



## Gottardo 2016: il futuro dei trasporti europei parte da qui

Analisi del progetto del nuovo collegamento ferroviario  
attraverso le Alpi

### *Gotthard 2016: the future of European transport starts here*

*Project analysis of new rail link through the Alps*

Ing. Lia DI NARDO<sup>(\*)</sup>

**Sommario** – Il documento fornisce un resoconto del progetto della galleria di base del San Gottardo dalle fasi iniziali sino all'apertura al traffico commerciale. Sono analizzati gli aspetti relativi alla pianificazione degli investimenti, al tracciato, alla gestione del progetto e agli aspetti tecnici di costruzione grezza, di tecnica ferroviaria e la messa in esercizio.

#### 1. Introduzione

Il 1° giugno 2016 è stata inaugurata la galleria di base del Gottardo, la più lunga del mondo con i suoi 57 km, alla presenza del governo svizzero e dei leader europei. Durante la cerimonia il presidente della Confederazione Elvetica Johann SCHNEIDER-AMMAN e il vice presidente e ministro federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni Doris LEUTHARD hanno sottolineato l'importanza di questo collegamento che permetterà nel 2016 di risparmiare mezz'ora nel tragitto da Milano a Zurigo (un'ora nel 2020). Il presidente ha ricordato che all'inaugurazione della galleria storica nel 1882 erano presenti le autorità degli Stati confinanti a sottolineare l'importanza internazionale del progetto realizzato e che è ancora di attualità per l'Europa con il nuovo tracciato.

Con l'introduzione del nuovo orario, l'11 dicembre 2016 la galleria è stata aperta al traffico commerciale di passeggeri e merci.

#### 2. La Nuova Ferrovia Transalpina (NFTA)

La Svizzera segue una politica dei trasporti fondata sul rispetto dell'ambiente, sull'efficienza e sulla finanziabilità. Ulteriore obiettivo della politica dei trasporti sviz-

**Summary** – The document provides an account of the project of the Gotthard base tunnel from the initial stages until the opening to commercial traffic. It analyzed aspects relating to investment planning, the track, the project management, the technical aspects of civil works, railway systems and installations and commissioning.

#### 1. Introduction

On June 1, 2016 the Swiss government inaugurated the Gotthard Base Tunnel, with the European leaders attending. With its 57 km [35 mi], it is the longest railway tunnel in the world. During the ceremony, the Swiss Confederation president Johann SCHNEIDER-AMMAN and the Vice-President and Minister of Environment, Transport, Energy and Communications Doris LEUTHARD underlined the importance of this link that will save half an hour in journey from Milan to Zurich in 2016 and one hour by 2020. The President pointed out that the opening of the historical tunnel in 1882 was attended by the authorities of neighboring States to emphasize the international importance of the project which has kept its relevance for Europe with the new alignment.

The tunnel was open on December 11, 2016 with the new timetable.

#### 2. The New Railway Link Through the Alps (NRLA)

The Swiss transport policy is based on respect for the environment, efficiency and financial viability. A further objective of Swiss transport policy is the transfer of heavy goods traffic from road to railway through the Alps, an approach that protects the sensitive Alpine areas from the

<sup>(\*)</sup> MM S.p.A., Divisione Ingegneria – Funzione commerciale.

<sup>(\*)</sup> MM S.p.A., Engineering Department – Business development division.

zera è il trasferimento del traffico merci dalla strada alla ferrovia attraverso l'arco alpino, approccio che tutela gli spazi sensibili delle Alpi dagli effetti inquinanti di un traffico in costante aumento. Ciò implica anche l'ammodernamento dell'infrastruttura ferroviaria e l'integrazione nella rete ad alta velocità europea. La Nuova Ferrovia Trans Alpina (NFTA) (fig. 1) comprende i collegamenti che consentono di attraversare le Alpi senza affrontare grandi pendenze: le gallerie di base del Lötschberg inaugurata nel 2007, del San Gottardo aperta al traffico commerciale dal dicembre 2016 e del Ceneri che sarà inaugurata a fine 2019 [12].

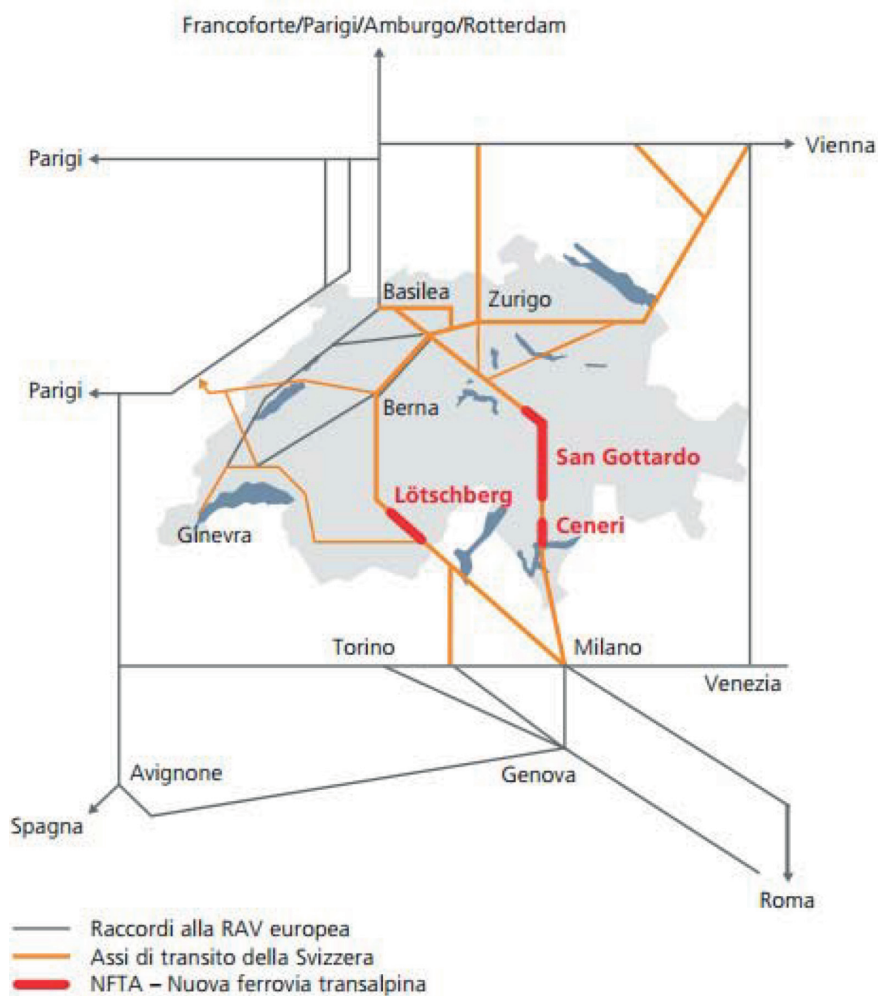
Le gallerie di base si situano sul corridoio Reno-Alpi principale collegamento nord-sud per il traffico merci. Il corridoio "A" Reno-Alpi, (detto anche corridoio dei due mari), unisce Rotterdam a Genova passando per la Germania e il Belgio e si inserisce nel piano di sviluppo europeo volto a ottimizzare il traffico merci ferroviario e a garantire la sostenibilità dei trasporti trasferendo il traffico dalla strada alla ferrovia. Ogni anno lungo i 1.500 km dell'asse nord-sud transitano circa 200 milioni di tonnellate di merci che vengono poi distribuite in tutta Europa. Di queste, nel 2015, 25 milioni di tonnellate hanno attraversato la Svizzera su rotaia; si prevede che tale volume raddoppierà entro il 2030. Il traffico passeggeri, entro il 2025, passerà dagli attuali 9.000 passeggeri all'anno a 15.000. Il trasporto passeggeri, grazie alla realizzazione dell'asse nord-sud del San Gottardo e del Ceneri, sarà ancora più vantaggioso vista la riduzione dei tempi di percorrenza verso il Ticino, il Vallese e la città di Milano.

La Svizzera, grazie alla NFTA, ha contribuito notevolmente alla rete ferroviaria europea grazie alla propria politica dei trasporti sostenibile garantendo così anche il pieno rispetto e promozione dell'art. 84 della Costituzione Svizzera a tutela e protezione delle Alpi [10].

Per ammodernare e potenziare le infrastrutture ferroviarie svizzere, la Confederazione ha elaborato un concetto di finanziamento speciale. Nel 1998 il popolo svizzero ha votato a favore del Fondo dei Trasporti Pubblici (FTP) (fig. 2) per la costruzione e finanziamento di 4 progetti di infrastruttura pubblica: la NFTA, Ferrovia 2000, il RAV cioè il raccordo della Svizzera orientale ed occidentale alla rete europea ad alta velocità e il risanamento fonico lungo le linee ferroviarie esistenti (figg. 3 e 4) [1].

steadily increasing traffic pollution. This implies the railway infrastructure modernization and integration into the European high speed network. The New Railway Link through the Alps (NRLA) (fig. 1) includes the links that cross the Alps without tackling steep slopes: the Lötschberg base tunnel opened in 2007, the Gotthard one opened to commercial traffic in December 2016 and the Ceneri will be inaugurated at the end of 2019 [12].

The base tunnels are situated along the Rhine-Alps corridor, the main North-South route for freight traffic. The "A" Rhine-Alps corridor, (also known as the corridor of the two seas), connects Rotterdam, Holland to Genoa, Italy via Germany and Belgium and is part of the European development plan to optimize the rail freight traffic and ensure the transport sustainability by transferring traffic from road to rail. About 200 million tons per year of goods travel along the 1,500 km [932 mi] North-South axis to be, distributed across Europe. In 2015, 25 million tons of these passed



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 1 - La NFTA nella rete ferroviaria europea.  
Fig. 1 - NRLA in the European railway system.



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 2 - Dati storici dell'evoluzione dell'opera.

Fig. 2 - Historical tunnel data.

Il finanziamento deriva per il 64% circa dalla tassa sul traffico pesante, per il 23% dall'aumento dell'IVA, per il 13% circa dalle imposte sui carburanti e la parte rimanente da mutui (fig. 5). Nel 1998 l'investimento complessivo previsto per l'intera NFTA è di 19,1 miliardi di CHF, cifra che non comprende il rincaro, l'IVA e gli interessi di costruzione. I costi di realizzazione della galleria di base

through Switzerland by rail; the volume is expected to double by 2030. By 2025, passengers will grow from the current 9,000 to 15,000 per year. Owing to the South-North axis of the Gotthard and the Ceneri, passenger transport will benefit even more due to the travel time reduction towards the Ticino, Valais and the city of Milan.

Through the NRLA, Switzerland contributed greatly to the European network thanks to its sustainable transport policy. This ensures full compliance with and promotion of the art. 84 of the Swiss constitution calling for the protection and preservation of the Alps [10].

The Swiss federal government has drawn up a special financing concept to modernize and strengthen the Swiss railway infrastructure. In 1998 the Swiss people voted in favor of Fund of Public Transport (FTP) (fig. 2), for the "construction and financing of 4 public infrastructure projects": NAFTA, Rail 2000, the RAV (the link of Eastern and Western Switzerland and European high-speed network) and noise abatement along existing rail lines (figg. 3 and 4) [1].

The financing consists of about 64 percent from the heavy traffic tolls, 23 percent from the VAT increase, about 13 percent from taxes on fuels and the remaining part from loans (fig. 5). The total investment for the entire NRLA was CHF 19,1 billion in 1998, a figure that does not include price increase, VAT and construction interests. The construction costs for the Gotthard base tunnel, amounting to CHF 13,1 billion, remained stable over the years and the guarantee credit was enough to finish the work as planned (fig. 6) [13].

### 3. The Gotthard Base Tunnel

#### 3.1. The track

The firm AlpTransit Gotthard Ltd was founded in 1998, is 100% owned by the Swiss Federal Railways (SBB) and is the Client of the NRLA on the Gotthard axis for the construction of the base tunnel [1] [13].

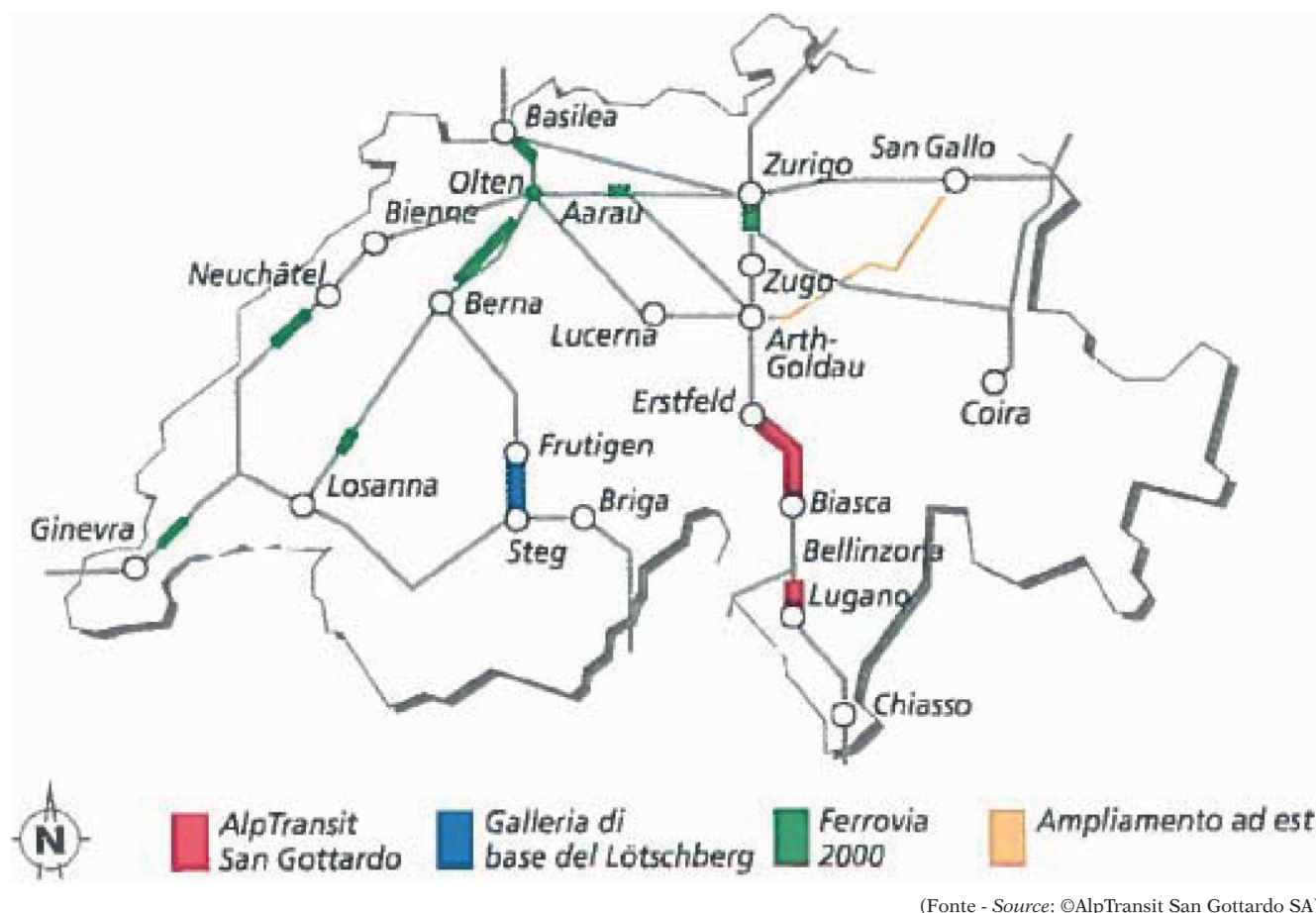
The company is also responsible of project management and exercises direct control over design and execution of the works.

The track can be divided into 3 main section:

- North Open Section (OSN), with a length of over 4 km [2,5 mi]. (km 95+350 – km 99+727), extending from the interconnection with the historical line in the Altdorf Station near Rynächt to North of Erstfeld portal;
- Section in tunnel of 57 km [35 mi];
- South Open Section (OSS), with a length of over 7 km [4,4 mi] (km 156+831 – km 164+246), extending from the South portal of the tunnel and the interconnection with the old line with the Justice node.

The three main section is called "perimeter of the Gotthard Base Tunnel".





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 3 - Schemi dei principali progetti di potenziamento ferroviario in Svizzera.

Fig. 3 - Upgrading railway projects scheme.

del San Gottardo pari a 13,1 miliardi di CHF, sono rimasti stabili nel corso degli anni e il credito d'impegno è stato sufficiente per terminare le opere come pianificato (fig. 6) [13].

### 3. La galleria di base del San Gottardo

#### 3.1. Il tracciato

La società AlpTransit San Gottardo SA è stata fondata nel 1998, è partecipata al 100% dalle FFS e ha ricoperto il ruolo di Committente della NFTA sull'asse del San Gottardo per la realizzazione della galleria di base [1] [13]. La società è anche responsabile del Project Management del progetto ed esercita un controllo diretto sulle fasi della progettazione e dell'esecuzione delle opere.

La galleria di base del San Gottardo è una struttura prevalentemente interrata ma presenta anche alcuni brevi tratti all'aperto. Si può procedere alla suddivisione in tre macro-tratte principali:

- la tratta all'aperto a nord (OSN), con lunghezza di oltre 4 km (km 95+350 – km 99+727), si estende dalla

The Gotthard base tunnel consists of two single track tunnels which a distance of 40 m [131 ft]. The single track tunnels are connected by cross passages every 325 m [1,066 ft] (fig. 7). The East one is called TN01, the West one is called TN02. Also consider all the connecting and access tunnels, as well as shafts, the total length of the tunnel system is 152 km [94 mi].

The base tunnel connects the North portal in Erstfeld (456 m [1,496 ft] asl) with the South portal in Bodio (313 m [1,027 ft] asl) with an S-shaped alignment which has optimized the tunnel length and location of the intermediate attachment points (fig. 8) [11] [13].

The shape of the track has avoided closeness to very steep slopes with unfavorable rock stress states for the construction. This alignment has avoided heavy impact on the landscape in the access areas of in addition to unfavorable geological factors. The geological aspects include the choice of an alignment with the most favorable rock structure in accordance with the construction techniques, and avoiding rock formations critical for the construction technique and high coverage's.

