

# NEL CUORE DELLE ALPI NEL CUORE DELL'EUROPA

La Galleria di Base del Brennero rappresenta un'opera nevralgica per il futuro del trasporto su rotaia nel nostro Paese. Siamo andati in cantiere per vedere lo stato di avanzamento lavori del lotto Mules 2-3

**V**ivere il cantiere è il modo migliore per capire il mondo delle gallerie, che si può conoscere veramente solo da dentro, solo sporcandosi gli stivali nel fango: queste parole dell'ing. Pigorini, Presidente della SIG, Società Italiana Gallerie, ci sembrano il consuntivo perfetto della nostra visita al cantiere della Galleria di Base del Brennero.

Una visita estremamente interessante che ci ha permesso di vedere da vicino un'opera strategica non solo per il nostro Paese, ma per l'intero continente europeo.

Il passo del Brennero è infatti un collegamento fondamentale fra il Nord e il Sud dell'Europa, un punto-chiave per il passaggio di persone e merci. Questo da tempi immemori, per almeno due motivi: perchè si trova quasi perfettamente al centro delle Alpi e perchè è il valico dell'arco alpino posto alla quota più bassa (1371 msl). Oggi in quest'area si sta realizzando il collegamento sotterraneo più lungo al mondo, la galleria di base del Brennero, che collegherà Fortezza in Italia ad Innsbruck in Austria.

Tale opera costituisce una sezione nevralgica del corridoio europeo "Scandinavia-Mediterraneo", che viene realizzato per fasi funzionali al fine di garantire un aumento delle capacità di tra-



Benedetta Donati



**Lunghezza galleria di base**

portale Tulfes – portale Fortezza 64 km  
 portale Innsbruck – portale Fortezza 55 km

**Copertura massima** 1800 m

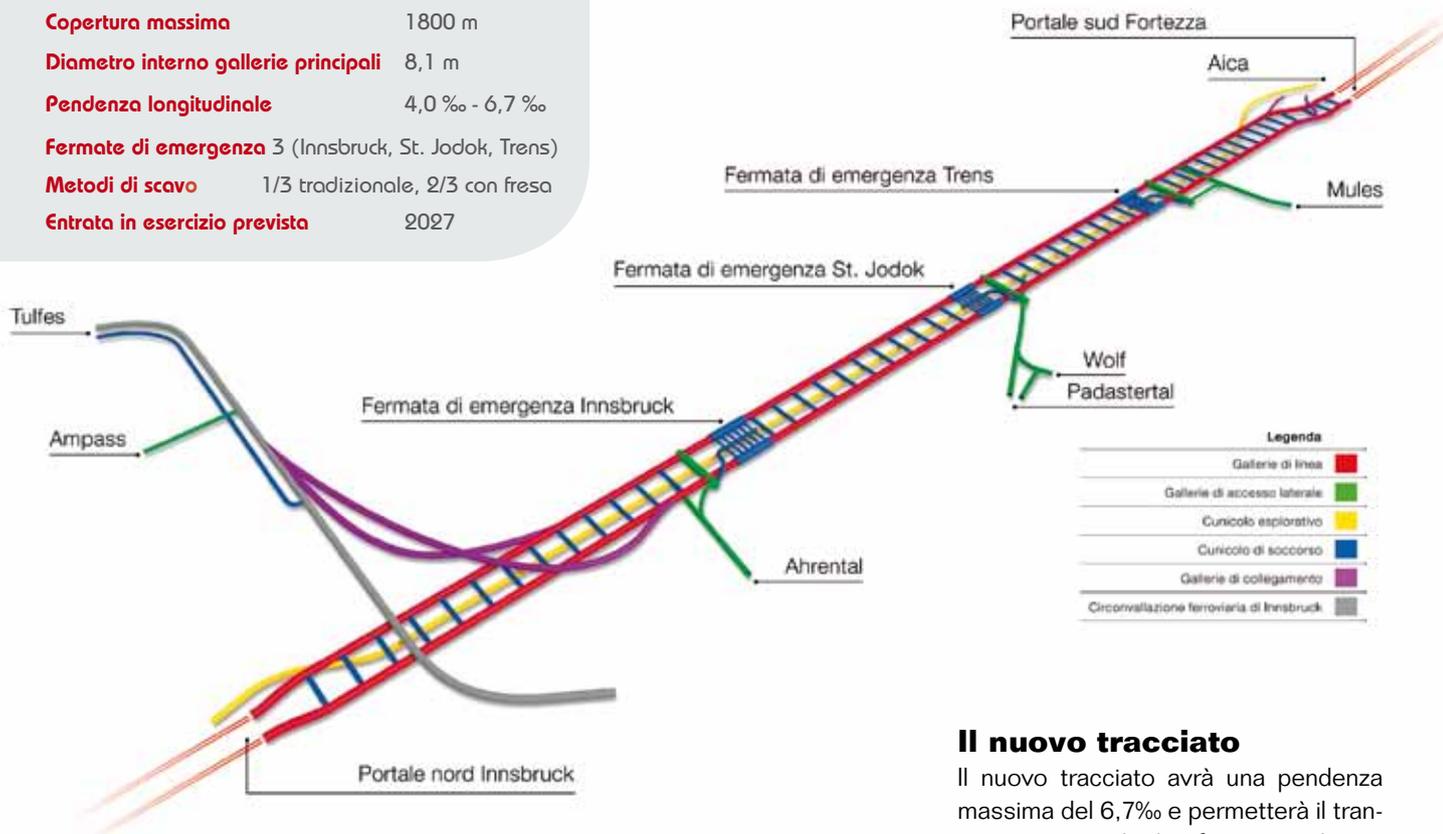
**Diametro interno gallerie principali** 8,1 m

