondere i viaggiatori (già potenzialmente sottoposti a stress o panico) e l'interazione non ancora del tutto chiara dell'acqua nebulizzata con il sistema di aspirazione massiva dei fumi.

Anche il **sistema di estrazione dei fumi nelle aree di sicurezza in galleria** è essenziale ai fini della sicurezza ferroviaria. Esso è composto da una serie di serrande di estrazione motorizzate, telecomandate, poste in calotta e distinguibili in due famiglie: 11 serrande da 9m<sup>2</sup> distanziate di 50 m per l'estrazione verticale ripartita dei fumi; 2 serrande da 27m<sup>2</sup> poste all'estremità dell'area di sicurezza per l'estrazione massiva dei fumi in caso di incendio all'estremità del treno. La portata d'aria massima estraibile è di 400 m<sup>3</sup>/s, le centrali di ventilazione sono esterne e poste all'imbocco delle discenderie di St. Martin la Porte e La Praz e dei pozzi di Avrieux e Clarea (cfr. Figura 3). Seguendo poi un complesso principio di "scenari predefiniti", con il concorso di più centrali di ventilazioni in pompaggio/aspirazione è possibile generare una ventilazione trasversale in grado di spostare i fumi in testa o in coda di un treno incendiato in pieno binario, garantendo così condizioni idonee di evacuazione.

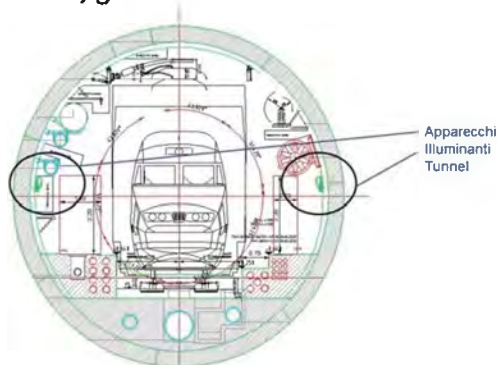


Figura 8 – Disposizione degli apparecchi illuminanti nella sezione tipo



L'impianto di illuminazione dei tunnel è costituito da apparecchi illuminanti installati sulle pareti della galleria a circa 2 metri di altezza rispetto ai camminamenti (vd figura 8).

Un apparecchio su tre può venire alimentato con riserva di energia (UPS di autonomia 90') mentre gli altri vengono sempre alimentati direttamente dal quadro elettrico.

L'impianto di diffusione sonora è fondamentale in caso di incidente per pilotare l'autosalvataggio delle persone. Esso è assicurato da un complesso sistema di altoparlanti distribuiti su tutto il tunnel e potenziato in corrispondenza delle aree di sicurezza.

## 6. Procedure operative di sicurezza

Le procedure operative per la sicurezza ruotano attorno alle già citate aree di sicurezza. Esse sono realizzate in numero di 5 di cui 3 sotterranee (La Praz, Modane e Clarea) e 2 all'aria aperta (Saint-Jean-de-Maurienne e Susa). Le aree di sicurezza sono realizzate a distanza massima di 20 km (difatti secondo le ultime STI i treni ad alta velocità devono essere in grado di procedere ad una velocità di 80 km/h per 15 minuti) e, come visto in precedenza, sono attrezzate per un efficace trattamento dell'incendio e per una rapida evacuazione e gestione dei passeggeri. Le procedure di sicurezza prevedono quindi che, in caso di principio di incendio, il treno cerchi comunque di raggiungere un'area di sicurezza. Le aree di sicurezza sono dotate di un marciapiede allargato (3 m su tutti i 750 m di lunghezza anziché 1,20 m) e di una sala di accoglienza per i viaggiatori mantenuta in sovrappressione mediante un impianto di ventilazione dedicato. Tale sala di accoglienza si estende su una lunghezza di 400 m, è dimensionata per ospitare fino a 1200 persone (numero delle persone presenti in un doppio convoglio TGV duplex) ed è accessibile mediante rami di collegamento realizzati ogni 50 m. Le aree di sicurezza sotterranee sono collegate alla superficie mediante una discenderia che permette l'accesso dei soccorsi. I passeggeri possono quindi evacuare in modo autonomo (guidati dal personale di bordo) verso l'interno della sala di accoglienza mentre i servizi di soccorso possono accedere alla canna incendiata mediante accessi dedicati, non utilizzati dai passeggeri che evacuano, realizzati in testa e in coda alla area di sicurezza.

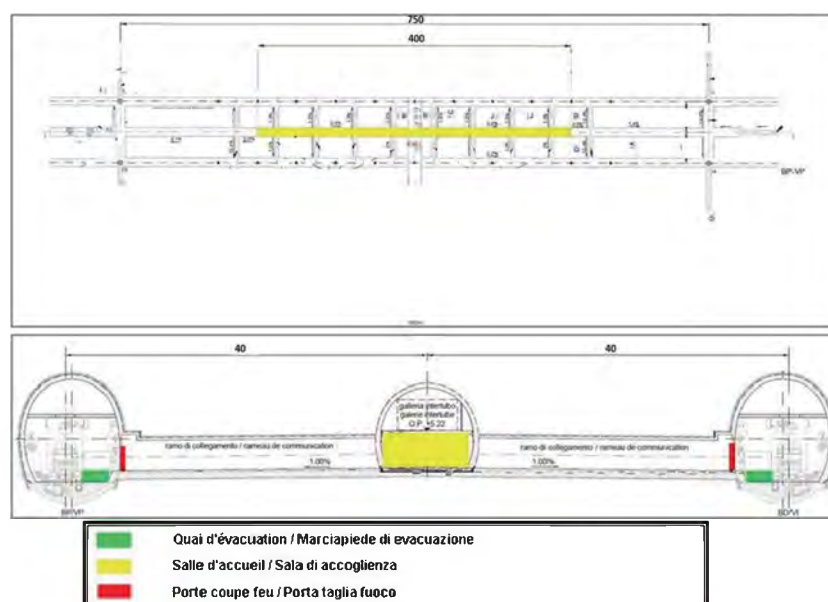


Figura 9 – Area di sicurezza sotterranea – Pianta e sezione.

Le aree di sicurezza sono inoltre dotate di un impianto di aspirazione fumi che si estende sull'intera lunghezza di 750 m mediante canali di ventilazione posizionati in volta. I canali di ventilazione sono dotati di serrande di aspirazione fumi "distribuita" posizionate ogni 50 m lungo i 400 m centrali, dove è previsto che possa arrestarsi un treno passeggeri in fumo (vd. Figura 11).

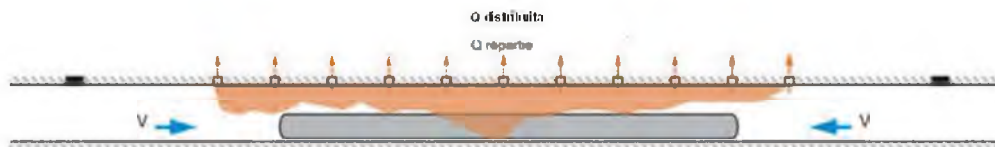


Figura 10 – Area di sicurezza sotterranea: modalità di aspirazione fumi su un treno passeggeri.

L'impianto di ventilazione è inoltre dotato di due serrande di aspirazione "concentrata" di sezione più elevata. Tali serrande vengono attivate nel caso in cui l'incendio si trovi in testa o in coda al treno (vd. Figura 11).

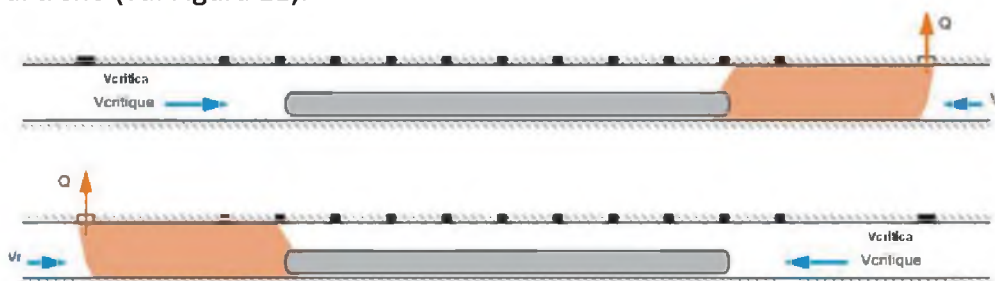


Figura 11 – Area di sicurezza sotterranea: modalità di aspirazione fumi in caso di incendio in testa o in coda.

Nel caso in cui il treno non sia in grado di raggiungere un'area di sicurezza sarà costretto a fermarsi in linea. In questo caso i passeggeri potranno evacuare verso i rami di collegamento realizzati ogni 333 m. I rami di collegamento hanno una superficie di circa 120 m<sup>2</sup> e sono dotati di impianto di ventilazione autonomo per la messa in sovrappressione del ramo stesso rispetto alla canna incendiata (l'aria fresca viene prelevata dalla canna sana).

## 7. Cenni alle procedure per il transito in sicurezza delle merci pericolose (MP).

Le classi del "Regolamento Internazionale di trasporto ferroviario di merci pericolose" (RID) sono le stesse di quelle del trasporto di materie pericolose su strada. Il RID è applicato in tutte le tratte all'aperto e pertanto l'eventuale adozione di restrizioni al transito di merci pericolose in galleria deve essere basata su un'apposita analisi del rischio che generalmente presenta bassa probabilità di accadimento ma effetti di elevata gravità (magnitudo).

L'applicazione di semplici disposizioni di esercizio combinate ai sistemi impiantistici di prevenzione lungo linea e agli impianti di mitigazione degli effetti (sinteticamente descritti ai paragrafi 4 e 5) consentono di ricondurre gli scenari studiati nell'analisi di rischio a **condizioni accettabili per ogni tipo di merci pericolose trasportabili** (classi «B», «C», «D» e «E») **sia su treni AF che treni merci.**

In particolare, a livello di procedure di esercizio per evitare che il rischio di esplosione (BLEVE) provochi vittime sui treni seguenti si impone un'interdistanza da treni merci o AF con Merci Pericolose (a prescindere dalla classe) almeno pari a 4200 m.

A livello preventivo l'eccitazione dei rilevatori descritti al § 4 (in particolare degli esplosimetri) genera degli allarmi che implicano l'attivazione immediata di procedure di emergenza. In alcuni casi si può arrivare anche a disporre l'immediato arresto della circolazione e di conseguenza:

- Per treni merci > l'evacuazione rapida dei macchinisti;
- Per treni AF > l'attivazione del comando di sganciamento rapido della vettura SONIA.

In caso di perdita di sostanze pericolose o di esplosione gli impianti mitigatori nonché il sistema di raccolta/evacuazione dei liquidi pericolosi presente in galleria attenueranno l'effetto distruttivo sull'infrastruttura ferroviaria.

## 8. Bibliografia

L. Brino et al. 2012. Analisi degli schemi e dei costi della sicurezza nella concezione di un tunnel ferroviario lungo e profondo, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, 104, 21-31, Pàtron Editore

P. Poti, L. Brino, 2009. Nuova linea Torino-Lione - Impianti Elettrici, Ingegneria Ferroviaria, 5, 439-453, Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI)

P.Poti, L. Brino, 2011. Necessità e concezione del sistema di raffreddamento sia in fase di scavo che di esercizio nel tunnel di base della nuova linea ferroviaria Torino-Lione, Ingegneria Ferroviaria, 6, 551-564, Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI)

P.Poti, L.Brino, M.Foresta, L.Glarey, Il nuovo tunnel di base del Moncenisio: sicurezza e nuove tecnologie in un ambito pluri-normativo, FASTIGI, Convegno Internazionale "Le Grandi Infrastrutture e la funzione strategica dei trafori alpini", Roma, 22-23 ottobre 2015

L. Brino, E. Luchetti, A. Chabert, M. Rettighieri, Der Basistunnel Lyon-Turin: Technische Aspekte eines großen grenzübergreifenden Projekts, Beton- und Stahlbetonbau Spezial – Europas Lange Tunnel, luglio 2013, pp. 43-49, Ernst und Sohn

L. Brino, La Nuova Linea Torino Lione: gli aspetti tecnici di un grande progetto transfrontaliero, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, giugno 2012, n. 102, pp. 11-15, Pàtron Editore

L. Brino, Nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin : la station de sécurité souterraine de Modane, L'Espace Souterrain, Journées d'études, Paris, 26-27 marzo 2003

**SIG – Società Italiana Gallerie**

**Convegno “Le grandi infrastrutture ferroviarie alpine in costruzione: le scelte progettuali e costruttive per la realizzazione di tunnel lunghi e profondi”**

Samoter 2017 - Verona (VR) 23 – 24 febbraio 2017

---

**GALLERIA DI BASE DEL CENERI:**

**IL PROGETTO ALPTRANSIT: ASPETTI PRINCIPALI INERENTI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DI UN MODERNO SISTEMA DI GALLERIE ALPINE**

ING ALBERTO DEL COL ALPTRANSIT:

**Abstract**

La Galleria di base del Ceneri è un tunnel ferroviario ad alta velocità di lunghezza pari a 15.4 km. Assieme alla Galleria di base del Gottardo, compone la linea ferroviaria di pianura che attraversando le Alpi percorrerà da nord a sud il territorio elvetico. L’opera è composta da due canne a binario singolo collegate fra loro da cunicoli trasversali posti ogni 325 m, inoltre si compone di manufatti di diramazione, caverne logistiche, discenderie di attacco intermedio, per una lunghezza di scavo globale di circa 40 km ed un volume totale di scavo di circa 4.0 Mio di m<sup>3</sup>. La galleria si sviluppa completamente nell’ammasso roccioso cristallino prealpino situato sulla placca continentale africana con coperture massime di ca. 900 m. L’esecuzione delle opere è iniziata nel 2006 e si completerà nel 2020 (lavori di scavo conclusi ad inizio 2016) per un costo complessivo dell’infrastruttura di ca. 2.5 mld di CHF.



**PROGETTO ALPTRANSIT SAN GOTTARDO, GALLERIA DI BASE DEL CENERI:  
ASPETTI PROGETTUALI E COSTRUTTIVI NEGLI AVANZAMENTI IN ROCCIA E MATERIALE SCIOLTO**

DAVIDE MERLINI, PINI SWISS ENGINEERS - CAPO SEZIONE OPEREE SOTTERRANEE

DANIELE STOCKER, PINI SWISS ENGINEERS - PRESIDENTE

MATTEO FALANESCA, PINI SWISS ENGINEERS - INGEGNERE PROGETTISTA

**Abstract**

La Galleria di base del Ceneri si sviluppa nell'ammasso roccioso cristallino prealpino con coperture massime di 900 m. Al fine di minimizzare i tempi e i costi di costruzione, lo scavo è avvenuto prettamente in tradizionale da vari punti di attacco: 4 fronti principali dal dispositivo d'attacco intermedio di Sigirino e 2 brevi contro avanzamenti ai portali. Lo scavo è avvenuto in condizioni geologico-geotecniche eterogenee con varie sfide tecniche quali: scavi in materiale sciolto di grandi sezioni al di sotto dell'autostrada A2 (portale Nord), scavi in prossimità di una galleria stradale in roccia di qualità scadente (portale Sud), scavi di caverne di grandi sezioni in condizioni geomeccaniche impegnative, scavi in presenza di zone disturbate con alte coperture e comportamento tenso-deformativo fortemente anisotropo. L'adozione di adeguati provvedimenti progettuali, costruttivi ed organizzativi ha permesso di eseguire gli avanzamenti nel quadro contrattuale di tempi e costi.

**1. Introduzione**

La Galleria di base del Ceneri (GbC) è un tunnel ferroviario ad alta velocità di lunghezza pari a 15.4 km [5]. Assieme alla Galleria di base del San Gottardo, compone la linea ferroviaria di pianura che attraversando le Alpi percorrerà da nord a sud il territorio elvetico. L'opera è composta da due canne a binario singolo scavate in tradizionale, collegate fra loro da cunicoli trasversali posti ogni 325 m ca.; inoltre si compone di manufatti di diramazione, caverne logistiche, discenderie di attacco intermedio, per una lunghezza di scavo globale di circa 40 km e un volume totale di scavo di circa 4.0 Mio di m<sup>3</sup>. I lavori hanno avuto inizio nel 1997, con lo scavo di un cunicolo di prospezione di 3.1 km di lunghezza. La seconda parte dei lavori in sotterraneo è iniziata nel 2008 con lo scavo della finestra di Sigirino di lunghezza di ca. 2.3 km mediante gripper-TBM, alla fine della quale si trova un sistema di caverne sotterranee (CAOP), che dal 2010 sono servite da punto di partenza per lo scavo principale in direzione sud e nord (dispositivo di attacco intermedio di Sigirino). Lo scavo della galleria di base è avvenuto in tradizionale da tre punti di attacco, per un totale di 8 fronti di scavo, al fine di minimizzare i tempi e i costi di costruzione: 4 fronti principali dal dispositivo d'attacco intermedio (ca. 90% degli scavi - Lotto 852) e 2 brevi contro avanzamenti rispettivamente dal portale nord (Camorino - Lotto 853) e dal portale sud (Vezia - Lotto 854).

