

La Svizzera continua la sua evoluzione nelle infrastrutture

# Tunnel svizzeri sempre più avanti

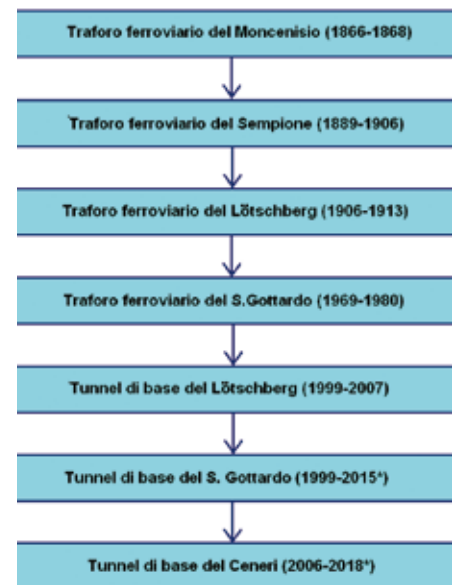
AUGUSTO M. ISOLA\*

A partire dalla fine del XIX secolo si è assistito in Svizzera all'evoluzione delle tecniche di scavo per la realizzazione di gallerie. La conformazione geologica dei massicci delle Alpi che attraversano il territorio svizzero, rende necessario un impegno e uno sviluppo tecnologico considerevole per poter realizzare lunghe gallerie a grande profondità. Le nuove infrastrutture ferroviarie previste dal progetto svizzero *AlpTransit*, comprendono le gallerie di base del San Gottardo, del Ceneri sull'asse del San Gottardo (*AlpTransit San Gottardo*) e la galleria di base del Lötschberg e costituiscono i pilastri della *Nuova Trasversale Ferroviaria Alpina* (NTFA), che è alla base dell'attuale politica svizzera dei trasporti

## Le gallerie del S. Gottardo

### Realizzazione della galleria di base - Generalità

La realizzazione della galleria di base del S. Gottardo (la "Gotthard-Basistunnel") rientra nel progetto che coinvolge la Svizzera per lo sviluppo della linea ad alta velocità nella rete europea; con le Nuove Trasversali Ferroviarie Alpine (NEAT) è in fase di realizzazione un'opera di collegamento delle zone transfrontaliere nella zona alpina della Svizzera, attraverso lo

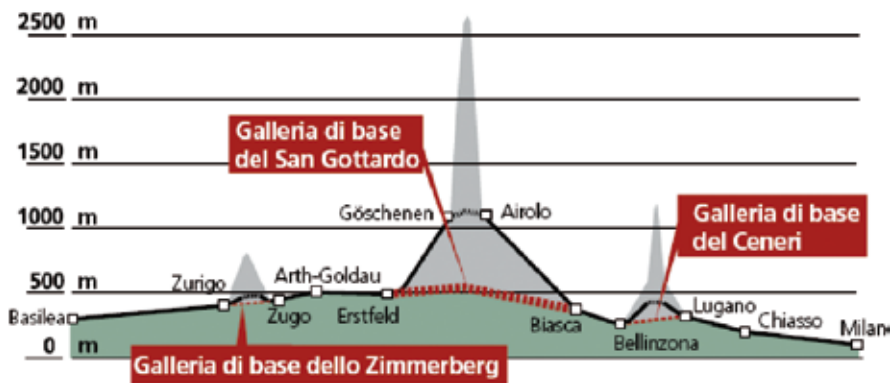


\* = anno in cui si prevede l'ultimazione dei lavori

Tunnel di base S. Gottardo, nella canna Ovest della stazione multi-funzione di Faido, Canton Ticino, Svizzera (il tunnel di destra rappresenta lo scavo più a ovest, il tunnel di sinistra è una connessione con il principale scavo a est) - Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Cooper.ch>

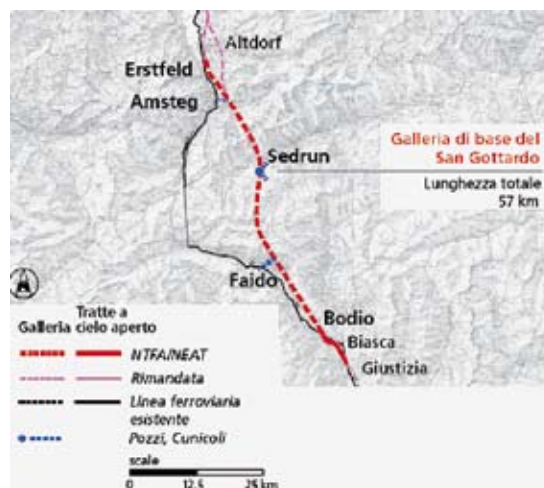


\*INGEGNERE ESPERTO NELLA SICUREZZA DELLE GALLERIE



Sezione trasversale del massiccio del S. Gottardo dove sono riportate le quote dell'andamento della galleria stradale e ferroviaria e della galleria di base in fase di realizzazione

Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005



Tracciato della linea ferroviaria svizzera con la realizzazione della Galleria di base del S. Gottardo tra Erstfeld e Bodio e la tratta a cielo aperto di Biasca

Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005

scavo di diverse gallerie, tra le quali quella di base del S. Gottardo, che consentiranno il passaggio del traffico ad alta velocità.

Il progetto ferroviario svizzero AlpTransit porterà alla realizzazione di un tunnel che con i suoi 57 km di lunghezza (56,978 km la canna ovest e 57,091 km la canna est) sarà il più lungo al mondo e collegherà le località svizzere di Erstfeld e Bodio.

Tale progetto è volto ad aumentare la capacità delle vie di comunicazione ferroviarie verso la Svizzera, visto che la secolare linea ferroviaria che passa sotto al S. Gottardo e collega Airolo a Göschenen, con quasi 130 anni di attività, non è più in grado di fronteggiare gli attuali considerevoli flussi di traffico e verrà chiusa con la messa in servizio della galleria di base.

La costruzione del tunnel, alla cui progettazione ha collaborato l'ingegnere ticinese Giovanni Lombardi, è iniziata nel 1999 e la messa in esercizio è prevista per il 2015.

A 550 metri sul livello del mare, mediamente a più di un chilometro di profondità e 600 metri sotto il tunnel ferroviario attuale, alla fine dei lavori che è prevista attorno al 2012, il tunnel verrà percorso da treni ad alta velocità, collegando Zurigo e Milano.

### Lavori di costruzione

Nel caso della Galleria di base del San Gottardo è la geologia che, associata ad altri fattori, ha determinato il percorso migliore: il risultato delle perforazioni di sondaggio offre una certa sicurezza anche se non si può fare completamente affida-

mento su tali verifiche in situ.

La galleria attraversa in prevalenza rocce cristalline interrotte in alcuni punti da zone relativamente sottili di rocce sedimentarie. Le rocce si possono dividere in tre unità geologiche principali:

- il massiccio dell'Aar nel nord;
- il massiccio del San Gottardo vero e proprio nel centro;
- la zona penninica nel sud.

Il Gotthard-Basistunnel, a uso soltanto ferroviario, si troverà interamente in territorio svizzero e sarà composto da due condotti a semplice binario, a circa 40 m l'uno dall'altro, senza cunicolo di servizio, ma con circa 180 cunicoli trasversali, in modo che ciascun condotto potrà supplire l'altro in caso di emergenza.