**Pendenza longitudinale** 4,0 ‰ - 6,7 ‰

**Fermate di emergenza** 3 (Innsbruck, St. Jodok, Trens)

**Metodi di scavo** 1/3 tradizionale, 2/3 con fresa

**Entrata in esercizio prevista** 2027



sporto 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 circa un quarto dell'intero traffico merci transalpino. La linea ferroviaria attuale segue in gran parte il tracciato progettato nel 1860,

un percorso complesso, con pendenze che sul versante austriaco raggiungono il 26%. Questo non limita solo 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.

**Il nuovo tracciato**

Il nuovo tracciato avrà una pendenza massima del 6,7‰ e permetterà il transito attraverso il valico ferroviario di treni merci più lunghi, capienti e veloci, riducendo contestualmente i tempi di percorrenza – attualmente circa 75 minuti – fino 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).



### Il progetto da vicino

In dettaglio il progetto prevede la costruzione di una galleria lunga circa 55 km, tra Innsbruck e Fortezza che, in prossimità della città austriaca, sarà collegata in sotterraneo all'esistente circonvallazione, raggiungendo complessivamente una lunghezza pari a 64 km. L'opera principale consiste in due gallerie a semplice binario, con un interasse variabile, compreso fra 40 e 70 m, collegate fra 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.

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 di materiali di scavo, che per l'approvvigionamento dei materiali di costruzione e, in fase di esercizio, per il drenaggio degli acquiferi intercettati.

Oltre agli imbocchi di Fortezza ed Innsbruck, quattro discenderie laterali collegano le gallerie di linea e 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).