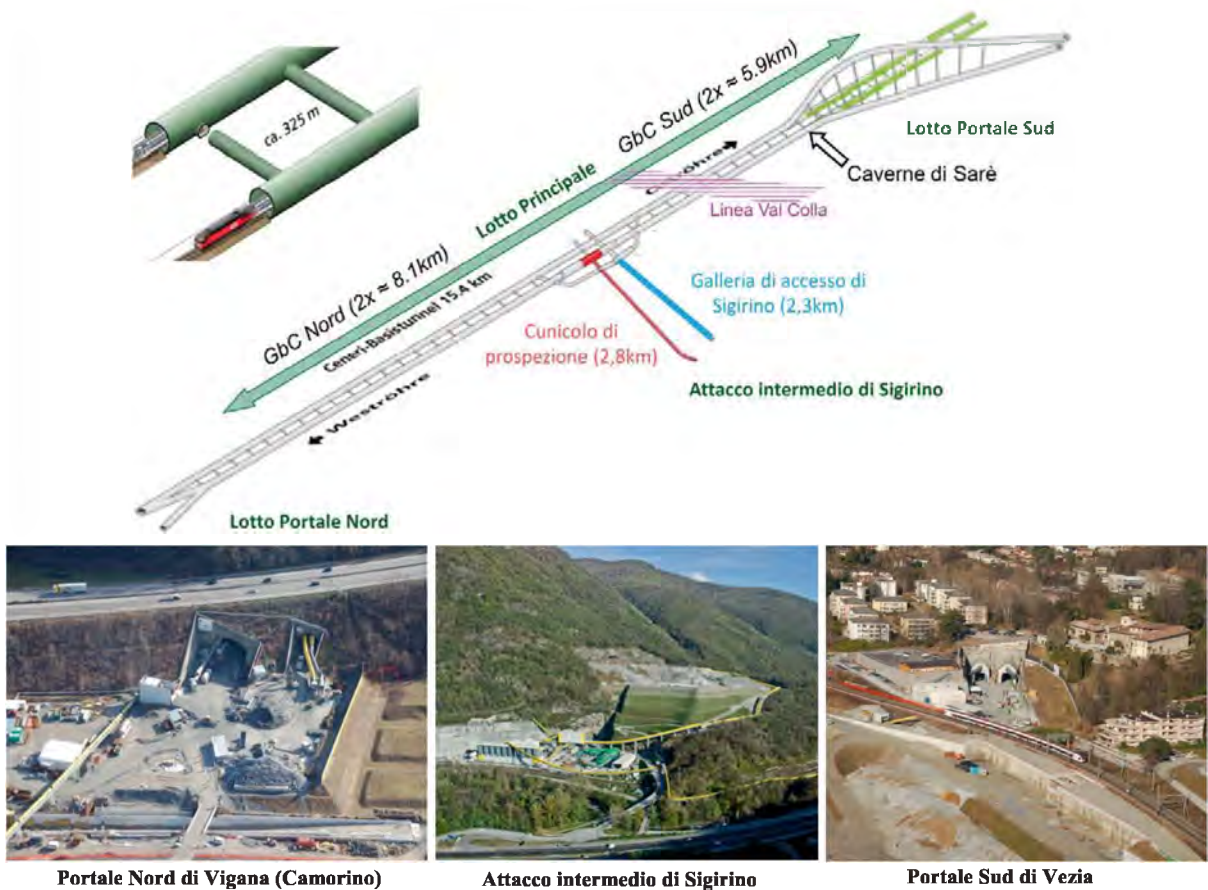


Figura 1. Layout della Galleria di base del Ceneri con foto aeree dei portali e dell'attacco intermedio di Sigirino

La sezione tipo della galleria con forma ottimizzata a ferro di cavallo, è progettata per soddisfare i molteplici requisiti derivanti dalle esigenze di esercizio della linea ferroviaria, oltre che da quelle esecutive e geotecniche. È prevista un'esecuzione a doppio rivestimento su tutta la lunghezza, con pre-rivestimento che garantisce la sicurezza temporanea durante lo scavo ed il rivestimento definitivo che fornisce la stabilità per tutta la vita utile (100 anni) della galleria. Il rivestimento definitivo è previsto di norma non armato mentre sono armate le zone geologicamente più delicate e quelle geometricamente più complesse, come quelle di incrocio con i cunicoli trasversali. Fra i due rivestimenti è posto il sistema di drenaggio della volta e di impermeabilizzazione, l'acqua di infiltrazione è collegata ad un collettore di drenaggio centrale (sistema ad ombrello) che trasporta le acque verso l'esterno in direzione del portale nord. Attualmente gli scavi sono conclusi e sono in fase di conclusione le opere civili.



Figura 2. Sezione tipo della galleria (a sinistra) e render della Galleria di base del Ceneri completata (a destra)

## 2. Caratteristiche geologiche

La galleria si sviluppa completamente nell'ammasso roccioso cristallino prealpino situato sulla placca continentale africana. Attraverso un'approfondita campagna di sondaggi con sondaggi singoli fino ad una lunghezza di 700 m e lunghezza totale dei sondaggi pari a circa la lunghezza della galleria, è stato possibile caratterizzare, in fase di progetto, le tratte omogenee, le zone disturbate e gli scenari di pericolo lungo l'intero tracciato.

La geologia del Ceneri può essere suddivisa nella Zona Ceneri e nella Zona Val Colla. Le due zone vengono separate da un'importante faglia denominata linea della Val Colla. La zona Ceneri si trova nella parte nord ed è costituita da gneiss ed in misura inferiore da rocce basiche ed ultrabasiche. La copertura in questa zona è fra 600÷900 m con scistosità spesso orientata in modo sfavorevole rispetto allo scavo. La zona Val Colla si estende nel settore sud e comprende una successione di Paragneiss e Ortogneiss intercalata a rocce basiche. La copertura in questa zona varia da 0÷200 m con scistosità che diventa sfavorevole con l'avvicinarsi al portale, riscontrando la presenza di numerose zone disturbate. La linea della Val Colla è composta in prevalenza da miloniti, risultato di un'intensa deformazione duttile prealpina ed una deformazione fragile alpina.

Dal riscontro degli scavi, grazie alle approfondite indagini geognostiche eseguite in fase progettuale, è stato possibile verificare come le previsioni geologiche di prognosi sono risultate in prevalenza realistiche delle effettive condizioni geologiche. Ciò nonostante a causa di complessi comportamenti di alcune formazioni rocciose, si sono dovute superare alcune problematiche durante gli scavi come descritto nei successivi capitoli.

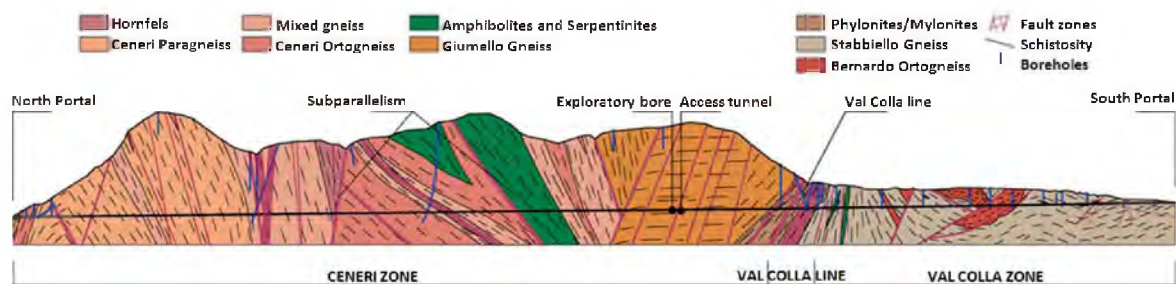


Figura 3. Profilo geomeccanico della Galleria di base del Ceneri

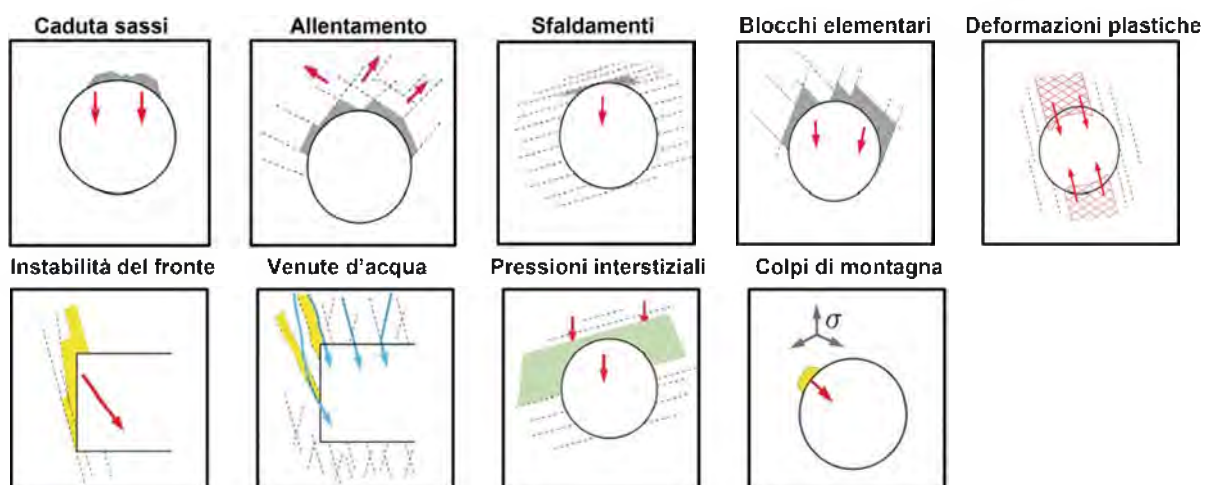


Figura 4: Scenari di pericolo previsti e riscontrati durante lo scavo della Galleria di base del Ceneri



### 3. Metodi di scavo ed avanzamento

I metodi d'avanzamento si sono basati sui risultati della prognosi geologica e di altri requisiti richiesti da altre condizioni quadro come l'impatto ambientale, la logistica, il rapporto tempistica/investimenti. Lo scavo della GbC è avvenuto con metodi tradizionali da tre punti di attacco, il dispositivo d'attacco intermedio (ca. 90% degli scavi) il portale nord (Camorino) ed il portale sud (Vezia). Il controavanzamento al portale nord si sviluppa (per una lunghezza di ca. 700 m) a partire dall'attraversamento al di sotto del rilevato dell'autostrada A2, con un attraversamento in materiale sciolto di ca. 50 m. Il controavanzamento al portale sud comprende una galleria a cielo aperto di ca. 220 m ed una tratta in roccia di 300 m eseguita con l'esplosivo. Nell'ambito del dispositivo di attacco intermedio è stata scavata una galleria con Gripper TBM del diametro di 9,70 m e un articolato sistema di caverne (con sezioni fino a 270 m<sup>2</sup>) all'esplosivo per un totale di 130.000 m<sup>3</sup>. Dal dispositivo di attacco intermedio si è sviluppato verso nord lo scavo delle due canne di lunghezza di ca. 8.3 km mentre verso sud di ca. 6.3 km. Per il lotto principale nella parte sud del tracciato sono state realizzate le 2 caverne di diramazione di Sarè, a sezione tronco-conica con sezione di scavo massima di 260 m<sup>2</sup> e lunghezza di ca. 400 m in presenza di ammassi rocciosi complessi.



Figura 5. Gripper TBM per lo scavo della finestra di Sigirino e fasi di scavo delle caverne di Sarè

Per quanto riguarda lo scavo della galleria di base, la stabilità delle sezioni della galleria viene garantita da 10 sezioni standard, denominate SPV con numerazione da 1 a 10 corrispondente all'installazione di opere di sostegno progressivamente crescenti. Tali provvedimenti consentono di mitigare i differenti scenari di pericolo precedentemente illustrati e consistono in calcestruzzo spruzzato (standard o fibrorinfrozato), ancoraggi (ad attrito, a barre e iniettati), reti di armatura e, se necessario, centine metalliche. I singoli provvedimenti vengono eseguiti a differenti distanze a partire dal fronte dello scavo. Durante lo scavo, è nata la necessità di ottimizzare le 10 sezioni standard introducendo la sezione SPV 3-accelerata (presenza di ancoraggi ad attrito L = 3m e calcestruzzo spruzzato fibro-rinforzato con spessore totale di 25 cm) e la sezione SPV 6A (caratterizzata da un maggiore sovrascavo pari a 15 cm in calotta e 23 cm sui piedritti, installazione di centine TH sia in calotta che nell'arco rovescio) accelerando le fasi di avanzamento in particolare verso nord, per contenere i ritardi rispetto al programma lavori. Per ogni sezione di scavo sono stati previsti dall'imprenditore specifici costi e rese contrattuali.

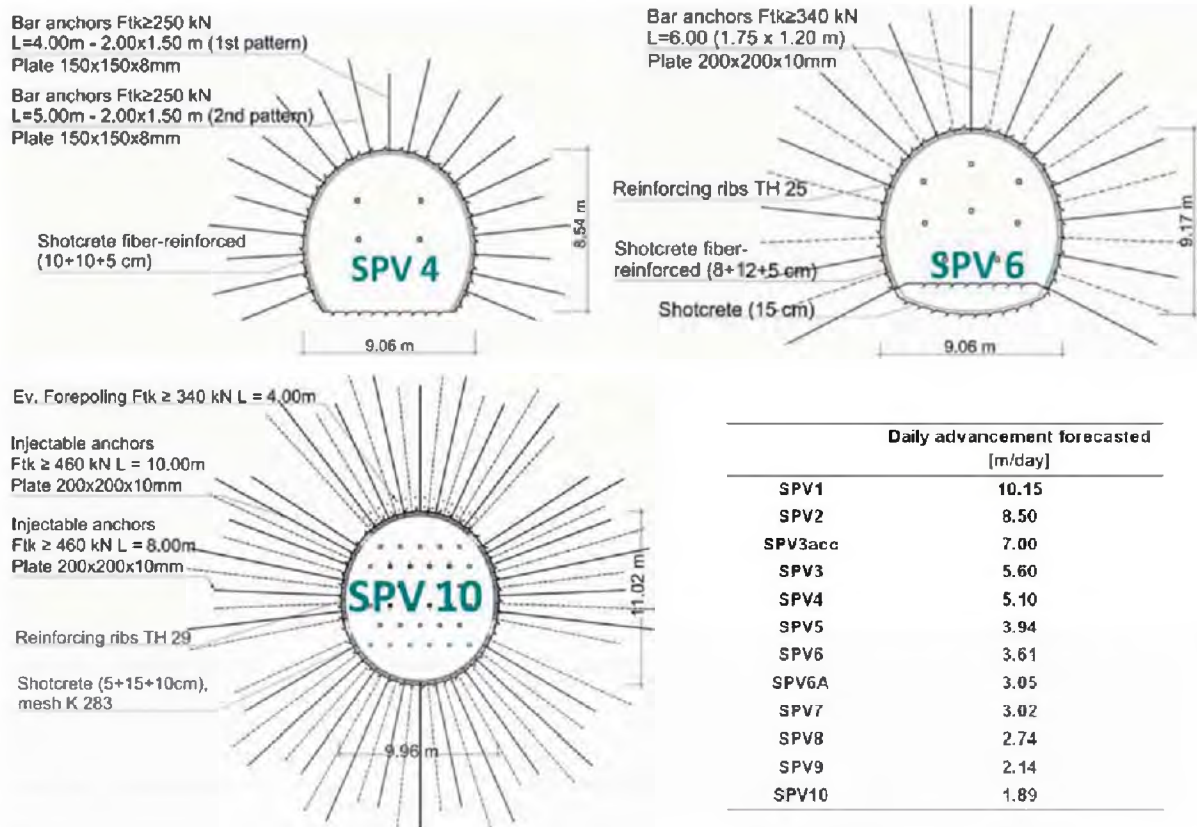


Figura 6. Rappresentazione schematica di alcuni profili tipo di sostegno e avanzamenti giornalieri previsti

Il seguente diagramma di flusso, mostra le fasi del processo decisionale adottato per la GbC, volto a mitigare e gestire gli scenari di pericolo nell'ottica di favorire una scelta ottimale dei supporti da installare.

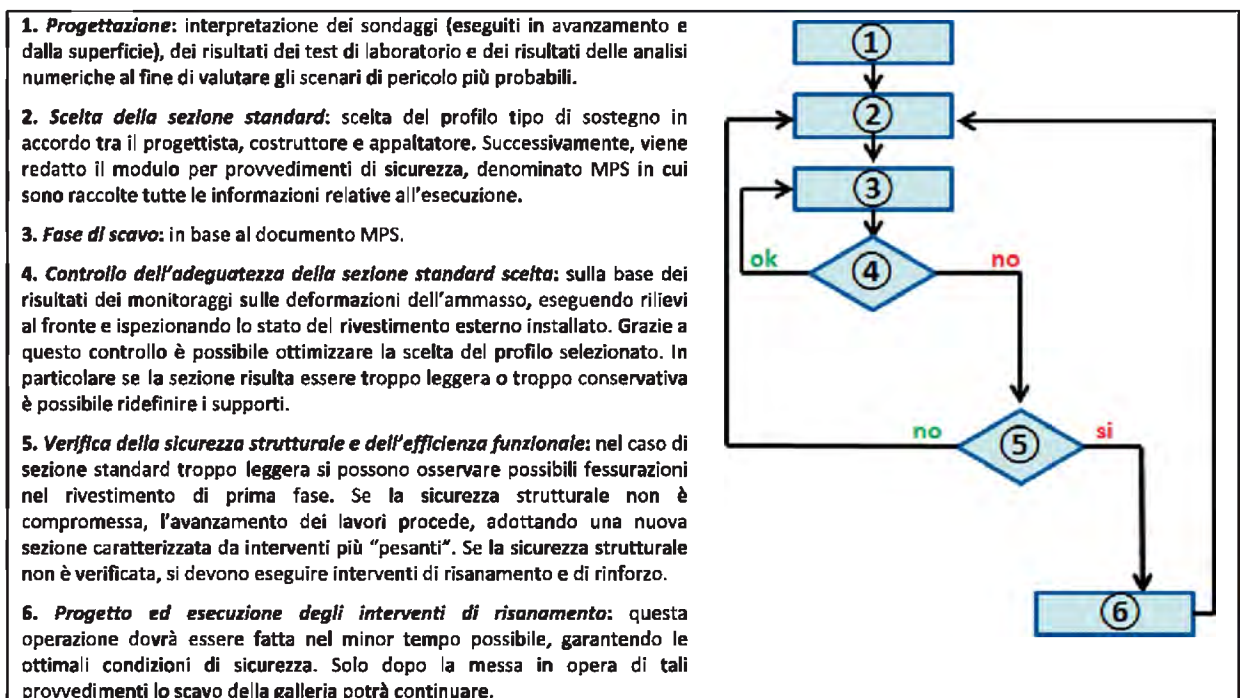


Figura 7. Rappresentazione schematica di alcuni profili tipo di sostegno e avanzamenti giornalieri previsti

#### 4. Scavi in presenza di zone disturbate con alte coperture e comportamento tenso-deformativo fortemente anisotropo

Per gli avanzamenti a sud lo scavo nell'attraversamento della cosiddetta linea della "Val Colla" è avvenuto in maniera anticipata rispetto alla prognosi, e si sono concentrati i litotipi geomeccanicamente più sfavorevoli (miloniti risultato di un'intensa deformazione duttile prealpina ed una deformazione fragile alpina) su una tratta relativamente breve (ca. 250 m), ma con manifestazioni particolarmente intense degli scenari di pericolo (deformazioni fortemente anisotrope con valori di picco fino a 70 cm e allentamenti che hanno condotto ad un rilascio di materiale del volume di ca. 150 m<sup>3</sup>); in tali tratte sono stati applicati i profili tipo di sostegno SPV 9-10 con centine deformabili di tipo TH ([1] e [4]).

Per gli avanzamenti a nord la tratta maggiormente critica è risultata la zona della Val Mara caratterizzata da una lunghezza di circa 150 m, copertura massima di circa 800 m e con presenza diffusa di livelli cataclastici e kakiritici intercalati a gneiss misti intensivamente tettonizzati. In tali settori come previsto in fase progettuale si sono registrate convergenze elevate (superiori ai 40 cm) e sono stati adottati adeguati profili di sostegno (SPV 7-10). Anche durante lo scavo delle caverne operative, (CAOP) realizzate per il dispositivo di attacco intermedio di Sigrino (in particolar modo la caverna Ovest) sono state scavate in un ammasso roccioso fortemente scistoso e anisotropo con zone disturbate diffuse, ravvicinate e subparallele alla scistosità [6]. La spaziatura ravvicinata con cui tali zone disturbate sistematicamente si sono manifestate, ha comportato una minore qualità dell'ammasso roccioso a scala delle decine di metri; ciò ha comportato un aumento della distanza di influsso tensionale tra i cavi. Locali interventi di rinforzo sono stati quindi eseguiti per garantire la sicurezza strutturale ed efficienza funzionale delle opere.