The alignment has followed a route with reduced risks





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

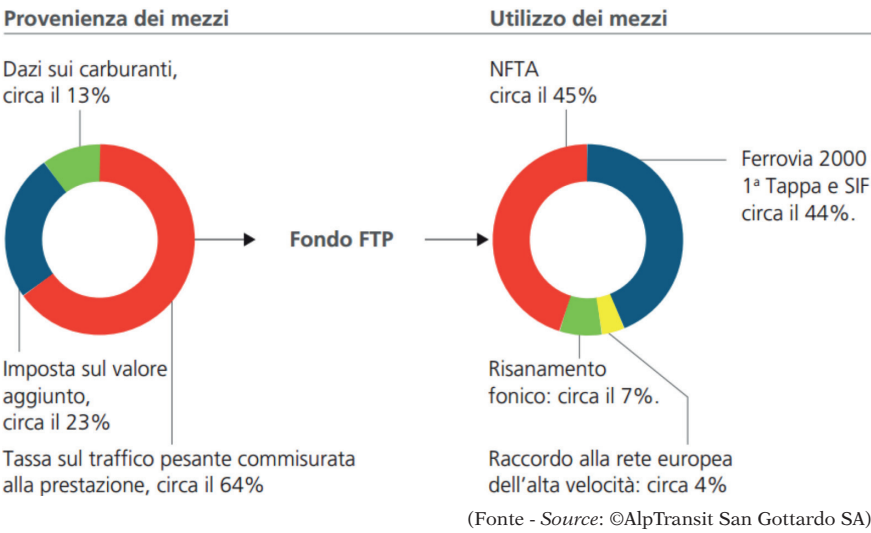
Fig. 4 - Le dorsali principali della rete ferroviaria europea.  
Fig. 4 - The main backbone of the European railway network.

interconnessione con la linea storica nella stazione di Altdorf, nei pressi di Rynächt, al portale nord di Erstfeld;

- la tratta in galleria di 57 km;
- la tratta all'aperto a sud (OSS), con lunghezza di oltre 7 km (km 156+831 - km 164+246), si estende dal portale sud della galleria e l'interconnessione con la linea storica presso il nodo di Giustizia.

L'insieme delle tre macro-tratte principali è denominato "perimetro della Galleria di Base del San Gottardo".

La parte interrata è costituita da due canne parallele con un interasse di circa 40 m. La canna est è denomi-



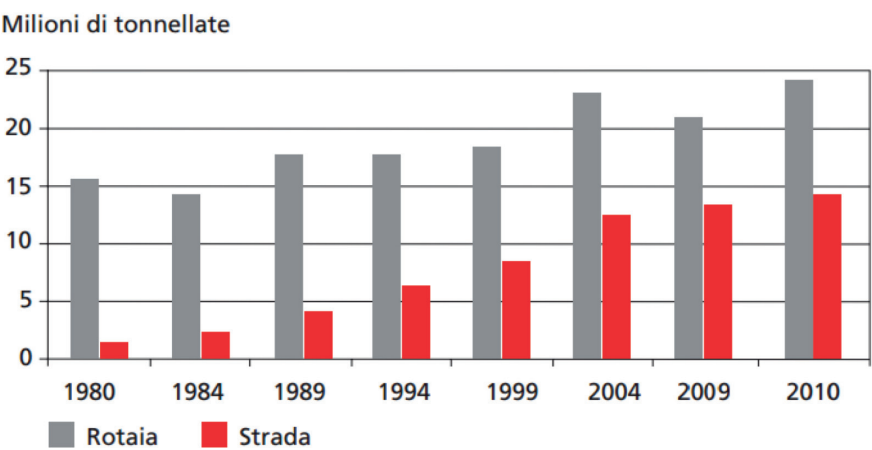
(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 5 - Finanziamento delle infrastrutture dei Trasporti Pubblici (FTP).  
Fig. 5 - Financing of Public Transport infrastructure (FTP).

nata TN01 mentre quella ovest TN02. Le canne a binario unico sono collegate fra loro da cunicoli trasversali ogni 325 m (fig. 7). Tenendo in considerazione anche tutti i cunicoli di collegamento e di accesso, nonché i pozzi, la lunghezza complessiva del sistema di gallerie è di 152 km.

La galleria di base collega il portale nord a Erstfeld (456 m slm) con il portale sud a Bodio (313 m slm) con un tracciato a forma di una grande “S” che ha ottimizzato la lunghezza della galleria e l’ubicazione dei punti di attacco intermedio (fig. 8) [11] [13].

La forma del tracciato ha evitato la vicinanza a pendii troppo ripidi con stati tensionali nella roccia sfavorevoli alla costruzione. Questo tracciato ha evitato di incidere inoltre, troppo fortemente sul paesaggio nella zona delle linee di accesso oltre a fattori di natura geologica sfavorevoli. Gli aspetti geologici comprendono la scelta di un tracciato che presenti rocce il più possibili favorevoli alle tecniche di costruzione, che eviti formazioni rocciose critiche dal punto di vista della tecnica costruttiva ed elevate coperture. Il percorso ha seguito un andamento dove è ridotto il rischio valanghe, inondazioni, caduta massi, smottamenti, frane, crolli di

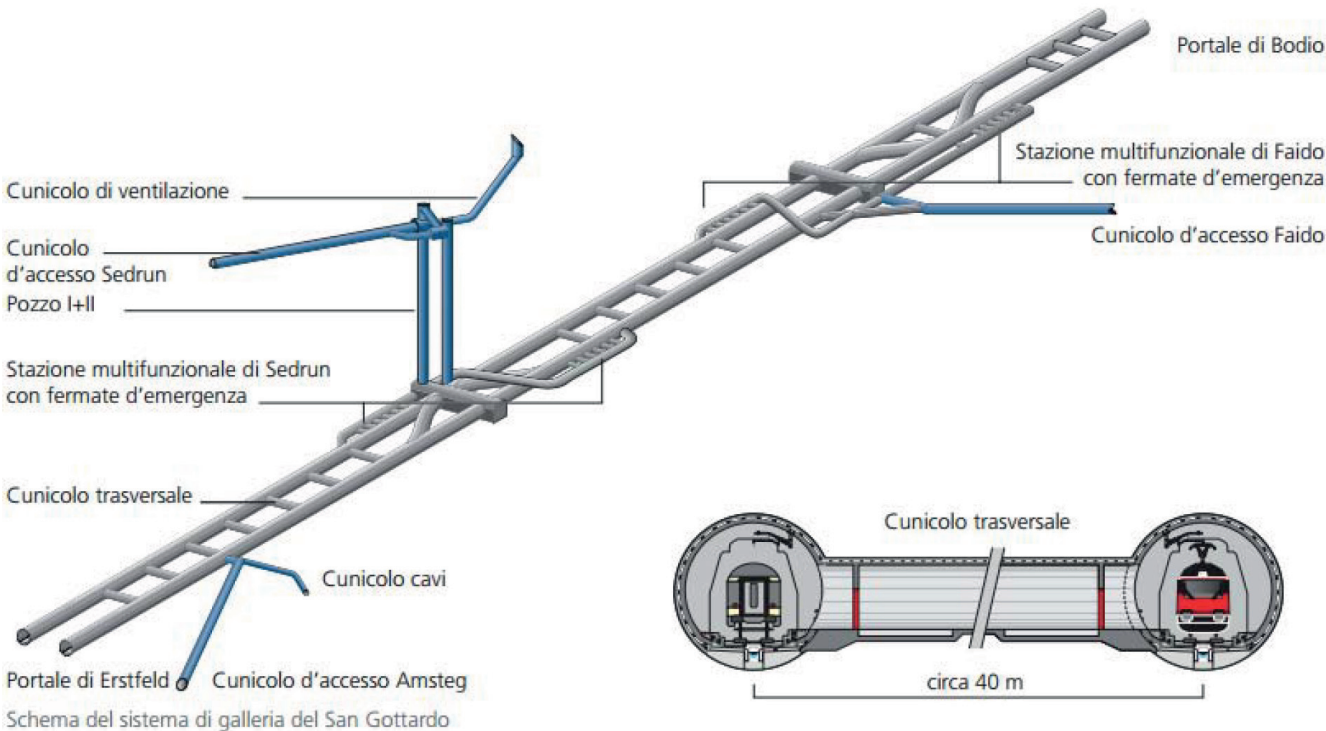


(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 6 - Evoluzione del traffico merci attraverso le Alpi dal 1980 al 2010.  
Fig. 6 - Evolution of freight traffic through the Alps from 1980 to 2010.

of avalanche, floods, rockfall, mudslides, landslides, collapses of rock walls, groundwater seepage and with easy connection and access.

The Gotthard base tunnel (table 1) with its 57 km [35 mi] holds the world record in terms of the railway tunnel length (it is 3.2 km [2 mi] longer than the Seikan tunnel in Japan). This data is even more significant considering that a total of 152 km [94 mi] of the tunnels have been ex-



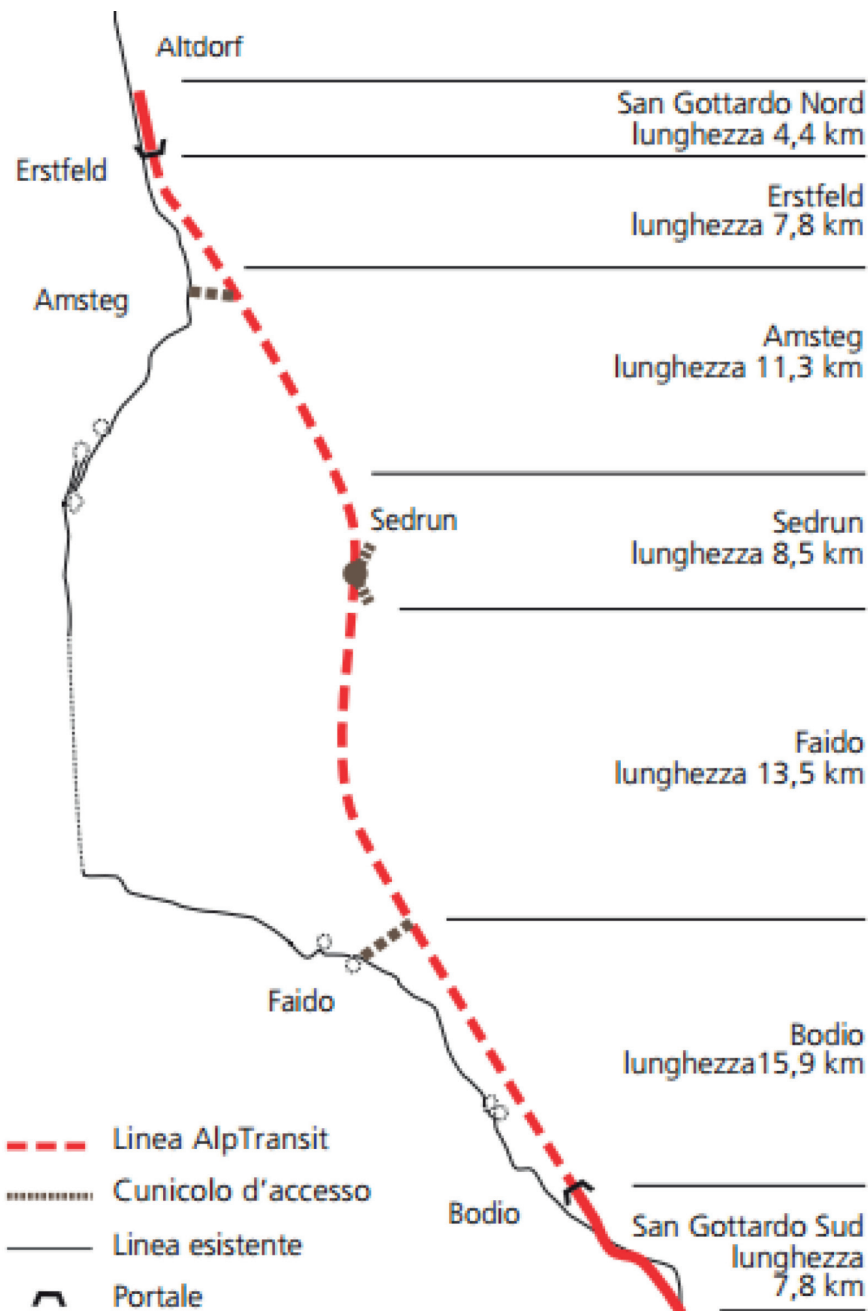
(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 7 - Schema del sistema di gallerie del San Gottardo.  
Fig. 7 - Scheme of Gotthard tunnel system.

pareti rocciose, infiltrazioni di acque sotterranee e garantisce facilità di collegamento ed accesso.

La galleria del San Gottardo (tabella 1) detiene il record mondiale in termini di lunghezza della galleria ferroviaria (supera di 3,2 km la galleria di Seikan in Giappone) con i suoi 57 km. Tale dato è ancor più significativo tenendo conto che per la realizzazione dell'opera sono stati scavati 152 km di galleria. Inoltre la galleria di base costituisce anche il primo percorso pianeggiante attraverso le Alpi o qualsiasi altra catena montuosa principale, con un'altezza massima di 549 m sul livello del mare (fig. 9) (la galleria storica costruita nel 1882 si trova a 1.150 m slm); in tal modo costituisce anche il tunnel ferroviario più profondo del mondo, con una profondità massima di circa 2.300 m, paragonabile a quella delle miniere più profonde della Terra. Senza ventilazione, la temperatura all'interno della montagna raggiunge i 45 °C (fig. 10) [8].

Il traffico ferroviario ad alta velocità pone dei requisiti tecnici molto elevati per quanto riguarda la precisione di costruzione. Affinché quanto realizzato corrisponda a quanto progettato è stato necessario, in una prima fase, che i topografi definiscano una rete topografica di base. In questa rete sono anche presenti i portali definiti con delle coordinate di riferimento. Ciò è il punto di partenza per costruire la rete di misurazione sotterranea a partire dalle coordinate dei portali. In questo modo, a partire dai portali, i topografi si sono avvalsi di diversi procedimenti al fine di stabilire l'insieme dei punti fissi della galleria. In fase di progettazione gli scarti tollerati erano pari a 25 cm in senso orizzontale e 12,5 cm in verticale. Prima della realizzazione della galleria il sistema svizzero presentava dati analogici della rete topografica svizzera. Per cui, ben prima dell'inizio delle lavorazioni, i Cantoni e i Comuni sono stati assistiti al fine di modernizzare e digitalizzare tutti i dati delle misurazioni ufficiali fino a quel tempo presenti. Successivamente, nelle aree del progetto, l'Ufficio Federale di Topografia in collaborazione con AlpTransit San Gottardo SA, ha infittito ed integrato nei dati di base la moderna rete di riferimento GPS (Global Positioning System) della Confederazione. In questo modo, pri-



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 8 - Il tracciato.

Fig. 8 - The railtrack.

cavated to finish the project. In addition, the base tunnel is also the first flat route through the Alps or any other major mountain range, with a maximum height of 549 m [1,949 ft] above sea level (fig. 9) (the historical tunnel built in 1882 is situated 1,150 m [3,773 ft] above sea level); this makes it also the deepest rail tunnel in the world, with a maximum depth of 2,300 m [7,546 ft], comparable to that of the deepest mines. Without ventilation, the temperature inside the mountains reaches 45°C [113°F] (fig. 10) [8].



TABELLA 1 – TABLE 1

Dati principali del tracciato  
Principal data of track

Lunghezza della Galleria di Base del San Gottardo <i>Gotthard Basis Tunnel length</i>	57 km in galleria <i>57 km in tunnel</i>
Tipologia di galleria <i>Tunnel type</i>	2 canne parallele a binario unico collegate ogni 325 m da cunicoli trasversali <i>2 single track tunnels connected by cross passages every 325 m</i>
Lunghezza dei comparti <i>Sections length</i>	Erstferld: 7,2 km Amsteg: 11,3 km Sedrun: 8,5 km Faido: 15 km Bodio: 15 km
Lunghezza dei cunicoli di accesso e di smarino <i>Access and muck tunnels length</i>	Amsteg: 2,2 km Sedrun: 0,9 km + 2 pozzi/shafts (0,850 e/and 0,820 km) Faido: 2,6 km Bodio: 3,2 km
Lunghezza cunicolo di accesso comparto Amsteg <i>Amsteg section access tunnel length</i>	2,2 km
Lunghezza cunicolo di accesso comparto Sedrun <i>Sedrun section access tunnel length</i>	0,9 km
Lunghezza dei pozzi di accesso di Sedrun <i>Sedrun shafts length</i>	0,850 e 0,820 km
Lunghezza cunicolo di accesso di Faido <i>Faido section access tunnel length</i>	2,6 km
Lunghezza del cunicolo di smarino di Bodio <i>Bodio section muck tunnel length</i>	3,2 km
Lunghezza totale dei cunicoli trasversali <i>Cross passages total length</i>	7 km
Lunghezza totale dei cunicoli delle stazioni multifunzionali e altri cunicoli accessori <i>Multifunctional stations tunnels and service passages length</i>	20,4 km
Lunghezza dell'intero sistema di gallerie e cunicoli <i>System length</i>	152 km
Quote della galleria <i>Tunnel height</i>	Portale nord di Erstfeld: 456 m slm <i>Erstfeld North portal: 456 m asl</i> Punto più alto (comparto Sedrun): 550 m slm <i>Highest point (Sedrun section): 550 m asl</i> Portale sud di Bodio: 313 m slm <i>Bodio South portal: 313 m asl</i> Profondità massima: 2.300 m dal p.c. <i>Maximum depth: 2,300 m below the surface level</i>

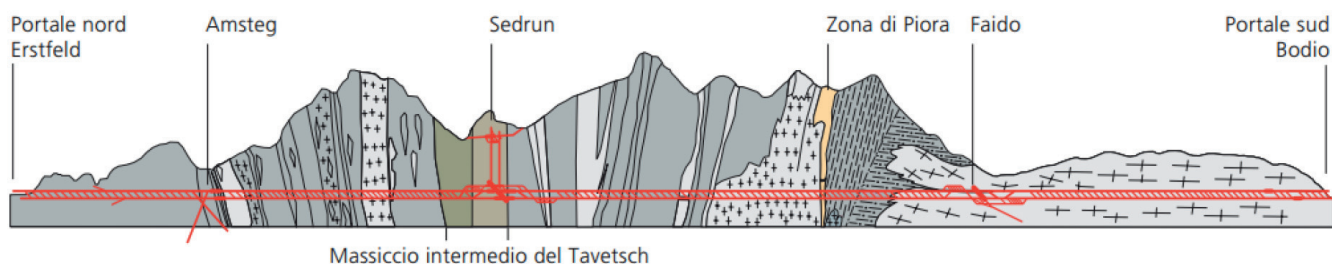
The high speed rail traffic demand very high technical standards regarding the precision of the construction. In order that what has been built correspond to what is designed, it was necessary in the first phase, that the surveyors define an external topographic base network. In this network there are also the portals defined with the reference coordinates. This is the starting point for the construction of an underground measurement network starting from the coordinates of the portals. In this way, starting from the portals, the surveyors have used different methods to determine the set of fixed points of the tunnel. In design phase the permissible deviations were equal to 25 cm [9.8 in] horizontally and 12.5 cm [5 in] vertically. Before the realization of the tunnel, the Swiss system presents only analog data of the topographic network. So, before the start of the works, the Cantons and the municipalities have been assisted to modernize and digitize all the data of the official measurements. Later, in the project areas, the Federal Office of Topography in collaboration with AlpTransit Gotthard Ltd, has thickened and integrated in the basic dates of the modern GPS network of the Confederation. In this way, before starting the works, there was available a thick network of digital points on which to base the topographic survey. In the case of the Gotthard base tunnel, given its unique dimensions, in order to carry out the work, in addition to referring to the network of points described above was necessary to introduce mathematical formulas to allow to take into account the curvature of the Earth. For example, therefore, the shafts of Sedrun depth 800 m [2,625 ft], are not perfectly vertical but slightly curved. Another difficulty encountered is the fact that the tectonic process of Alpine bending is not yet completed. The lifting of about 1 mm [0,04 in] a year has been taken into

ma dell'inizio dei lavori, vi era a disposizione una fitta rete di punti digitali sulla quale basarsi per i rilievi topografici. Nel caso della galleria di base del San Gottardo, viste le sue dimensioni uniche, al fine di realizzare l'opera, oltre a fare riferimento alla rete di punti sopra descritta è stato necessario introdurre delle formule matematiche per permettere di tenere in considerazione la curvatura terrestre. Per esempio, quindi, i pozzi di Sedrun profondi 800 m, non sono perfettamente verticali ma leggermente

consideration both during the construction phase but also during the operating phase.