Impermeabilizzazione della galleria Padaster

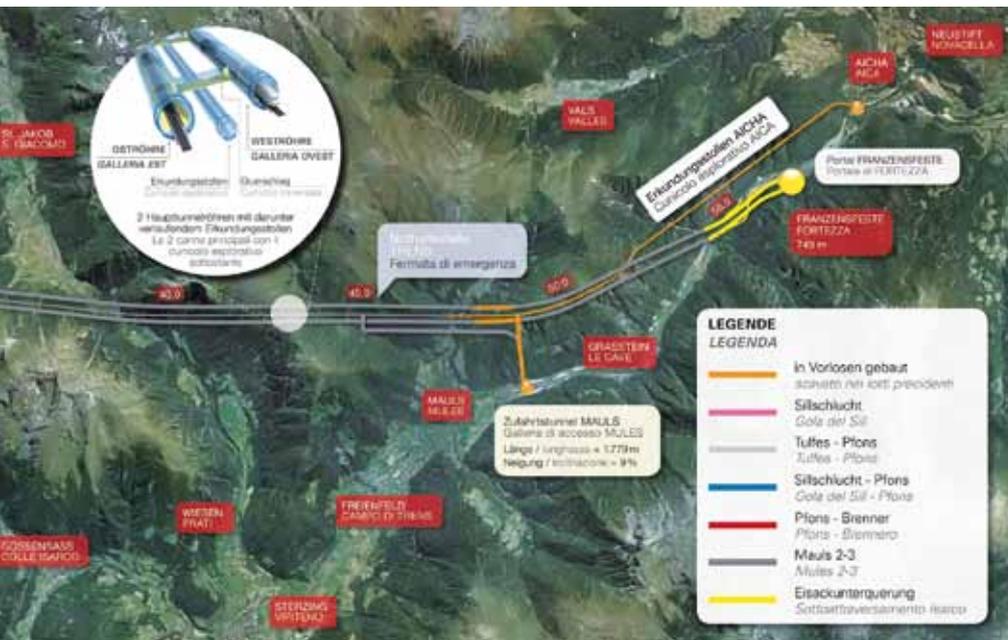
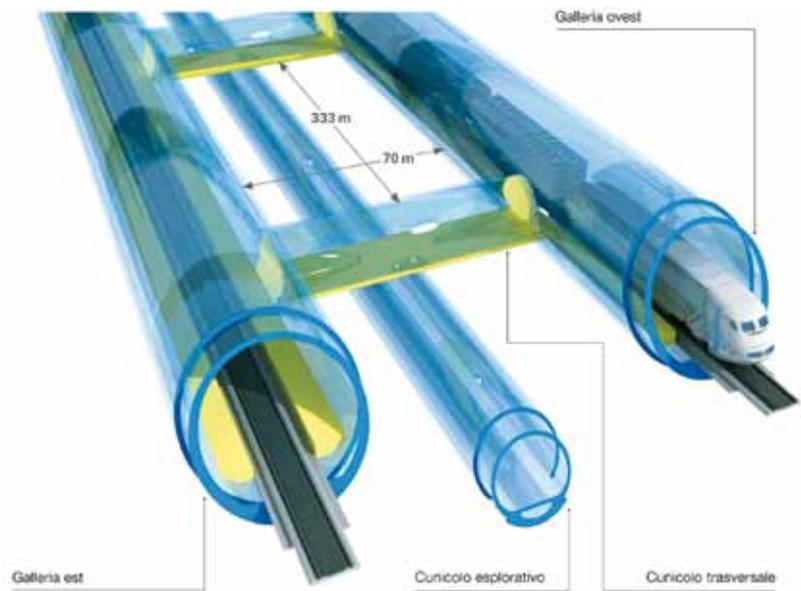


Caricamento e brillamento nella galleria di accesso Wolf



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. Queste FDE, come ha precisato l'ing. Voza, Direttore Operativo della Direzione Lavori BBT Mules 2-3: "rappresentano un punto d'orgoglio per l'intero team della BBT SE, in quanto rappresentano un approccio molto avanzato nel concetto della sicurezza di sistema".

Il costo globale dell'opera nel tempo al 2027, data prevista per il completamento dei lavori, è di circa 8,4 miliardi di euro.



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

Come ha evidenziato di nuovo l'ing. Antonio Voza: "Trattandosi di un'opera transnazionale, bisogna coordinare un duplice quadro normativo, diverse culture tecniche, diverse prassi operative e gestionali: ciò ha generato e continua a generare un confronto costruttivo fra italiani e austriaci".