Figura 8. Profilo tipo di sostegno SPV10 con centine deformabili adottato nell'attraversamento della Val Colla (a sinistra) e deformazioni monitorate durante gli avanzamenti della GbC-Ovest a nord della CAOP.

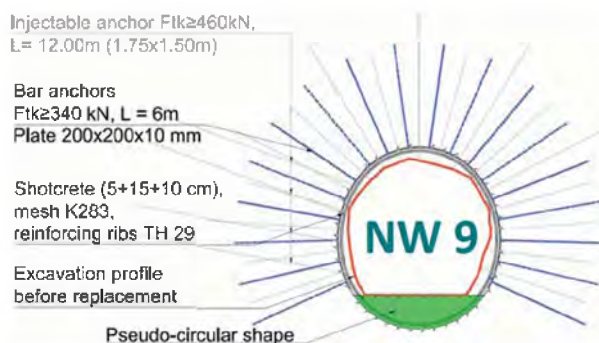


Figura 9. Interventi di rinforzo in corrispondenza della GbC ovest

## 5. Lo scavo in materiale sciolto di grandi sezioni al di sotto dell'autostrada A2 presso il portale Nord di Camorino

Il controavanzamento al portale nord [8] si sviluppa per una lunghezza totale di ca. 700 m a partire dall'attraversamento al di sotto del rilevato dell'autostrada A2, caratterizzato da uno scavo di lunghezza di ca. 50 m in materiale sciolto (costituito dal rilevato autostradale), una copertura di soli 8 m e dalla necessità di garantire l'esercizio dell'autostrada durante tutte le fasi esecutive. Il corpo del rilevato si appoggia ad una scarpata in roccia e posa su uno strato intermedio di terreno sciolto di alcuni metri di spessore, seguito a sua volta nuovamente da roccia. Il taglio obliquo tra l'asse della caverna e l'asse autostradale, nonché la delimitazione della roccia, hanno creato una struttura portante tridimensionale.

Per lo scavo della caverna a doppio binario di larghezza di ca. 20 m (sezione di scavo massima di ca. 350 m<sup>2</sup>), dopo un'approfondita fase progettuale, è stato previsto un trattamento del terreno con jet-grouting, realizzazione preventiva di cunicoli sui piedritti con esecuzione delle fondazioni di appoggio con jet-grouting per consentire lo scarico delle pressioni sul sottostante substrato roccioso ed il successivo scavo a settori mediante mezzi meccanici. Mediante un approfondito sistema di controllo della qualità e della disposizione delle colonne di jet-grouting, un sistema di monitoraggio sulle deformazioni a lettura continua (costituito da 2 stazioni totali, inclinometri, piezometri, estensimetri standard, estensimetri di tipo RHX) e collegato ad un sistema di allarme in remoto, lo scavo del sottoattraversamento dell'autostrada A2 è stato completato con successo nel rispetto delle condizioni contrattuali. I cedimenti massimi sono risultati dell'ordine di pochi cm diffusi su di un'area di diametro di ca. 100 m; tali cedimenti non hanno provocato danneggiamenti al manto stradale e non hanno limitato il passaggio dei ca. 60 mila mezzi giornalieri che transitano sull'autostrada A2.

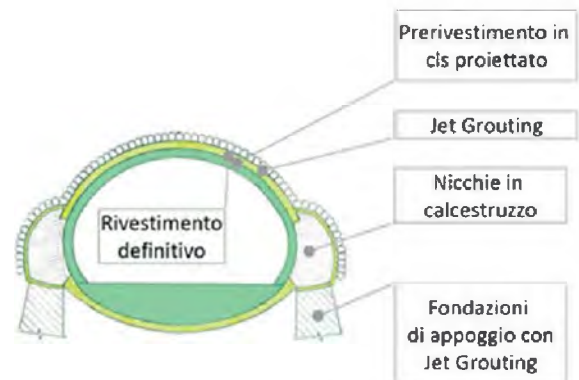
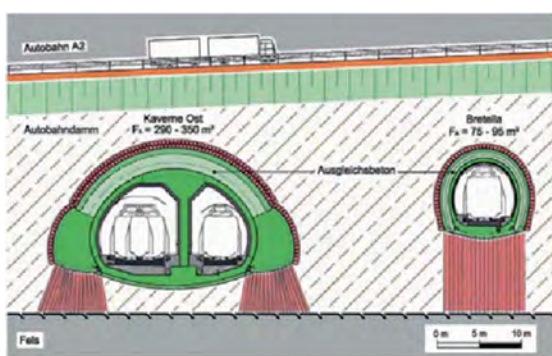


Figura 10. Controavanzamento al portale nord nella tratta del sottoattraversamento dell'autostrada N2 e vista del portale nord al termine dei lavori

## 6. Gli scavi in roccia per il controavanzamento al Portale Sud di Vezia

Il portale sud di Vezia [3] è posto in una zona particolarmente critica, a ridosso dell'abitato di Vezia (Lugano) con presenza di abitazioni (copertura minima 11 m) e di un edificio di interesse storico, all'interno di uno stretto corridoio fra l'autostrada A2, la circonvallazione di Lugano e la linea ferroviaria esistente e con la necessità di incrociare la galleria stradale Vedeggio-Cassarate (PTL). La parte d'opera in sotterraneo consiste nella realizzazione della galleria a binario unico a doppia canna scavata all'esplosivo in roccia (in prevalenza gneiss scistosi molto eterogenei ed anisotropi) caratterizzata da: sezione di scavo di ca. 80 m<sup>2</sup>; scavo a sezione parzializzata; tracciato a sviluppo curvilineo; lunghezza rispettivamente di 340 m e 303 m per le canne est/ovest collegate da un cunicolo trasversale (lunghezza ca. 34 m); coperture esigue (5-10 m al portale); sistema di rivestimento a doppio rivestimento con impermeabilizzazione interposta. Per quanto riguarda l'interferenza con la galleria PTL [2] (rivestimento definitivo completato al momento degli inizi dei lavori della GbC), si trova ad alcune decine di metri dal portale con spessori di roccia di separazione esigui e valore minimo di ca. 4 m. Per far fronte alle particolari condizioni al contorno, entrambi i progetti sono stati coordinati nel dettaglio, definendo procedimenti esecutivi cautelativi, l'adozione di tratte rinforzate ed un sistema di geofoni per il controllo delle vibrazioni nella galleria stradale. Per tenere sotto controllo l'evoluzione degli scenari di rischio nel corso dell'avanzamento dei lavori è stato adottato un sistema di monitoraggio superficiale mediante perforazioni attrezzate con estensimetri multibase con trasmissione dati in remoto. In fase progettuale, l'impiego di modellazione numerica con l'utilizzo del codice di calcolo ad elementi distinti UDEC 2D (Itasca, 2004) ha permesso di prevedere il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso roccioso e di prevedere le conseguenze dello scavo in superficie registrando una buona correlazione tra le deformazioni monitorate (6-7 mm) e quelle ottenute dalla simulazione numerica (5-10 mm). L'adozione di tecniche di brillamento a settori parzializzati (fino a 4 settori per la calotta e 2 per il ribasso con quantitativi di esplosivo anche < 0.25 kg/ritardo [3]) e di limiti di vibrazione restrittivi (con velocità ppv ≤ 12 mm/s), ha permesso di salvaguardare da possibili danni strutturali gli edifici e le infrastrutture prossimi al tracciato. Nonostante la presenza di criticità che hanno richiesto l'adozione di tecniche e soluzioni all'avanguardia, grazie all'ottimale cooperazione tra Committente, Direzione Lavori, Progettista e Appaltatore è stato possibile terminare lo scavo del portale di Vezia con un anticipo rispetto al programma lavori contrattuale di circa 10 mesi, con la soddisfazione della popolazione.



Figura 11. Vista di insieme del Portale di Vezia nelle fasi esecutive (a sinistra) e nella fase finale (a destra)

## 7. Scavi di caverne di grandi sezioni in condizioni geomeccaniche difficili: l'esempio delle caverne di diramazione di Sarè

La diramazione di Sarè [7] si trova nel settore GbC Sud ed è composta da due caverne di diramazione a geometria tronco-conica con sezione di scavo massima di 260 m<sup>2</sup>, copertura 150 m e che si estendono per la lunghezza di ca. 400 m.

Nell'ambito della realizzazione della Diramazione di Sarè è inoltre previsto lo scavo di due mozziconi di ca. 150 m ciascuno, che permettono di eseguire il futuro prolungamento verso l'Italia riducendo al minimo i disturbi all'esercizio della GbC. Anche per le caverne di Sarè viene utilizzato un sistema a doppio rivestimento (con impermeabilizzazione interposta), composto da rivestimento di prima fase e da un rivestimento definitivo armato (con paramenti in calcestruzzo gettato in opera e la volta in calcestruzzo spruzzato). Sulla base delle informazioni ottenute dai sondaggi geognostici, prove in laboratorio ed in situ, si attendeva che lo scavo delle caverne si sviluppasse all'interno del complesso degli Gneiss ed Ortogneiss con la presenza di due zone disturbate. Mediante analisi numeriche agli elementi distinti, erano attesi spostamenti massimi dell'ordine di 80 mm senza particolari problemi a livello strutturale. Durante lo scavo, dopo circa i primi 80 m di avanzamento, è stato riscontrato un ammasso roccioso fortemente anisotropo composto da una sequenza di strati poco inclinati composti da roccia di faglia cataclastica alternati a strati di gneiss scistosi con qualità meccaniche relativamente migliori. Differentemente dalle informazioni ottenute dalle analisi progettuali, durante lo scavo a piena sezione della calotta, si sono monitorate deformazioni più elevate (valori massimi di ca. 160 mm) e si sono registrate fessurazioni nel prerivestimento. Mediante numerose back-analysis sviluppate sulla base delle informazioni ottenute dal monitoraggio e dalle indagini in avanzamento, è stato definito un nuovo modello geomeccanico verificando la possibilità di procedere con lo scavo in calotta a piena sezione o a settori, soluzione ques'ultima successivamente adottata.

Ulteriori analisi sulla base della geologia di riscontro sono state eseguite nella tratta terminale dello scavo delle caverne di Sarè in corrispondenza del pilastro di larghezza di soli 3 metri che divide gli scavi per la realizzazione dei mozziconi e delle GbC.

Grazie all'adattamento dei supporti e al metodo di scavo adottato, è stato possibile completare con successo lo scavo delle caverne, iniziato nel marzo 2013 e conclusosi nell'ottobre 2013. Nonostante le incertezze geologiche, l'applicazione dei principi del metodo osservazionale ha assicurato che lo scavo avvenisse rispettando le condizioni quadro economico, tempistiche e contrattuali.

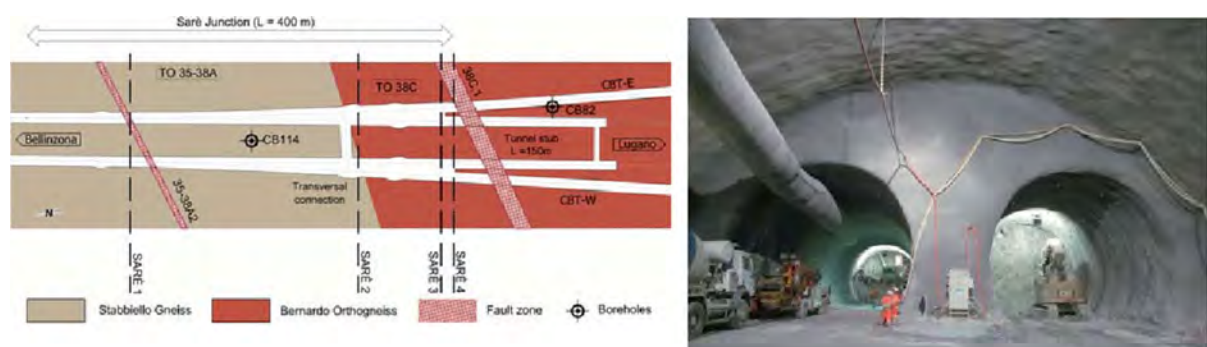


Figura 12. Planimetria schematica della Diramazione di Sarè con rappresentazione della geologia secondo prognosi (a sinistra) e fotografia nella zona terminale

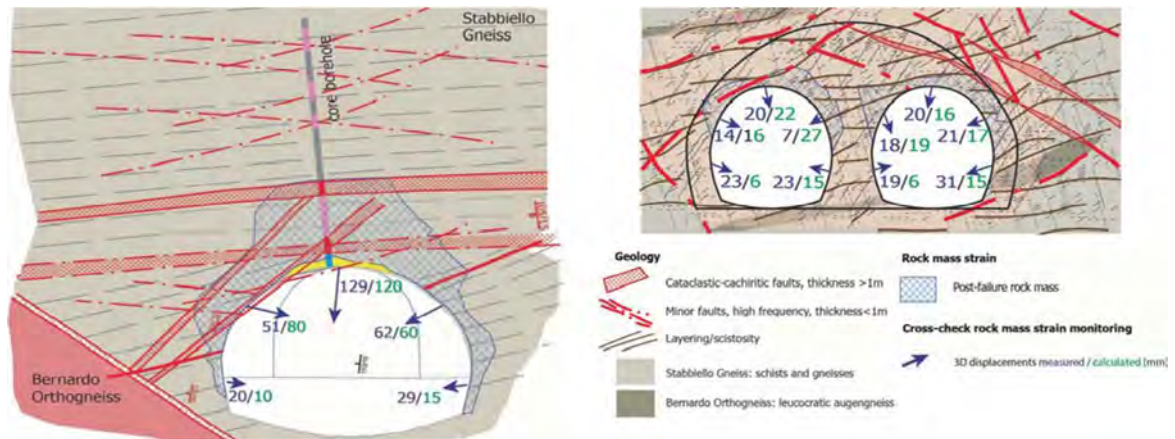


Figura 13. Modelli geologici di riscontro con le indicazioni delle deformazioni monitorate

## 8. Conclusioni

Nel marzo 2015 è avvenuta la caduta dei diaframmi in direzione sud mentre in direzione nord la caduta dei diaframmi sono avvenute nel gennaio del 2016. Attualmente sono in fase di conclusione le principali opere civili mentre nell'estate del 2017 inizierà la posa della tecnica ferroviaria. La messa in esercizio dell'opera è prevista nel 2020.

Nel seguito vengono riportate le principali conclusioni:

1. il progetto, anche se molto complesso, è stato fino ad oggi sviluppato e realizzato nel rispetto di qualità, tempi e costi preventivati;
2. le problematiche geologico-geotecniche della Galleria di base del Ceneri sono molto complesse ed eterogenee lungo il tracciato: adeguati strumenti di indagine sia in fase progettuale che costruttiva hanno permesso di ottenere modelli geotecnici attendibili e affrontare in modo proficuo le varie sfide progettuali;
3. i metodi di scavo in tradizionale hanno permesso una buona performance e una alta flessibilità in condizioni geotecniche difficili;
4. un sistema contrattuale moderno e flessibile unito ad buona collaborazione fra committente, direzione lavori, progettista ed impresa, ha permesso il raggiungimento degli obiettivi economici e temporali previsti.

Gli Autori ringraziano la società AlpTransit San Gottardo SA per il permesso della pubblicazione dei dati contenuti nell'articolo.

## 9. Riferimenti bibliografici

- [1] L., Cantieni, G. Anagnostou, 2009. The interaction between yielding supports and squeezing ground. *Tunnelling and Underground Space Technology* 24, 3, 309-322.
- [2] G. Como, A. Ferrari, G. Gubler. Tunnel Veduggio-Cassarate: Vortrieb in wassergesättigtem Lockergestein. 2008.
- [3] B. Gugelmann, 2011. The challenges of opposed tunnelling Vezia, in: STC 2011, Lucerna, pp. 62-75.
- [4] K. Kovari. Design methods with yielding support in squeezing and swelling rocks. WTC 2009 Budapest.
- [5] D. Merlini. La galleria di base del Ceneri: aspetti progettuali e costruttivi. *Gallerie e Grandi Opere Sotterranee*, 2009.
- [6] D. Merlini, M. Falanesca. Ceneri Base Tunnel advancement in difficult rock conditions: tunnel design and construction optimization through back-analysis of the geomechanical parameters. In: *World Tunnel Congress 2013*, Ginevra.
- [7] D. Merlini, S. Morandi, M. Falanesca. *Ceneri Base Tunnel: design and excavation of large caverns - SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region ITA WTC 2015 Congress*, 5/2015 (EN).
- [8] F. Rossi, R. Filippini, K. Kovari. Ceneri base Tunnel. Cavern beneath a Motorway Embankment. In: *Swiss Tunnel Congress 2013*, Lucerna.

## **LA GALLERIA DI VALICO E LO SCAVO MECCANIZZATO PER L'ATTRAVERSAMENTO DI AMMASSI POTENZIALMENTE AMIANTIFERI**

A. Mancarella - Cociv

### **1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO**

La linea ferroviaria Milano – Genova fa parte del sistema AV/AC italiano (fig 1) è inserita tra i 30 progetti prioritari europei approvati dall'Unione Europea il 29 aprile 2004 (n° 24 “Asse ferroviario Lione / Genova – Basilea – Duisburg – Rotterdam / Anversa) come nuovo progetto europeo, il cosiddetto “Ponte tra i due Mari” Genova – Rotterdam. La nuova linea di valico migliorerà in generale i collegamenti dal porto di Genova con l'entroterra della pianura Padana ed il Nord Europa con aumento significativo di capacità di trasporto, in particolare merci, per soddisfare la crescente richiesta di traffico.

Il Terzo Valico si sviluppa su un tracciato di circa 53 km e costituisce un'opera particolarmente impegnativa per la presenza di gallerie lunghe circa 36 km nella complessa catena appenninica situata tra Piemonte e Liguria. In linea con i più recenti standard di sicurezza il tracciato in sotterraneo è costituito da due gallerie a semplice binario affiancate con collegamenti trasversali ogni 500 m che consentono a ciascuna galleria di essere luogo sicuro rispetto all'altra. (Fig. 2)

Il tracciato attraversa le province di Genova e Alessandria, interessando il territorio di 12 Comuni. Si sviluppa quindi lungo la direttrice Genova-Milano, fino a Tortona, e lungo la direttrice Alessandria-Torino, fino a Novi Ligure.