To minimize risks and avoid measurement errors, they are continuously performed independent control measurements in addition to those performed by AlpTransit Gotthard Ltd and by the contractor.

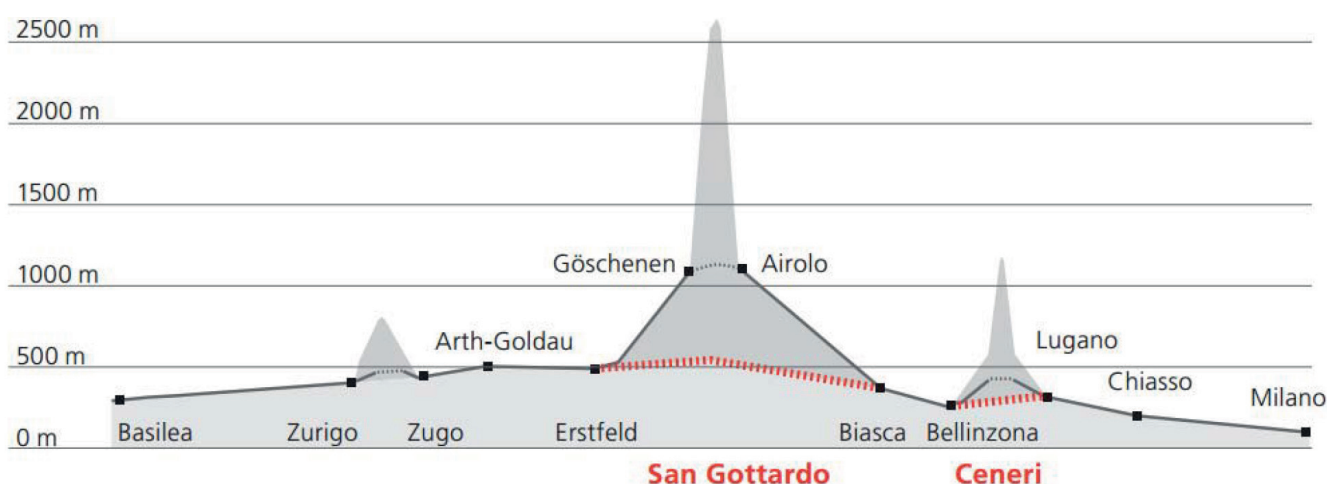
The survey of the Sedrun shafts accounted for surveyors one of the major challenges of the project. The transposition



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 9 - Profilo longitudinale della galleria di base.

Fig. 9 - Longitudinal profile of base tunnel.



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 10 - Ferrovia di pianura sull'asse del San Gottardo e del Ceneri.

Fig. 10 - Flat railway on Gotthard axis.

curvi. Un'altra difficoltà incontrata è data dal fatto che il processo tettonico di piegamento alpino non è ancora ultimato. I sollevamenti pari a circa 1 mm l'anno sono stati presi in considerazione durante le fasi sia costruttiva sia di esercizio.

Per minimizzare i rischi ed evitare errori di misurazione, vengono costantemente eseguiti dei rilievi di controllo indipendenti oltre a quelli eseguiti da AlpTransit San Gottardo SA e da parte dell'imprenditore.

I rilievi del pozzo di Sedrun hanno costituito per i topografi una delle sfide più importanti dell'intero progetto. La trasposizione delle coordinate dall'alto verso il basso, è stata eseguita in un primo momento con mezzi meccanici con l'impiego del filo a piombo e dei grossi pesi e poi a più riprese utilizzando un piombo ottico. La trasposizione dell'orientamento (determinata con il tacheometro e verificata e corretta con l'impiego del giroscopio) è stata verificata ulteriormente per mezzo dell'uso di strumenti inerziali. Quest'ultimi sono stati impiegati per la prima volta al mondo nel campo dell'ingegneria della geomatica. In questo modo la galleria di base detiene un ulteriore record relativo alla geomatica stessa.

Sono state anche utilizzate delle tecnologie di scansio-

of the coordinates from the top downward, was performed at first by mechanical means with the use of a plumb line and the heavy weights and then repeatedly using an optical lead. The transposition of orientation (determined with the tachometer and verified and corrected with the use of the gyroscope) was further verified by means of the use of inertial instruments. The latter were used for the first time in the world in the field of geomatics. In this way, the base tunnel holds another record about geomatics matters.

Also they have been used of the laser scanning technologies that are able to detect up to 500,000 points per second. In this way they are obtained very detailed surveys of the interior of the tunnel so as to detect any even very fine cracks in the concrete. This technique has been crucial for the testing of the hard works and its subsequent delivery to the railway installation activities. In regard to the latter, for the laying of tracks, it has resorted to measuring carts thanks to a multitude of sensors in order to allow the collection and processing of all the measurements taken [9] [11].

### 3.2. Project management

In order to complete successfully a highly complex project such as the Gotthard base tunnel, an efficient and ac-

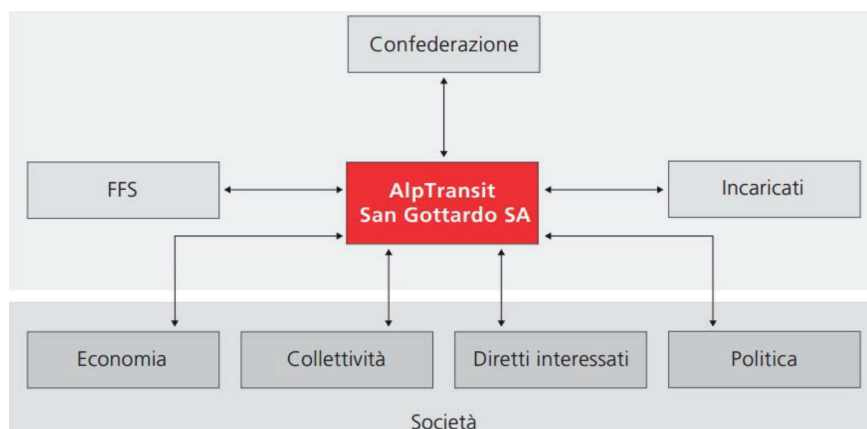
ne laser che sono in grado di rilevare fino a 500.000 punti al secondo. In questo modo si sono ottenuti dei rilievi molto dettagliati dell'interno della galleria tanto da rilevare persino eventuali crepe molto sottili nel calcestruzzo. Questa tecnica è stata fondamentale per il collaudo della costruzione grezza e la successiva consegna per le attività di tecnica ferroviaria. In riferimento a quest'ultima, per la posa dei binari, si è fatto ricorso a carri misuratori che grazie ad una moltitudine di sensori permettevano la raccolta e l'elaborazione di tutte le misure effettuate [9] [11].

## 3.2. La gestione del progetto

Per portare a termine con successo un progetto altamente complesso come quello della galleria di base del San Gottardo è necessario avvalersi di un sistema di conduzione e management efficiente e preciso e che sia adeguato in funzione delle varie fasi del progetto. Questo progetto presenta tutte le caratteristiche dei grandi progetti quali: lunga durata, elevato numero di partecipanti, elevato grado di complessità, scadenze serrate, elevate esigenze qualitative, richieste di modifiche, numerosi rischi e costi elevati. Questi elementi costituiscono sfide importanti per il management. L'opera della galleria del San Gottardo ha una durata tale che si estende a più generazioni: la durata di progettazione e realizzazione è di quasi 30 anni. Una durata così lunga è davvero particolare per la realizzazione di un'opera anche se di grandi dimensioni. Vista la durata dell'intervento, gli interlocutori del progetto sono variati nel corso dello stesso ed è necessario che tutti i partecipanti posseggano competenze specifiche e gli strumenti adeguati ma anche le conoscenze passate. E' necessario inoltre che l'organizzazione del progetto sappia gestire questi avvicendamenti nel migliore dei modi e sappia inoltre trasferire le conoscenze agli attori successivi. Infatti si è stabilito e approntato un sistema di knowledge management che ha premesso che tutte le informazioni relative al progetto possano essere trasmesse nel tempo ai vari attori. L'opera presenta inoltre un carattere pionieristico e numerose attività verranno eseguite una sola volta per le caratteristiche di unicità della galleria in termini di dimensioni. Sono stati quindi utilizzati diversi strumenti della gestione. Uno strumento centrale della gestione di AlpTransit San Gottardo SA sono le trimestrali sessioni di verifica finalizzate ad individuare gli scostamenti in termini di tempi, costi e qualità e le previsioni a finire. Un altro strumento è l'impiego di reportistica consistente, coordinata a scadenza semestrale ottenuta con i risultati delle sessioni di verifica, che consente di informare le Autorità in modo chiaro, trasparente e fonda-

curate management system was needed. It had to be adequate for the different stage of the project. This project has all the characteristics of major projects such as: long-life, numerous stakeholders, high degree of complexity, lockouts deadline, high quality requirements, changes request, many risks and high costs. These elements are important challenges for the management. The works of Gotthard base tunnel span over several generations: the design and construction phases have taken about 30 years. Such a long duration is unusual even for the construction of large proportions. Considering the duration of the project, the stakeholders have changed during the process and it was important that all possessed both specific skills and adequate tools, and the familiarity with old knowledge. It was also required that the project was managed through these changes in the best possible way, ensuring the transfer of knowledge to the new participants. To this effect a knowledge management system has been developed and established to ensure that all the relevant project information can be transferred to all the stakeholders.

The work also has a pioneering nature and numerous activities have been performed only once due to the unique size of the tunnel, which is why different management tools have been used. A central instrument for the AlpTransit Gotthard Ltd management were the quarterly review sessions aimed to identify gaps in time, cost and quality and the forecast to finish. Another tool was the use of consistent reporting resulting from the outcome of the verification sessions and coordinated every six months that help to inform the authorities in a clear, transparent and well-founded way. There were also additional tools for the Local Construction Supervisor (LCS) related to the daily, weekly or monthly information flows. The management of design changes, foreseeable in long-term, very complex projects, included on the one hand the in-depth detail study or the concretization of the project, and on the other one contractual adjustments. All reporting and general documentation was updated so that ordering, execution and project are consistent (fig. 11) [11].



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 11 - Le relazioni di AlpTransit.  
Fig. 11 - The AlpTransit relations.



to. Vi sono anche strumenti complementari di conduzione delle Direzioni Locali dei Lavori (DLL) che sono collegate con flussi di informazione giornaliera, settimanale o mensile. La gestione delle modifiche di progetto, prevedibili in progetti di così lunga durata ed elevata complessità, comprendeva da un lato l'approfondimento del dettaglio o la concretizzazione del progetto e dall'altro il relativo adeguamento contrattuale. Tutta la reportistica e documentazione in generale era aggiornata in modo tale che ordinazione, esecuzione e progetto siano congruenti (fig. 11) [11].

## 4. La costruzione grezza

I lavori di costruzione sono iniziati nel 1999 e la galleria di base è stata suddivisa in cinque diversi comparti denominati da sud a nord: Bodio, Faido, Sedrun, Amsteg ed Erstfeld. Si è fatto ricorso a contratti a corpo e a misura per i lotti di Amsteg, Sedrun, Bodio e Faido da un lato e contratti globali (tipo general contractor) per il lotto di Erstfeld, dall'altro. E' da sottolineare come i contratti globali siano una rarità nel mondo del sotterraneo poiché i rischi legati agli aspetti geologici di solito sono assunti dal committente. Nel caso del lotto di Erstfeld, le certezze riguardo le condizioni geologiche e le tecniche di costruzione erano tali che la soluzione globale si presentava come la più vantaggiosa per entrambe le parti.

A seguito della costruzione dei cunicoli di accesso si è potuto consentire al personale, al materiale e ai macchinari di raggiungere i cantieri nel cuore della montagna. Per risparmiare tempo e costi si è proceduto simultaneamente nei diversi comparti [8] [7].

### 4.1. Il comparto di Bodio

Le previsioni geologiche hanno attribuito al comparto di Bodio, della lunghezza di 15,9 km, una situazione favorevole dal punto di vista geologico vista la presenza di strati di gneiss. A dispetto di tale previsione, dopo che la TBM (Tunnel Boring Machine) aveva percorso 200 m nella canna est si è trovata di fronte ad una faglia inaspettata della quale si è reso necessario l'attraversamento per tutta la sua lunghezza pari a 400 m. Gli scavi hanno così proceduto incontrando altra roccia poco favorevole a causa delle forti pressioni esercitate sulla galleria che tendono a chiuderla in modo sempre maggiore. Tali forze hanno prodotto, nel marzo 2006, il blocco della testa freiatrica della TBM nella roccia causando uno stop dei lavori di 10 giorni. Infatti si è reso necessario effettuare un intervento di sovrapprofilatura della volta per poterla liberare.

Il comparto di Bodio (fig. 12) vede anche una parte del tracciato a cielo aperto costituita da due canne accoppiate separate da un muro divisorio (fig. 13). La parte a cielo aperto è stata realizzata a tappe di 6 m ad armatura continua senza giunti di dilatazione. La platea e la volta

## 4. Civil works

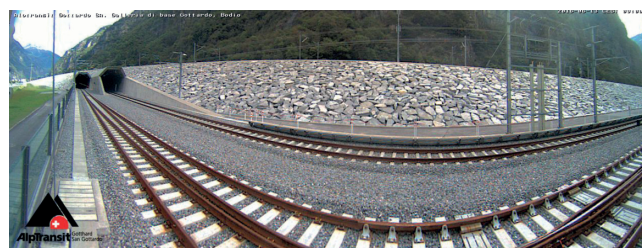
*The construction began in 1999 and the base tunnel has been divided into five sections from South to North: Bodio, Faido, Sedrun, Amsteg and Erstfeld. Lump-sum and unit price contracts were used for the Amsteg, Sedrun, Faido and Bodio sections on the one hand, and global contracts (general-contractor style) for the Erstfeld section on the other hand. Global contracts are rare in the underground construction world because the employer usually undertakes geological risks. In the Erstfeld section the certainties about the geological conditions and the construction techniques made the global solution appear the most advantageous for both parties.*

*The access underground passages allowed the people, materials and machinery to reach the construction sites in the hearth of the mountain. To save time and costs the work proceeded simultaneously in different sectors [8] [7].*

### 4.1. The Bodio section

*The geological forecast characterized the 15.9-km [9.9 mi] Bodio section as gneiss, therefore a favorable situation from the geological point of view. Despite this, after the TBM had penetrated 200 m [656 ft] into the East tube, an unexpected fault was found and it had to be bored its entire length of 400 m [1,312 ft]. Excavations continued amidst other unfavorable rock due to the high pressure exerted on the tunnel that tend increasingly to close the tunnel. In March 2006, due to the pressure on the TBM milling head, the TBM got stuck in the rock, causing a ten-day work stoppage. Over-profiling above the of the vault was required to free the machine.*

*The Bodio section (fig. 12) of the tunnel is open-pit and consists of two coupled pipes separated by a partition wall (fig. 13). The open-pit part was built in 6-m steps with continuous reinforcement and without expansion joints. The rail platform and the vault have been built in two distinct phases. The securing of the tunnel was done by anchoring the walls to the bored piles.*



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 12 - Tratta a cielo aperto a Bodio (in lontananza è visibile il portale sud).

Fig. 12 - Open-pit track in Bodio (it is possible to see the South portal).



(Fonte - Source: ©Corriere della Sera)

Fig. 13 - Portale sud a Bodio.  
Fig. 13 - South portal in Bodio.

sono state realizzate in due fasi distinte. La messa in sicurezza della galleria è stata realizzata assicurando le pareti ai pali trivellati.