### I cantieri

Attualmente dei circa 230 km totali di galleria, ne sono stati scavati circa 80. In Italia sono già stati terminati il lotto costruttivo di Aica-Mules (10,5 km di cu-



Sottoattraversamento dell'Isarco, sotto incrocio galleria di accesso e galleria di interconnessione



esperita sulla base del Progetto Definitivo, sviluppato dalla stessa BBT SE. Il lotto di Mules 2-3, invece, è il più grande della Galleria di Base del Brennero e comprende tutte le opere in sotterraneo nel tratto da Mezzaselva al Brennero. Per questo lotto BBT SE ha optato per un appalto di sola esecuzione. Il valore complessivo è pari a di 998 milioni di euro, con fine lavori prevista nel 2023.

## Il lotto Mules 2-3

### Inquadramento geologico

Il tunnel di Base del Brennero presenta una serie di complessità tecniche, in quanto le formazioni geologiche interessate dallo scavo coprono tutto il ventaglio delle litologie di riferimento della catena alpina orientale: da ammassi plutonici massivi aventi 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.

### Configurazione del lotto

Del lotto Mules 2-3 fa parte lo scavo di tutte le opere in sotterraneo nel tratto compreso fra Mezzaselva e il Brennero, per un'estensione di 22 km circa. Le principali opere comprese nel lotto sono: 39,8 km di gallerie di linea, 14,8 km di cunicolo esplorativo, la fermata di emergenza di Trens con la relativa galleria di accessi, i cunicoli trasversali di collegamento ogni 333 m tra le gallerie di linea e le relative opere accessorie. Questo lotto, come ha spiegato l'ing.

IL SOTTOATTRAVERSAMENTO DELL'ISARCO PRESENTA COMPLESSITÀ TECNICHE NOTEVOLI, DOVUTE ALLA NECESSITÀ DI ATTRAVERSARE IN SOTTERRRANEO IL FONDO ALVEO DEL FIUME

nicolo esplorativo scavato con TBM; 1,9 km di finestra di accesso di Mules; 0,4 km di galleria logistica presso il deposito di Hinterrigger) e quello di Mules-Periadriatica (due cameroni per il monitoraggio delle TBM; 3,7 km di canne prin-

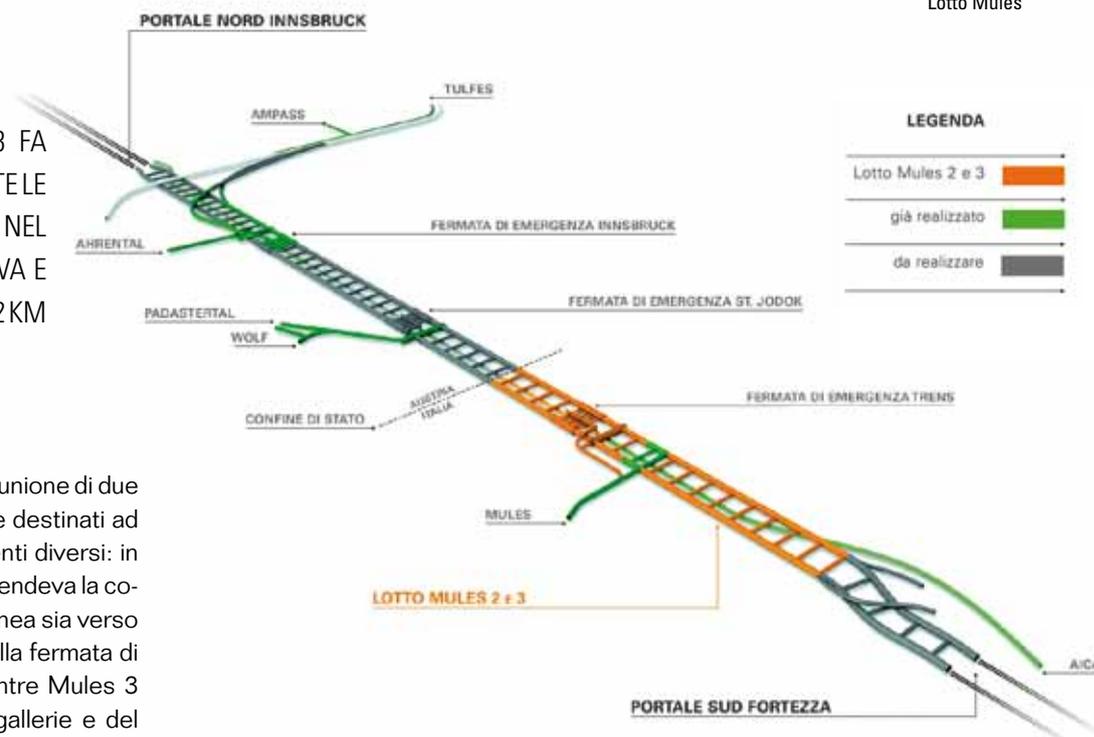
cipali in direzione nord; 1,5 km di cunicolo esplorativo in direzione nord; gallerie logistiche e di collegamento). Dal 2016, sempre nel nostro Paese, sono invece in corso d'opera altri due lotti:

- il sottoattraversamento dell'Isarco, per collegare la galleria di base alla linea storica a nord della stazione di Fortezza;
- il lotto di costruzione Mules 2-3. Il sottoattraversamento dell'Isarco presenta complessità tecniche notevoli, dovute alla necessità di attraversare in sotterraneo il fondo alveo del fiume Isarco, in materiale sciolto ed in falda. Per questo lotto BBT SE ha scelto di eseguire i lavori mediante un appalto integrato di progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori, da affidarsi tramite una gara



Lotto Mules

DEL LOTTO MULES 2-3 FA PARTE LO SCAVO DI TUTTE LE OPERE IN SOTTERRANEO NEL TRATTO FRA MEZZASELVA E IL BRENNERO DI CIRCA 22 KM



Voza, "prende il nome dall' unione di due lotti costruttivi inizialmente destinati ad essere sviluppati in momenti diversi: in particolare 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".

Montaggio della fresa Serena, cunicolo esplorativo Mules 2-3



### Metodologia di scavo

Vista l'estensione considerevole del progetto, gran parte delle opere che ne fanno parte saranno eseguite mediante l'uso di TBM, in coerenza con le previsioni progettuali.

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 600 m 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.

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 integrativo, in relazione al comportamento degli ammassi rocciosi.

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.

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.

### Le scelte di progetto dei rivestimenti definitivi

Il raggruppamento Temporaneo di Imprese RTI 4P, composto dalla Prolter Srl (mandataria) e da Pöyry Schweiz SA, Pini Swiss Engineers SA e Pasquali-Rausa Engineering Srl (mandanti), si è occupato della progettazione esecutiva del lotto Mules 2-3 che riguarda gran parte delle opere previste sul territorio italiano. Fra l'altro il progetto prevede

sia il dimensionamento dei rivestimenti definitivi delle tratte già scavate (finestra di Mules, caverne e prima tratta 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 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.

## VISTA ALL'OPERA: DRAKKAR H18 DI SPRAYMASTER AL LAVORO PER CIPA

Nell'ambito dei lavori di costruzione dell'Asse ferroviario Monaco/Verona – Galleria di Base del Brennero – Lotto di costruzione Mules 2-3, CIPA S.p.A., azienda sorrentina da oltre trenta anni specializzata nelle grandi opere in sottosuolo, ha avuto dalla BTC S.c.a.r.l. (società costituita dai componenti dell'ATI aggiudicataria Astaldi – Ghella – Obersler – Pac – Cogeis) il subappalto dell'esecuzione delle opere civili, scavo in tradizionale con metodo drill & blast e rivestimento definitivo compresa l'idraulica di piattaforma, della tratta Sud della Galleria di Linea, canne Est ed Ovest, oltre il rivestimento definitivo di alcune tratte e l'esecuzione di piazzole e nicchie nel Cunicolo Esplorativo realizzato con scavo meccanizzato. Si tratta di circa 7.400 ml complessivi di cavo per Singolo Binario e, a seguire, di circa 2.600 ml di cavo a Doppio Binario; a questi si aggiungono n.19 Cunicoli Trasversali di collegamento delle due canne per uno sviluppo totale di quasi 900 ml. L'intervento complessivo si sviluppa su oltre 10 km di gallerie, con sezione di scavo variabile, ad esclusione del Cunicolo Esplorativo, fra 65 e 120 mq circa. Alla data del 31 gennaio 2018 sono stati scavati complessivamente, nella tratta a Singolo Binario, circa 2.165 ml sulle due canne e 4 cunicoli trasversali; mentre nella canna Est è in corso di esecuzione la soletta di base. I due fronti di scavo sono distanziati di circa 20 m. Nel tratto realizzato lo scavo procede con metodo drill & blast ed il prerinvestimento è costituito da spritz beton rinforzato con fibre metalliche e chiodi tipo Swellex.