La nuova linea sarà collegata, a Sud mediante l'interconnessione di Voltri ed il Bivio Fegino con gli impianti ferroviari del Nodo di Genova e con i bacini portuali di Voltri e del Porto Storico. A Nord, nella piana di Novi Ligure, il tracciato si collega alle linee ferroviarie esistenti Genova - Torino (per i flussi di traffico in direzione Torino e Novara - Sempione) ed alla linea Tortona – Piacenza – Milano (per il traffico in direzione Milano - San Gottardo).

Il tracciato attraversa l'Appennino Ligure con la Galleria di Valico, della lunghezza di oltre 27 km, e fuoriesce all'aperto nel comune di Arquata Scrivia proseguendo verso la piana di Novi Ligure sottopassando, con la Galleria di Serravalle di 7 km, il territorio di Serravalle Scrivia.

La parte in sotterraneo comprende poi la Galleria Campasso, lunga circa 700 m e le due Gallerie di interconnessione di Voltri, della lunghezza complessiva di circa 6 km.

La Galleria di Valico prevede quattro finestre di accesso intermedio, sia per motivi costruttivi sia per motivi di sicurezza (Finestre Polcevera, Cravasco, Castagnola e Vallemme). Dall'uscita della galleria di Serravalle la Linea principale si sviluppa prevalentemente all'aperto o in galleria artificiale, fino all'innesto sulla linea esistente a Tortona (itinerario per Milano); mentre un ramo in deviateda realizza il collegamento in sotterraneo da e per Torino sull'attuale linea Genova – Torino.

Da un punto di vista costruttivo le opere più significative del Terzo Valico sono rappresentate dalle seguenti gallerie naturali:

- Galleria Campasso 716m (canna singola a due binari)
- Galleria Interconnessione Voltri pari 2021m (canna singola a singolo binario)



- Galleria Interconnessione Voltri dispari 3926m (canna singola a singolo binario)
- Galleria di Valico 27.250 m (due canne a singolo binario)
- Galleria Serravalle 7.094 m (due canne a singolo binario)
- Finestre di accesso alla linea 7.200 m
- Gallerie artificiali 9.000 m

Gli standard di progetto prevedono una velocità massima di tracciato della linea principale di 250 km/h, una pendenza massima 12,5‰ l'interasse binari 4,0 – 4,5 m, l'alimentazione a 3kV in corrente continua, ma con predisposizione delle infrastrutture per 2 x 25kV in corrente alternata, e il sistema di segnalamento ERTMS livello 2.

Fig. 1

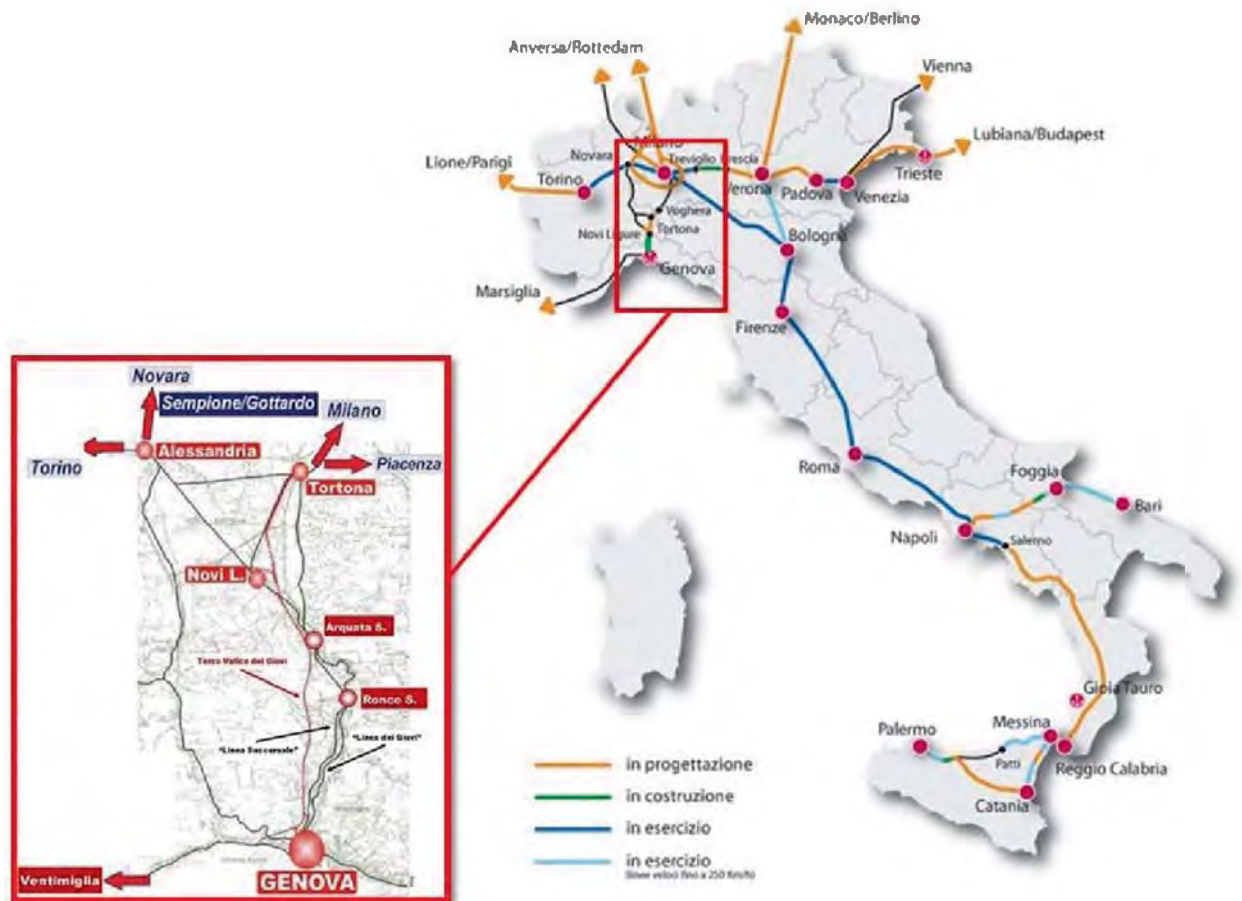
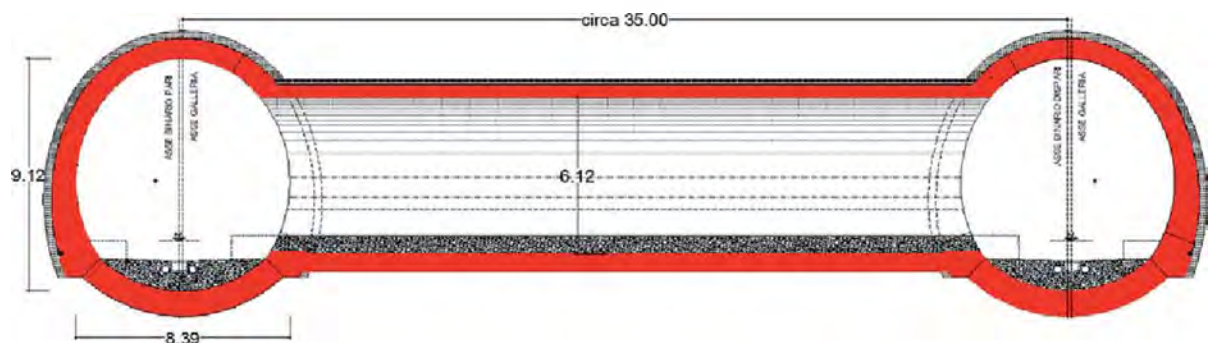


Fig. 2



## **2. IL COMMITTENTE. IL CONTRATTO E IL PIANO FINANZIARIO DELL'OPERA IN LOTTI COSTRUTTIVI**

Il Committente è R.F.I. S.p.A. (Rete Ferroviaria Italiana), mentre ITALFERR S.p.A. svolge il ruolo di Alta Sorveglianza per conto del Committente. IL CIPE ha approvato il Progetto Definitivo dell'opera nell'aprile del 2006 (Delibera n. 80/2006) e nel novembre 2010 (Delibera n. 84/2010) ha autorizzato l'avvio della realizzazione della tratta in sei lotti costruttivi non funzionali. Nel novembre 2011 è stato firmato il contratto (Atto Integrativo) tra il General Contractor COCIV (Salini Impregilo 64%, Condotte 31%, Civ 5%) e RFI, che prevede la Progettazione Esecutiva, la Direzione Lavori e la realizzazione dell'Opera, iniziata nell'aprile del 2012.

L'importo complessivo del contratto è di circa 4.400 milioni €. Il contratto prevede che il 60% dell'importo delle opere civili e dell'armamento sia obbligatoriamente eseguito da imprese terze, individuate attraverso bandi di gara internazionali.

### **3. LOGISTICA E CANTIERIZZAZIONE**

L'ubicazione delle aree di cantiere è strettamente legata sia alla disponibilità di spazi, sia all'ubicazione degli imbocchi delle finestre e delle gallerie. Ove possibile si è scelto di localizzare i cantieri, in particolare quelli operativi e di servizio, in aree dismesse e comunque in aree tali da limitare il più possibile l'impatto sul territorio.

La cantierizzazione dell'intera opera prevede:

- la realizzazione dei campi base (n. 7) per ospitare il personale impegnato nei lavori;
- la realizzazione dei cantieri operativi (n. 20);
- gli impianti di betonaggio;
- gli impianti per lo scavo e la realizzazione delle gallerie;
- le installazioni per realizzare la sovrastruttura ferroviaria (n.2);
- le installazioni per la realizzazione degli impianti tecnologici ferroviari;
- gli impianti per la frantumazione e produzione degli inerti necessari per i calcestruzzi;
- altre aree di cantiere lungo linea a servizio delle opere o di lavorazioni puntuali;
- i siti estrattivi per ricavare gli inerti necessari alla realizzazione delle opere in terra o in calcestruzzo;
- la viabilità ed il supporto logistico per l'alimentazione dei cantieri e relative unità operative;
- le opere di mitigazione degli impatti ambientali.

I campi base, costituiscono veri e propri villaggi, concepiti in modo tale da essere pressoché indipendenti dalle strutture socio-economiche locali e in grado di ospitare 300 – 500 persone ciascuno.

Un'opera di questo genere comporta la movimentazione e l'approvvigionamento di una notevole quantità di materiali ovvero:

<b>Scavi</b>	16,0 milioni mc	<b>Acciaio per c.a.</b>	200.000 ton
<b>Calcestruzzi</b>	3,8 milioni mc	<b>Acciaio per centine</b>	153.000 ton
<b>Spritz – Beton</b>	1,2 milioni mc	<b>Conci prefabbricati</b>	330.000 mc
<b>Inerti per calcestruzzi</b>	9,6 milioni ton	<b>Asfalti</b>	220.000 mc

### **4. GLI ASPETTI TECNOLOGICI E DI PRODUZIONE**

Le gallerie del Terzo Valico saranno realizzate sia in scavo in tradizionale che in scavo meccanizzato. In particolare la Galleria Serravalle di 7.000 m sarà realizzata interamente con

scavo meccanizzato, utilizzando due TBM EPBs del diametro di 9.77 m. La galleria di Valico sarà invece realizzata utilizzando entrambe le tecnologie: in scavo in tradizionale a partire dagli imbocchi sud e dalle quattro finestre di accesso, ed in meccanizzato, utilizzando due TBM EPBs del diametro di 9.77 m, dall'imbocco nord.

Ad oggi sono stati scavati circa 10.200 m di gallerie e finestre di accesso. Le velocità medie di avanzamento sono state mediamente dell'ordine di 30 – 60 m/mese per lo scavo in tradizionale a piena sezione, in funzione dell'entità dei consolidamenti necessari, mentre per lo scavo meccanizzato le velocità medie sono state dell'ordine di 165 m/mese, con punte massime fino a 300 m/mese.

## **5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

Gli studi e le indagini eseguiti, hanno evidenziato in particolare che la lunga galleria di Valico si sviluppa per circa il 30% all'interno di una zona particolarmente complessa dal punto di vista geologico, denominata zona Sestri Voltaggio, con coperture fino a circa 600 m, costituita da un'ampia superficie di faglia subverticale, orientata indicativamente nord-sud, osservabile per una lunghezza di circa 24 km. Secondo le interpretazioni più recenti, questa zona costituisce «un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica», e presenta, dal punto di vista geologico-strutturale, un grado di complessità molto elevato e costituisce uno degli elementi di criticità più significativi per la realizzazione delle gallerie del Terzo Valico.

A partire da Sud la Linea attraversa le seguenti formazioni:

### **Galleria di Valico**

- da km 1+215 a km 8+870  
Scisti micaceo – carbonatici del Passo della Bocchetta (Meta argilliti a Palombini). Scisti talora con livelli di calcari microcristallini e interstrati filladici. La roccia si presenta normalmente molto deformata.
- da km 8 + 870 a km 12 + 450  
Fascia milonitica di Isoverde e Calcari di Gallaneto (Unità Monte Gazzo – Isoverde). Scisti micaceo – carbonatici milonitici con vene intrafogliari di quarzo e albite. Roccia normalmente molto deformata con criticità di tipo idrogeologico a causa dell'attraversamento dei Calcari di Gallaneto che fanno parte di un importante acquifero carsico sotteso dall'alto bacino idrografico del Rio Verde.
- da km 12+450 a km 20+100  
Scisti micaceo-carbonatici del Passo della Bocchetta (meta-argilliti a Palombini) con presenza di basalti dispersi all'interno degli scisti. Si tratta di scisti micaceo – carbonatici con vene di quarzo e albite. Localmente vi è presenza di calcari microcristallini, con strati filladici e corpi lenticolari basaltici associati a diaspri. La roccia è normalmente molto deformata e con grado di fratturazione molto elevato.
- da km 20+100 a km 23+450  
Conglomerati della Formazione di Molare, costituiti da conglomerati poligenici in banchi e strati, a matrice arenacea. Le problematiche di scavo sono legate, per quanto riguarda le caratteristiche litostratigrafiche, alla forte eterogeneità

granulometrica dei conglomerati, in particolare alla presenza di grossi blocchi lapidei immersi in una matrice fine poco cementata e con scarsa coesione.

- da km 23+450 a km 28+464

Marne di Rigoroso e Formazione di Costa Areasa. Marne siltoso-argillose con intercalazione di arenaria fine (Marne di Rigoroso); marne e arenarie cementate (Flysch di Rigoroso); marne arenacee ed arenarie medio-grossolane (Membro di Costa Montada); formazione flyschoidi costituita da marne siltose poco cementate, marne carbonatiche cementate, sabbie poco cementate e arenarie fini (Formazione di Costa Areasa). Il grado di fratturazione della roccia si presenta da medio a elevato.

### **Galleria Serravalle**

- da km 29+491 a km 36+585

Formazioni attraversate: Marne di Cessole, Arenarie di Serravalle, Marne di Sant'Agata Fossili, Formazione gessoso-solfifera, conglomerati di Cassano Spinola, Argilla di Lugagnano. Si tratta di marne siltose omogenee e siltiti, con intercalazioni di arenarie fini e marne calcaree (Marne di Cessole).

Lungo la galleria di Serravalle, nell'ambito delle Arenarie di Serravalle non sono evidenziabili particolari problematiche in fase di scavo. Nella tratta prossima all'imbocco nord invece un problema è costituito dalla presenza di ridotte coperture. La copertura risulta inferiore al diametro della galleria e tale tratto critico è da scavarsi interamente all'interno delle Argille di Lugagnano, con caratteristiche scadenti di resistenza meccanica.

### **Galleria Artificiali e Tratte all'aperto**

A partire dall'imbocco nord della Galleria Serravalle il tracciato si sviluppa prevalentemente all'aperto ed in galleria artificiale interessando le formazioni alluvionali della Piana del Torrente Scrivia e dei suoi affluenti.

## **6. STUDIO DI APPROFONDIMENTO PER LA VERIFICA DELLA PRESENZA DI AMIANTO NELLE "PIETRE VERDI"**

In fase di approvazione del Progetto Definitivo ed a seguito della introduzione del Testo Unico Ambientale (D. Lgs. 152/2006), per la fase esecutiva dei lavori è stato richiesto un approfondimento delle indagini geognostiche per una migliore definizione della eventuale presenza di amianto in una tratta della Galleria di Valico. A tal proposito sono stati eseguiti studi di approfondimento ed analisi di caratterizzazione ambientale finalizzati alla definizione del rischio associato alla matrice ambientale "amianto", connessa alla presenza di "pietre verdi", anche definite ofioliti.

Gli studi hanno preso in considerazione tutte le unità geologiche che interessano la linea, sono stati sviluppati in collaborazione con il Politecnico di Torino, il CNR di Torino e l'Università di Genova ("Studio sulle pericolosità da amianto naturale lungo le gallerie di linea" redatto da G1-RES e dal Centro Scansetti).

Tra le varie litologie interessate dagli scavi di gallerie, la formazione del Molare (BTP) tra le pk 19+700 e 23+700 circa, ha rilevato la presenza di sottili vene di crisotilo nei clasti di serpentinite delle facies conglomeratiche e la presenza di isolati frammenti di anfiboli della serie tremolite-actinolite nella matrice arenacea.

I conglomerati della Formazione del Molare, che non fanno parte della famiglia delle “pietre verdi” ma contengono clasti serpentini ed oficalciti hanno pertanto evidenziato una probabilità di rinvenimento amianto in un tratto di circa 4 km della Galleria di Valico.

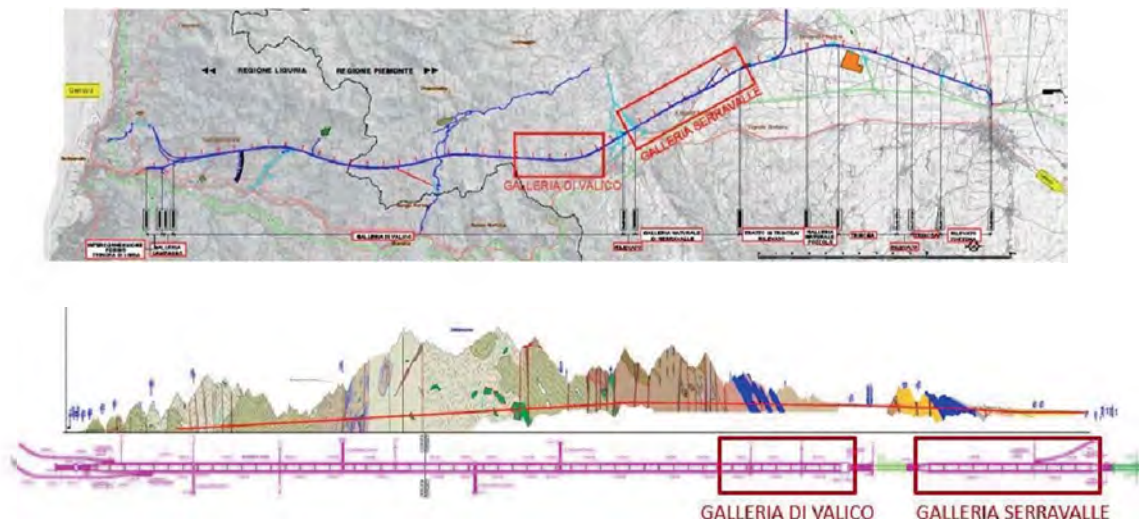
### **7. SCAVO MECCANIZZATO NELLA GALLERIA DI VALICO**

Il Progetto di Atto Integrativo prevedeva la realizzazione della Galleria di Valico nel tratto dalla pk 22+000 alla pk 27+445 mediante “scavo meccanizzato” con TBM-EPB.