Lo scavo del Gottardo in due canne parallele di 8,8 metri di diametro sta avvenendo per tratte su due fronti (Nord e Sud) tramite metodo meccanizzato con fresatrici e metodo tradizionale con esplosivo.

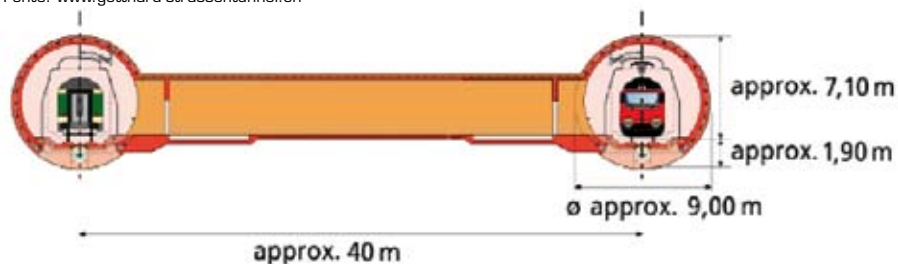
Le TBM usate nel progetto AlpTransit sono fresche prodotte appositamente per la roccia dura che costituisce il massiccio del S. Gottardo; esse vengono utilizzate per l'avanzamento nei due cunicoli e si prevede che consentiranno lo scavo di circa 50 km di roccia (per la tratta restante si utilizza l'esplosivo). Le TBM impiegate saranno 4 (2 verso Sud da Amsteg a Sedrun e 2 verso Nord da Bodio a Faido) e saranno lunghe 440 m.

La figura sottostante suddivide in tratte il tunnel di base del S. Gottardo, in base al metodo di scavo adottato.

Gli attacchi intermedi, ossia gli accessi addizionali alla galleria, dall'alto (pozzi) o di lato (cunicoli) abbreviano il tempo necessario per la costruzione di lunghe gallerie. Gli attacchi intermedi di Amsteg,

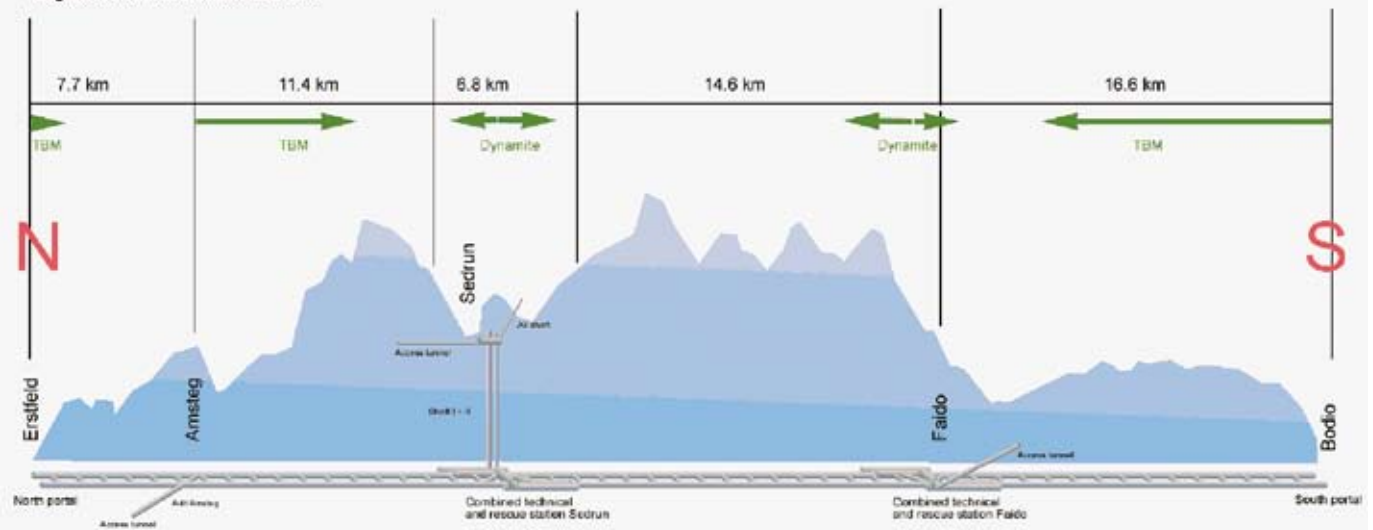
Sezione trasversale tipo della galleria di base del S. Gottardo

Fonte: www.gotthard-strassentunnel.ch



## Gotthard Base Tunnel

tra Erstfeld e Bodio, Svizzera  
Lunghezza: 57 km / Costruzione: 1995 - 2015



Metodi di scavo e direzione di avanzamento dello scavo nella Galleria di Base del S. Gottardo - Fonte: [www.new.neat.ch](http://www.new.neat.ch)



Impianto di preparazione dei calcestruzzo a Amsteg - Fonte: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Sedrun e Faido dimezzano gli anni occorrenti per la costruzione della galleria di base e la suddividono in cinque comparti: Erstfeld (con il portale Nord), Amsteg, Sedrun, Faido e Bodio (con il portale Sud). Quello di Sedrun, è l'unico accesso a pozzo nei cinque cantieri operativi del Basistunnel realizzati nel 1999.

Allo stato attuale un'ampia tratta dei due tunnel della galleria tra Erstfeld e Sedrun è già stata scavata e rivestita, così come per la tratta tra Faido e Bodio in cui le due frese meccaniche utilizzate hanno terminato il loro lavoro alla fine del 2006 incon-

trandosi con assoluta precisione dopo un avanzamento medio di 24 metri al giorno.

Il primo cantiere si trova a nord, a Erstfeld dove inizia la galleria di base del San Gottardo. Questa tratta si compone di due tubi paralleli lunga 7,6 km.

Il primo punto di attacco intermedio è ad Amsteg dove un cunicolo di accesso lungo due chilometri conduce alle due canne della galleria da dove partivano gli scavi per circa 12 chilometri in direzione sud, fino al confine con la tratta di Sedrun che si trova nel cantone Grigioni.

A Sedrun si trova la zona critica del massiccio centrale del Tavetsch, con i punti tettonicamente molto deformati di Intschi e Clavaniev dove, a causa della roccia poco stabile e dei contenuti d'acqua molto variabili, si sta scavando con il tradizionale metodo di perforazione e brillamento perché l'impiego di una fresatrice meccanica è troppo pericoloso. Il materiale di scavo risale in superficie tramite un montacarichi verticale di 800 metri dove viene trasformato in inerte per il calcestruzzo. Tale montacarichi è un impianto indispensabile per la logistica del cantiere, in quanto trasporta in superficie i detriti di scavo che ininterrottamente si estraggono dai fronti delle gallerie; la sua velocità si traduce in circa 300 viaggi al giorno. Su due livelli è in grado di trasportare 52 tonnellate di roccia per viaggio, su dei vagoni da miniera; in alternativa può trasportare 80 persone. Alla fine dei lavori il montacarichi diventerà un ascensore che permetterà ai passeggeri di scendere nella stazione al centro della galleria per raggiungere Milano o Zurigo.

La zona di Piora è composta dalle rocce sedimentarie dolomia, dolomia sacca-roidale, dolomia carlata e gesso. Rappresenta un punto geologico chiave: quattro perforazioni oblique spinte fino al livello della futura galleria di base hanno però evidenziato che sul posto predominano



Lavori di perforazione al fronte con mezzi meccanici a Faido - Fonte: www.alptransit.ch

pietre stabili senza pressione né circolazione d'acqua. Questo esito estremamente favorevole per la costruzione della galleria, è stato anche confermato da carotaggi, dalle misurazioni della temperatura e dalla sismologia.