#### 4.2. Il comparto di Faido

Il comparto di Faido ha una lunghezza di 13,3 km. L'accesso al comparto di Faido, avviene attraverso un cunicolo della lunghezza di 2,7 km con una pendenza fino al 13%, alla base del quale è stata realizzata una delle due stazioni multifunzionali. Le due stazioni multifunzionali di Faido e Sedrun suddividono entrambe le canne che costituiscono la galleria di base in tre tratti con lunghezza circa uguale. Le stazioni multifunzionali sono costituite da uno speciale sistema di gallerie e pozzi per una lunghezza totale di 6 km ciascuna. I collegamenti tra le due canne consentono ai treni il cambio corsa così possono essere aggirate alcune tratte durante i lavori di manutenzione. Al fine di ottimizzare gli interventi di manutenzione per le opere civili, essi avvengono in contemporanea alle manutenzioni degli impianti di tecnica ferroviaria che in seguito saranno meglio illustrati. Le stazioni multifunzionali ospitano diversi sistemi di comando e di controllo che sono indispensabili per l'esercizio e ospitano anche gli impianti di alimentazione di corrente di trazione. Esse sono utilizzate per svolgere inoltre la funzione di gestione delle emergenze (fig. 14), infatti, in caso di evento straordinario, come ad esempio un incendio a bordo del convoglio o un'avaria all'interno della galleria di base del San Gottardo, nei limiti del possibile si cerca di far uscire il treno dalla galleria ma in alternativa, il macchinista può arrestare il convoglio presso una di queste fermate di emergenza.

Le due canne dispongono infatti di banchine della lunghezza di 450 m e larghe 2 m e presentano dei cunicoli di collegamento che permettono ai passeggeri di raggiungere un cunicolo parallelo mantenuto in sovrappressione così da risultare libero da fumo. Da qui, tramite de-

#### 4.2. The Faido section

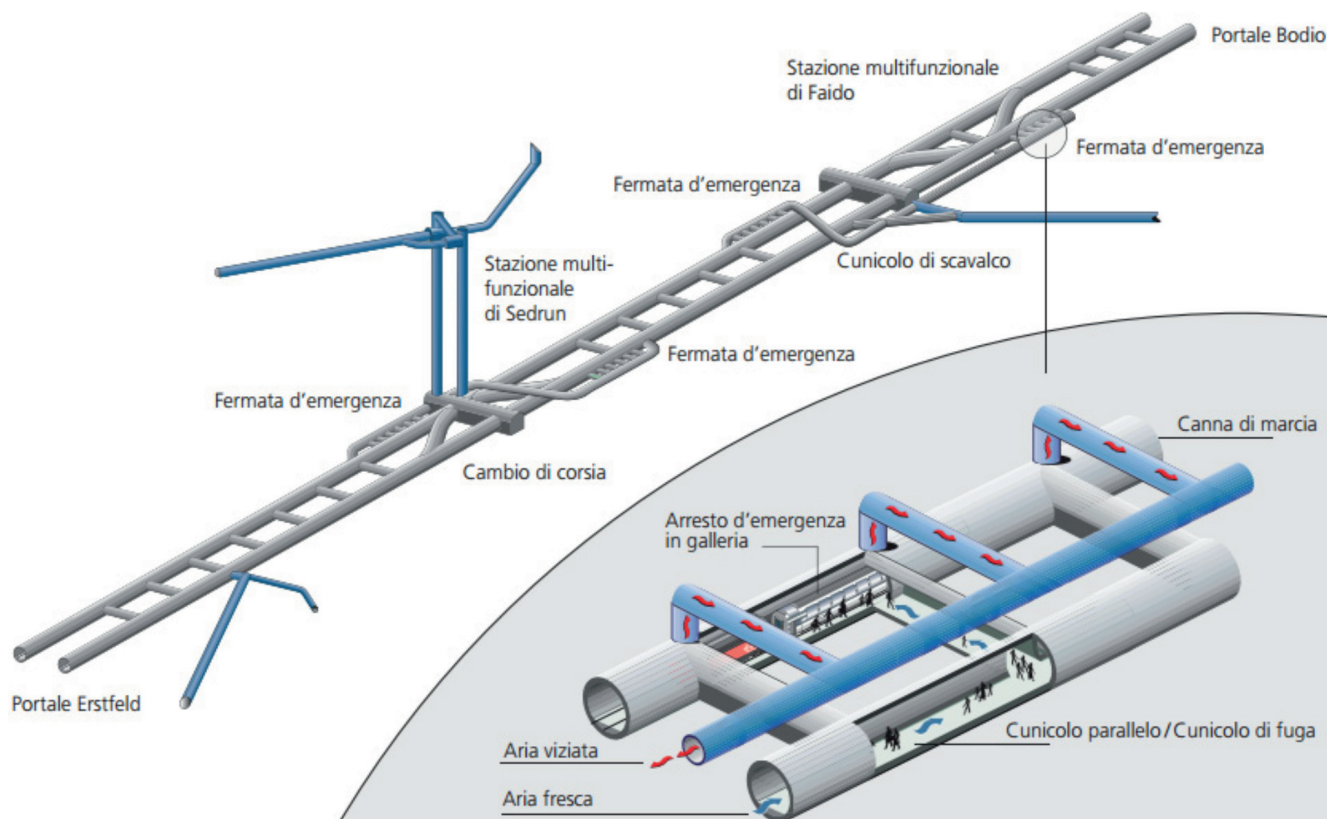
The access to the 13,3 km [8.2 mi] Faido section, is through a 2.7 km [1.7 mi] underground passage at gradients of up to 13 percent. One of the two multifunction stations is located at the end of the underground access passage. The Faido and Sedrun multifunction stations divide both tubes of the base tunnel into three sections of approximately the same length.

The multifunctional stations consist by a special system of tunnels and shafts for a total length of 6 km [3.7 mi] each. The links between the two tubes allow train route changes so that some line sections can be bypassed during maintenance work. In order to optimize the civil works maintenance, it takes place simultaneously with the railway installation maintenance, the later will be described in some detail below. The multifunction stations host different command and control systems required for train operation, and the power supply and traction power installations. Emergencies (fig. 14) are also managed from there. In case of an extraordinary event, such as a fire on board of a train or a breakdown inside the Gotthard base tunnel, attempts are made as far as feasible to roll the train out of the tunnel or, alternatively, the driver stops the train in one of these emergency stops.

The two tubes have 450-by-2 m [1,476-by-7 ft] platforms with several connecting underground passages which allow passengers to reach the parallel pipe in overpressure to keep it free from smoke. From here, passengers reach the pipe for the opposite direction through the underground access passages, where traffic is blocked. From there they can be evacuated by another train. The very hot and toxic smoke generated by a train on fire is regularly aspirated through the seven suction openings placed over the emergency stops and vented outside: in Sedrun in Nalps Valley and in Faido outside the portal. Geological forecasts assumed that the entire multifunctional station would be in gneiss layer, a favorable situation from geological point of view. The first excavations seemed to confirm this prediction until April 2002, a month and a half after the start of works, there was a cave-in of the transverse cavern. The subsequent geological surveys suggested that the soil was traversed by a fault with squeezing and crumbling rock. Based on the new information, the ad-hoc task force set up by AlpTransit Gotthard Ltd for the situation pointed out that it was not economically and technically feasible to maintain the branch pipes in their original design positions and the original layout has been modified by moving the branch pipes South by 600 m [1,969 ft], outside the fault zone and into a geologically favorable soil. The pushing and squeezing rock in the fault zone caused significant deformation of the tunnel profile.

The excavation was immediately followed by the construction of the securing of the tunnel. This operation consisted in the construction of a concrete ring (which can be reinforced or not) within the tunnel bore itself. During the securing phase, some longitudinal grooves were left in the





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 14 - Fermate di emergenza nella galleria di base del San Gottardo.

Fig. 14 - Emergency stops in the Gotthard base tunnel.

gli altri cunicoli, i passeggeri raggiungono la canna nella direzione opposta, bloccata al traffico, dove possono essere messi in salvo da un treno di evacuazione. I fumi ad alta temperatura e tossici che si sprigionano da un treno in fiamme vengono puntualmente aspirati attraverso i sette bocchettoni di aspirazione disposti sopra la fermata di emergenza e convogliati all'esterno: a Sedrun nella Val Nalps e a Faido all'esterno del manufatto del portale. Le previsioni geologiche ritenevano che l'intera stazione multifunzionale fosse in uno strato di gneiss, situazione favorevole dal punto di vista geologico. I primi scavi sembravano confermare questa previsione sino all'aprile 2002, quando, un mese e mezzo dopo l'inizio dei lavori, si è verificato un franamento della caverna trasversale. Le successive indagini geologiche evidenziano che il terreno in realtà è attraversato da una faglia con roccia spingente e friabile. Alla luce di queste nuove informazioni la task force costituita ad hoc da AlpTransit San Gottardo SA per la situazione, ha evidenziato come non sarebbe stato ne' economicamente ne' tecnicamente fattibile mantenere le canne di diramazione nella posizione prevista da progetto. A fronte di tali informazioni il layout originale è stato così modificato spostando le canne di diramazione di 600 m verso sud al di fuori della zona di faglia e quindi in un terreno favorevole da un punto di vista geologico. La roccia spingente nella zona della faglia ha causato impor-

shotcrete. Under the rock pressure, they could close while remaining undamaged despite strong deformation. In the areas subject to greater pressure specific supporting arches have been laid such as in northbound direction where the West pipe crossed the fault at a very small angle. Steel profiles couldn't resist the strong pressures and that area required a reconstruction. The excavation was enlarged to accommodate possible future deformation. The use of more deformable arches proved the winning solution.

In the Faido section other challenges had to be faced, such as mountain instabilities resulting in detachment of material and vault deformation due to detensioning. Another example of a challenge is at the Piora geological area, consisting of saccharoidal dolomite, a white and weak rock. It has been the subject of considerable investigations in order to identify the best technique for crossing it at the most favorable point and along the shortest possible route. The task force dedicated for the crossing has developed an action plan to face various possible events in order to minimize the risks of crossing in terms of work safety, cost and time. Changes to the TBM cutters (fig. 15) have been made to increase the diameter by about 8 percent. A prudent approach was maintained using numerous surveys and the result was a smooth crossing without problems or inconvenience (fig. 16).



tanti deformazioni al profilo della galleria. Quindi immediatamente dopo aver realizzato lo scavo si è dovuto procedere con la realizzazione della messa in sicurezza della galleria. Questa operazione consiste nella realizzazione di un anello in calcestruzzo (che può essere rinforzato o meno) realizzato all'interno del lume della galleria stessa. Durante la fase di messa in sicurezza della galleria, all'interno del calcestruzzo spruzzato sono stati lasciati liberi degli intagli longitudinali che, sotto la pressione della roccia, hanno potuto chiudersi rimanendo indenni pur malgrado le forti deformazioni. Nelle zone soggette a maggiore pressione sono state posate delle specifiche centine di sostegno come ad esempio in direzione nord dove la canna ovest ha attraversato la faglia con un angolo di incidenza molto piccolo. In questa zona i profilati in acciaio non hanno resistito alla forte pressione e il tratto ha necessitato di un intervento di risanamento. La sezione dello scavo è stata allargata per poter tenere in considerazione eventuali nuove future deformazioni. L'impiego di ulteriori centine deformabili si è rivelata la soluzione vincente.

Nel comparto di Faido si sono affrontate altre sfide come ad esempio, a causa del detensionamento dell'ammasso, i colpi di montagna che hanno determinato distacchi di materiale e deformazioni della volta. Un altro esempio di sfida è in corrispondenza della zona geologica di Piora, costituita da dolomia saccaroide, una roccia bianca e poco resistente. Questa è stata oggetto di notevoli indagini al fine di individuare la tecnica migliore per l'attraversamento nel punto più favorevole e più breve. La task force dedicata all'attraversamento ha elaborato un concetto di attraversamento con un piano di provvedimenti per vari eventi possibili, atto a minimizzare i rischi dell'attraversamento stesso in termini di sicurezza sul lavoro, costi e tempi. Sono state così eseguite delle modifiche alle frese scavatrici (fig. 15) aumentandone il diametro di circa l'8% ed effettuando un prudente avvicinamento con numerosi sondaggi. Si è ottenuto così un attraversamento della zona senza problemi ed inconvenienti (fig. 16).

### 4.3. Il comparto di Sedrun

Il comparto di Sedrun ha una lunghezza di 8,5 km. L'accesso ad esso è stato realizzato mediante un cunicolo orizzontale della lunghezza di 1 km e due pozzi della profondità di 800 m ciascuno. All'interno del pozzo era installato un potente mezzo di trasporto verticale in grado di sollevare ogni giorno fino a 6.000 tonnellate di materiale lungo gli 800 m del pozzo. Il tempo di percorrenza del pozzo con tale sistema di trasporto era di circa 1 minuto. Dal 1999 sono iniziati i lavori del pozzo di Sedrun con la realizzazione dei primi 78 m del pozzo preliminare. Nella testa del pozzo erano installate le strutture di sollevamento e la piattaforma di lavoro: cinque piani per 16,5 m di altezza e un peso di 85 tonnellate. Partendo dal piano del pozzo preliminare una perforatrice jumbo pra-



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 15 - TBM a Faido.

Fig. 15 - TBM in Faido.

### 4.3. The Sedrun section

The access to the 8.5-km [5.3-mi] Sedrun section has been using a 1-km [0.6-mi] horizontal tunnel and two 800-m [2,625 ft] deep shafts. Inside the shaft a powerful means of vertical transport was installed having the capacity of 6,000 tons of material per day along the 800 m [2,625 ft] of the shaft. The travel time was about 1 minute. Work in Sedrun shaft began in 1999, with the construction of the first 78 m [256 ft] of the preliminary shaft. In the head of the shaft were installed lifting structures and the work platform: five floors and 16.5 m [54 ft] in height and a weight of 85 tons. Starting from the floor of the preliminary pit, a jumbo drilling machine bored about 170 holes for blasting, which were filled with 600-700 kg of explosive. The blast happened after removing and hoisting all equipment and the work platform, and after that all the staff had moved away. The depth of excavation for each blasting was about 3 m [10 ft]. The gases generated by the explosion were ab-



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 16 - Interno della galleria nel tratto di Faido.

Fig. 16 - Inside the tunnel in Faido section.

ticava circa 170 fori da mina, i quali erano riempiti con 600 - 700 kg di esplosivo. Il brillamento avveniva dopo aver rimosso e sollevato tutte le apparecchiature e la piattaforma di lavoro e dopo che tutto il personale si fosse allontanato. La profondità di scavo per ciascun brillamento misurava circa 3 m. I gas provocati dall'esplosione erano assorbiti dopo mezz'ora e le maestranze potevano rientrare nel pozzo e procedere, per mezzo di benne installate sotto la piattaforma di lavoro, a rimuovere il materiale e con dei verricelli a farlo fuoriuscire dal pozzo stesso. La superficie del pozzo scavata era prima assicurata mediante tiranti di ancoraggio lunghi 4 m seguiti da uno strato di 10 cm di calcestruzzo a proiezione con armatura a rete. In seguito, dalla piattaforma di lavoro, veniva allestito un anello in calcestruzzo con uno spessore minimo di 25 cm. Infine era possibile ancorare alle pareti le infrastrutture per l'acqua potabile, di montagna, reflua, l'aria compressa, le condotte di areazione, i cavi elettrici e per le comunicazioni e il tubo per il calcestruzzo per i getti di avanzamento. In tal modo i pozzi costituiscono le arterie principali del progetto attraverso le quali il materiale di scavo viene allontanato dal cantiere e il materiale nuovo viene approvvigionato. Attraverso tali arterie sono inoltre garantiti i servizi essenziali (alimentazione elettrica, ventilazione,...) (fig. 17).

Dai pozzi si è avanzato in entrambe le canne per la prima porzione con l'impiego di cariche di esplosivo in direzione nord verso Erstfeld nel Canton Uri e in direzione sud verso Bodio nel Canton Ticino (fig. 18). L'avanzamento convenzionale ha previsto l'impiego di esplosivo di tipo Emulga (emulsione esplosiva pompabile) con un rendimento medio in condizioni favorevoli variabile tra i 3 e 4,5 m mentre in condizioni sfavorevoli di circa 1 m con un avanzamento massimo di 11,5 m il 20 ottobre 2014.

#### 4.4. Il comparto di Amsteg

Prima di poter iniziare i lavori nel comparto di Amsteg è stato necessario realizzare le opere preliminari quali la nuova strada cantonale Silenen-Amsteg e il relativo raccordo autostradale, il raddoppio (da 2 a 4) binari del collegamento ferroviario industriale creato per la costruzione della centrale elettrica di Amsteg per sfruttarli a fini logistici per il cantiere e la realizzazione del campo base con alloggi per le maestranze e per il personale tecnico impiegato nella costruzione, mensa, uffici di cantiere e aree di stoccaggio e di manovra.

Tutte le aree ove sorgono le opere preliminari sono riportate allo stato originario al termine dei lavori. Concluse le opere preliminari è stato possibile procedere con 2 TBM; nell'ottobre 2003 sono iniziati gli scavi nella canna est mentre nel gennaio 2004 nella canna ovest. Nel giugno 2005 è stato varcato il confine tra i Cantoni Uri e Grigioni e le due TBM procedevano in parallelo. Alla fine del mese la situazione nella canna ovest è cambiata in modo repentino e un'improvvisa venuta d'acqua ha convogliato



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 17 - Installazione turbofan di ventilazione.

Fig. 17 - Turbofan ventilation installation.

sorbed after half an hour and the workers could return into the shaft and use buckets installed below the work platform to remove the material and convey it out from the shaft. The surface of the excavated pit was first secured using 4 m [13 ft] long anchor bolts followed by a layer of 10 cm [4 in] of shotcrete with a mesh reinforcement. Subsequently, a concrete ring was set up from the work platform with a minimum 25-cm [10 in] thickness. Finally, the infrastructure for drinking water, mountain water, wastewater, compressed air pipework, ventilation ducts, electrical and communication cables and the tube for casting concrete were anchored to the wall (fig. 17).

In this way the shafts are used to remove the excavated material from the construction site and to supply the construction material to the site. The essential utilities (power supply, ventilation...) also use the shafts.