Gli approfondimenti di indagini riguardanti in particolare la geologia degli ammassi rocciosi interessati dal tracciato della galleria, hanno evidenziato con specifico riferimento alla “Formazione del Molare”, lo spostamento del contatto tra i conglomerati e le argillite all'apk 19+700 circa con conseguente allungamento del tratto in cui vi è la probabilità di incontrare amianto in matrice naturale.

Quanto sopra ha fatto propendere per un'estensione della tratta da realizzare con “scavo meccanizzato”, portandola sino alla pk 19+700 con l'obiettivo di avere maggiori garanzie sulla gestione del rischio connesso alle formazioni amiantifere, con particolare riferimento alla possibile esposizione dei lavoratori alle fibre di amianto contenute nel materiale di scavo e nell'ambiente esterno alla galleria (Fig. 3).

**Fig. 3**



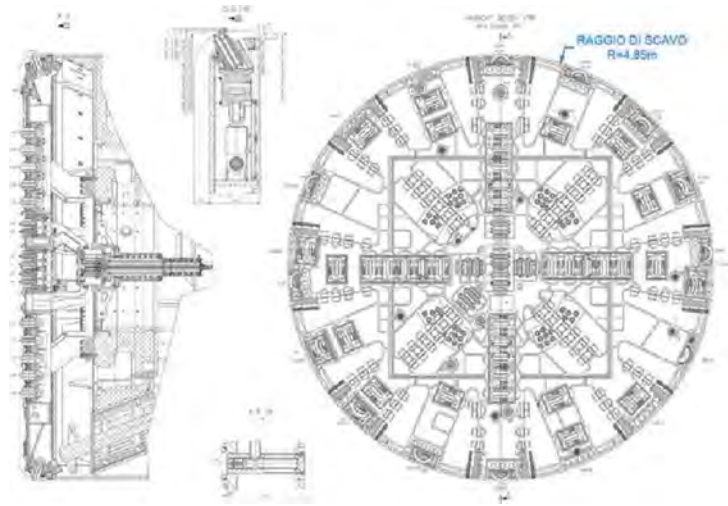
La costruzione della galleria di linea avverrà pertanto utilizzando due TBM EPB dalla pk 19+700 alla pk 27+445 per complessivi 7.755 ml per ciascuna galleria (Totali 15.510 ml).

Nel seguito si riportano le caratteristiche tecniche principali delle TBM – EPBS:

TESTA DI SCAVO

**CARATTERISTICHE TBM:**

∅ nominale testa di scavo	9.770 mm
∅ scudo al fronte	9.720 mm
lunghezza scudo	11 m
∅ estradosso anello	9.400 mm
lunghezza anello	1.800 mm
spessore anello	400 mm
extrascavo radiale	50 mm
pressione radiale ammissibile	6 bar
forza di spinta installata	120-130 MN



La costruzione della galleria di linea avverrà pertanto utilizzando due TBM EPB dalla pk 19+700 alla pk 27+445 per complessivi 7.755 ml per ciascuna galleria (Totali 15.510 ml).

**8. TBM EPB: PRINCIPI GENERALI DI FUNZIONAMENTO E CONFIGURAZIONI DI LAVORO**

Come detto nei precedenti capitoli le TBM che attraverseranno le formazioni geologiche nelle quali è prevista la probabilità di incontrare ammassi rocciosi contenenti amianto in matrice naturale sono del tipo EPB (Earth Pressure Balance).

**Componenti principali e controllo della pressione al fronte**

1 Fronte di scavo	4 Paratia di pressione	7 Erettore
2 Testa di scavo	5 Cilindri di spinta	8 Anelli di rivestimento
3 Camera di scavo	6 Coclea	

Il principio operativo degli scudi è a *“pressione di terra bilanciata”*, mentre la testa rotante porta utensili svolge unicamente una funzione di mezzo per lo scavo. Il terreno disgregato dalla testa fresante rifluisce all’interno di una camera (*camera di scavo*) e viene quindi mantenuto in pressione attraverso l’azione dei martinetti di spinta dello scudo.

I detriti di scavo (*smarino*) vengono estratti da una coclea che penetra all'interno della camera di scavo, per poi essere trasportati mediante un sistema di nastri (*nastro di macchina e nastro continuo*) fino alle vasche di smarino predisposte all'esterno del sotterraneo.

Oltre alla testa fresante ed allo scudo, la macchina consta di una serie di carri (backup) dove trovano sede tutti gli impianti a corredo della TBM il sistema di iniezione di malta in pressione e tutte le attrezzature per la posa dei conci di rivestimento.

Il trasporto dello smarino dalla camera di scavo fino al destino finale nelle vasche situate all'interno dell'area di cantiere, avviene tramite un nastro continuo che scarica a sua volta su un sistema di nastri fissi di distribuzione esterni fino alle vasche di accumulo e caratterizzazione per il finale trasferimento del materiale a deposito o scarica.

È importante evidenziare, anche ai fini della gestione del "rischio amianto" trattata nel seguito, come la metodologia di funzionamento della TBM tipo EPB garantisca che il materiale contenuto nella camera di scavo, ambiente mantenuto in pressione durante il normale esercizio, possa arrivare all'interno della galleria solo ed esclusivamente attraverso la coclea di estrazione.

Oltre al normale avanzamento della macchina, è opportuno prevedere che le TBM tipo EPB, utilizzate per lo scavo delle gallerie, debbano fermarsi periodicamente per le normali attività di manutenzione, verifiche di corretto funzionamento e verifiche di usura degli utensili di scavo. Potrebbe, inoltre, verificarsi la necessità di eseguire interventi di manutenzione straordinaria su alcune parti della TBM che richiedono un periodo di fermo più lungo e lavorazioni più complicate rispetto alle precedenti.

Per quanto sopra descritto i fermi macchina saranno differenziati in funzione della loro durata "presunta" (Breve, Media e Lunga)

- Fermi di Breve Durata (2 – 4 ore) per ispezione del fronte di scavo interventi su coclea e nastri.
- Fermi di Media Durata (8 – 16 ore) tipicamente necessari per cambio utensili di scavo.
- Fermi di Lunga Durata (oltre le 24 ore) tipicamente necessari per manutenzione straordinaria in camera di scavo che necessitano di fermo prolungato proprio per la magnitudine del tipo di intervento (rifacimento selle utensili di scavo, riparazione struttura testa di scavo, rifacimento protezioni anti-usura, etc etc) o lungo la coclea (rifacimento elica/protezioni anti-usura). Rientrano in questa casistica anche i fermi riconducibili alle soste programmate per fermo attività di cantiere, laddove si renda necessario un fermo completo alle operazioni di scavo (fermi periodo natalizio/estivo).

Nel seguito vengono affrontate le problematiche connesse all'esecuzione di gallerie con metodo meccanizzato TBM EPB in ammassi rocciosi contenenti amianto in matrice naturale, arrivando a delineare un nuovo e complesso sistema impiantistico, tecnico e procedurale in grado di consentire lo svolgimento delle attività, sia durante il normale avanzamento che durante le necessità di "fermo macchina" per come precedentemente descritto, con l'obiettivo di limitare al minimo il rischio di esposizione dei lavoratori impiegati e nel contempo impedire o limitare al minimo la diffusione di fibre d'amianto verso gli altri luoghi di lavoro e verso l'ambiente esterno.

Partendo dall'individuazione delle eventuali "sorgenti" di emissione di fibre all'interno della macchina di scavo, ed analizzato il circuito dei "veicoli" del potenziale trasporto e diffusione di fibre amiantifere in ambiente, vengono individuate le possibili aree a rischio esposizione per ciascuna "Fase Lavorativa" della TBM EPB.

Nel seguito sono illustrati gli apprestamenti impiantistici, le procedure di lavoro e le misure di prevenzione e protezione adottate.

## **9. SORGENTI DI FIBRE AMIANTIFERE, VEICOLI DI DISPERSIONE, E CONCETTI BASE**

Per quanto descritto nei paragrafi precedenti con riferimento ai principi di funzionamento della TBM EPB utilizzata per lo scavo delle gallerie di linea in contesti amiantiferi è facilmente identificabile nel terreno stesso di scavo, potenzialmente contenente amianto in matrice naturale, la “sorgente” della potenziale dispersione di fibre in ambiente.

Nello scavo meccanizzato ed in particolare TBM – EPB il materiale di scavo, contaminato da amianto rimane, in condizioni di normale esercizio, “confinato” all’interno della camera di scavo non avendo nessuna possibilità di venire in contatto con le zone retrostanti della TBM se non attraverso la coclea di estrazione.

È quindi ragionevole dire che la natura stessa della TBM EPB e le sue specifiche modalità di esercizio costituiscono un primario intervento di “protezione collettiva”.

Il “circuito” delle terre e rocce da scavo, a partire dalla camera di scavo e fino al conferimento alle vasche esterne di piazzale, costituisce quindi il principale “veicolo” del potenziale trasferimento e liberazione di fibre amiantifere verso gli altri ambienti del sotterraneo e verso l’ambiente esterno.

Seguendo quindi il circuito dello smarino il primo punto sensibile in corrispondenza del quale è possibile avere rilascio di fibre di amianto nel tunnel si trova in corrispondenza della cuffia di scarico dello smarino tra la coclea ed il nastro di macchina. Come descritto in precedenza in questa zona della macchina lo smarino abbandona la coclea per cadere sul nastro di macchina entrando a diretto contatto con l’ambiente di lavoro. Analoga situazione si verifica nella parte retrostante della macchina in corrispondenza del salto dello smarino tra il nastro di macchina ed il nastro continuo di galleria. Oltre alle due zone individuate in precedenza, in una normale TBM EPB, lo smarino prodotto dalla frantumazione della roccia viene trasportato su un sistema di nastri aperto e quindi a diretto contatto con l’ambiente di lavoro e, relativamente alla parte di nastro fissa prevista nell’area di cantiere esterna, l’ambiente di vita.

Gli sforzi del Consorzio si sono quindi concentrati nello studio di soluzioni appropriate atte a ricreare le condizioni base per il contenimento della dispersione di fibre amiantifere ovvero confinamento, bagnatura e /o depressurizzazione in corrispondenza di tutti i punti “sensibili” del circuito terre e rocce.

Altro “veicolo” di potenziale trasporto di fibre amiantifere liberate nell’aria è costituito dal sistema di ventilazione e dal ricircolo dell’aria del sotterraneo. Il concetto base di un sistema integrato di ventilazione aspirante e contestuale depolverazione verrà quindi attualizzato al contesto di scavo meccanizzato andando a ricreare puntuali condizioni di aspirazione e depolverazione, nei punti “sensibili” e durante le fasi lavorative che richiedono contatto diretto di personale con il circuito delle terre e rocce e i rispettivi componenti potenzialmente contaminati.

Anche il personale ed i materiali, impiegati nelle attività potenzialmente contaminanti, possono costituire un veicolo al trasferimento di fibre verso gli altri ambienti di lavoro e verso l’ambiente esterno. Sarà quindi prevista una serie di Unità di decontaminazione sia per il personale che per i materiali contaminati (UDP/M) opportunamente dislocate lungo la macchina in corrispondenza dei punti “sensibili”, dimensionate per passaggi di una persona alla volta ed opportunamente progettate per adattarsi alle limitatezze degli spazi a disposizione ed, in taluni casi, essere facilmente amovibili una volta ultimata la necessità di impiego.

Infine anche tutto il circuito delle acque presenti in galleria durante le lavorazioni (acque di infiltrazione da ammasso, acque di lavaggio e bonifica, acque delle UDP/M ecc.) costituiscono un “veicolo” di potenziale trasporto di fibre amiantifere verso l’intero ambiente



sotterraneo e verso l'ambiente esterno, con il rischio che, una volta eventualmente essiccate, possano ridisperdersi in ambiente. Dovranno essere previsti ed adottati adeguati punti di aggotamento, convogliamento tramite tubazione confinata ed invio all'impianto di trattamento posto nel piazzale di cantiere esterno che sarà attrezzato con Sistema di Ultrafiltrazione prima dello scarico delle acque stesse nel recapito finale.

### **9.1. Apprestamenti sul circuito delle terre e rocce da scavo**

Durante la normale fase di scavo la conduzione in modalità "chiusa" con pressione in camera di scavo garantisce di per sé il confinamento del materiale di scavo all'interno della camera stessa e della coclea di estrazione. Il confinamento invece dello smarino, dallo scarico della coclea sul nastro di macchina fino al recapito finale nelle vasche di smarino poste all'esterno, sarà realizzato attraverso l'implementazione di una serie di apprestamenti impiantistici. (Schema 1)

### **9.2. Apprestamenti sul circuito dell'aria di ventilazione**

La dispersione di fibre liberate in ambiente può essere efficacemente controllata e contenuta mediante un sistema di ventilazione di tipo aspirante, corredato da opportuno impianto di depolverazione.

Adattando questo concetto allo scavo meccanizzato con TBM-EPB, pur mantenendo il sistema di ventilazione generale del sotterraneo di tipo premente, verrà ricreata localmente in corrispondenza dei punti singolari di potenziale dispersione di fibre, una ventilazione di tipo aspirante dei volumi racchiusi dai confinamenti predisposti, producendo quindi condizioni di depressione rispetto all'ambiente circostante; l'aria estratta sarà quindi convogliata a decontaminazione per mezzo di specifiche unità di depolverazione a secco. (Schema 1)

### **9.3. Apprestamenti sul circuito delle acque**

L'impianto di aggotamento e trattamento acque sarà strutturato in modo da intercettare e trattare tutte le acque che vengono rilasciate in galleria, sia naturalmente che quelle utilizzate industrialmente, in particolare:

- acque provenienti dall'ammasso escavato;
- acque utilizzate per il lavaggio durante operazioni di manutenzione e bonifica;
- acque miscelate a polveri provenienti dalle unità di depolverazione;
- acque utilizzate dalle unità di lavaggio dei tappeti dei nastri;
- acque provenienti dalle UDP/UDM
- acque utilizzate per il lavaggio delle pareti della galleria.

Il sistema di trattamento conterrà una sezione di ultrafiltrazione di tutte le acque che si dovessero rilasciare in galleria e che vanno convogliate all'impianto di trattamento posto all'esterno, ove saranno sottoposte al ciclo di depurazione prima del loro riutilizzo o del loro conferimento al recettore esterno, nel rispetto delle norme vigenti.

Il contenuto di amianto in fibre risulterà concentrato nei fanghi prodotti dall'impianto, pressati dalla filtropressa e sarà smaltito nel rispetto delle norme vigenti.

### **9.4. Normale esercizio ed allungamento nastro**

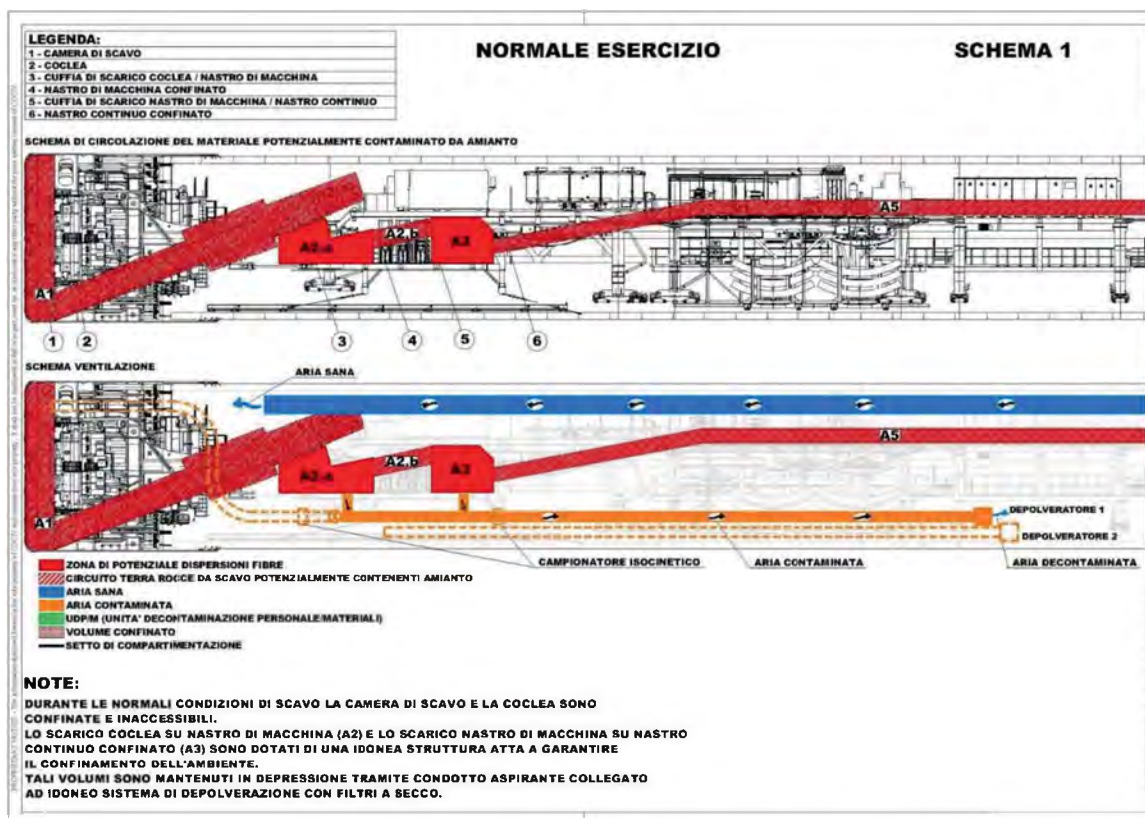
Durante la fase di scavo il confinamento del circuito del materiale di scavo è assicurato dalla conduzione in modalità “chiusa” con pressione in camera di scavo. Il confinamento della camera di scavo, compartimentato dal resto dello scudo per mezzo della paratia di pressione, è in seguito assicurato dal flusso attraverso la coclea di estrazione.

I punti di trasferimento dello smarino tra coclea e nastro di macchina e da questo su nastro continuo vengono isolati dal resto del tunnel per mezzo di opportune “cofanature” che, inglobando tali punti singolari di potenziale dispersione di fibre, ne confinano l’ambiente e minimizzano quindi il rischio di dispersione di fibre.