Ed è proprio impegnata nella realizzazione del prerinvestimento con spritz beton



### Sezioni tipo

Come menzionato in precedenza, il sistema ferroviario è costituito da due gallerie monodirezionali a singolo binario caratterizzate da un'area di scavo variabile da 65 m<sup>2</sup> a 90 m<sup>2</sup> 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

che troviamo al lavoro la pompa Drakkar H18 di Spraymaster, azienda di Goito (MN) dedicata alla progettazione e produzione di attrezzature dedicate allo shotcrete e al pompaggio CFA/CCFA pensate e realizzate per rispondere alle esigenze concrete di operatori, manutentori e committenti. Sulle caratteristiche tecniche della Drakkar H18 ci siamo soffermati sul n. 631 di Quarry and Construction ma è bene soffermarsi ancora una volta sul telaio: interamente costruito con materiali di carpenteria di prima qualità, composto da un unico lamierato in taglio e piega in spessore uniforme, così da eliminare le criccate dovute a rinforzi o a saldature per inserimento di parti di carpenterie che, in terreni sconnessi e tortuosi finirebbero col rappresentare pericolosi irrigidimenti strutturali. La trasmissione idrostatica con pompa e motore ep+ep sfrutta al massimo la coppia in tutte le situazioni, senza che sia necessario intervenire continuamente con cambi meccanici. Quattro ruote sterzanti su trazione integrale completano il carro, in grado di assicurare una guida performante grazie alla potenza di 104 kW a disposizione e di operare anche in basso regime di giri, risparmiando carburante e a tutto beneficio dell'ambiente, anche di quello in cui si opera specie se si tratta, come nella Drakkar acquistata da Cipa, del Tunnel di base del Brennero.

Come ci conferma Dragan Jevtović, capo dell'ufficio tecnico della I.I.C. Integral Inženjering a.d., da giorni in visita al cantiere e interessato alla nuova nata di casa Spraymaster: "è il braccio ad essere il vero punto di forza della macchina: costruito con acciaio Domex 900, realizzato in sezioni uni-