La successiva tratta di 14 chilometri porta da Sedrun all'attacco intermedio di Faido in Ticino dove un tapis roulant lungo 2,7 chilometri con una pendenza del 12%, porta il materiale di scavo in un altro cantiere di frantumazione.

L'ultima tratta verso Bodio con i suoi 16,6 chilometri è la più lunga dell'intera opera e quella che ha avuto più difficoltà perché a ridosso di una zona geologicamente critica. L'avanzamento medio è di 24,2

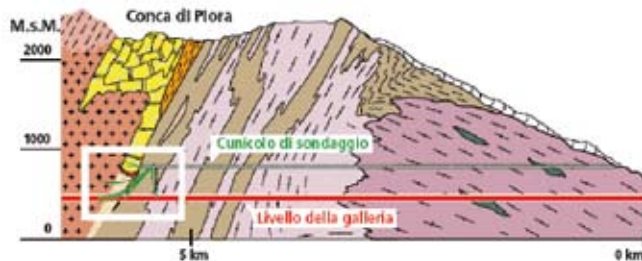
metri al giorno; tra il 1872 e il 1880 quando si scavò il primo traforo del Gottardo di 15 km la media era di 5,5 metri al giorno.

Le aree per il cambio di corsia si trovano nelle stazioni multifunzionali di Sedrun e di Faido. Qui si trova anche la centrale degli impianti di ventilazione, i locali tecnici con gli impianti di sicurezza, la sala di comando con interruttori d'azionamento e due stazioni di soccorso.

Per il funzionamento della zona d'installazione e per i lavori di costruzione, è necessario disporre anche di corrente elettrica e di acqua, in quantità che non possono essere prelevate facilmente dalla rete locale. L'acqua potabile invece può

essere prelevata dalla rete locale. Si calcola un fabbisogno di circa 300 litri al giorno e per persona. La quantità di acqua industriale è notevolmente più elevata (fino a 500.000 l/giorno); quest'ultima viene per la maggior parte captata separatamente, ad esempio da un fiume oppure dalla falda, per non sollecitare oltre misura la rete locale ed è necessaria nella galleria e sul luogo d'installazione: per la produzione del calcestruzzo, per il raffreddamento oppure semplicemente per il lavaggio delle macchine. A garanzia delle capacità da prevedere per la lotta agli incendi provvedono le riserve d'acqua sui cantieri. L'acqua, dopo il trattamento, viene infine riconvogliata ai ricettori naturali.

L'approvvigionamento in energia elettrica deve prevedere per esempio per il cantiere di Amsteg circa 11 Megawatt di potenza elettrica nei giorni di punta. Pertanto la corrente elettrica necessaria per il cantiere non può essere prelevata semplicemente dalla rete del villaggio. Le macchine impiegate per la costruzione della galleria richiedono, in prevalenza, corrente ad alta tensione. Una fresatrice, ad esempio, richiede 5 Megawatt di potenza elettrica. L'alimentazione elettrica del cantiere è assicurata mediante linee ad alta tensione ma in futuro bisognerà potenziare le condotte esistenti, prevedere derivazioni, ampliare le sottostazioni e installare nuove



Geologia e sistema di sondaggi della Sacca di Piora  
Fonte: Alptransit S.Gottardo SA, 2005

Galleria di base del San Gottardo - sezione geologica longitudinale  
Fonte: Alptransit S.Gottardo SA, 2005



stazioni di trasformazione.

La costruzione della Galleria di base del San Gottardo produce milioni di tonnellate di materiale di scavo (circa 24 milioni) con un grande potenziale di sfruttamento come materia prima da costruzione.

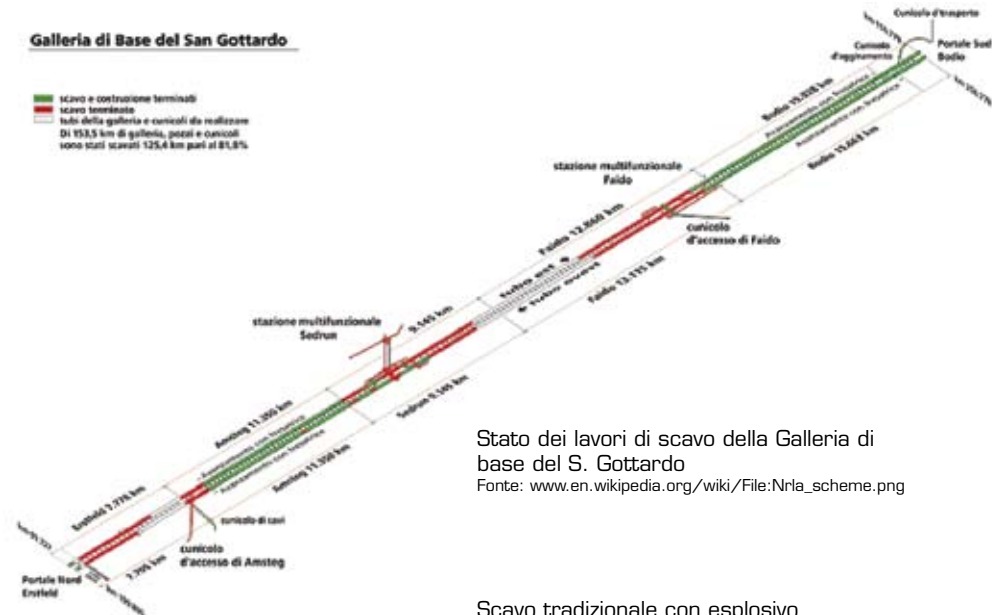
Nei diversi cantieri deve essere prevista la fornitura e lo smaltimento di questi materiali che vanno eseguiti nel rispetto dell'ambiente.

Allo stato attuale sono uscite grandi quantità di materiale che, attraverso un lungo sistema di collegamenti meccanici per evitare inutili trasporti con mezzi pesanti, è stato velocemente trasferito in una zona di frantumazione per essere riutilizzato come ballast per la posa dei binari o componente del calcestruzzo. Quello avanzato ritornerà nel paesaggio nel rispetto delle esigenze ambientali.

I materiali di scavo della galleria costituiscono una valida alternativa per la produzione del calcestruzzo in quanto è necessario impiegare tecnologie sempre più innovative per produrlo e diventa sempre più difficile l'estrazione dei giacimenti di ghiaia presenti sull'Altipiano Svizzero.