Tali cofanature creano un continuum con le coperture integrali che inglobano il nastro di macchina ed il nastro continuo. La zona a bordo macchina dove si opera l’allungamento della struttura del nastro continuo, inoltre, adeguatamente compartimentato dal resto dell’ambiente del tunnel mediante la realizzazione di un opportuno locale confinato ed in depressione rispetto al tunnel medesimo.

L’accesso in quest’area sia dei materiali che del personale addetto alle operazioni di allungamento del nastro, avverrà necessariamente attraverso una UDP/UDM (Unità di Decontaminazione Personale/Unità di Decontaminazione Materiale).

Tutto quanto sopra descritto è dettagliato nello schema di riferimento allegato (Schema 1).





## **LA SICUREZZA COME APPROCCIO INTEGRATO PER LA PROGETTAZIONE E L’ESERCIZIO DEI LUNGHİ TUNNEL**

MARIO FORESTA – RESPONSABILE U.O. SICUREZZA, MANUTENZIONE ED INTEROPERABILITA’  
ITALFERR SPA

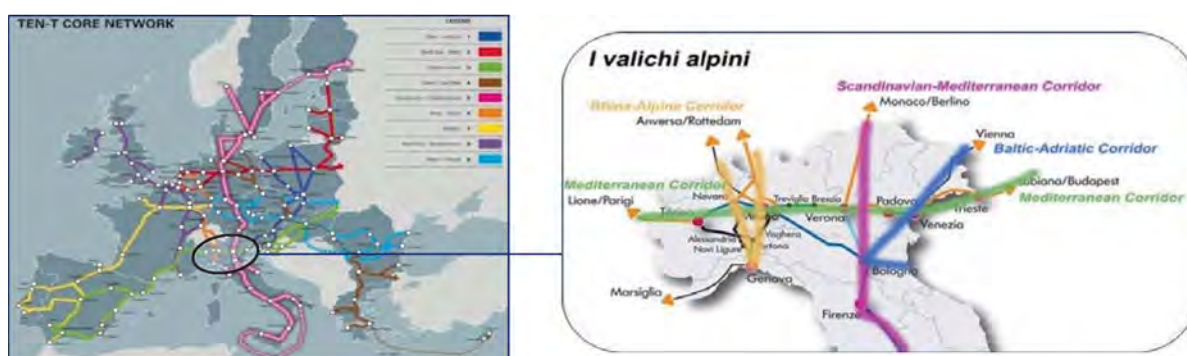
FRANCESCO FRANZE’ – U.O. SICUREZZA, MANUTENZIONE ED INTEROPERABILITA’  
ITALFERR SPA

### **Abstract**

La fase di progetto delle grandi opere ferroviarie in sotterraneo, considerate le caratteristiche di complessità intrinseche, richiede la ricerca di soluzioni altamente innovative e un approccio multidisciplinare affinché le diverse componenti infrastrutturali e tecnologiche possano concorrere in modo integrato per garantire alti standard funzionali e di sicurezza in fase di esercizio. Questi aspetti risultano ben evidenti nel caso dei lunghi tunnel, singolari per dimensioni e contesto di riferimento, in cui lo sviluppo di un Safety Concept specifico e accurato, garantisce l’integrazione e l’armonizzazione tra il progetto e le severe esigenze normative in continua evoluzione sia in campo nazionale che europeo.

### **1. Introduzione**

L’arco alpino è interessato da una rilevante quota della Rete “Trans European Network-Transport” disegnata dall’Unione Europea nell’ambito della politica delle reti infrastrutturali di trasporto (TEN-T Core Network Corridors - Regolamento UE N. 1316/2013 O.J.L348 del 20/12/2013). Gli assi TEN-T che interessano l’Italia sono complessivamente 4: Core Corridor n. 1 “Baltic-Adriatic”, Core Corridor n. 3 “Mediterranean Corridor”, Core Corridor n. 5 “Scandinavian-Mediterranean”, Core Corridor n. 6 “Rhine-Alpine” (Fig 1).



**Fig. 1 – I valichi alpini nel contesto della TEN-T Core Network Corridors**

Vista la complessità e la vastità del tema oggetto di presentazione, nella presente relazione ci occuperemo di focalizzare solo alcuni aspetti legati al Safety Concept di tre importanti tunnel: il Tunnel di Base del Moncenisio (Core Corridor n. 3), il 3° Valico dei Giovi (Core Corridor n. 6) e la Galleria di Base del Brennero (Core Corridor n. 5) (Fig. 1).

## 2. Il tunnel di base del Moncenisio

La tratta internazionale Torino-Lione ha uno sviluppo complessivo di ca. 270 km e comprende una sezione transfrontaliera da St-Jean-de-Maurienne a Susa/Bussoleno che si estende per ca. 67 km.

La sezione è costituita da un'area all'aperto di 3,7 km a St.-Jean-de-Maurienne (con la nuova stazione viaggiatori di St-Jean de Maurienne, l'area di sicurezza e l'interconnessione con la linea storica francese), dal tunnel di base del Moncenisio di 57,5 km (45 km in territorio francese e 12,5 km in territorio italiano), da un'area all'aperto di 2,7 km nella piana di Susa (con la nuova stazione viaggiatori internazionale e l'area di sicurezza), dal tunnel d'interconnessione di 2,1 km in direzione del fascio di binari esistente a Bussoleno, da un'area all'aperto di 0,9 km per l'interconnessione con la linea storica a Bussoleno (Fig. 2).

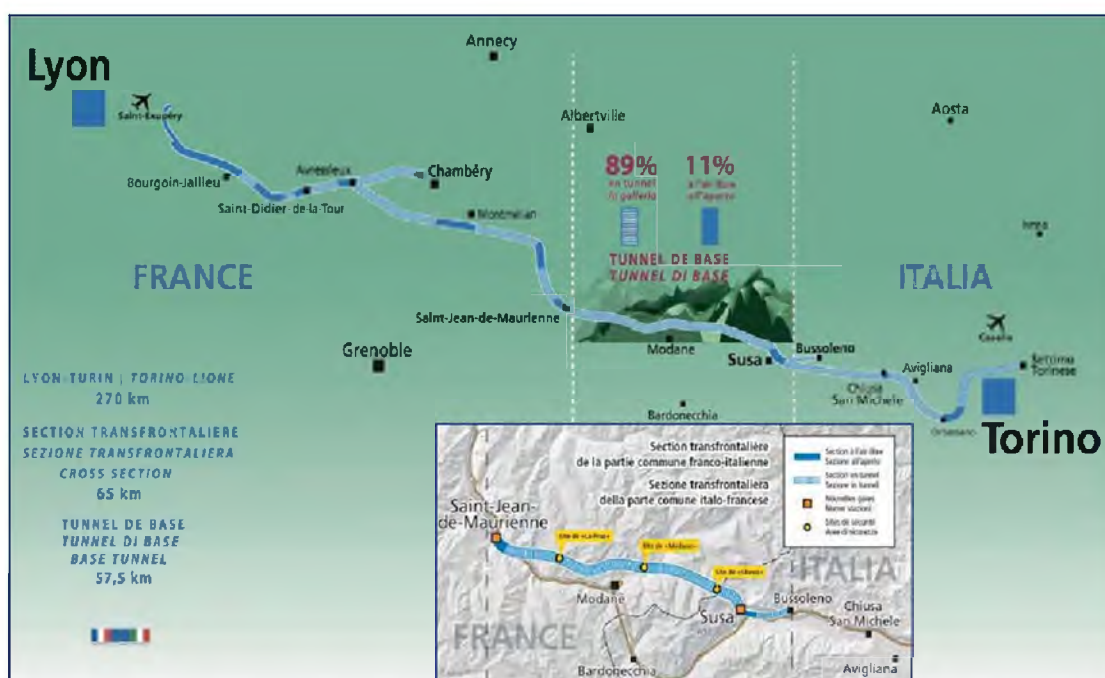


Fig. 2 – Corografia generale della collegamento Torino-Lione

Il tunnel di base e d'interconnessione avranno una configurazione a doppia canna-singolo binario con collegamenti trasversali (by-pass) ogni 333 m (Fig. 3). La sezione tipo del tunnel di base sarà circolare con raggio interno pari a 4,20 m e presenterà un marciapiede di servizio/esodo largo non meno di 1,20 m, un binario per la circolazione ferroviaria e un marciapiede utilizzabile per gli interventi di manutenzione.

### 2.1 L'approccio integrato per il safety concept

Il sistema galleria (tunnel di base) risulta valorizzato dalla presenza di 3 aree di sicurezza sotterranee, La Praz, Modane e Clarea (Modane è anche una stazione per le precedenza) accessibili dall'esterno tramite discenderie, da un'ulteriore discenderia per l'accesso dei soccorsi a Saint-Martin la Porte e da due aree di sicurezza esterne a Saint Jean de Maurienne e Susa (Fig. 3).



Fig. 3 – Rappresentazione schematica del sistema galleria

La configurazione “tipo” dell’area di sicurezza sotterranea presenta una zona sicura “centrale” (sala di accoglienza) in asse alle gallerie di linea, collegata alle stesse mediante by-pass ogni 50 m, posta ad una distanza di ca. 40 m dalla galleria di linea. In corrispondenza della sezione terminale, è previsto un by-pass per l’ingresso dei mezzi di soccorso (Fig. 4).

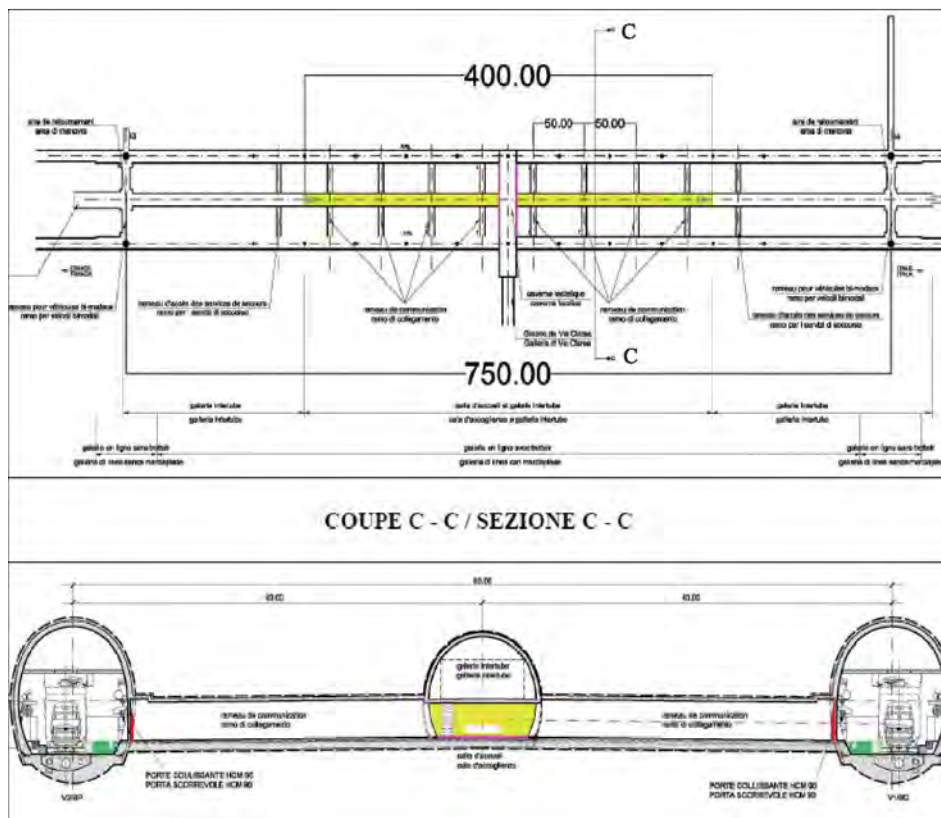


Fig. 4 – Layout area di sicurezza sotterranea

Il sistema distribuito per l’estrazione fumi e l’impianto di acqua nebulizzata lungo lo sviluppo dell’area di sicurezza (750 m), garantiscono condizioni sicure durante l’esodo dei passeggeri in caso di incendio (Fig. 5).

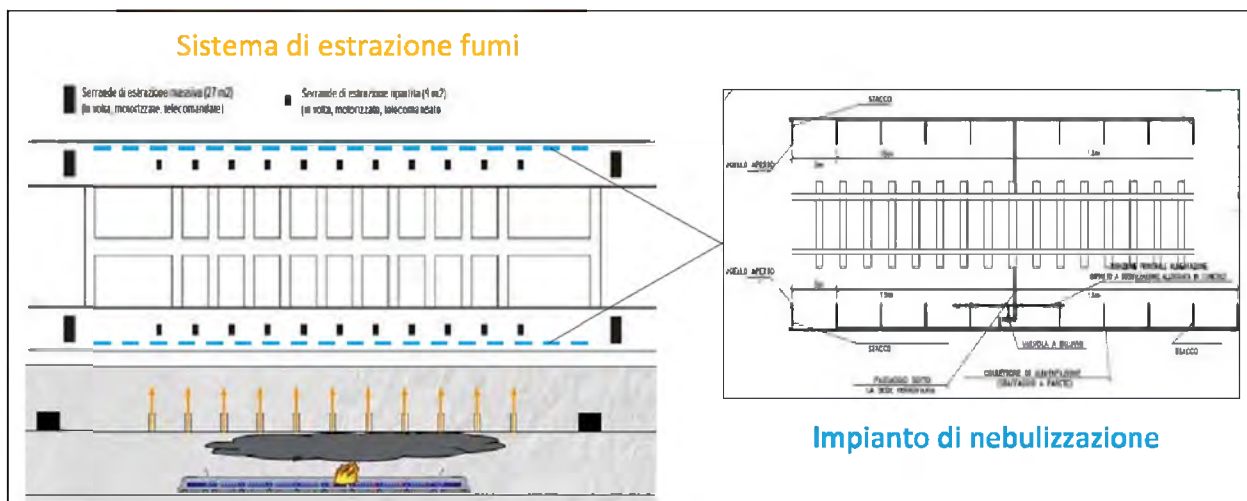


Fig. 5 – Il sistema di estrazione fumi e l'impianto di nebulizzazione

In caso di emergenza durante l'esercizio ferroviario, il complesso sistema impiantistico e tecnologico a servizio della sicurezza, nonché l'intervento dei servizi di soccorso, vengono presidiati secondo una logica di gestione integrata attraverso il Posto Centrale.

### 3. Il 3° Valico dei Giovi

Il "3° Valico dei Giovi" ha una lunghezza di circa 53 Km, oltre a ca. 15 Km di interconnessioni (Voltri, Genova Parco Campasso, Novi Ligure e Tortona), per un totale di circa 68 Km di linea ferroviaria che si sviluppa prevalentemente in galleria. Interamente integrato con la rete esistente, il Terzo Valico dei Giovi sarà interconnesso a sud con il nodo di Genova, per assicurare il collegamento diretto con i bacini portuali e con la linea Savona-Ventimiglia e a nord, nelle direzioni di Torino, Novara, Milano e Piacenza, attraverso le connessioni con le linee convenzionali in prossimità di Novi Ligure e Tortona (Fig. 6).

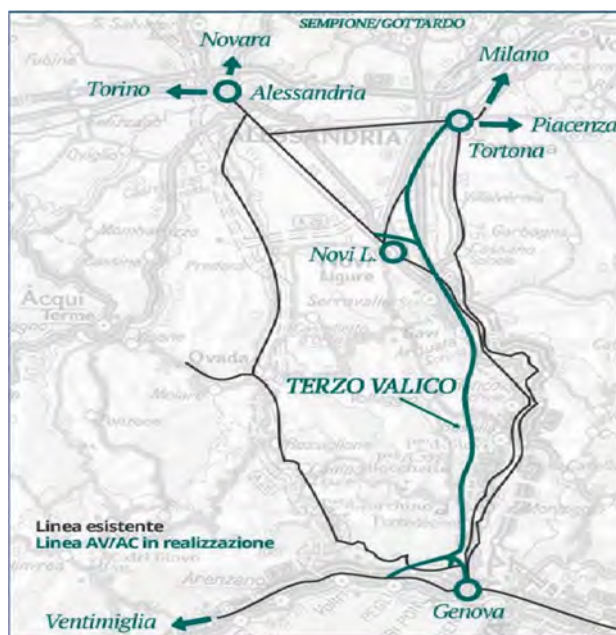


Fig. 6 – Corografia generale della Tratta AV/AC – 3° Valico dei Giovi

La parte in sotterraneo è composta dalle gallerie: Galleria Campasso (lunghezza ca. 700 m), Gallerie di interconnessione di Voltri (binario dispari lunghezza ca. 4,3 km, binario pari lunghezza ca. 2,4 km), Galleria di Valico (lunghezza ca. 27 km), Galleria Serravalle (lunghezza ca. 7 km) e Galleria artificiale Pozzolo (lunghezza ca. 2 km) (Fig. 7).

Le due gallerie principali di linea (Valico e Serravalle) avranno una configurazione a doppia canna-singolo binario, (interasse medio tra le due canne pari a 35 m) con collegamenti trasversali (by-pass) ogni 500 m (Fig. 7). Sono previste due sezioni tipo di galleria di linea in funzione del sistema di scavo che sarà adottato: nel caso di sistema di scavo con metodo meccanizzato (TBM-Tunnel Boring Machine) la sezione della galleria sarà circolare con raggio interno pari a 4,30 m e nel caso di sistema di scavo con metodo tradizionale la sezione della galleria sarà policentrica con raggio di calotta pari a 3,75 m.

Lungo entrambi i tunnel, il profilo trasversale della sezione corrente è composto da un marciapiede di servizio/esodo (largo non meno di 1,20 m), un binario per la circolazione ferroviaria e un marciapiede utilizzato per gli interventi di manutenzione.

### 3.1 L'approccio integrato per il safety concept

Il sistema galleria (galleria di valico) risulta valorizzato dalla presenza di 3 aree di sicurezza, di cui una in sotterraneo (Val Lemme) accessibile dall'esterno tramite discenderia e due in superficie di cui una posizionata tra la Galleria di Valico e la Galleria Serravalle in prossimità di Arquata Libarna ed una posizionata presso l'accesso sud in prossimità della galleria Campasso; sono inoltre presenti tre ulteriori discenderie per l'accesso dei soccorsi, Polcevera, Cravasco e Castagnola (Fig. 7).