Work continued from the shafts into the first portion of



(Fonte - Source: archivio dell'autore - author archive)

Fig. 18 - Opere civili nella canna est.

Fig. 18 - Hard works in East tube.



del materiale sciolto nella testa fresante bloccando la TBM. Sono stati fatti diversi tentativi per liberare la testa fresante bloccata quali: il riavvio del macchinario, l'indietreggiamento del mezzo e la ripresa dei lavori, lo scavo di nicchie laterali (che hanno determinato la caduta di ulteriore materiale sciolto bloccando ancor di più la testa fresante). Si è provveduto infine con il consolidamento tramite oltre 120 iniezioni di gel d'acrilato fluido con un reagente e iniezioni di calcestruzzo. In parallelo, dalla canna est, è stato realizzato un cunicolo di avvicinamento alla zona critica del tubo ovest per poter eseguire ulteriori iniezioni di consolidamento. Inoltre si è proceduto alla realizzazione di un cunicolo di controavanzamento che dalla canna est porta davanti alla testa della TBM bloccata. In questo modo nel novembre 2005 la TBM è stata liberata e ha potuto riprendere gli scavi il mese successivo. I sei mesi di inattività hanno comportato una spesa nell'ordine di 10 milioni di CHF che hanno potuto essere compresi all'interno dell'ambito del contratto di appalto poiché quest'ultimo prevedeva anche gli effetti dovute alle condizioni geologiche. Il congiungimento con il comparto di Sedrun è avvenuto nel novembre 2007. L'opera è stata consegnata con 3 mesi di anticipo rispetto al programma lavori poiché era stata preventivata una contingency temporale di 9 mesi per eventuali problematiche durante la realizzazione dell'opera.

### 4.5. Il comparto di Erstfeld

Il comparto di Erstfeld è lungo 7,8 km e i primi 600 m della galleria sono stati realizzati a cielo aperto per poi interrarli.

Per costruire la tratta a cielo aperto è stata realizzata una buca di 25 m delimitata sui lati da pali trivellati dello spessore di 1,5 m stabilizzati con diversi ordini di tiranti (fig. 19). L'area è stata quindi sottoposta ad un precarico provocando cedimenti attesi fino a 25 cm. I lavori in calcestruzzo per la galleria a cielo aperto sono stati eseguiti in



(Fonte - Source: ©IG GBT Nord)

Fig. 19 - Opere propedeutiche per la tratta a cielo aperto.  
Fig. 19 - Preliminary work for the open-pit tunnel.

both tubes using explosives in north direction towards Erstfeld in Canton of Uri, and in south direction towards Bodio in Canton of Ticino (fig. 18). The conventional progress has foreseen the use of Emulga explosive (pumpable explosive emulsion) with an average yield under favorable conditions varying between 3 and 4.5 m [10 and 15 ft], and about 1 m [3 ft] in unfavorable conditions, with a maximum advancement of 11.5 m [38 ft] on October 20, 2014.

### 4.4. The Amsteg section

Before starting work in the Amsteg section, the preliminary works such as the new cantonal road Silenen-Amsteg and its motorway junction, and the track doubling (from two to four) of the industrial railway link had to be completed. Both were required for the construction of the electric plant in Amsteg, for logistic needs of the construction site, for the construction of the base camp with workers' accommodation and staff, canteen, site offices, storage and maneuvering areas.

All the areas involved in the preliminary works are to be restored to their original state after the completion of the work. After the preliminary work has been finished, the two TBMs could proceed; in October 2003 the work in the East pipe started and in January 2004 in the West pipe. By June 2005, the border between the Cantons of Uri and Graubünden was crossed and the two TBMs proceeded in parallel. At the end of the month the situation in the West tube changed abruptly with a sudden water ingress bringing debris into the TBM cutter head and blocking it. Several attempts were made to free the blocked cutterhead such as restarting the machine, reversing it and restarting the work, digging of side niches (which led to the fall of further loose of material, adding to the blockage). Finally, the work continued after the consolidation by means of over 120 injections of liquid acrylate gel layer with a reagent and concrete injections. At the same time, an approach was made from the East tube into the critical area tunnel to West of the tube in order to perform additional consolidation injections. In addition, an inward tube was excavated to reach the blocked TBM head from the East tube. The TBM was released in November 2005 and resumed excavation the next month. The six months of inactivity have cost approximately CHF 10 million. This amount could be included in the contract because the effects of interruptions due to geological conditions and related additional costs fall within the scope of the contract. The rejoining the Sedrun section took place in November 2007. The handover has taken place three months earlier than the original program because a nine-month contingency had been budgeted for any problems during the project execution.

### 4.5. The Erstfeld section

The first 600 m [1,969 ft] of the 7.8-km [4.8-mi] Erstfeld section are made in open-pit and then the open-pit was closed.



tappe da 10 m ciascuno. Gli ammassi rocciosi previsti in fase di indagini geognostiche sono stati confermati in fase di esecuzione dei lavori. Le condizioni idrogeologiche invece non corrispondevano alle aspettative. Alla fine della primavera 2009, le venute di acqua in entrambe le gallerie superavano i 465 l/s: valore quattro volte superiore rispetto a quanto previsto. Ciò ha comportato maggiori oneri per lo smaltimento delle acque di montagna e ha avuto anche ripercussioni sulle opere di rivestimento interno. Maggiori ripercussioni sono avvenute sull'intera area circostante poiché grandi venute d'acqua di montagna spesso determinano prosciugamenti delle sorgenti di superficie. Due proprietà site nella zona di Erstfeld sono state allacciate all'acquedotto cantonale per evitare il prosciugamento di una sorgente superficiale alla quale erano precedentemente allacciate. Inoltre durante la fine dell'inverno del 2009 gli avanzamenti sono avvenuti sotto le sorgenti dei consorzi d'acqua di Kirchbach e Schupfenbach. Non si sono determinate ingenti perdite d'acqua dalle sorgenti ma la portata è notevolmente diminuita determinando la necessità di un piano di approvvigionamento alternativo.

## 4.6. Le modalità di scavo

Le 4 fresatrici TBM impiegate (Gabi I e II a nord e Sissi e Heidi a sud), dal costo di circa 30 milioni CHF ciascuna, presentavano un diametro pari a circa 9,5 m con un peso variabile tra le 2.500 e 3.400 tonnellate e una lunghezza tra i 377 e 450 m. La forza di avanzamento era pari a 27.500 kN per una potenza di trasmissione della fresatrice di 3.500 kW con una potenza totale di 7.800 kVA. Per il funzionamento di ciascuna delle TBM erano necessari 17 operai per turno con un tempo di lavoro di 2 turni da 9 ore ciascuno di avanzamento e 6 ore di manutenzione [6]. Il rendimento dell'avanzamento variava tra i 17 m a Erstfeld e i 12 m a Faido con un rendimento massimo a Erstfeld nel giugno 2009 pari a 56 m in 24 ore.

Per la realizzazione dell'opera sono state impiegate tecniche di avanzamento miste: il 56,3% è avvenuto attraverso l'impiego di TBM e la parte rimanente con metodo convenzionale con l'esplosivo (fig. 20) (fig. 21) per

*In order to build the open-pit route, a 25-m [82-ft] deep hole was bored, delimited at the sides by 1.5-m [5-ft] thick bored piles and stabilized with several rows of tie rods (fig. 19). The area was then preloaded to cause the expected 25-cm [10 in] subsidence. The concrete works for the open-pit tunnel were done in 10-m [33-ft] steps. The rock masses expected during geological surveys have been confirmed during the works. The hydrogeological conditions instead did not meet the expectations. At the end of the spring 2009, the water seepage in both tunnels exceeded 465 l/s [123 US gals]: four times higher than expected rate. This resulted in higher costs for the disposal of mountain water and it also affected the inner lining works. Further consequences occurred over the entire area because large water seepage often causes draining of surface sources. Two properties in Erstfeld were connected to the Cantonal aqueduct to avoid drying up of the previously connected surface sources. By the end of winter 2009, the works have taken place under the sources of water consortia of Kirchbach and Schupfenbach. There were no significant losses of water from the source but the flow rate was greatly reduced, calling for an alternative supply plan.*

## 4.6. The excavation methods

*The four TBMs used (Gabi I and II for the North side, and Sissi and Heidi for the South side), costing around CHF 30 million each, with a diameter of about 9.5 m [31 ft] and weighing between 2,500 and 3,400 tons and a length between 377 and 450 m [1,237 and 1,476 ft]. The feed force amounted to 27,500 kN for milling machine transmission power with a total power of 7,800 kVA. The operation of each TBM required 17 workers per shift with two 9-hour working shifts and one 6-hour shift for maintenance. [6] The performance rate varied between 17 m [56 ft] in peak of 56 m [184 ft] in Erstfeld on June 1, 2009.*

*During the works mixed tunneling techniques have been used: 56,3% using TBMs and the remaining part using the conventional method using explosives (fig. 20) (fig. 21). Over 28 million tons of excavated material would require a 7,160-km [4,450-mi] long train (approximately*



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 20 - Avanzamento convenzionale con esplosivo.  
Fig. 20 - Progress with explosive.

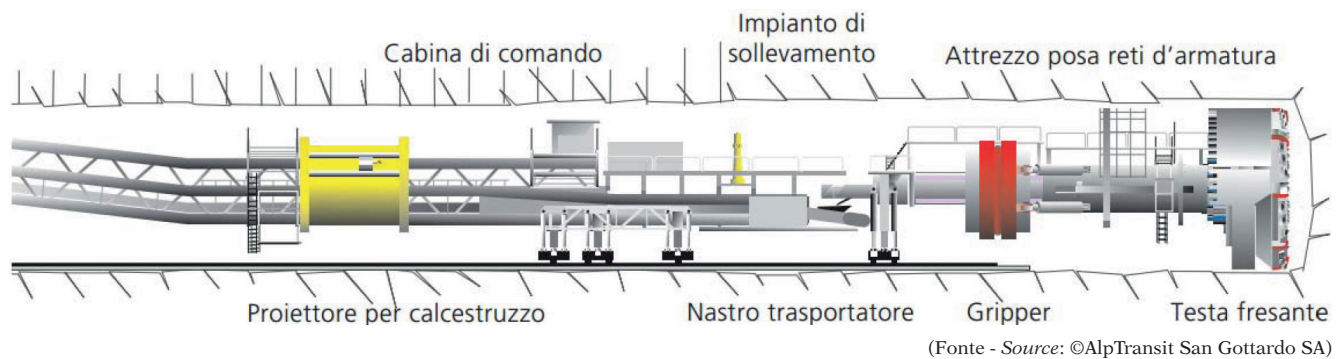


Fig. 21 - Avanzamento con fresa TBM.

Fig. 21 - TBM progress.

un totale di oltre 28 milioni di tonnellate di materiale di scavo (quest'ultimo riempie un treno lungo da Zurigo a Chicago, tratta pari a circa 7.160 km). Lo scavo è avvenuto con grande precisione come testimonia la differenza di soli 8 cm in orizzontale e 1 cm in verticale tra quanto realizzato e quanto progettato. Il materiale di scavo è stato trasportato all'esterno anche grazie ad oltre 70 km di nastri trasportatori. Il 33% del materiale di scavo, pari a oltre 9 milioni di tonnellate, è stato ritenuto adatto per la formazione degli aggregati per la produzione del calcestruzzo e quindi impiegato per tale utilizzo e il 66,3% del materiale è stato impiegato per riempimenti, depositi e ricoltivazioni, realizzando anche tre isolette balneari e protette nel Lago di Uri. 0,2 milioni di tonnellate di fanghi prodotti dai lavori di avanzamento (0,7% del materiale di scavo) sono stati conferiti a discarica. L'acqua proveniente dalla galleria di base del San Gottardo è ancor oggi utilizzata nel versante nord per un allevamento di pesci e crostacei e per lo sfruttamento di calore (tabella 2).

#### 4.7. Il rivestimento della galleria

Nelle zone con condizioni geologiche favorevoli la messa in sicurezza dello scavo prevedeva la posa di ancoraggi, reti di armatura e calcestruzzo spruzzato e centine metalliche parziali se necessario. In condizioni geologiche sfavorevoli quali zone disturbate o condizioni di roccia spingente furono impiegate delle innovative centine chiuse ad anello con ulteriori ancoraggi alla parete rocciosa e l'aggiunta di ulteriori 20-25 cm di calcestruzzo spruzzato sino a raggiungere lo spessore variabile tra i 60 cm fino ad un massimo di 120 cm (fig. 22). Tutta la galleria di base, compresi i cunicoli trasversali, sono dotati di un rivestimento a doppio anello. Dopo la messa in sicurezza dello scavo, si è proceduto alla posa dell'impermeabilizzazione e successivamente alla realizzazione di un anello interno in calcestruzzo armato gettato in opera. Tale ulteriore rivestimento è necessario per garantire i requisiti climatici di efficienza funzionale e di durata di utilizzo e riduce inoltre i costi di esercizio e manutenzione. Già in fase di definizione del tracciato i progettisti hanno

the distance from Zurich to Chicago). The excavation was very accurate, as shown by the difference of only 8 cm [3.1 in] horizontally and 1 cm [0.4 in] vertically between what realized and what was designed. The excavated material was transported outside by over 70 km [43 mi] of conveyor belts. Around 33 percent of the excavated material, amounting to over 9 million tons, was considered suitable for the formation of aggregates for the production of concrete, and later used to this end, the rest was used for fills, deposits and recultivation, also making three bathing and protected islands in the Lake of Uri. Around 200,000 tons of sludge produced by the work progress were landfilled (0,7% of excavated materials). The water coming from the Gotthard base tunnel is used for fish and shellfish breeding and for exploitation of heat on the north side (table 2).

#### 4.7. The tunnel lining

In the areas with favorable geological conditions, the tunnel securing involved laying of anchors, reinforcement mesh, shotcrete and steel arches if necessary. In the areas with unfavorable geological conditions, such as disturbed zones or squeezing rock, innovative ring-shaped arches and additional anchoring to the rock, plus 20-25 cm [4-5 in] of additional shotcrete to thickness varying between 60 cm [24 in] and 120 cm [47 in] (fig. 22). The entire base tunnel, including the cross-passages, is fitted with a double-loop coating. After securing of the excavation, the waterproofing layer followed and then a construction of an inner ring of reinforced concrete cast on site. This inner ring was required to ensure the climatic conditions, functional efficiency, duration and to reduce operating and maintenance costs. As early as during the alignment design, the designers have tried to avoid as far as possible the crossing of squeezing rock.

The squeezing rock was estimated to amount to about 1,500 m [4,921 ft] of the track in the area of Orsena-Garvera and in the intermediate Tavetsch Massif. It was also found, unexpectedly, in Faido and Bodio sections. In such cases it is not possible use a TBM because there is too high a risk of the machine remaining trapped. Then they

cercato di evitare nei limiti del possibile l'attraversamento di roccia spingente.

Complessivamente si stimava che il tratto di roccia spingente sarebbe stato pari a circa 1.500 m nelle zone di Orsena-Garvera e nel Massiccio intermedio del Tavetsch ma inaspettatamente è stata anche rinvenuta nei comparti di Bodio e Faido. In tali zone non è possibile avanzare con l'impiego di TBM poiché il rischio che queste ultime restino incastrate è troppo elevato. Si procede quindi con avanzamento convenzionale. Visto che le forti tensioni dello spesso strato di roccia sovrastante minacciavano di deformare la galleria in corso di realizzazione è stato sviluppato un sistema innovativo di centine flessibili in acciaio che, comprimendosi sotto il peso del massiccio con deformazioni medie radiali di 30-40 cm fino ad un massimo di 80 cm, hanno evitato il deformarsi dell'opera. La posa delle centine e in generale dei componenti dei rivestimenti sono avvenuti mediante l'impiego di un ponteggio da 50 t sospeso alla volta su binari. In questo modo si è garantita l'ottimizzazione degli spazi limitati della platea creando anche condizioni lavorative migliori dal punto di vista della sicurezza. Tale sistema ha garantito un avanzamento nella posa di 1,34 m al giorno. Per la realizzazione dell'opera sono state impiegate 125.000 tonnellate di centine di metallo, 3 milioni di m<sup>2</sup> di rete di acciaio, 16.000 tonnellate di armatura, 4.800 km di ancoraggi nella roccia, 4 milioni di m<sup>3</sup> di beton, 1,4 milioni di tonnellate di cemento e 2,85 milioni di m<sup>2</sup> di teli impermeabilizzanti e drenanti della volta della galleria (fig. 23).