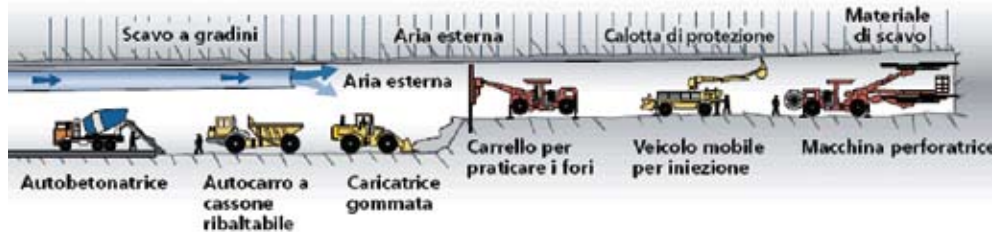
**Scavo con esplosivo**

A Sedrun è presente l'unico cantiere dove attualmente si scava il Basistunnel in modo "tradizionale", usando esplosivi invece di frese meccaniche; ciò è dovuto alla difficoltà di calare attraverso il pozzo



Stato dei lavori di scavo della Galleria di base del S. Gottardo  
Fonte: www.en.wikipedia.org/wiki/File:Nrla\_scheme.png

Scavo tradizionale con esplosivo  
Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005



le attrezzature per uno scavo meccanizzato. Lo scavo procede alla velocità di 500 metri al mese. Con lo scavo mediante esplosivi l'avanzamento nel Basistunnel non supera i 6-9 m al giorno. Perforazione, caricamento, brillamento, ventilazione, fissaggio/eva-

cuazione sono fasi di lavoro che vengono effettuate, con buone condizioni della roccia, in un turno di otto ore. In caso di roccia critica, specialmente il fissaggio richiede molto tempo; l'evacuazione (sgombero del materiale brillato) può essere effettuata solamente dopo la messa in si-

Lavori nel tubo ovest del comparto di Amsteg  
Fonte: Nuova ferrovia transalpina  
Rapporto sullo stato dei lavori 2008/II, 1 luglio - 31 dicembre 2008



Realizzazione del portale della tratta a sud (Bodio) della Galleria di base del S. Gottardo di raccordo al tratto a cielo aperto di Biasca - Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005





Stazione di Baustelle Erstfeld  
Fonte: <http://www.alptransit.ch>

### Fattori di rischio e misure di prevenzione specifici

Per prevenire eventuali lesioni e crolli strutturali prodotti dall'elevata velocità d'esercizio dei treni nella Galleria di base del San Gottardo verrà realizzato un rivestimento interno in calcestruzzo liscio. Tale rivestimento deve avere almeno 30 cm di spessore, così da garantire la necessaria tenuta, dato che la protezione contro la caduta soddisfa gli standard di sicurezza solo per una durata limitata. Nelle zone di maggiore sollecitazione il rivestimento viene inoltre rinforzato con reti metalliche e infilaggi in acciaio.

Il principio di evacuazione dell'acqua nella Galleria di base del San Gottardo prevede di incanalare l'acqua di galleria attraverso il drenaggio superficiale nelle condotte di scarico, impedendo l'infiltrazione diretta nel suolo per mezzo di strati di materiali isolanti. Questo sistema soddisfa gli standard di utilizzo derivanti dalla tecnica ferroviaria ed impedisce contemporaneamente la formazione di pressioni dovute all'acqua di galleria. Nel comparto di Sedrun, nella zona dell'avanzamento in direzione sud della canna ovest, da ottobre 2006 sono stati eseguiti alcuni lavori di impermeabilizzazione mediante iniezione, per impedire il deflusso dell'acqua dal massiccio roccioso. Sono presenti delle pompe idrovore, che occupano un locale apposito di circa 800 m<sup>2</sup> e che possono far fronte a un'improvvisa fuoriuscita d'acqua (anche se a Sedrun la geologia del massiccio non dovrebbe presentare questo tipo di rischio).

Per la ventilazione della maggior parte delle sezioni della galleria di base del San Gottardo si ricorre ad un sistema di aerazione soffiante. L'aria pulita viene aspirata dai portali o dagli attacchi intermedi e soffiata attraverso tubazioni, le cosiddette condotte, nei punti di scavo. Le sostanze nocive diluite ritornano poi come scarico lungo la sezione della galleria e giungono automaticamente oppure sono sospinte mediante ventilatori situati al portale. Nei sistemi di ricircolo impiegati,

curezza. Dopo ogni volata si eseguono campionature geologiche; dall'inizio del cantiere è stata montata una particolare struttura a centine, prima utilizzata per verificare la tenuta e le deformazioni nel tempo della galleria, poi per garantire il suo rivestimento. In alta montagna, sopra al tunnel, sensori collegati ai satelliti controllano eventuali assestamenti di un lago alpino, al fine di evitare i possibili cedimenti della roccia o le venute d'acqua in galleria.

### Scavo con fresa (TBM)

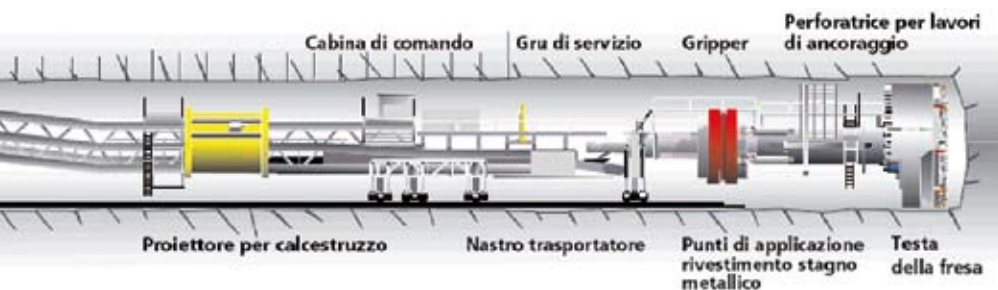
La fresa utilizzata per lo scavo del tunnel di base del S. Gottardo è una TBM di tipo Robbins con testa rotante dotata di taglienti back-loading da 17". Una grande pala meccanica scarica i detriti lateralmente direttamente su un camion, senza bisogno di arretrare. Una macchina

"ragno" appesa a dei binari sospesi svolge operazioni post-scavo: si ancora alla roccia, getta lo spritz-beton, fissa i canali dell'aria, e predispone i tubi dell'acqua e dell'elettricità, lasciando sempre sgombero il fondo; è un mezzo tentacolare, versatile, snodato e multifunzionale. Le frese utilizzate sono quattro TBM, due per fronte di scavo. Con la fresatrice si lavora in tre turni di otto ore ciascuno.

1° e 2° turno: perforazione in corse di circa 1,5 m, trasporto contemporaneo del materiale di scavo, messa in sicurezza direttamente dalla macchina (ancoraggio, getto del calcestruzzo, infilaggi in acciaio in calotta), avanzamento di una corsa di scavo; il ciclo descritto viene ripetuto più volte per ogni turno.

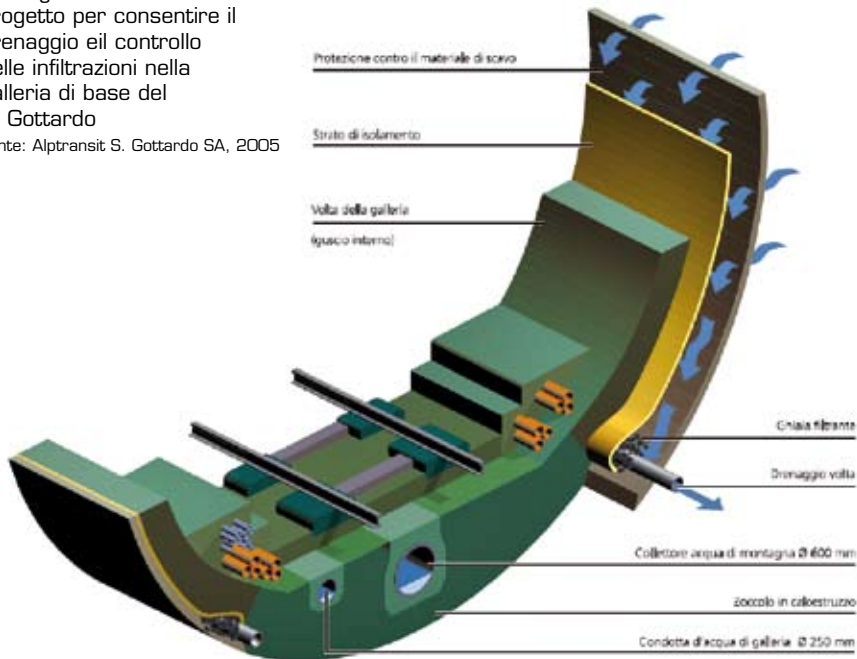
3° turno: revisione/manutenzione della macchina, sostituzione delle punte usurate e lavori di pulizia.