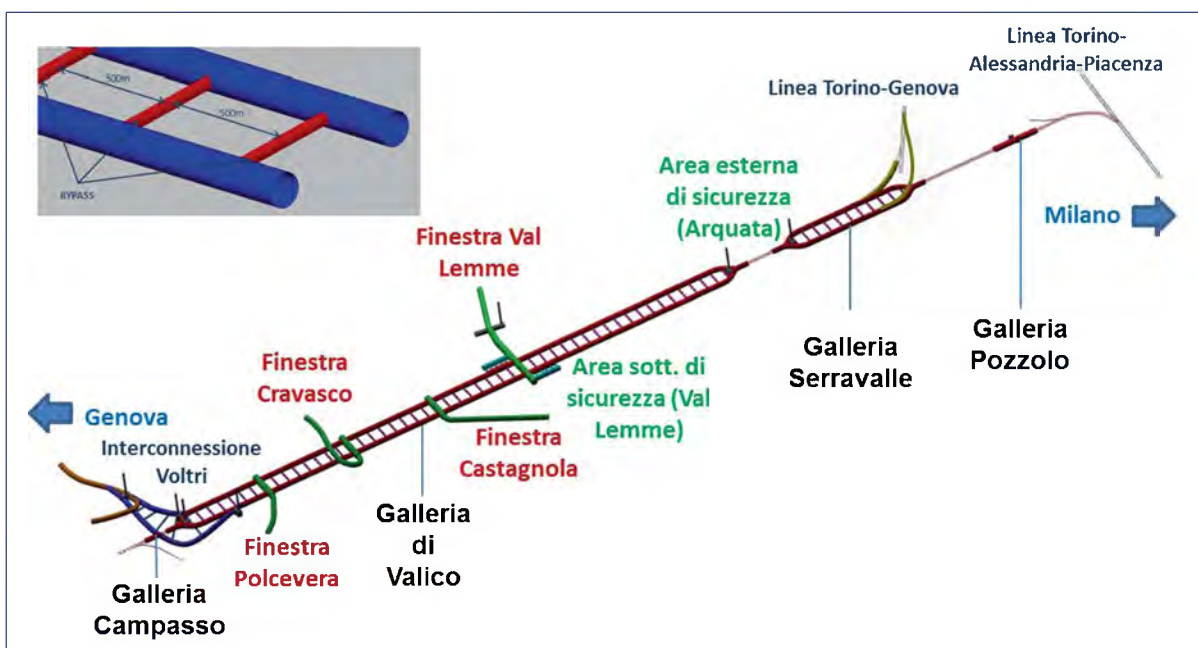


Fig. 7 – Rappresentazione schematica del sistema galleria

L'area di sicurezza sotterranea "Val Lemme" presenta un particolare layout con due zone sicure "lateral" denominate "gallerie di sfollamento" utilizzate dai passeggeri in caso di esodo, disposte parallelamente all'asse della galleria (Fig. 8); esse si estendono per 750 m dall'asse della finestra e sono poste ad un'interdistanza rispettivamente dal binario pari e dal binario dispari di ca. 35 m. Le gallerie di sfollamento sono accessibili dalla banchina attraverso i rami (by-pass), posti ad un interasse di 50 m e sono collegate tra loro da un



passaggio pedonale posto sopra le due canne, in corrispondenza dell'innesto della finestra Val Lemme.

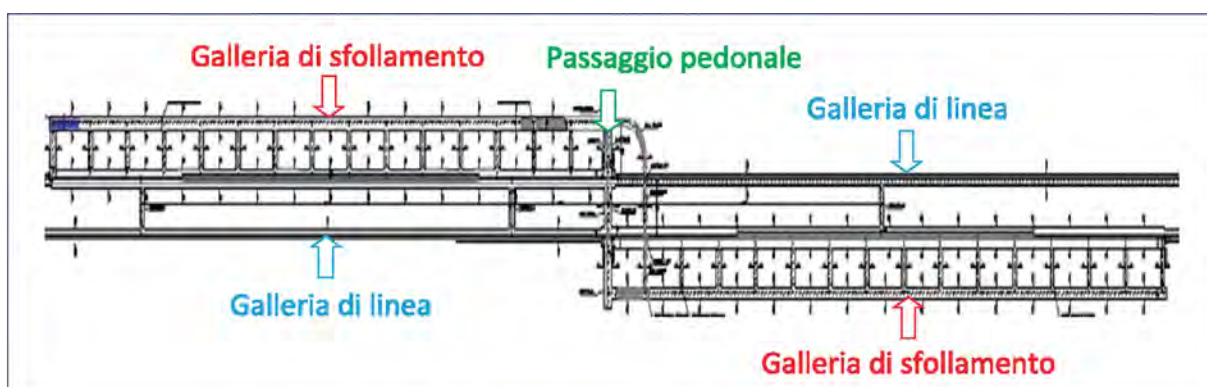


Fig. 8 – Layout area di sicurezza sotterranea di Val Lemme

Il sistema di bypass nell'area sicura è equipaggiato di impianto di pressurizzazione per mettere in condizioni di sovrappressione la zona sicura ed evitare l'ingresso dei fumi presenti nella canna incidentata; è inoltre previsto un sistema di estrazione fumi nella zona di stazionamento dei veicoli di soccorso.

Entrambi le gallerie di sfollamento sono rese carrabili per permettere il passaggio di veicoli per il soccorso (Fig. 9).

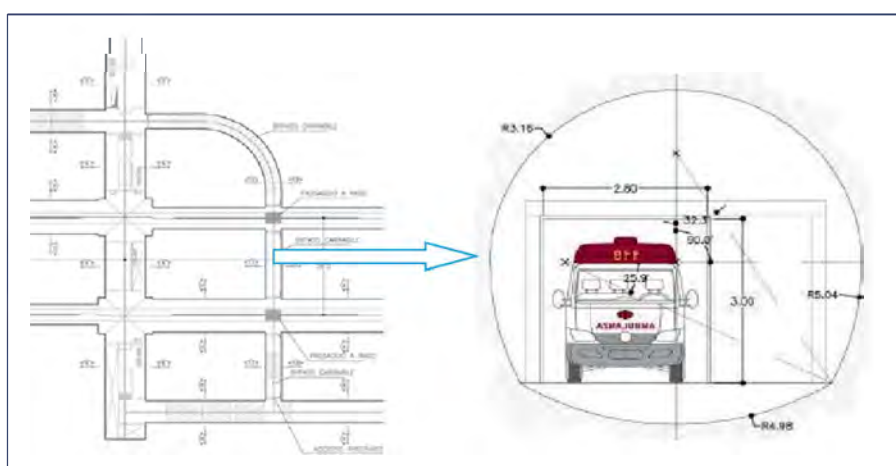


Fig. 9 – Collegamento carrabile tra le gallerie di sfollamento

L'area di sicurezza dispone del sistema di ventilazione/controllo fumi, dell'impianto idrico antincendio, dell'impianto di spegnimento automatico a schiuma e dell'impianto di raccolta liquidi pericolosi.

In caso di emergenza durante l'esercizio ferroviario, il complesso sistema impiantistico e tecnologico a servizio della sicurezza, nonché l'intervento dei servizi di soccorso, vengono presidiati secondo una logica di gestione integrata attraverso il Posto Centrale.

#### 4. La Galleria di base del Brennero

La galleria di base del Brennero si sviluppa per ca. 55 km tra Fortezza (Italia) e Innsbruck (Austria) e rappresenta la parte transfrontaliera del collegamento ferroviario Monaco-Verona avente un'estensione di 425 km (Fig. 10).



Fig. 10 – Corografia generale del collegamento Monaco-Verona

Il Tunnel avrà una configurazione a doppia canna-singolo binario con collegamenti trasversali (by-pass) ogni 333 m (Fig. 11). L'interasse tra le gallerie è compreso tra i 40 m ed i 70 m. In posizione sottostante alle due gallerie ferroviarie, viene realizzato un cunicolo pilota del diametro di circa 6 m che ha come funzione prioritaria l'esplorazione geologica lungo il tracciato prescelto. Detto cunicolo viene inoltre utilizzato, durante la fase costruttiva delle due gallerie ferroviarie, per il trasporto del materiale di marino e per la logistica, nonché per il drenaggio delle acque. La sezione circolare di ciascuna galleria ha un raggio di 4,05 m. Lungo entrambi i tunnel, il profilo trasversale della sezione corrente è composto da un marciapiede di servizio/esodo (largo non meno di 1,20 m), un binario per la circolazione ferroviaria e un marciapiede utilizzato per gli interventi di manutenzione.

#### 4.1 L'approccio integrato per il safety concept

Il sistema galleria (tunnel di base) risulta valorizzato dalla presenza di 3 aree di sicurezza sotterranee denominate Trens, St. Jodok ed Innsbruck (accessibili dall'esterno tramite le discenderie di Mules, Wolf-Padastertal, Ahrental) e da 2 aree di sicurezza esterne localizzate presso i portali sud a Fortezza e nord ad Innsbruck (Fig. 11)

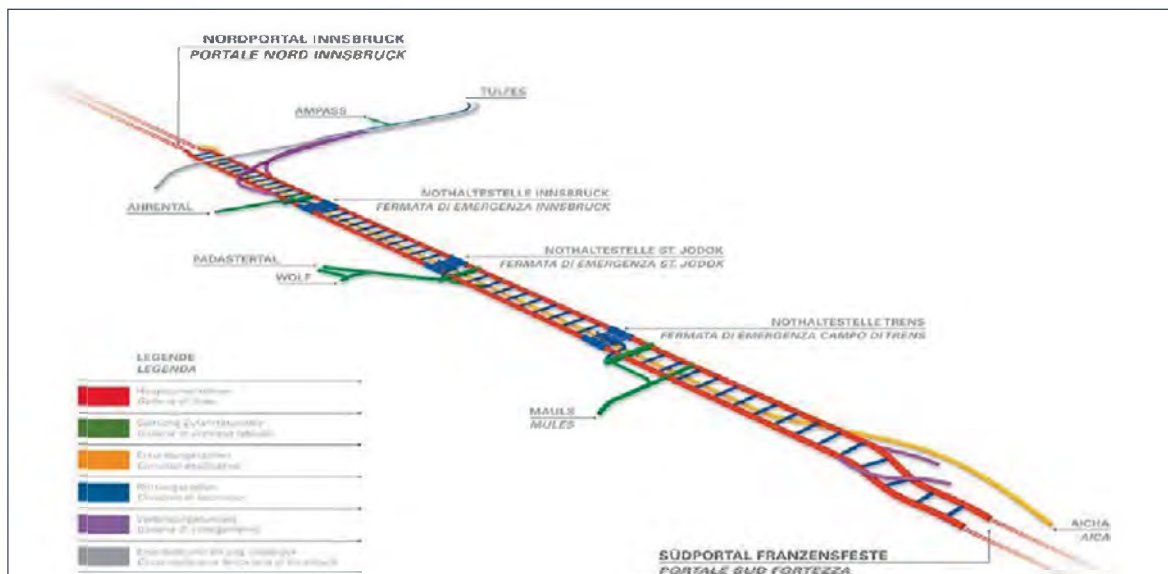


Fig. 11 – Rappresentazione schematica del sistema galleria

La aree di sicurezza presentano i cosiddetti “Posti di Fermata di Emergenza” disposti simmetricamente rispetto all’asse della galleria, in analogia con i tunnel del Lötschberg (Svizzera) e Semmering (Austria). Il cunicolo intermedio tra le due zone di fermata di emergenza svolge la funzione di “area di attesa” per i passeggeri in caso di evento (Fig. 12). Il cunicolo è collegato alle zone di fermata di emergenza mediante 6 by-pass e con l’esterno attraverso un cunicolo di accesso (Fig. 13).

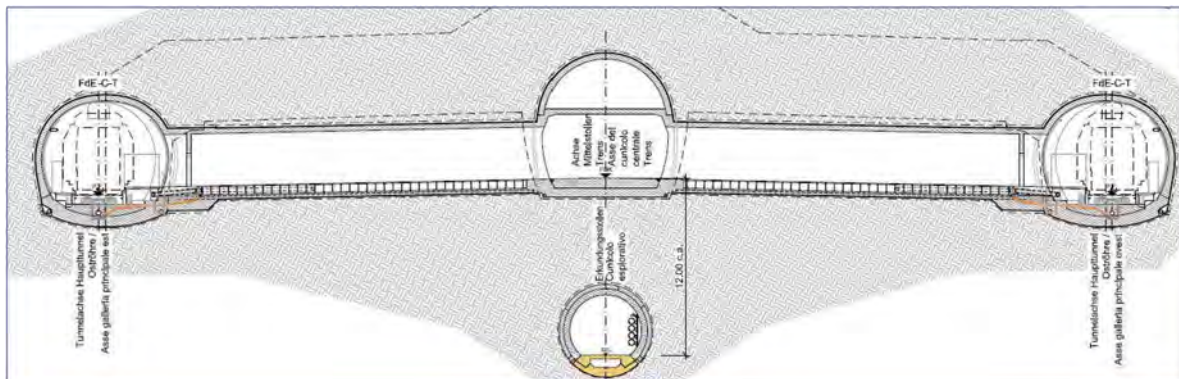


Fig. 12 – Sezione trasversale del sistema galleria con area di sicurezza e cunicolo sottostante

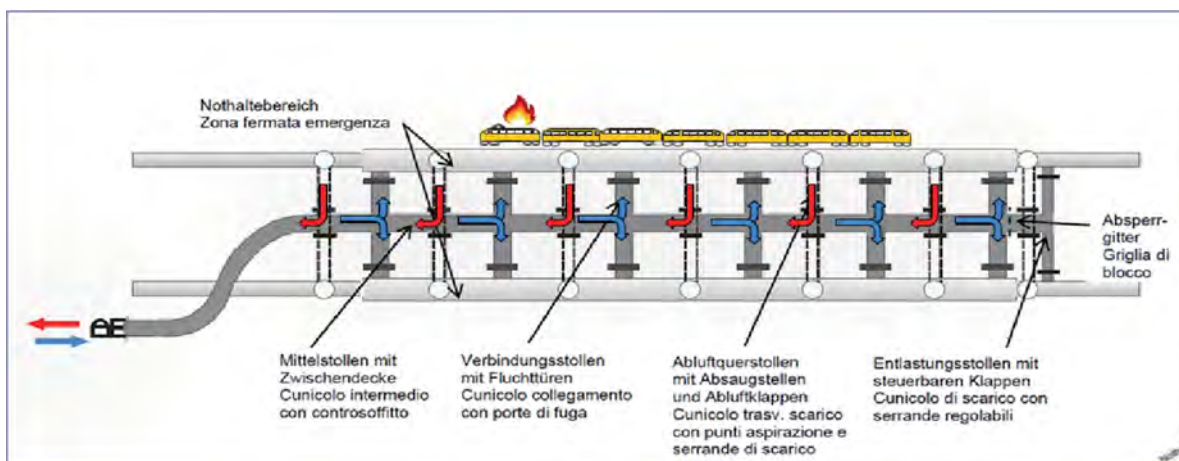


Fig. 13 – Layout area di sicurezza e schematizzazione della ventilazione in caso di incendio

L’area di sicurezza dispone del sistema di ventilazione/controllo fumi (Fig. 13), dell’impianto idrico antincendio e dell’impianto di raccolta liquidi pericolosi.

In caso di emergenza durante l’esercizio ferroviario, il complesso sistema impiantistico e tecnologico a servizio della sicurezza, nonché l’intervento dei servizi di soccorso, vengono presidiati secondo una logica di gestione integrata attraverso il Posto Centrale.

##### 5. Elementi di confronto tra i tunnel

Pur non entrando in questa sede sull’insieme delle dotazioni infrastrutturali e tecnologiche puntuali vista la vastità del tema, è possibile individuare, sulla scorta di quanto detto precedentemente, una serie di elementi di confronto al fine di stimolare una discussione tra gli stakeholder a vario titolo impegnati nel processo di progettazione, realizzazione ed esercizio di queste importanti opere ferroviarie.

Infatti, come è riscontrabile nella tabella seguente (Tab. 1) di confronto tra alcuni requisiti, emerge sostanzialmente una sensibile omogeneità del Safety Design tra i tunnel esaminati, se pur con le differenze dovute ai casi particolari ed alle esigenze specifiche.

Requisito principali	Tunnel		
	Moncenisio	3° Valico	Brennero
<b>Lunghezza</b>	57,5 km	27 km	55 km
<b>Normativa nazionale e comunitaria</b>	- Norme nazionali (IT/FR) - STI-SRT "Safety in Railway Tunnels" - CIG (Commissione Intergovernativa)	- Norme nazionali (Italia) - STI-SRT "Safety in Railway Tunnels"	- Norme nazionali (IT/AT) - STI-SRT "Safety in Railway Tunnels" - CIG (Commissione Intergovernativa)
<b>Configurazione</b>	Sistema a doppia canna-singolo binario con by-pass di collegamento	Sistema a doppia canna-singolo binario con by-pass di collegamento	Sistema a doppia canna-singolo binario con by-pass di collegamento e cunicolo di servizio
<b>N. Aree di sicurezza sotterranee</b>	3 (La Praz, Modane, Clarea) Stazione di Modane per le precedenze	1 (Val Lemme) Senza precedenze	3 (Trens, St. Jodok, Innsbruck) Senza precedenze
<b>Interasse Aree di sicurezza sotterranee</b>	< 20 km	* n. 1 area sicurezza in posizione intermedia	< 20 km
<b>Configurazione Area di sicurezza sotterranee</b>	Zona di attesa "centrale" con By-pass di collegamento	Galleria di sfollamento con By-pass di collegamento	Zona di attesa "centrale" con By-pass di collegamento
<b>Lunghezza fermata di emergenza in Area di sicurezza sotterranea</b>	750 m	1500 m	470 m
<b>Interasse by-pass di collegamento in Area di sicurezza sotterranea</b>	50 m (su L=400 m)	50 m (su L=750 m)	90 m (su L=470 m)
<b>Carrabilità Area di sicurezza</b>	Si	Si	Si
<b>Sistema spegnimento in Area di sicurezza sotterranea</b>	Acqua nebulizzata	Schiuma	<i>In corso di studio</i>
<b>Sistema di estrazione fumi in area di sicurezza sotterranea</b>	Si	Si	Si
<b>Luogo sicuro in galleria</b>	Canna opposta a quella incidentata	Canna opposta a quella incidentata	Canna opposta a quella incidentata
<b>Interasse by-pass di collegamento in galleria</b>	333 m	500 m	333 m
<b>Sistema di ventilazione nei by-pass</b>	Si	Si	Si
<b>Ventilazione</b>	Si (canna incidentata)	No	Si (canna non incidentata)
<b>Rete idranti in galleria</b>	Si (i=111 m)	Si (i=125 m)	Si (i=111 m)
<b>Sistema di raccolta liquidi pericolosi</b>	Si	Si	Si
<b>Sistema di radiocomunicazione</b>	GSM-R, TETRA, ACROPOL, ANTARES, PUMA, RUBIS, TETRAPOL, GSM-P	GSM-R, GSM-P	GSM-R, TETRA, GSM-P
<b>Sistema di Comando, Controllo e Segnalamento</b>	ERTMS-ETSC Livello 2	ERTMS-ETSC Livello 2	ERTMS-ETSC Livello 2

Tabella 1 – Confronto tra i requisiti di sicurezza

Evidentemente l'elenco proposto in tabella non è esaustivo dovendo in questa sede limitare la trattazione, vista la vastità del tema: infatti nelle gallerie in esame sono presenti tutte le dotazioni di sicurezza previste dalla normativa vigente (segnaletica di emergenza, illuminazione, predisposizioni di sicurezza presso le aree di portale e le uscite di emergenza (elisuperficie, piazzale di emergenza, ecc.), telecomunicazioni (telefonia, videosorveglianza, diffusione sonora, ecc.), impianti per la sicurezza di esercizio ferroviario (MATS, rilevatori), ecc.).