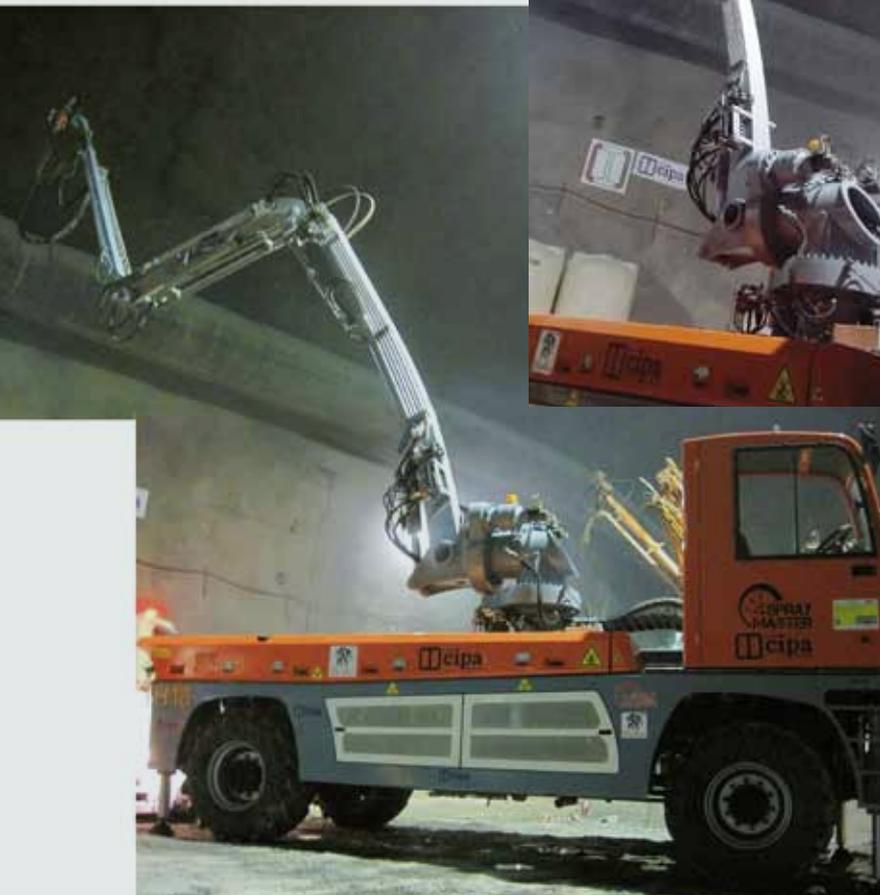




geometriche e la variabilità geomeccanica riscontrabile lungo il tracciato, ma anche per ottimizzare il cronoprogramma, il progetto esecutivo ha previsto tratte scavate con metodo tradizionale ed altre con metodo meccanizzato. In particolare, lo scavo tradizionale è previsto per affrontare le gallerie 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, viceversa, è previsto mediante metodo meccanizzato. Le gallerie di linea verso Sud saranno scavate con metodo tradizionale.



La sicurezza statica delle gallerie scavate in tradizionale è garantita, a lungo termine, dall'esecuzione di un rivestimento integrativo 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 aree critiche dal punto di vista geomeccanico, in presenza di materiali rigonfianti o di confi-

che, senza intersezioni per ubicazione cilindri di sollevamento, riesce a raggiungere una lunghezza di 16,5 m, cosa che consente di ottenere eccellenti angolazioni. In più - prosegue - la tubazione per il passaggio del calcestruzzo è interamente costituita da elementi dritti, alternati a curve a 90° e 45°: non essendo sagomata, è anche possibile costruirla tutta in cantiere, in modo autonomo, agevolando così di molto il lavoro". La movimentazione del braccio è fatta tramite sistema flow sharing, per garantire omogeneità di movimento e basse pressioni di esercizio, ben al di sotto di quanto si riscontra sul mercato. In sintesi, il braccio può essere definito come un insieme di tecnologie innovative che combinano agilità, semplicità di manovra ed elevate performance, ideali per affrontare gallerie, scarpate esterne e punti sotto il piano di strada. Il gruppo pompante, con i suoi 35 m<sup>3</sup> ora max di produzione, è azionato da un circuito chiuso che ne ottimizza al massimo la potenza, con un minimo assoluto di perdite di carico ed una pressione di 80 bar sul calcestruzzo. La pompa è interamente carterata con cofanature robuste che si aprono tramite molle a gas, per permettere l'accesso a tutte le sue parti, e che, una volta richiuse, ne garantiscono la protezione. Nel cantiere del Brennero, come sottolinea Franco Crescini, titolare della Spraymaster: "la Drakkar H18 lavora tutti i giorni per tre/quattro ore, con



gurazioni 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, mentre per le restanti parti si è previsto un unico rivestimento in anelli di conci prefabbricati.