Nella volta il concetto di impermeabilizzazione prevede una tipologia ad ombrello. L'arco rovescio è stato impermeabilizzato solo in zone con forte venute di acqua o in presenza di acque di montagna molto aggressive per il calcestruzzo. L'acqua di infiltrazione scorre lungo lo strato impermeabile fino al piede della volta dove viene raccolta dalla condotta di drenaggio (fig. 24). Le acque nere provenienti dall'esercizio ferroviario vengono raccolte da una canaletta separata di eduazione. Questo sistema separato consente di allontanare l'acqua di montagna separatamente da eventuali fuoriuscite

TABELLA 2 – TABLE 2  
Dati principali dell'avanzamento in galleria  
Principal data of tunnel progress

Avanzamento con TBM <i>TBM progress</i>	Parte scavata con TBM: 85,5 km (56,3%) <i>TBM work: 85,5 km (56,3%)</i> 4 TBM impiegate: Gabi I e II a nord e Sissi e Heidi a sud <i>4 TBM used: Gabi I and II on North and Sissi and Heidi on South</i> Diametro: 8,8 - 9,5 m <i>Diameter: 8,8 - 9,5 m</i> Peso: 2.500 - 3.400 t <i>Weight: 2.500 - 3.400 t</i> Lunghezza: 377 - 450 m <i>Length: 377 - 450 m</i> Numero di taglienti rotanti: 60 - 66 unità <i>Rotary cutters number: 60 - 66 units</i> Forza di avanzamento: 27.500 kN <i>Progress force: 27,500 kN</i> Massima forza di compressione consentita della testa fresante: 15.930 kN <i>Maximum compression force allowed by cutter head: 15,930 kN</i> Potenza di trasmissione della fresa: 3.500 kW <i>Cutter transmission power: 3,500 kW</i> Potenza totale installata: 7.800 kVA <i>Total power installed: 7,800 kVA</i> Avanzamento massimo: 56 m in 24 h nel comparto di Erstfeld <i>Maximum progress: 56 m in 24 h in Erstfeld sector</i>
Avanzamento con esplosivo <i>Explosive progress</i>	Parte scavata con esplosivo: 66,3 km (43,7%) <i>Explosive progress: 66,3 km (43,7%)</i> Tipo di esplosivo: Emulga <i>Explosive type: Emulga</i> Quantità di esplosivo per ciascun brillamento: fino a 400 kg <i>Explosive quantity for each blasting: up to 400 kg</i> Numero fori per brillamento: fino a 250 unità <i>Number of blasting holes: up to 250 units</i> Profondità dei fori di brillamento: fino a 4 m <i>Blasting holes depth: up to 4 m</i> Quantità di roccia abbattuta per ciascun brillamento: fino a 250 m <sup>3</sup> <i>Rock amounts demolished to each blasting: up to 250 m<sup>3</sup></i> Avanzamento massimo: 11,5 m in 24 h nel comparto di Sedrun <i>Maximum progress: 11.5 m in 24 h in Sedrun sector</i>
Totale materiale scavato <i>Total material excavated</i>	28,2 milioni di tonnellate <i>28.2 million tons</i>
Destinazione materiale di scavo <i>Excavated material destination</i>	33% utilizzato per formazione degli aggregati del cls <i>33% used for concrete aggregates</i> 66,3% utilizzato come materiale di riempimento, depositi e ricoltivazioni <i>66,3% used as filling material, depots and recultivation</i> 0,7% costituiti da fanghi destinati alla discarica <i>0,7% made of mud to landfill</i>

proceed with conventional tunneling. Since the strongest tensions in the thick rock layer above threatened to deform the ongoing construction tunnel, an innovative system of flexible steel arches was developed to bear the weight of the mountain with radial medium deformation of 30-40 cm [12-16 in] and a maximum one of 80 cm [31 in], has





(Fonte - Source: archivio dell'autore – author archive)

Fig. 22 - Opere civili nella canna est.  
Fig. 22 - Civil works in East tube.

dovute ad avarie e garantisce gli standard in materia di sicurezza e di protezione dell'ambiente (tabella 3) [3].

In corrispondenza delle banchine laterali sono disposti i tubi portacavo.

Nell'ottobre del 2010 i minatori festeggiano la caduta del diaframma principale tra Sedrun e Faido (fig. 25).

## 5. La tecnica ferroviaria

Gli impianti di tecnica ferroviaria (installati dal 2009 al 2014) comprendono i binari, gli scambi, la linea di contatto, l'approvvigionamento di corrente, i cablaggi, i collegamenti radio e telefonici, la tecnica di segnalamento, i sistemi di sicurezza e automazione e la tecnica di guida (fig. 26).

Prima di poter iniziare i lavori di posa della tecnica

avoided the deformation of the tunnel. The laying of the arches and the components of the coating are occurred using a 50 tons scaffolding suspended on rails on the vault.

In this way they are guaranteed the optimization of limited space of the mat also creating better working conditions from the point of view of safety. This system has ensured a progress of 1.34 m [4.4 ft] per day. For the realization of the tunnel have been used 125,000 tons of metal arches, 3 million m<sup>2</sup> [32 million sq.ft] of steel mesh, 16,000 tons of reinforcement, 4,800 km [2,983 mi] of anchors in the rock, 4 million m<sup>3</sup> [141 million cu.ft] of concrete, 1.4 million tons of cement and 2.85 million m<sup>2</sup> [31 million sq.ft] of waterproofing and drainage mat for the vault of the tunnel (fig. 23).

The waterproofing system is the umbrella type. The inverted arch was waterproofed only in the areas with a strong water seepage or in the presence of a very aggressive mountain water for the concrete. The seepage water flows along the waterproof layer down to the base of the vault where it is collected into the drainage pipe (fig. 24). Waste water originating from railway operation is collected by a separate drainage pipe. This separate systems allow to remove the mountain water separately from failure-related leaks and ensures the safety and environmental protection compliance. There are cable pipes along the platform (table 3) [3].

In October 2010 the miners celebrate the fall of the main diaphragm between Sedrun and Faido (fig. 25).

## 5. Railway systems and installations

The railway systems and installations laid from 2009 to 2014 include tracks, railway switches, the overhead contact line, power supply, cabling, radio and telephone communication equipment, signaling system technology, safety and automation systems and driving control (fig. 26).

Before laying the railway installations (fig. 27), major temporary devices have been prepared: the construction site



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 23 - Canna est foderata con foglio di tenuta.  
Fig. 23 - East tube lined with sealing foil.



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 24 - Canna est con opere civili completate.  
Fig. 24 - East tube with completed civil works.

ferroviaria (fig. 27) sono stati approntati importanti dispositivi provvisori: l'esercizio ferroviario di cantiere, i controlli d'accesso, la ventilazione e la climatizzazione, l'alimentazione di corrente intesa come forza motrice e di illuminazione, le telecomunicazioni ma anche le aree esterne di installazione. La posa della tecnica ferroviaria è avvenuta esclusivamente attraverso i due portali sud e nord. Visti gli esigui spazi in galleria, tutti i materiali sono stati trasportati all'interno su rotaia utilizzando come base logistica gli appositi piazzali d'installazione di Erstfeld - Rynächt e di Biasca. Per garantire un traffico ferroviario efficiente di approvvigionamento e di allontanamento del materiale dal fronte di lavoro è stato necessario sintonizzare e coordinare tra loro oltre 1.000 interfacce tecniche: ciò è stata una notevole sfida per la realizzazione dell'opera.

Nella galleria di base del San Gottardo è stata incaricata l'impresa generale "Transtec Gotthard" per le opere di tecnica ferroviaria. Il contratto del valore di 1,7 miliardi di CHF è il contratto più importante mai sottoscritto da AlpTransit San Gottardo SA e rappresenta anche a livello mondiale uno dei maggiori contratti siglati nel settore della tecnica ferroviaria. La tipologia di contratto stipulato fa riferimento al modello di "impresa generale". In tale modello è responsabilità dell'imprenditore la progettazione esecutiva e di dettaglio [6].

5.1. Binari, scambi e linea di contatto

Per la realizzazione delle opere di tecnica ferroviaria sono state lavorate 4 milioni di ore durante le quali sono stati posati 146 km di platea binari, 290 km di binari e 30 scambi (fig. 28). La quasi totalità della platea binari è



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 25 - Caduta del diaframma principale.  
Fig. 25 - Fall of the main diaphragm.

TABELLA 3 – TABLE 3

Dati principali del rivestimento della galleria  
Principal data of tunnel lining

Rivestimento del tunnel Tunnel lining	125.000 t di centine di metallo
	125,000 t of metal arches
	3 milioni m² di rete di acciaio
	3 million m² steel mesh
	16.000 t di armatura
	16,000 t of reinforcement
	4.800 km di ancoraggi nella roccia
	4,800 km of anchor in the rock
	4 milioni m³ di beton
	4 million m³ of beton
	1,4 milioni t cemento
	1.4 million t of concrete
	2,85 milioni m² di teli impermeabilizzanti e drenanti
	2.85 million m² waterproofing and drainage mat

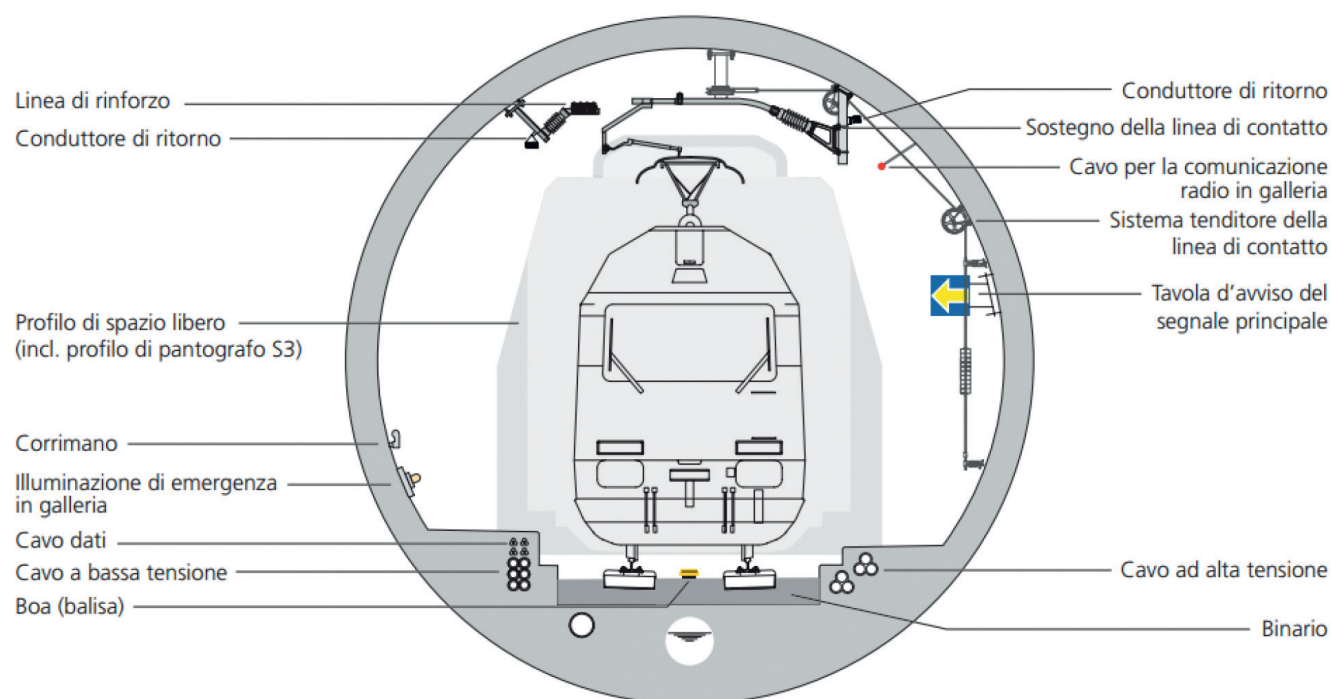
railway operation, access control, ventilation and air conditioning, traction & lighting power supply, telecommunications and also the external installation areas. The laying of the railway systems equipment took place entirely through the South and North portals. Considering the limited space in the tunnel, all materials were transported inside the tunnel by rail from the logistics base camps in Erstfeld-Rynächt and Biasca. To ensure efficient railway supply and removal traffic more than 1,000 technical interfaces had to be matched and coordinated - a major challenge for the project pace.

"Transtec Gotthard" was the general contractor for the railway installations. The CHF 1.7 billion contract is the largest one ever signed by AlpTransit Gotthard Ltd and globally one of the major contracts in the railway installation industry. The contract is based on the "general contractor" model, where the contractor is responsible for the detailed and construction design [6].

5.1. Railway tracks, railroad switch and main power line

The railway installation works required 4 million hours during which 146 km [91 mi] of track mats, 290 km [180 mi] of tracks and 30 railway switches were laid (fig. 28). Almost all of rail support is non-ballast tracks. In fact, in open sections OSN and OSS have been used r.c. prestressed sleepers placed at a distance of 60 cm and laid on a gravel bed with size 30-60 mm [12 - 24 in]. The ballast bed has variable thickness between 35 cm [14 in] on a special mix asphalt (type X Rail) sub ballast and 55 cm [22 in] on all other works with conventional railway superstructure with sub-ballast. Inside the tunnel has been used a rigid superstructure with bi-block sleepers embedded in a weakly reinforced concrete pad with the interposition of a vibration damping neoprene sheath LVT (Low Vibration Track). The latter has the advantage of facilitating the replacement during maintenance phases. The transition between the traditional and the rigid superstructure, at the immediate outside of the tunnel portals, is done through





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 26 - Sezione di galleria con le installazioni di tecnica ferroviaria.

*Fig. 26 - Tunnel section with the railway infrastructure installations.*

senza massicciata. Infatti nelle tratte all'aperto OSN e OSS sono state impiegate traverse monoblocco in conglomerato cementizio armato precompresso poste ad un'interasse di 60 cm e posate su un letto di pietrisco con pezzatura 30-60 mm. Il letto di pietrisco ha spessore variabile tra i 35 cm sui rilevati in sub ballast in conglomerato bituminoso speciale (tipo X Rail) e 55 cm su tutte le altre opere con sovrastruttura ferroviaria tradizionale con subballast. All'interno della galleria è stata impiegata una sovrastruttura rigida con traverse bi-blocco annegate in opera in una platea di conglomerato cementizio debolmente armato con l'interposizione di una guaina antivibrazioni in neoprene LVT (Low Vibration Track). Quest'ultima presenta il vantaggio di facilitare la sostituzione durante le fasi di manutenzione. Il passaggio tra la sovra-

special transition sections. Laying in a tunnel includes the installation of the tracks using the concrete mixing train. The laying took place in 2-km [1.2-mi] sections. After the supply of the material into the tunnel (sleepers, rails...) the track is aligned using the measurement rail car and subsequently the sleepers were embedded in concrete. A special rail-borne concrete production facility had been developed for the purpose, capable of high-quality output material because no transportation was necessary. The main advantage for this type of rail track is that single sections are replaceable, which improves the maintainability of the sections.

It is thus possible to proceed to the possible replacement of items such as: rail elements, anchoring systems and railway sleepers. Indeed, the presence of a vibration dumper neoprene sheath located between the bi-block sleepers and the pad, facilitates such activities. The rails are of SBB IV (equivalent to type 60 E1).

Due to the limited space inside the tunnel tubes, the railway switches are equipped with a new type of switch machines (for Switzerland). Instead of mechanical force transmission through bars, a hydraulic system is used. The main power line carrying 2,400 A extends for 115 km [71 mi] in the tunnel and 39 km [24 mi] outside and is supported by 560 pylons. The overhead contact line is R250 GBT type (fig. 29) and was placed taking into consideration the shape free from having to respect: height of the contact wire of 5.2 m [205in] and height of 90 cm [35in] of the sys-



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 27 - Tecnica ferroviaria.

*Fig. 27 - Railway installation.*





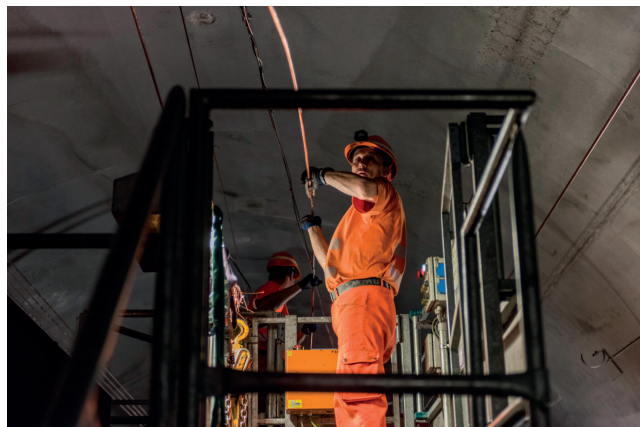
(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 28 - Binari, scambi e linea di contatto.

Fig. 28 - Railway tracks, railroad switch and main power line.

struttura tradizionale e quella rigida, in corrispondenza dell'immediato esterno dei portali del tunnel, avviene attraverso tratti speciali di transizione. La posa in galleria ha previsto l'installazione dei binari utilizzando il treno di betonaggio. La posa avveniva per tronchi della lunghezza di 2 km. Dopo la fornitura in galleria del materiale (traverse, rotaie,...) il binario viene allineato con l'ausilio del carro misuratore e successivamente le traverse venivano annegate nel calcestruzzo. Per tale progetto si è sviluppato un impianto speciale di produzione di calcestruzzo su rotaia che ha garantito un'alta qualità del materiale poiché non ha avuto luogo alcun trasporto del materiale stesso. Questo tipo di binario presenta il grande vantaggio che i singoli elementi sono sostituibili; in tal modo la manutenibilità degli elementi risulta migliorata. Risulta così possibile procedere all'eventuale sostituzione di elementi di rotaia, ma anche i sistemi di ancoraggio della stessa alla traversa, così come la traversa. Infatti la presenza di una guaina in neoprene antivibrizioni posta tra le traverse bi-blocco e la platea, facilita tali attività. Le rotaie sono di tipo FFS IV (equivalente al tipo 60 E1).

A causa degli spazi ridotti all'interno delle canne della galleria gli scambi sono dotati di un sistema di azionamento nuovo per la Svizzera. Invece della trasmissione meccanica della forza mediante l'impiego di aste si utilizzerà un sistema idraulico. La linea di contatto (fig. 29) che conduce correnti fino a 2.400 Ampere, si estende per 115 km in galleria e all'aperto per 39 km, sostenuta da 560 tralicci. La catenaria è del tipo R250 GBT ed è stata posata tenendo in considerazione la sagoma libera da dover rispettare: altezza del filo di contatto pari a 5,2 m e altezza del sistema pari a 90 cm. In questo modo l'altezza del filo di contatto rispetta i requisiti delle STI (Specifiche Tecniche di Interoperabilità). Il filo di contatto da 120 mm<sup>2</sup> è di rame legato con argento ed è appeso ad una fune portante in bronzo con pendini della lunghezza di 90 cm. La corda portante monofilo da 70 mm<sup>2</sup>, ogni 48 m, è fissata alla volta della galleria tramite elementi di



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 29 - Posa della linea di contatto.