Scavo meccanizzato con fresa ad attacco puntuale  
Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005



Accorgimenti strutturali adottati in fase di progetto per consentire il drenaggio e il controllo delle infiltrazioni nella galleria di base del S. Gottardo

Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005



una canna della galleria funge da condotta per l'aria pulita, l'altra da canale di scarico.

La galleria di base del San Gottardo ha il suo punto culminante a quota 550 metri sopra il livello del mare. Le masse rocciose sotto le quali passerà la galleria sono sovrastate da 2300 metri di roccia nel punto più alto. La grande copertura esercita una forte pressione sulle gallerie. Le temperature all'interno della galleria di base raggiungono valori molto alti, superiori ai 40° C e ciò espone i lavoratori a condizioni microclimatiche molto sfavorevoli. Inoltre i mezzi utilizzati per le operazioni di scavo hanno elevate potenze e pertanto producono ingenti emissioni gassose nell'atmosfera. Per sopperire a tali effetti nocivi per gli operai, si provvede installando opportuni sistemi di ventilazione; dal condotto principale sono spillate, mediante deviatori, quantità d'aria sufficienti a ventilare e diluire i gas inquinanti presenti ai diversi piani di lavoro interni alla cassaforma. La distribuzione dell'aria, spinta mediante acceleratori di flusso, avviene tramite un sistema di tubazioni e di bocchette. L'aria entra nella cavità del cantiere generalmente dall'alto, lambisce il fronte e fuoriesce dal basso contribuendo ad allontanare anche le

eventuali polveri presenti sul terreno. Fino ad un certo grado, il calore viene disperso attraverso tale sistema di ventilazione del cantiere. Gli scavi in galleria devono essere però additionally dotati di un sistema di raffreddamento, per soddisfare i valori limite fissati dalla Suva. Il raffreddamento avviene mediante acqua che circola in un sistema di tubi e che elimina il calore emanato dalla montagna e dalle macchine. La temperatura ambiente può essere abbassata a 28°C.

Lavori di rivestimento all'altezza di Sigirino - Fonte: Nuova Ferrovia Transalpina Rapporto 2008/1



## Galleria di base del Ceneri

### Generalità

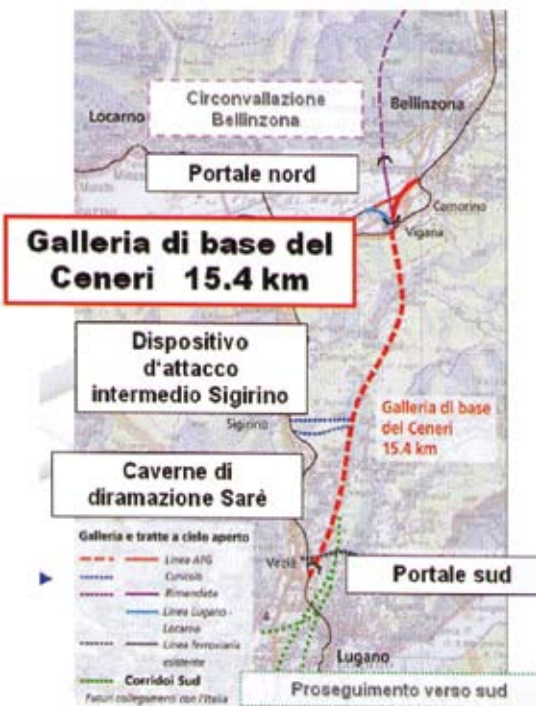
La Galleria di base del Monte Ceneri è un traforo ferroviario a due canne, della lunghezza di 15,4 km, in costruzione sotto il Monte Ceneri, nel Canton Ticino, in Svizzera. Viene costruito nell'ambito del progetto AlpTransit e rappresenta la continuazione verso sud della Galleria di base del San Gottardo.

La Galleria di base del Ceneri, tra Camorino e Vezia, è parte integrante del progetto della linea di pianura.

I lavori di costruzione sono iniziati il 2 giugno 2006 e sono previsti per un cospicuo numero di anni con il termine degli scavi nel 2018 e l'apertura al traffico rotabile nel 2019.

Alla sua completa messa in opera è previsto un cospicuo risparmio di tempo nei vari collegamenti; ad esempio tra Lugano e Locarno attualmente servono 50 minuti e la previsione parla di una riduzione di tale tempo a soli 22. Viene previsto anche un miglioramento delle interconnessioni con la vicina Lombardia e l'istituzione di nuove linee ferroviarie da parte della TiLo.

Con il completamento di questa opera pubblica, unitamente a quella del San Gottardo, si potrà ottenere una linea ferroviaria quasi completamente pianeggiante, in grado di accogliere sul suo percorso



Schema del tracciato della Galleria di Base del Ceneri

Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005

treni merci dal peso complessivo di 2.000 tonnellate senza la necessità di locomotori supplementari, nonché treni ad alta velocità.

Attualmente, i treni merci che viaggiano sulle catene montuose richiedono locomotori di spinta per superare le pendenze. Il traforo del Ceneri, così come quello del S. Gottardo, forniranno un tracciato con livellette minime e ridurranno i tempi di percorrenza fra Zurigo e Milano. Alcuni



Camorino, visione laterale della zona del portale a Vigana - Fonte: www.alptransit.ch

tempi di viaggio, come quelli fra Lugano e Bellinzona, saranno addirittura dimezzati una volta completato il traforo del Ceneri.

I lavori di scavo del cunicolo d'accesso e delle caverne saranno eseguiti dal Consorzio CMC (Consorzio Monte Ceneri), composto dalle aziende svizzere CSC, Lugano; Frutiger SA, Thun e Rothpletz, Lienhard + Cie, Aarau.

### Lavori di costruzione

Per ragioni di sicurezza e di praticità per la realizzazione del Basistunnel del Ceneri è stata decisa la costruzione di due tunnel paralleli; la presenza di due condotte a binario singolo con cunicoli tra-

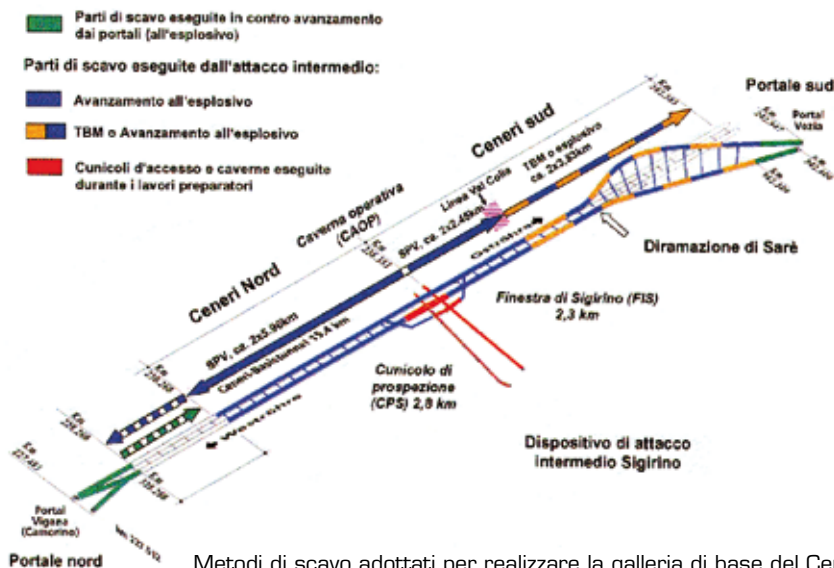
sversali di collegamento ben distanziati, anche se non sono state previste zone di interscambio, a fronte dell'unico tunnel a doppio binario inizialmente previsto, dovrebbe ridurre anche il tempo tecnico dello scavo.