### **L'impermeabilizzazione ed il drenaggio**

Un altro aspetto del progetto su cui vale la pena soffermarsi è rappresentato dal sistema di impermeabilizzazione e dre-

naggio 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 da cui vengono scaricate nel cunicolo esplorativo sottostante, attraverso il quale vengono infine trasferite fino all'imbocco di Aica. Nelle sezioni scavate in tradizionale, il sistema di impermeabilizzazione in cassetta 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 ed 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

un'altra pompa di scorta che non abbiamo mai dovuto utilizzare anche perché a rafforzare il concetto di robustezza della macchina incide anche il suo design lineare, liscio e privo di anfratti o di parti che possano trattenere lo sfrido di lavorazione. Si riesce quindi - prosegue Crescini - a tenere l'attrezzatura pulita con poco impegno di tempo e fatica, ma soprattutto senza sprecare acqua". Innovativo, rispetto a quanto finora presente sul mercato, è anche l'impianto di dosaggio dell'accelerante di presa: il sistema ideato da Spraymaster si basa sulla tecnologia del circuito chiuso, come nel gruppo pompante, per assicurare massima precisione nei quantitativi e soprattutto massima omogeneità di flusso dell'accelerante, grazie alla speciale pompa a monovite, progettata appositamente per l'azienda mantovana. Il sistema di controllo ad anello chiuso permette di monitorare e di ottenere in automatico la percentuale di accelerante impostata con qualsiasi varia-

zione di velocità di pompaggio o di densità del prodotto. Inoltre, come precisa Franco Crescini: "il deposito dell'accelerante di presa è costituito da due tank da 1.000 litri cadauno, ubicati su un telaio che si alza e si abbassa idraulicamente. Questo sistema, al quale viene collegato il cavalletto di appoggio del braccio, permette di far scomparire il cavalletto una volta posizionata la pompa e di operare senza dover prestare attenzione a non urtare i tank o il cavalletto stesso, appunto preventivamente abbassato, e può far salire altresì l'attrezzatura su carrelloni a rampa corta senza preoccuparsi di toccare sotto il piano dei tank, come solitamente avviene". Altro aspetto di sicuro interesse è rappresentato dalla trasmissione. La pompa Drakkar H 18 può operare indistintamente, senza alcuna limitazione, in modalità elettrica e in modalità diesel; una volta terminata la fase di spritz, si seleziona poi la modalità "carro" per consentire l'uscita dal posto di lavoro. Queste tre distinte funzioni si esplicano tramite un innovativo sistema oleodinamico, privo delle consuete prese di forza meccaniche e di conseguenza anche dei consueti giunti cardanici (rinvii e relativi sensori elettrici per la sicurezza e i segnali di posizione), elementi che da sempre sono fonte di problematiche e di complicazioni. Il motore elettrico viene avviato con sistema soft start che permette un notevole risparmio energetico, non rendendo più necessario il fastidioso stella/triangolo: infatti per l'avviamento in elettrico bastano 50 kW. Tutta l'impiantistica elettrica è in can bus con linguaggio codesis ed è concepita con un sistema di ultima tecnologia, che la rendono una macchina fondamentale per l'infrastruttura del futuro.



che trasversalmente, al fine di convogliare le acque nei tubi di captazione posti a tergo delle murette.

Si noti che i tubi di captazione 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 delle gallerie di linea scavate con TBM, dove non è prevista la realizzazione di un rivestimento definitivo interno, è stata progettata una tripla protezione idraulica mediante due guarnizioni elastomeriche (posizionate una in intradosso e una in estradosso, rispettivamente incollata ed ancorata) e l'eventuale successiva sigillatura dei giunti mediante iniezioni di resine eseguite attraverso canalicoli predisposti nei conci, in caso di defaillance delle guarnizioni. Nelle tratte con rivestimento interno gettato in opera, invece, sono previsti conci con una semplice guarni-

zione 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. Questi ultimi, disposti a interasse di 111 m e sagomati diversamente in funzione delle diverse sezioni tipo, presentano dimensioni interne (60x120 cm) in grado di garantire l'accessibilità anche dei pozzetti più profondi che raggiungono altezze di circa 180 cm).

### **Soluzioni progettuali adottate nei Cameroni TBM**

Il progetto prevede oggi 2 Cameroni di Montaggio delle TBM, a Nord della Finestra di Mules, per il lancio delle TBM verso il confine di stato. Le sezioni di scavo sono all'ordine dei 380 m<sup>2</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 fra la sezione di scavo del camerone e la galleria artificiale.

Il progetto esecutivo ha previsto di 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 per i Cameroni Sud e mediante dei camini per i Cameroni Nord. ♦