Fig. 29 - Laying of copper main power line.

tem. In this way, the contact wire height complies with the requirements of the TSI (Technical Specifications for Interoperability). The 120 mm<sup>2</sup> [4.7 in<sup>2</sup>] power contact line is in copper-silver alloy, suspended from a bronze messenger line with 90-cm [35 in] hangers. The 70 mm<sup>2</sup> [2.8 in<sup>2</sup>] supporting cords are fixed to the vault through support elements at 48 m [157 ft] intervals. A tensioning system with adjustment devices placed 1,300 m [4,265 ft] apart allows to adjust accurately the entire contact line (fully-tensioned contact line). A normally connected power booster line parallel to the catenary helps to ensure the peak power demand. The reinforcing line is composed of 4x95 mm<sup>2</sup> [4x3.7 in<sup>2</sup>] transport cables (feeder) and 3x150 mm<sup>2</sup> [3x6 in<sup>2</sup>] return conductors to the electrical sub-stations in addition to the traditional rail. The power scheme is developed in such a way orders to allow the detailed management of the 5 km [3.1 mi] electrical sections equal or a whole of the two tunnels. The main power line is sized to withstand a substation failure. Two substations at Amsteg and Faido were provided to supply the 16.7 Hz traction power (fig. 30). The Amsteg and Faido substations are powered by two hydroelectric power plants, at Amsteg in Canton Uri and at Ritom in Canton Ticino, respectively. For the 16,000 V, 50 Hz infrastructure power supply over 2,600 km [1,616 mi] of optical fiber cables and 3,200 km [1,988 mi] of copper cables were laid, 2,500 switch cabinets, 250 transformers and 10,000 lamps were installed (table 4).

## 5.2. Telecommunications equipment

The telecommunication equipment includes 380 single-user computers, 70,000 data points for the tunnel control technology, 417 columns for emergency calls, 60 telephones, 500 networks components, 280 radio transmission amplifiers and 120 km [75 mi] of the transmitter cable (figg. 31 and 32).

The computers and other technical equipment for processing and deployment of information flow necessary to

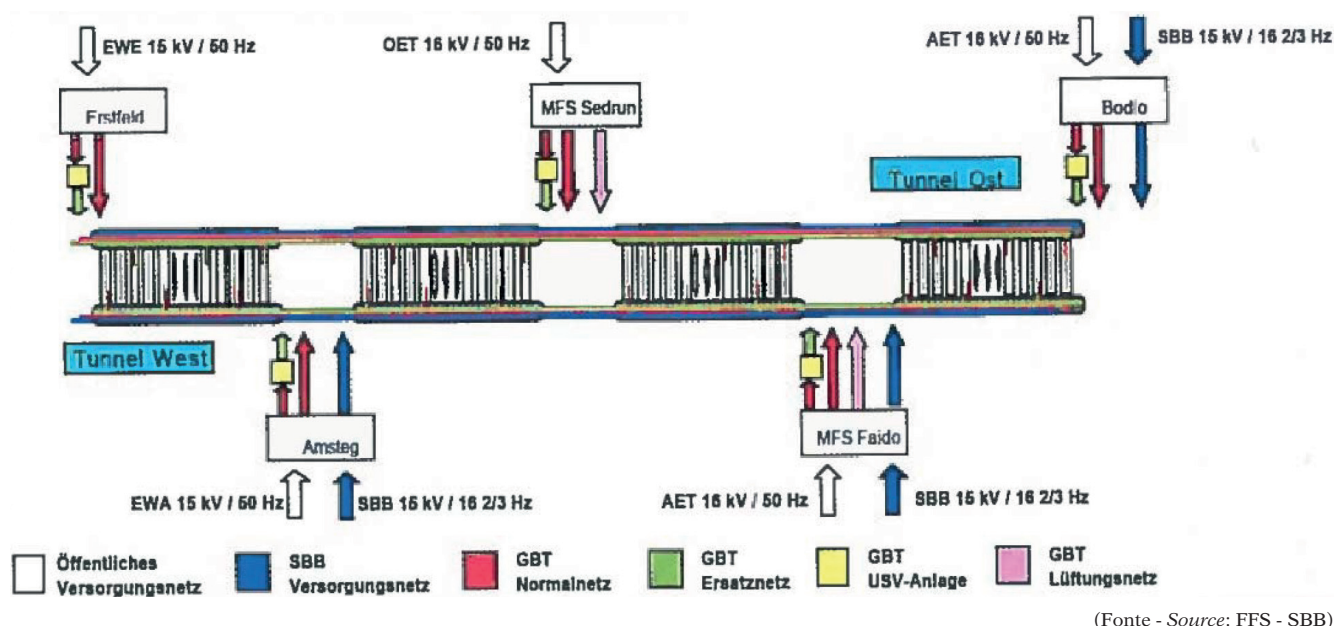


Fig. 30 - Schema di alimentazione elettrica.  
Fig. 30 - Electric power supply system scheme.

sostegno. Un sistema tenditore con dispositivi di regolazione ogni 1.300 m permette di regolare con precisione l'intera linea di contatto (linea di contatto con tensionatura completa). Parallelamente alla catenaria scorre una linea di rinforzo regolarmente connessa che contribuisce ad assicurare l'elevato fabbisogno di corrente. La linea di rinforzo è composta da 4x95 mm<sup>2</sup> cavi di trasporto (feeder) e di 3x150 mm<sup>2</sup> conduttori di ritorno verso le sottostazioni elettriche in aggiunta al binario tradizionale. Lo schema di alimentazione è sviluppato in modo tale da consentire la gestione sia delle due canne singolarmente sia delle sezioni elettriche della lunghezza di 5 km. La linea di contatto è dimensionata in modo tale da poter sopportare un guasto ad una delle sottostazioni (fig. 30). Sono state previste due sottocentrali ad Amsteg e a Faido (a loro volta alimentate da due centrali idroelettriche rispettivamente ad Amsteg nel Canton Uri e Ritom nel Canton Ticino) che forniscono l'alimentazione a 16,7 Hz per la corrente di trazione. Per l'alimentazione elettrica a 50 Hz e 15.000 V (approvvigionamento elettrico dell'infrastruttura) sono stati posati oltre 2.600 km di cavi in fibra ottica e 3.200 km in rame, oltre a 2.500 armadi elettrici, 250 trasformatori e 10.000 lampade (tabella 4).

## 5.2. Gli impianti di telecomunicazione

Gli impianti di telecomunicazione comprendono 380 calcolatori di comando singolo, 70.000 punti dati per la tecnica di controllo in galleria, 417 colonnine per le chiamate di emergenza, 60 apparecchi telefonici, 500 componenti per reti, 280 amplificatori di radiotrasmissione e 120 km di cavo trasmettente (figg. 31 e 32).

ensure the safety train traffic are located inside technological buildings located in Rynächt, Amsteg, Bodio, Sedrun and Faido (in the latter locations both inside and outside the tunnel). The technological buildings are different for technical equipment and functions. The Bodio technological building is the main and it is also directly related to Polleggio Operational Center (POC). All the laid cables must withstand the temperatures of up to 40°C [104°F], commonly occurring inside the massif at certain construction stages (fig. 33). Mobile communication is used for the operational needs (GSM-R, radio systems, cockpit signaling). During the journey travelers can use mobile phone services from different providers. The operation is guaranteed by a high-efficiency tunnel radio system and the availability



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 31 - Impianti elettrici e speciali di tecnica ferroviaria.  
Fig. 31 - Electical and special system of railway installation.



I calcolatori e altre strumentazioni per l'elaborazione e la distribuzione del flusso delle informazioni necessarie per garantire la circolazione in sicurezza dei treni sono ubicati all'interno di fabbricati tecnologici presenti a Rynächt, Amsteg, Bodio, Sedrun e Faido (in quest'ultime due località sia all'interno sia all'esterno della galleria). Essi non sono equivalenti ne' dal punto di vista delle funzioni ne' dal punto di vista delle apparecchiature presenti. Il principale è quello di Bodio che è anche in relazione diretta con il Centro di Esercizio di Polleggio. Tutti i cavi posati devono poter resistere in condizioni di temperature di 40°C, temperatura presente all'interno del massiccio in alcune fasi durante le lavorazioni (fig. 33). I mezzi di comunicazione mobile sono impiegati per i bisogni di esercizio (GSM-R, sistemi radio, segnalamento in cabina di guida) ma anche i viaggiatori hanno accesso durante il viaggio ai servizi di telefonia mobile dei diversi operatori. Il funzionamento è garantito da un sistema radio di galleria ad alta efficienza e disponibilità sia in trasmissione sia in diffusione. Tutti i treni del traffico a lunga percorrenza saranno dotati di amplificatore di segnale ad eccezione dell'ETR 610 che sarà dotato di queste installazioni entro il 2020 nell'ambito della revisione ad apertura completa della tratta compresa la galleria di base del Ceneri.

Inoltre i nuovi treni Giruno disporranno di una rete WLAN (Wireless Local Area Network) per cui saranno dotati di rete WiFi per i viaggiatori. Nel traffico nazionale una rete WLAN non offrirebbe una larghezza di banda superiore a quella degli amplificatori di segnale, il servizio lungo le tratte risulta già ottimo. Pertanto le FFS non intendono installarla ad eccezione che sui treni Giruno, e puntano sugli amplificatori di segnale e sul WiFi gratuito nelle stazioni. Nel traffico internazionale, invece, come ad esempio sulle tratta in Italia e in Germania, il servizio esterno è significativamente peggiore che in Svizzera perciò la rete WLAN apporta un valore aggiunto per i viaggiatori. Gli impianti di protezione sono costituiti da quasi 1.000 balise, 712 conta-assi, 426 tavolette di marcatura del segnale principale, 4 cabine di manovra e l'European Train Control System (ETCS) Level 2 (versione 2.3.0d) e

TABELLA 4 – TABLE 4

Dati principali della platea binari, della catenaria e dell'alimentazione elettrica  
Principal data of railway slab, overhead contact line and 50 Hz power supply

Platea binari Railway slab	146 km di platea binari 146 km trackway slab Calcestruzzo impiegato: 131 mila m <sup>3</sup> Concrete: 131,000 m <sup>3</sup> 38 mila traverse 38,000 sleepers 290 km di binari 290 km of tracks Sistema a blocco singolo LVT Single block system LVT 30 scambi 30 railway switches Rotaie tipo FFS IV (60 E1) SBB rail type IV (60 E1)
Catenaria Overhead contact line	Tipo: R250 GBT Type: R250 GBT Lunghezza: 115 km in galleria e 39 km all'aperto Length: 115 km in tunnel and 39 km outside the tunnel Basamenti dei tralicci nella tratta a cielo aperto: 560 pezzi Bases of pylon: 560 units Impalcato di protezione della galleria: 2.860 pezzi Bridge tunnel protection: 2.860 units Impalcato flessibile: 3.200 pezzi Flessible decks: 3.200 units Corda di contatto: monofilo 120 mm <sup>2</sup> Contact line: 120 mm <sup>2</sup> monofilament Correnti fino a 2.400 A Current up to 2,400 A Corda portante: 70 mm <sup>2</sup> Supporting rope: 70 mm <sup>2</sup> Linea di rinforzo: 4x95 mm <sup>2</sup> per cavi di trasporto e 3x150 mm <sup>2</sup> per i conduttori Reinforcing line: 4x95 mm <sup>2</sup> for transport cables and 3x150 mm <sup>2</sup> for conductors Alimentazione elettrica
50 Hz e impianti per cavi 50 Hz power supply and cable systems	Cavi in fibra ottica: 2.631 km Optic fiber cable: 2.631 km Cavi di rame: 3.200 km Copper cable: 3,200 km Armadi elettrici per le attrezzature dei cunicoli trasversali: 300 pezzi Electrical cabinets for equipment of cross passage: 300 units Lampade: 10.000 pezzi Lamps: 10,000 units Trasformatori: 250 pezzi Transformer: 250 units Corrimano: 118 km Handrail: 118 km Scudi: 3.500 pezzi Shields: 3,500 units Impianti no-break (gruppi elettrogeni): 10 pezzi No-break system: 10 units Elementi di regolazione dell'ammarro centrale: 850 pezzi Regulation elements: 850 units

both in reception and in broadcast. All long-distance trains except the ETR 610 will be equipped with signal amplifiers. The ETR will be retrofitted with these facilities by 2020 as part of the review to complete opening of the complete line section, including the Ceneri base tunnel.

Moreover, the new Giruno trains will have a WLAN equipped with WiFi network for travelers. In national traf-



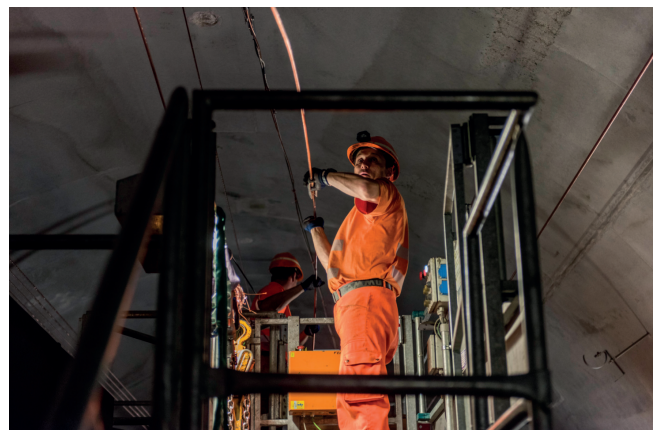


(Fonte - Source: ©Cablex CH)

Fig. 32 - Posa impianti di telecomunicazione.  
Fig. 32 - Telecommunication equipment installation.

il sistema della tecnica di comando ed esercizio ferroviario. L'ETCS, oltre ad essere installato per la galleria di base, è presente sull'asse sud nord del San Gottardo dall'uscita di Brunnen fino alla diramazione tra la galleria e la linea di montagna e dall'uscita della galleria di base e allo sbocco della linea di montagna a Polleggio fino a Castione. Il sistema è responsabile del monitoraggio del traffico dei treni, dell'individuazione di eventuali irregolarità sulle tratte di accesso della galleria di base e del collegamento degli impianti di sicurezza con gli altri impianti. Infatti è un sistema che mostra al macchinista direttamente in cabina di guida il permesso per la corsa, le indicazioni della velocità e i dati della tratta. Grazie a questo sistema è possibile, a parte alcune tavole di orientamento, rinunciare alla posa dei segnali esterni. In parallelo, i movimenti dei treni, la velocità massima locale, la velocità massima del treno, il percorso corretto e la direzione di marcia vengono costantemente sorvegliati dalla centrale di tratta. Grazie a questo sistema la velocità del treno viene controllata di continuo lungo l'intera tratta per cui il livello di sicurezza viene aumentato ulteriormente e in modo durevole. Inoltre tale sistema rappresenta lo standard di sicurezza a livello europeo e quindi agevola il traffico transfrontaliero con l'Europa. L'ETCS Level 2 riduce sensibilmente i costi di acquisto e di manutenzione dei veicoli e inoltre garantisce gli elevati requisiti in termini di capacità (tempi di successione dei treni di 3 minuti). All'interno della galleria possono quindi circolare solo mezzi di trazione provvisti di questa interfaccia nella specifica configurazione. In merito, le FFS hanno condotto una campagna di adattamento per i treni già in servizio destinati al transito in questa galleria ed è stata commissionata la realizzazione di 29 nuovi treni costruiti appositamente da Stadler Rail per il transito in galleria. Oltre a questo sistema sono installati altri due sistemi di

fic a WLAN would not offer a bandwidth greater than that of signal amplifiers, the service along the routes is already very good, which is why SBB do not intend to install a WLAN with the exception of Giruno trains, and focusing on signal amplifiers and the free WiFi in stations. In international traffic, however, such as on lines in Italy and Germany, the external service is significantly poorer than in Switzerland, therefore the WLAN provides added value for travelers. The protection systems are made up of about 1,000 balises, 712 axle counters, 426 main signal marking plates, 4 signal boxes, the Level 2 (release 2.3.0d) European Train Control System (ETCS) and the rail operation control system. Beside being installed for the base tunnel, ETCS is implemented along the Gotthard North-South axis from the Brunner exit to the junction between the tunnel and mountain lines and from the base tunnel exit and the mountain line from Polleggio to Castione. The system monitors trains traffic, detects irregularities along the access routes to the base tunnel and the connection of safety systems with other systems. The system displays directly in the cockpit the permission to start, speed and route data. Apart from some orientation signs, this system makes external signals obsolete. Train movement, local maximum speed, train maximum speed, correct route and direction of travel are constantly monitored by the line section control station. This system supervises continuously the train speed along the entire route, thus enhancing permanently the safety levels. Moreover, the system is the European safety standard, it facilitates cross-border traffic with Europe. ETCS Level 2 significantly reduces the purchasing and vehicle maintenance costs and guarantees the compliance with high requirements in terms of line capacity (3-minute train headways). Inside the tunnel can pass train with this interface and configuration. SBB has been campaigning for adaptation of in service trains and was commissioned the construction of 29 new trains purpose-built by Stadler Rail for transit in the tunnel. Two alarm and automatic train braking systems are installed. The "Integra Signum" alerts the train driver, at the warning signal, when the train approaches a



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 33 - Attività di tecnica ferroviaria.  
Fig. 33 - Railway installation.

allarme e di frenatura automatica del treno. L' "Integra Signum" avvisa il macchinista, all'altezza del segnale di avviso, quando il treno si avvicina ad un segnale chiuso o quando deve ridurre la velocità. Se il macchinista non rispetta il segnale di arresto, il sistema frena automaticamente. Il "ZUB", si aggiunge all' "Integra Signum" per monitorare costantemente la velocità del treno tra il segnale di avviso e quello principale. Qualora il macchinista non riduca la velocità tra i due segnali, il treno viene frenato automaticamente.

La canna ovest tra Faido e Bodio è stato il primo settore della galleria ad essere dotato degli impianti di tecnica ferroviaria. Dal 2013 in questo comparto lungo 15 km sono state effettuate le prime prove con treni che viaggiavano a 200 km/h. Queste prove hanno permesso di testare a fondo la complessa interazione fra i vari sottosistemi tecnici e di trarne insegnamento per le attività in tutti gli altri comparti in programma dal 2014; in tal modo i primi 15 km di rete dotata di impianti di tecnica ferroviaria sono da considerarsi di riferimento per l'intera linea. Tutti gli impianti di tecnica ferroviaria sono collegati dal Centro di Esercizio di Polleggio (CEP) nel Canton Ticino e viene gestito tutto il traffico ferroviario sulla rete FFS da Arth-Goldau sino alle frontiere con l'Italia. Ciò comprende la regolazione, la sorveglianza e la disposizione del traffico ferroviario ma anche il comando di tutti i sistemi e di tutti gli impianti tecnici delle gallerie di base del Gottardo e del Ceneri. Il CEP, ove in condizioni normali operano 160 collaboratori, funge anche da punto di centrale per le attività di manutenzione e nel caso di emergenza le squadre di intervento avranno sede presso tale centro (tabella 5) [11].