Il progetto per l'esecuzione del tunnel di base del Ceneri prevede due sezioni da 8 km di tunnelling scavate in drill&blast (esplosione e sparo con mine) per il tunnel principale verso nord, mentre la canna in direzione sud includerà due sezioni da 1,8 km in drill&blast e due sezioni da 4 km scavate con TBM.

Gran parte dei lavori si svolgono a partire da un attacco intermedio (il 90% degli scavi), poiché i portali si trovano in zone densamente abitate.

I metodi di scavo previsti, a partire dal dispositivo d'attacco intermedio, sono: esplosivo (in direzione Nord) ed esplosivo e fresa (in direzione Sud). Nella zona dei portali lo scavo è eseguito con esplosivo o attraverso metodi speciali nelle tratte con materiale sciolto che prevedono un trattamento del terreno tramite jet-grouting con scavo a settori (con cunicoli a paramento) per le sezioni di dimensioni maggiori.

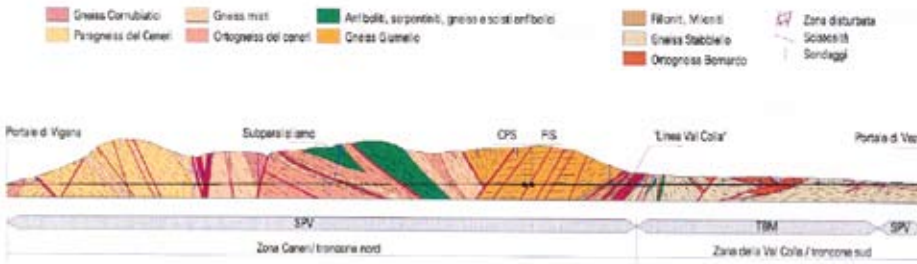
Con il primo brillamento ufficiale del cunicolo d'accesso sono iniziati nel cantiere di Sigrino i lavori di scavo per la Galleria di base del Ceneri. Al termine della realizzazione del cunicolo di accesso, avrà inizio il vero e proprio avanzamento nella



Metodi di scavo adottati per realizzare la galleria di base del Ceneri

Fonte: Alptransit S. Gottardo SA, 2005





Stratigrafia e geologia del massiccio del Monte Ceneri - Fonte: Alptransit Ceneri SA, 2005

galleria, previsto per il 2010.

Il cunicolo di accesso di Sigirino, lungo 2.3 km, viene scavato con una TBM, avanzando circa 26 m/giorno, mentre i primi 40 metri del cunicolo, quale traforo iniziale per la TBM, vengono scavati con il metodo convenzionale, tramite esplosivo. La fresa necessita infatti di questo tubo iniziale per potersi artigliare con le cosiddette pinze da presa (gripper), in modo da poter iniziare l'avanzamento meccanico.

Il montaggio della fresa è iniziato a novembre 2007. I lavori di scavo del cunicolo d'accesso e della caverna operativa è previsto abbiano una durata di due anni. Da tali caverne di installazione inizierà in seguito lo scavo di entrambi i tubi della Galleria di base del Ceneri. Il cunicolo di accesso diverrà l'arteria logistica per i lavori di avanzamento.

Sigirino, avanzamento con jumbo per perforazioni, e montaggio di ancoraggi - Fonte: www.alptransit.ch



La TBM utilizzata è quella che ha realizzato con successo lo scavo della condotta forzata principale dell'impianto idroelettrico del Kárahnjúkar, in Islanda. Si tratta di una TBM aperta (non scudata) Robbins 309 che consiste in:

- una prima struttura di servizio (detta "back-up 1") lunga 57 m che comprende una gru sospesa, una gru per il sollevamento

del materiale, un'unità di rimozione della polvere, un robot shotcrete, un trasformatore, dei compressori ed un WC-container;

- una piattaforma sospesa lunga 55 m (detta "back-up 2") collegata a un braccio articolato;

- segue una parte di 33 m (detta "back-up 3") che rappresenta la parte terminale del tratto di testa della fresa; essa dispone degli impianti per l'approvvigionamento dell'energia elettrica, dell'acqua di raffreddamento e industriale, dell'aria fresca e del punto di caricamento del nastro trasportatore mediante la gru.

La struttura principale della TBM è stata completamente rinnovata, vicino a Milano, e il diametro della testa fresante è stato aumentato da 7,6 m a 9,73 m. È il primo macchinario del progetto AlpTransit ad utilizzare taglienti di grande diametro, da 48,3 cm.

Situata in Svizzera nel Canton Ticino, la galleria di accesso si unirà alle gallerie di base parallele approssimativamente nel punto mediano.

La roccia nella zona consiste in scisti, molasse svizzere e ortogneiss del Ceneri; si prevede una buona geologia per lo scavo, senza terreni spingenti o grandi venute d'acqua. Nuove sonde progettate da Robbins nelle proprie sedi degli Stati Uniti, saranno usate per verificare le condizioni del terreno davanti alla TBM per lo scavo. I sostegni temporanei includono bulloni, centine e shotcrete e saranno utilizzati a seconda della geologia. Lo smarino sarà temporaneamente stoccato in loco per un successivo utilizzo nella preparazione degli inerti per calcestruzzo. Utilizzando taglienti di ultima generazione, la macchina della Robbins avanzerà in una geologia simile a quella incontrata nel traforo di base del Gottardo. I nuovi taglienti da 48,3 cm, sperimentati nel progetto idroelettrico del Kárahnjúkar, offrono una più alta capacità di taglio e una vita utile maggiore rispetto ai taglienti da 43 cm, con conseguente minor ricambio di taglienti. L'avvio della TBM della Robbins ha avuto luogo nell'autunno 2008 e per il completamento dei lavori occorreranno circa due anni.

Area di cantiere a Sigirino - Fonte: www.alptransit.ch



## Tunnel del Lötschberg

### La galleria di base - Generalità

La galleria di base del Lötschberg è una galleria ferroviaria che collega le località svizzere di Frutigen nella Valle di Kander nel cantone di Berna e Rarone nella Valle del Rodano nel cantone Vallese. La galleria fa parte del progetto ferroviario svizzero AlpTransit relativo all'alta velocità ferroviaria.

Gran parte del traforo di base si sviluppa a doppia canna, con l'eccezione della tratta a canna singola tra Mitholz e Frutigen, nel Bernese.

Il tunnel rappresenta il più lungo tunnel sotto le Alpi, e il terzo a livello mondiale, dopo il giapponese Sei-kan (53.850 m) e l'Eurotunnel (50.450 m), tra Regno Unito e Francia; rappresenta un'infrastruttura chiave del sistema di trasporti elvetico.