#### 6. L'evoluzione normativa quale elemento innovativo nel campo della sicurezza in fase di esercizio delle gallerie ferroviarie

Oggi, il quadro normativo in tema di sicurezza a cui guardano i progetti esaminati risulta ben definito, diversamente da quanto avveniva nel passato per progetti di dimensioni comparabili.

Accanto al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 28 ottobre 2005 sulla "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie" (il cui campo di applicazione è per gallerie di lunghezza superiore a 1 000 m), entrato in vigore l'8 aprile 2006 (di seguito DM), è stata emanata, a livello europeo, la Decisione 2008/163/CE della Commissione del 20 dicembre 2007 relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità STI-SRT "Safety in Railway Tunnels" (in vigore dal 1 luglio 2008), aggiornata di recente con il Regolamento UE N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente la "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie" del sistema ferroviario dell'Unione Europea (in vigore dal 1 gennaio 2015).

Un contesto abbastanza severo quindi, in cui accanto all'approccio misto di tipo prescrittivo/prestazionale del DM italiano, si affianca, in campo europeo, quello introdotto dalla STI-SRT. Un quadro caratterizzato da importanti novità soprattutto sul piano infrastrutturale tra cui, solo per rappresentare quelle più significative: per le gallerie a singola canna-doppio binario l'interasse tra le uscite di emergenza laterali verso la superficie si riduce da 4 000 m (DM) a 1 000 m (STI-SRT); la valutazione della resistenza al fuoco delle strutture viene eseguita utilizzando una specifica curva (STI-SRT), insieme alla curva UNI 11076 (DM). Inoltre, l'esigenza di garantire elevati standard di sicurezza anche nel caso di lunghe gallerie ferroviarie in presenza di materiale rotabile di categoria A e B (ai sensi delle STI-SRT), rende necessaria la previsione di opportune aree di sicurezza (STI-SRT edizione 2008) e/o punti antincendio (STI-SRT edizione 2014) opportunamente attrezzate per gestire le situazioni di emergenza in caso di incendio, localizzate ogni 5 km nel caso di materiale rotabile circolante di categoria A ed ogni 20 km nel caso di materiale rotabile di categoria B.

Si tratta quindi di un orientamento normativo che va verso un approccio comune europeo, avvalorato da un quadro nazionale in movimento, in cui con l'entrata in vigore della Legge n. 27 del 24 marzo 2012, viene data maggiore forza agli accordi ed alle norme dell'Unione Europea nel campo della progettazione e costruzione delle nuove infrastrutture nazionali nonché agli adeguamenti di quelle esistenti.

Il ritorno di esperienza che si sta via via acquisendo nell'applicazione della nuova STI-SRT "Safety in Railway Tunnels" 2014, ha consentito di avviare un percorso di approfondimento sui requisiti di sicurezza al fine di valutare l'eventuale necessità di una revisione normativa, soprattutto con riferimento alle derivanti ripercussioni economiche. In tale contesto, l'EUAR (European Union - Agency for Railways), ha già avviato un importante lavoro in campo europeo che vede coinvolto, tra gli altri partner, il CER (Community of European Railway and Infrastructure Companies).

In questo ambito il Gruppo FSI offre un contributo tecnico specifico al CER partecipando direttamente ai gruppi di lavoro per supportare il processo di revisione delle STI e più complessivamente per l'attività di normazione e di standardizzazione in ambito comunitario. Per esempio un'eventuale ottimizzazione di alcuni requisiti di sicurezza, quali il valore dell'interdistanza tra le uscite di emergenza verso la superficie o dei by-pass di collegamento tra le canne, potrebbe avere delle importanti ricadute tecnico-economiche nel più complesso Safety Design dei lunghi tunnel sia essi a singola che a doppia canna.

## 7. Conclusioni

Passando in rassegna le più importanti e complesse opere infrastrutturali in sotterraneo in corso di progettazione e realizzazione in Europa, emerge sicuramente quale elemento denominatore comune l'alto contenuto innovativo delle soluzioni infrastrutturali e tecnologiche applicate.

In particolare, nel campo della sicurezza, possiamo notare una segnata omogeneità del *Safety Design*, garantita dall'applicazione responsabile della stringente normativa nazionale e comunitaria.

D'altro canto, tale omogeneità, può essere ritenuta la naturale conseguenza di un approccio collaudato, già utilizzato nel recente passato per importanti realizzazioni europee già in esercizio, quali i Tunnel svizzeri del San Gottardo (Lunghezza 57 km) e del Lötschberg (Lunghezza 35 km), oltre che della evoluzione progettuale e normativa di quanto già applicato per un'altra importante opera ferroviaria italiana in sotterraneo, la Linea AV/AC Bologna-Firenze in esercizio dal 2009, che costituisce una sorta di "galleria di base" appenninica con ben 12 gallerie in successione intervallate da brevi tratti all'aperto (per un'estesa complessiva di 73 km).

Nel futuro, le istituzioni, i progettisti e le imprese di costruzione saranno chiamati ad ulteriori sforzi per ottimizzare i costi di realizzazione di queste grandi opere, nel rispetto dei massimi standard di sicurezza raggiungibili, anche attraverso un'azione responsabile sui dispositivi normativi, il cui impatto economico, come noto, si manifesta soprattutto su realizzazioni di questa portata.



**Fondata nel 1894, Ghella è oggi una realtà internazionale di primaria importanza nel mondo delle costruzioni di grandi opere pubbliche.**

**Specializzata in scavi in sotterraneo, Ghella è attiva nella realizzazione di opere infrastrutturali quali metropolitane, ferrovie, autostrade e opere idrauliche.**

**La maggior produzione dell'Impresa è concentrata all'estero e principalmente in Oceania, Estremo Oriente, America Latina ed Europa.**

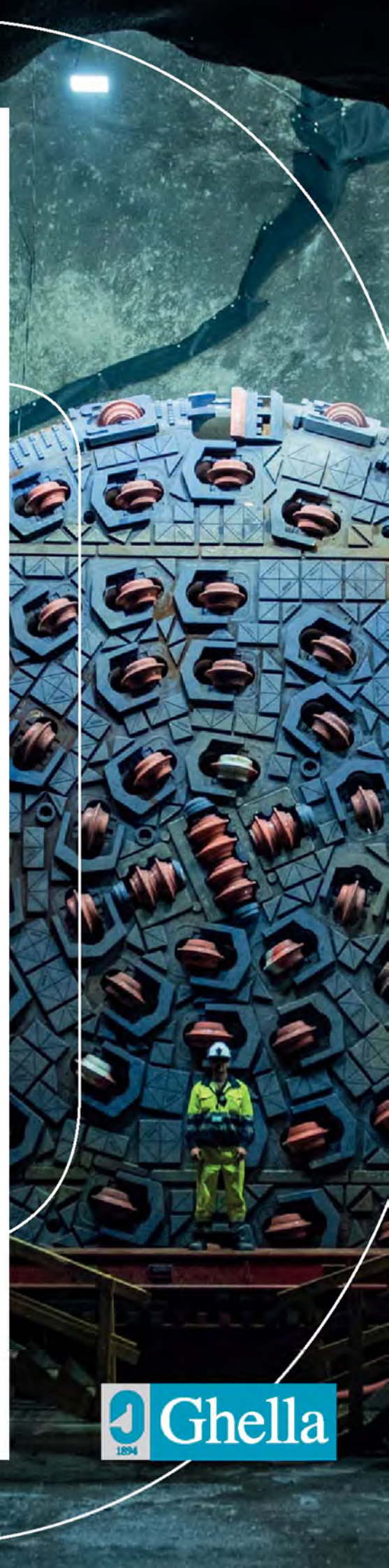
**La presenza a livello globale con circa 3000 dipendenti, il continuo processo di formazione del personale, l'utilizzo di tecnologie avanzate, lo sviluppo di metodi costruttivi moderni e una particolare attenzione alla sicurezza e al rispetto per l'ambiente hanno permesso a Ghella di realizzare complesse opere di ingegneria contribuendo alla sua crescita dinamica e costante e convertendola in una impresa leader del settore di scavo meccanizzato a livello mondiale.**

**Oltre alla presenza nel settore delle grandi infrastrutture pubbliche, Ghella opera nel settore delle energie rinnovabili con lo sviluppo, la costruzione ed operazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaica ed idroelettrica, in Italia e America Centrale, per un totale di oltre 80 MW di capacità installata.**

***Founded in 1894, Ghella is a leading Company in the construction of major infrastructure projects worldwide. With its unique skills and experience in underground works, Ghella is involved in the construction of many infrastructure projects such as subways, railways, motorways and major roads, significant water and hydraulic works.***

***Whilst still having its corporate office in Rome, Italy, the Company has most of its workload in the international markets, mostly in Oceania, Far East, Latin America and Europe.***

***With its presence on a global scale with a workforce of over 3000 people with continuous training programs, the use of modern technologies combined with the development of innovative and up-to-date productive methods and a particular attention to safety and to environmental requirements, Ghella has completed complex engineering works that have contributed to its dynamic and steady growth and have converted the Company into a leader in mechanized excavation and tunnelling projects worldwide. Along with its presence in major infrastructure works, Ghella is involved in the renewable energies sector, developing, constructing and operating solar and hydroelectric plants, in Italy and in Central America, with more than 80 MW of installed capacity.***





**ITALIA**  
Ghella S.p.A.  
roma@ghella.com

**ARGENTINA**  
Ghella S.p.A. Sucursal Argentina  
argentina@ghella.com

**AUSTRALIA**  
Ghella Pty Ltd - Sydney  
sydney@ghella.com

Ghella Pty Ltd - Brisbane  
brisbane@ghella.com

**BRASILE**  
Ghella S.p.A. Sucursal do Brasil  
spaulo@ghella.com

**COSTA RICA**  
Ghella S.p.A. Sucursal Costa Rica  
sanjose@ghella.com

**GRECIA**  
Ghella S.p.A. Hellas Branch  
atene@ghella.com

**NORVEGIA**  
Ghella S.p.A. NUF  
oslo@ghella.com

**REPUBBLICA DOMINICANA**  
Constructora De Proyectos Multiples Depromu, S.A.  
sdomingo@ghella.com

**U.S.A.**  
Tunnel Services Corporation  
miami@ghella.com

**VENEZUELA**  
Ghella S.p.A. Sucursal Venezuela  
caracas@ghella.com

**VIETNAM**  
Ghella S.p.A.  
hanoi@ghella.com



**Ghella S.p.A.**  
**Via Pietro Borsieri, 2/A**  
**00195 Roma**  
**+39 06 45603 337 +39 06 45603 030**  
**www.ghella.com**



JOSEPH PARIS  
AVAT GROUP  
7, BOULEVARD GENERAL KOENIG 44100 NANTES



# Grandezza

La fresa scudata Herrenknecht EPB S-900 (Ø 15,87 m) è la più grande TBM attualmente disponibile in Europa. A breve sarà utilizzata per la costruzione della galleria appenninica Santa Lucia, lunga 7.528 metri.

*pavimental*

# Insieme

Le sofisticate tecnologie di tunneling Herrenknecht hanno permesso di realizzare globalmente oltre **225 chilometri** di gallerie stradali di alto livello.



**Committente:**  
> Pavimental S.p.A. (Gruppo Atlantia)

**Costruttore:**  
> Autostrade per l'Italia S.p.A.

## Pioneering Underground Technologies

> [www.herrenknecht.com](http://www.herrenknecht.com)





125 m<sup>2</sup>

69 dB

17%

25%



# SANDVIK DT922i IL GRANDE TALENTO

+ 17% di velocità di penetrazione. + 25% di incremento di visibilità e riduzione del rumore a meno di 69 dB grazie alla nuova cabina. Nuovo SANDVIK iSURE®, lo stato dell'arte degli strumenti per il controllo dello scavo.

Queste sono solo alcune delle caratteristiche del nostro nuovo jumbo completamente automatico. IL DT922i è costruito su un nuovo carro articolato e permette di forare in una sezione fino a 125 m<sup>2</sup>. Grazie alle molte opzioni previste il jumbo può essere utilizzato in molteplici applicazioni.

Leggi di più sul DT922i al [www.understandingunderground.sandvik.com/dt922i](http://www.understandingunderground.sandvik.com/dt922i)

SANDVIK.COM







**SWS™**

**Innovation in underground solutions**

[www.swsglobal.com](http://www.swsglobal.com)

SWS Engineering is an engineering company active in infrastructure construction. We are part of the SWS Group and offer specialist engineering, project management and risk management services. For more than thirty years, we have been helping clients build works that form the infrastructural backbone of local communities. We are committed to service quality and on-time delivery. We are firmly convinced of the importance of designing and building works with a sustainable economic, environmental and social footprint.

We have offices in Trento, Torino, Roma (Italy), Ankara (Turkey), London (UK) and Toronto (Canada) to deliver worldwide the best possible services on our key sectors, tunnelling, railways and roads, subways and energy.

**SWS engineering SPA**

Headquarter  
Via della Stazione, 27  
38123 Trento (TN)  
Italy

P +39 0461 979 000  
F +39 0461 979 250  
[info@swsglobal.com](mailto:info@swsglobal.com)  
[www.swsglobal.com](http://www.swsglobal.com)

Rome office  
Largo Amba Aradam, 1  
00184 Rome (RM)  
Italy

Turin office  
Environment Park  
Via Livorno, 60  
10144 Turin (TO) Italy

**SWS engineering UK**

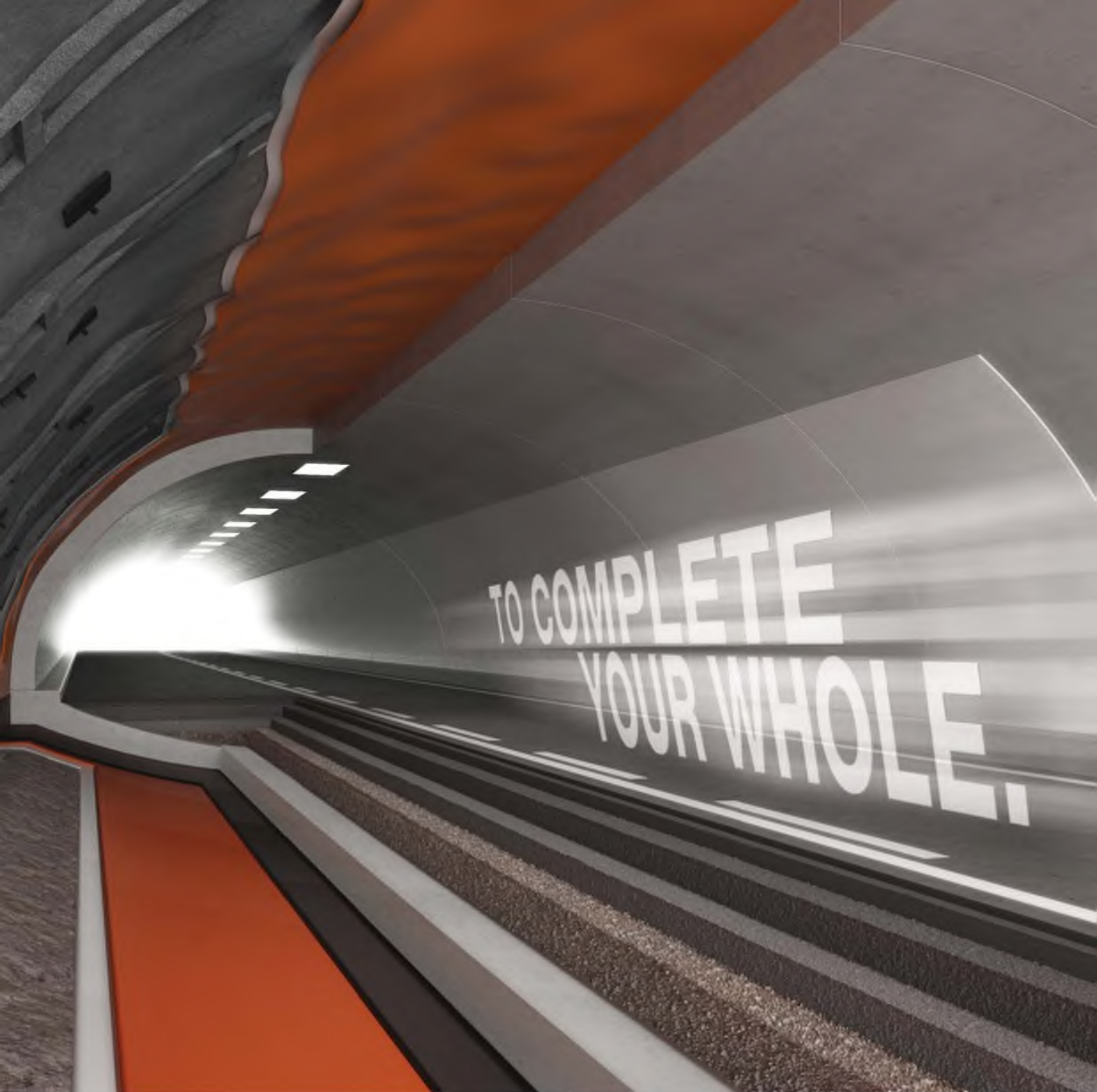
Upper Woburn Place  
London, WC1H 0BS  
N.16  
United Kingdom

**SWS Canada  
consultants LTD**

478 Huron St.  
Suite # 200  
Toronto ON, M5R 2R3  
Canada

**SWS engineering SPA  
Ankara Branch**

Mahatma Gandhi Cad.  
No: 26/2  
G.O.P Ankara  
Turkey



## Tecnologia per le costruzioni in sotterraneo.

- **Acceleranti di presa alkali-free per calcestruzzo proiettato di qualità**
- **Prodotti per scavo meccanizzato di gallerie:** agenti schiumogeni per il condizionamento del terreno, polimeri, sigillanti, oli lubrificanti.
- **Prodotti per iniezione e consolidamento**
- **Prodotti per la riparazione, protezione e finitura del calcestruzzo**
- **Prodotti per impermeabilizzazioni:** manti sintetici per impermeabilizzazione, accessori per impermeabilizzazione.



Scopri di più su [www.utt-mapei.com](http://www.utt-mapei.com), [hq.utt@utt.mapei.com](mailto:hq.utt@utt.mapei.com)







*In collaborazione con*



*Sponsor:*