I lavori sul traforo di base iniziarono nel 1999 e gli scavi terminarono nel 2004. Da subito è stato resa disponibile per il traffico merci, mentre il traffico passeggeri è iniziato a circolare il 9 dicembre 2007.

Il tratto vecchio della galleria omonima di valico, inaugurato nel 1913, non è stato smantellato ma utilizzato per i treni locali e per il consueto trasposto degli autovei-



Lavori all'imbocco del portale sud di Raron - Fonte: Articolo della Marti Holding AG "Galleria di base Lötschberg Lotti Steg/Raron", 2008

coli con destinazione Kandersteg dato che non esiste altro collegamento tra questa località di villeggiatura e Goppenstein.

Durante lo scavo mediante TBM sono stati identificati due distinti fenomeni di rottura:

- formazione di blocchi di roccia in testa alla fresa;
- formazione di distacchi rocciosi improvvisi a livello del piano di lavoro della fresa, pochi metri dietro la sua testa; tali ammassi cadendo generano forti boati nella galleria ("colpi di roccia").

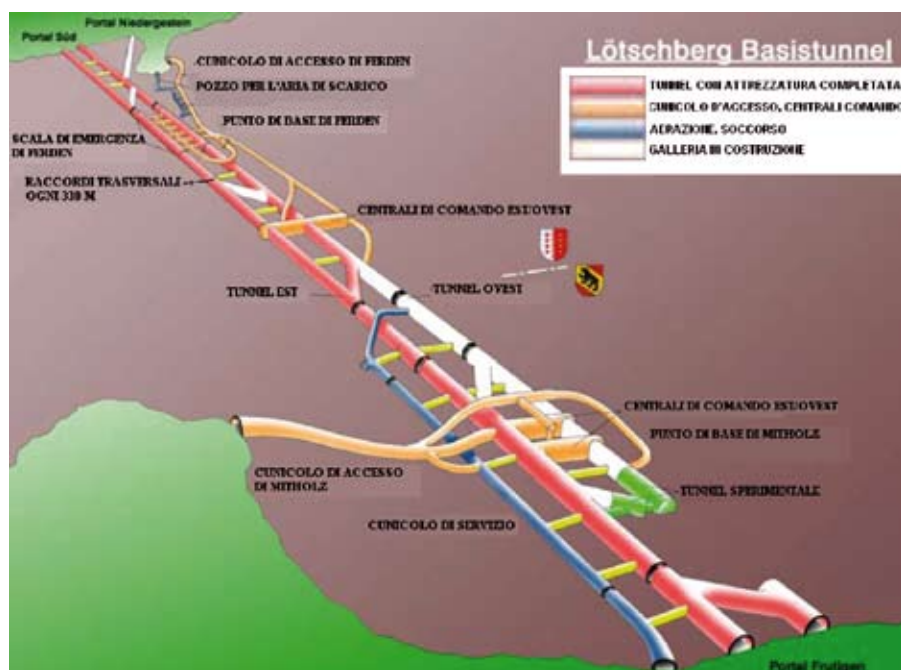
### Lavori di costruzione

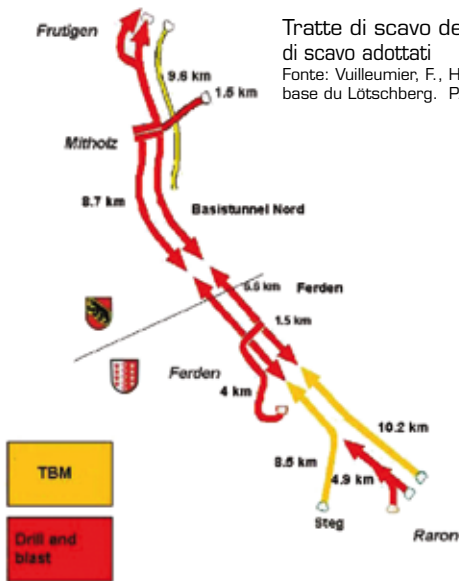
La galleria consiste in due condotti paralleli del diametro di 9,4 m a corsia unica e direzioni separate, distanziati tra loro di 40-60 m, con una lunghezza normale di 34,7 km. Il sistema di gallerie, escludendo i by-pass trasversali, ha un'estensione di 88.064 m.

Sul sistema di gallerie per la realizzazione del tunnel di base del Lötschberg hanno lavorato all'incirca 2.500 persone, con punte di 1.800 persone contemporaneamente in turni di 24 h al giorno, sette giorni alla settimana.

Sono stati utilizzati due metodi di scavo: un metodo meccanizzato con TBM e il metodo tradizionale detto "drill and blast" (esplosione e sparo con mine). In particolare la galleria è stata scavata per il 20% utilizzando perforatrici, mentre per il rimanente 80% mediante avanzamento convenzionale tramite brillamento. Soluzione quest'ultima che si è resa necessaria a causa delle caratteristiche geologiche mutevoli e delle rocce particolarmente critiche da lavorare. Due TBM hanno scavato il cunicolo laterale di Steg e per 10 km il tunnel a est partendo dal portale sud di Raron; tutto il resto è stato scavato mediante esplosivo. Una fase di trivellazione tra carica, esplo-

Schema del complesso delle opere per la realizzazione del tunnel di base del Lötschberg (ottobre 2006)  
Fonte: <http://www.interrail.it>





Tratte di scavo della galleria di base del Lötschberg e metodi di scavo adottati

Fonte: Vuilleumier, F., Hufschmied, P., Seingre G., 2001. Travaux du Tunnel de base du Lötschberg. PATRON EDITORE World Tunnel Congress Volume I

Kantental, è stata eseguita nel 1994 a Mitholz, nei pressi del portale settentrionale, a circa 55 km da Berna.

Notevole è risultata la precisione nell'allineamento dell'asse principale del tunnel. Le due metà della galleria si sono incontrate pressoché perfettamente, con uno sfalsamento di 13 cm per i due centri e di frazioni di centimetro per le due altezze. I geologi hanno pianificato le fasi di scavo e la possibilità di avanzare contemporaneamente da più punti con la realizzazione di 5 cantieri (due dai portali e tre in punti d'accesso intermedi). Ciò contribuì a ridurre il tempo pianificato in fase di progetto per la realizzazione dell'intero tunnel, infatti la sospensione dei lavori in un punto non ha mai compromesso totalmente le fasi generali d'avanzamento che continuavano parallelamente negli altri tratti, garantendo così di minimizzare i ritardi. Per mezzo di 27 trivellazioni dei tre punti d'accesso intermedi e dei cunicoli di sondaggio realizzati (fino ad una profondità di 1,4 km) e dei numerosi scavi per le centrali idroelettriche ed il tunnel di cresta, i geologi hanno esplorato le strutture del Lötschberg garantendo sempre che i lavori di scavo procedessero in sicurezza.

La scelta dei cunicoli intermedi è avvenuta prima dell'inizio dei lavori; sono stati individuati i punti geologicamente più sfavorevoli per realizzare l'intervento, nelle zone geologiche più complesse.

Ai piedi del pozzo inclinato di Ferden per esempio, è stato trattato un acquifero di 40 m che era collegato alle sorgenti di Loèche-les-Bains; l'intervento è stato eseguito con iniezioni ad alta pressione (80-120 bar) di miscele cementizie a presa rapida nella roccia ed è durato 6 mesi senza causare ritardi sul cronoprogramma dei lavori.

Dagli studi geomorfologici si è potuto osservare che dal cunicolo laterale realizzato a Steg, nel lato Sud della galleria di base, dove il sovraccarico incrementa progressivamente dal portale e raggiunge quasi 2000 m appena dopo l'intersezione con uno dei tunnel principali, si sviluppano formazioni di massicci rocciosi stratificati principalmente di gneiss, granodiorite o granito che per la loro bassa resistenza a compressione monoassiale (da 100 a 200 MPa) hanno subito ingenti deformazioni e movimenti durante gli scavi con frequenti fenomeni di "colpi di roccia". In questa zona si è scavato mediante TBM e si è provveduto ad opportuni sistemi di rinforzo provvisori con maglie metalliche e iniezioni di conglomerato cementizio nelle zone più danneggiate.

I due tubi sono stati collegati da cunicoli

sione e rimozione dei detriti richiedeva circa 4 ore di tempo. In un giorno di lavoro il tunnel avanzava dai 7 ai 12 metri a seconda del tipo di roccia trovata. Sui due fronti lavoravano circa 3.250 persone ad una temperatura di 32,5 gradi centigradi.

Le squadre di lavoro hanno operato da entrambi i portali di Raron e Frutigen e dai tre accessi intermedi di Steg/Niedergesteln, Goppenstein/Ferden e Mitholz, da sud verso nord. L'ultimo diaframma è caduto a metà del tunnel, 1.800 m circa sotto il Monte Balmhorn, al confine tra i due Cantoni. La prima perforazione, per la realizzazione del tunnel esplorativo nella

TBM Robbins, utilizzata per lo scavo del tunnel di base

Fonte: Articolo della Marti Holding AG "Galleria di base Lötschberg Lotti Steg/Raron", 2008



Imbocco Sud del Tunnel di base a Raron - Fonte: <http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6tschberg-Basistunnel>



ogni 333 m che durante le fasi di scavo avevano la funzione di trasportare il materiale da una parte all'altra e di garantire una ventilazione adeguata. Inoltre con l'entrata in servizio del tunnel nel 2007 alla base dei due pozzi di Ferden e Mitholz sono state realizzate due centrali di controllo e di ventilazione.

Il cantiere di Mitholz è stato l'attacco intermedio a nord e contemporaneamente il centro per la gestione del materiale; da qui si è scavato il tratto più lungo di galleria con avanzamento per mezzo di brillamento (con mine).

Nel cantiere di Ferden i lavori di scavo, iniziati nel 1998 e ultimati nel 2003 (anno in cui sono iniziati i lavori per il rivestimento interno), hanno visto i minatori operare in entrambi i condotti del tunnel di base, sia verso nord che verso sud, mediante brillamenti.

Nel cantiere di Steg, dal portale di Niedergestein è stata utilizzata una fresa scudata per roccia dura di diametro di 9,43 m, che avanzava in direzione nord scavando 43 m di galleria al giorno.

Nel condotto est all'altezza del portale sud di Raron si è avanzato mediante l'utilizzo di un'altra fresa che ha scavato in direzione nord per 10 km, mentre nel condotto ovest, fino allo sbocco del cantiere di Steg, si è scavato per mezzo di brillamento.

I lavori di brillamento o fresatura sono stati generalmente condotti fissando la galleria con ancoraggi per roccia e reti metalliche, nonché realizzando uno strato di calcestruzzo spruzzato sulle pareti come strato di protezione. La finestra di



Sezione schematica del tunnel con avanzamento per brillamento: 1) Soletta con drenaggio; 2) Volta del tunnel in calcestruzzo con pellicola di drenaggio; 3) Banchina con vari canali per cavi e condutture - Fonte: <http://www.interrail.it>, articolo di Celestino Pellegatta "Il tunnel di base del Lötschberg"

accesso di Steg, il tunnel di base occidentale di Ferden-Mitholz e i cunicoli d'accesso e di soccorso rimasero invece in uno stato grezzo senza essere rinforzate per tutta la prima fase di realizzazione della galleria di base.

Nello scavo della galleria di base sono state introdotte numerose tecniche innovative nei lavori:

- realizzazione di un piano di sicurezza specifico per prevenire i rischi legati alla presenza di amianto nella roccia;
- realizzazione di iniezioni di cemento ad alta pressione (80÷120 bar) negli acquiferi all'interno del fronte roccioso scavato;
- realizzazione di un sistema di drenaggio apposito per convogliare fuori dalla galleria le acque che si depositano sulla lastra di sostegno delle traversine della ferrovia;
- un sistema di raffreddamento e di ventilazione della galleria per migliorare le difficili condizioni lavorative; l'aria è stata raffreddata all'interno del tunnel a 28°.

In particolare per quanto riguarda la piastra di fondazione dei binari all'interno della galleria di base, è stata realizzata un'apposita struttura di rivestimento in calcestruzzo posata in opera con l'attrezzatura di base tecnico-ferroviaria (binari, linea di contatto, cavi di alimentazione e messa a terra, ecc.) e gli impianti per l'alimentazione della corrente e gli impianti di sicurezza e trasmissione dei dati. Nel tunnel è stata adottata la

posa diretta del binario (senza massicciata), mentre all'esterno il binario si trova sui comuni ballast.

### Aspetti legati alla sicurezza

Molto è stato fatto per garantire la sicurezza e la sopravvivenza all'interno della galleria di base in caso di incidente, incendio o abbandono del convoglio. Vi sono tre centrali di ventilazione e due di pompaggio di aria pura in grado di erogare un flusso tra 150 e 200 m<sup>3</sup>/sec.

Una centrale è dedicata all'estrazione dell'aria di scarico attraverso il pozzo di ventilazione installato a Fystertella. Le condizioni climatiche all'interno della galleria sono caratterizzate da temperature fino a 35°C e da un'umidità di quasi l'80%. Per garantire il raffrescamento sono state installate 44 macchine frigorifere e altri 396 apparecchi di ricircolazione. Le gallerie sono state attrezzate con due porte a cancello in grado di offrire una chiusura completa degli ambienti. 130 telecamere sorvegliano continuamente il succedersi degli eventi nei locali tecnici, in quelli di accesso e servizio.

Le gallerie trasversali che collegano i due cunicoli principali nelle situazioni di emergenza e di fuga sono sigillate da 173 porte scorrevoli motorizzate con comando a distanza e in grado di resistere ad un incendio anche di 90 minuti. Inoltre 3000 sensori rilevano eventuali incendi, fughe di gas ed eccesso di umidità, oltre ad eventuali infiltrazioni d'acqua. A Ferden si trova una fermata di emergenza. Questa è connessa con una galleria di fuga dotata di sistema di pompaggio d'aria pura indipendente. In caso di incidente la fermata di emergenza potrebbe venire utilizzata per evacuazione dei passeggeri e del personale di assistenza; può essere autosufficiente dal punto di vista dell'alimentazione dei servizi e del ricambio d'aria.

Entrambi i condotti della galleria dispongono di alimentazione elettrica separata, di un'illuminazione di emergenza e di un sistema di aerazione indipendente. Nelle situazioni di emergenza sono state predisposte delle porte scorrevoli nei cunicoli trasversali che collegano i due tunnel, che possono essere aperte anche a mano. ■

Imbocco Nord del Tunnel di base a Frutigen  
Fonte: <http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6tschberg-Basistunnel>