5.3. I dispositivi di sicurezza

Una parte degli impianti di tecnica ferroviaria costituiscono i dispositivi di sicurezza. Gli impianti di controllo dei treni (ICT) sono impianti di localizzazione fissi, generalmente installati in corrispondenza dei binari, che rilevano i difetti tecnici sui treni in corsa e trasmettono le informazioni ad un sistema di analisi in una cabina accanto al binario (fig. 34).

Se il sistema rileva delle irregolarità, le informazioni vengono inoltrate al Servizio Circolazione Treni e al centro di intervento ICT di Erstfeld. Sono inoltre presenti degli impianti per la localizzazione delle boccole surriscaldate e dei freni bloccati, per il rilevamento dei principi di incendio e della fuoriuscita di sostanze pericolose e

closed signal or when it has to reduce speed. If the train driver does not respect the stop signal, the system brakes automatically. The "ZUB" was added to the "Integra Signum" to constantly monitor the train speed between the warning signal and the main one. If the train driver fails to reduce speed between the two signals, the train is braked automatically.

The West tunnel tube between Faido and Bodio was the first tunnel section to be equipped with the railway installations. From 2013 on, the first tests were carried out in this 15-km [9.3-mi] section with trains traveling at 200 km/h. [124 mph] These tests have allowed to fully test the complex interaction between the various technical subsystems and considered reference for all other sections in the program from 2014; in this way the first 15 km [9.3 mi] of the network equipped with the railway installations were considered reference for the entire line. All the railway installations are connected with the Polleggio Operational Centre (COP) in the Canton of Ticino. The COP manages all rail traffic on the SBB network from Arth-Goldau to the border with Italy. The COP, where under normal conditions 160 employees work, serves also as a central point for maintenance and emergencies; the intervention teams will be based at the center (table 5) [11].

TABELLA 5 – TABLE 5

Dati principali degli impianti  
Principal data of systems

Impianti di telecomunicazione Telecommunication system	380 calcolatori di comando singolo 380 individual control computes 70.000 punti dati per la tecnica di controllo in galleria 70,000 data points for control technique in tunnel 417 colonnine per le chiamate di emergenza 417 stations for emergency calls 60 apparecchi telefonici 60 telephones 500 componenti per reti 500 network components 280 amplificatori di radiotrasmissione 280 radio amplifiers 120 km di cavo trasmittente 120 km transmitter cables
Impianti di protezione Protection systems	Balise: 928 pezzi Balise: 928 units Conta-assi: 712 pezzi Conta-assi: 712 units Tavolette di marcatura del segnale principale: 426 pezzi Tablets for mail signal marking: 426 units Cabine di manovra: 4 pezzi Signal tower: 4 units Radio Block Center (ETCS): 1 pezzo Radio Block Center (ETCS): 1 unit Tecnica di comando ferroviario: 1 pezzo Rail control technology: 1 unit
Impianti di ventilazione Ventilation systems	2 stazioni d ventilazione e 24 ventilatori a getto sui portali 2 ventilation stations and 24 jet fans on the portals Portata: 250 m³/h Capacity: 250 m³/h Velocità <= 5 m/s Speed: <= 5 m/s





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 34 - Banchine con illuminazione e segnaletica di sicurezza.

*Fig. 34 - Platform with safety signage and illumination.*

check point per il carico ruota per la misurazione dello spostamento del carico, del peso totale e dell'ovalizzazione delle ruote. Sono anche presenti impianti per la verifica del profilo e delle antenne che consentono il monitoraggio del profilo di spazio libero ammesso e le antenne sporgenti, ma anche impianti di misurazione del sollevamento della linea di contatto che permette il rilevamento di eventuali pantografi danneggiati al fine di proteggere la linea di contatto stessa. In caso di evento le due centrali di ventilazione di Sedrun e Faido e i 24 ventilatori a getto installati in corrispondenza dei portali nord e sud garantiscono, grazie al sistema di ventilazione, un adeguato ricambio d'aria. A Faido l'aria entra nel cunicolo di accesso carrabile e viene espulsa attraverso un cunicolo parallelo al precedente e posto al di sopra dello stesso. A Sedrun l'aria viene immessa e prelevata da due pozzi verticali distinti (vi è uno sbalzo di 800 m tra il piano del tunnel e quello campagna). Si possono distinguere 3 diversi scenari (fig. 35) in funzione delle situazioni tipo:

- circolazione normale di treni in esercizio commerciale in entrambe le canne;
- circolazione normale dei treni in una canna e manutenzione nell'altra canna;
- incidente con necessità di soccorsi.

Nel primo caso la ventilazione all'interno delle canne del tunnel è garantita direttamente dai treni attraverso l'"effetto pistone" che si crea dallo spostamento d'aria al passaggio del treno. In questa situazione gli impianti di ventilazione sono generalmente spenti poiché il ricambio d'aria sarà significativo e dato dal passaggio di 6 treni l'ora.

Nel secondo caso la ventilazione viene attivata solo nella canna ove vi è in corso la manutenzione. A seconda dei casi l'aria può essere prelevata ed immessa dalle stazioni intermedie ma anche dai portali e garantire portate pari a 250 m<sup>3</sup>/h. Il flusso d'aria non deve mai superare i

### 5.3. The safety devices

Safety devices are part of the railway installations. The (TCS) train control system consist of fixed localization installations, usually installed between the tracks, which detect technical problems on moving trains and transmit the information to an analysis system in a trackside cabin (fig. 34).

If the system detects irregularities, the information is forwarded to the Railways Traffic Service and to the intervention center TCS in Erstfeld. There are also installations for the detection of hot wheelboxes and locked brakes, for the detection of initial fires and leakage of dangerous substances and the check point for the wheel load for the measurement of the load displacement, of the total weight and of the wheel ovalization. There are also systems for the verification of the profile and antennas for the monitoring of the free space and the protruding antennas, the main power line lifting devices for the detection of damaged pantographs and protection the main traction power line itself. In case of a relevant event the two ventilation units in Sedrun and in Faido and the 24 jet fans installed at the North and South portals provide proper air exchange. In Faido air enters from the vehicular access tunnel and is discharged through a parallel tunnel to the previous one and placed above it. In Sedrun the air is injected and withdrawn from two distinct vertical wells (there is an overhang of 800 m between the tunnel and the ground level). You can distinguish three different scenarios (fig. 35) depending on situations type:

- normal train traffic in both tunnels;
- normal train traffic in one tunnel (TN01 or TN02) in maintenance activities in the other;
- accident with aid needs.

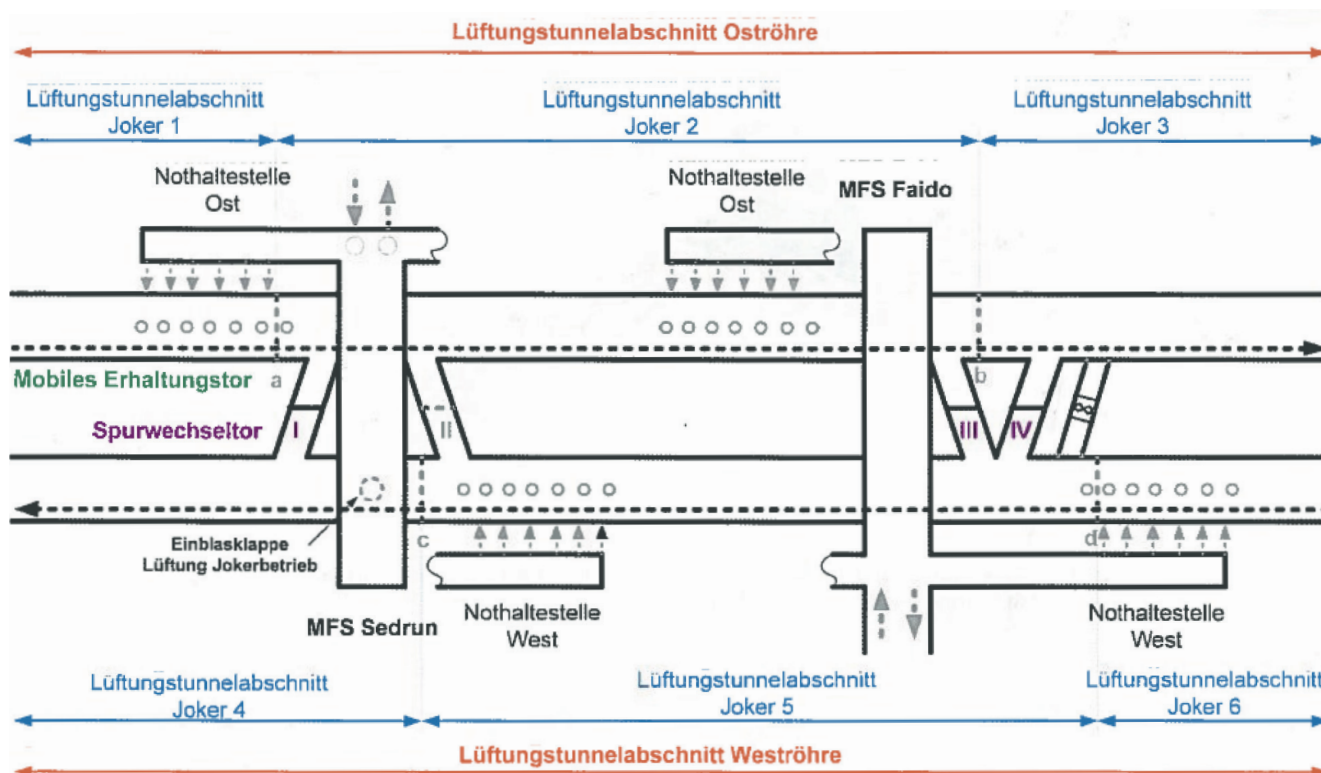
In the first case the ventilation is ensured directly by the trains through the "piston effect" that is created by the displacement of air to the passage of the train. In this situation the ventilation systems are generally turned off because the exchange of air will be significant and given by the passage of 6 trains every hour.

In the second case the ventilation is switched on only in the tunnel where there is ongoing maintenance activities. Depending on the cases, the air can be injected and withdrawn from the intermediate stations but also from the portals and provide flow of 250 m<sup>3</sup> / h. [820 ft<sup>3</sup>/h] The air flow must not exceed 5 m / s [16.4 ft/s] to ensure the safety of workers involved in maintenance operations.

In the third case, in the tube uninvolved in the event and in the multifunctional stations the ventilation system can supply an overpressure to protect the people. Moreover, in case of explosive, dangerous or polluting substance spills, each tunnel tube has an open water duct system that can handle a continuous 5 l/s [1.3 US gals] waterflow to carry these substances into the containment and temporary storage tanks located at the portals and avoid explosions inside the tunnel.

Some self-rescue systems have also been provided for,





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 35 - Schemi degli scenari di ventilazione.

Fig. 35 - Ventilation scenarios scheme.

5 m/s per garantire la sicurezza dei lavoratori coinvolti nelle operazioni di manutenzione.

Nel terzo caso, nella canna non coinvolta dall'evento e nelle stazioni multifunzionali è possibile mettere in servizio un sistema di ventilazione in sovrappressione per tutelare le persone.

Inoltre, in caso di versamento di sostanze esplosive, pericolose o inquinanti, in ogni canna della galleria vi è un sistema di tubazioni idriche aperte che permette di immettere in galleria 5 l/s a flusso continuo per trasportare tali sostanze nelle vasche di contenimento e stoccaggio temporaneo che sono poste in corrispondenza dei portali e quindi evitare eventuali esplosioni all'interno della galleria.

Alcuni sistemi sono previsti anche per l'autosoccorso come ad esempio l'impianto di illuminazione di emergenza posto anche in corrispondenza delle banchine sopraelevate considerate vie di fuga per i passeggeri e la segnaletica. L'autosoccorso è uno degli step della strategia della sicurezza in galleria preceduto dal treno guasto che lascia autonomamente la galleria e seguito dalle misure per l'intervento dei soccorsi (fig. 36).

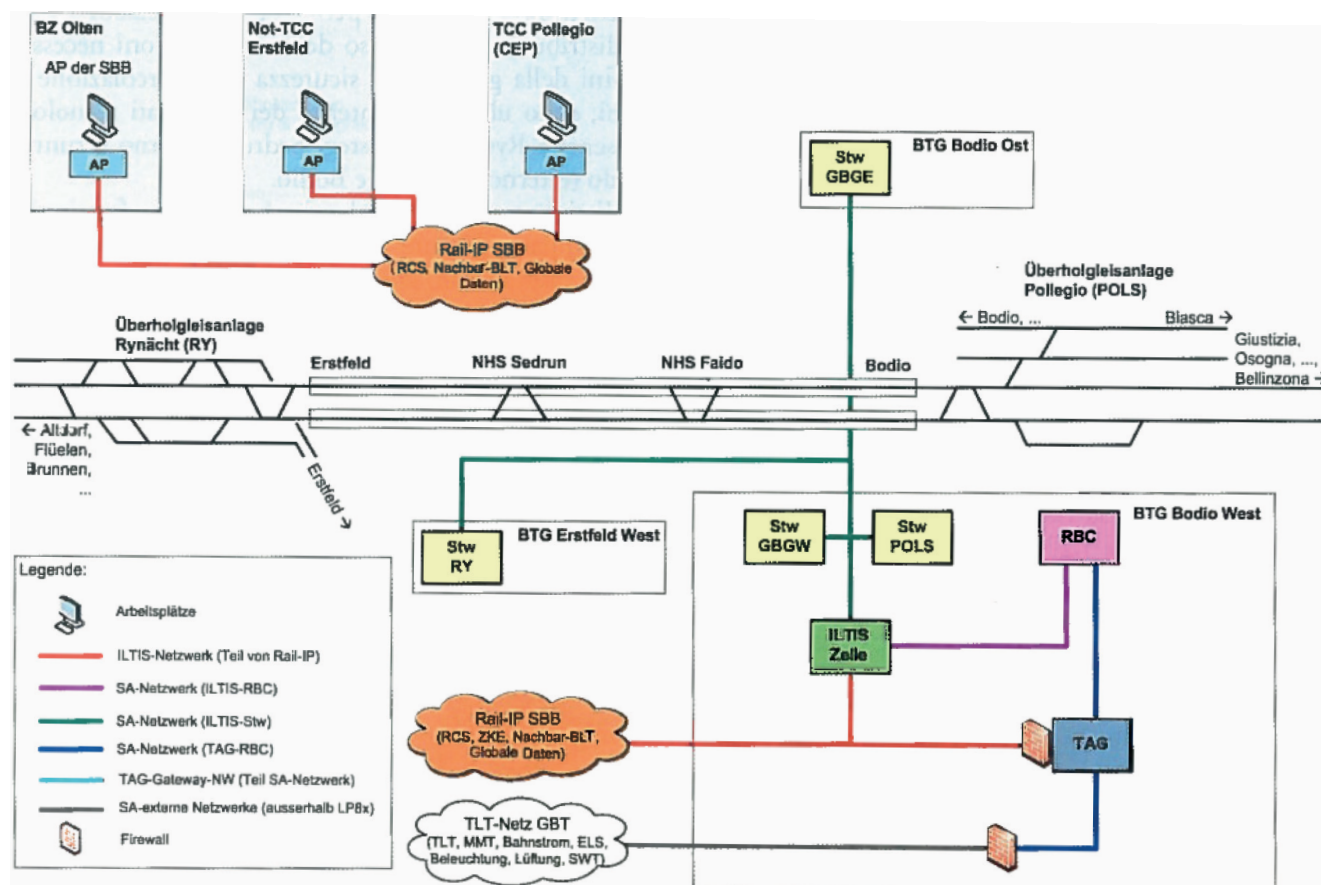
A decorrere dal 1 luglio 2008 è stata introdotta la Specifica Tecnica di Interoperabilità (STI). Essa definisce una serie di misure riguardanti l'infrastruttura, l'energia,

such as the emergency lighting placed along the elevated platforms used as passenger escape routes and signage. Self-rescue is one aspect of the safety strategy, after the faulty train leaving independently the tunnel and followed by measures for the emergency services (fig. 36).

On July 1, 2008 was introduced the Technical Specification for Interoperability (TSI). This defines a series of measures covering infrastructure, energy, control-command and signaling, rolling stock and operating subsystems and traffic management, which must be applied in order to ensure an optimal level of safety in railway tunnels. The date of introduction of such measures, the Gotthard base tunnel was in an advanced construction phase. Given the exceptional nature of the work, the safety systems were of particular interest and development in the project, ensuring high safety standards. These standards meet the TSI. An example of the measurements laying of the overhead contact line as previously described [4].

#### 5.4. The maintenance

Maintenance to be undertaken inside the Gotthard base tunnel concerns all procedures that cannot be performed remotely and those that must be performed by diagnostic rail vehicles using normal runs through the tunnel (fig. 37). Such work includes, for example, maintenance and clean-



(Fonte - Source: FFS - SBB)

Fig. 36 - Schema d'insieme delle relazioni di telecomunicazione, elettriche ed elettroniche per garantire la circolazione ferroviaria in sicurezza.

Fig. 36 - Telecommunication, electrical and electronic relationship global scheme.

il controllo-comando e segnalamento, il materiale rotabile e i sottosistemi di esercizio e gestione del traffico, che devono essere applicate al fine di garantire un livello ottimale di sicurezza nelle gallerie ferroviarie. Alla data di introduzione di tali misure, la galleria di base del San Gottardo era in avanzata fase costruttiva. Viste le caratteristiche eccezionali dell'opera, gli impianti di sicurezza hanno rivestito particolare interesse e sviluppo nel progetto, garantendo elevati standard di sicurezza. Tali standard rispettano le STI. Si pensi ad esempio alle misure di posa della catenaria come precedentemente descritto [4].

#### 5.4. La manutenzione

La manutenzione che dovrà essere eseguita all'interno della galleria di base del San Gottardo riguarda tutti quegli interventi che non possono essere eseguiti da remoto e quelli che devono essere eseguiti da veicoli diagnostici per mezzo di normali corse attraverso la galleria (fig. 37). Si tratta, ad esempio, di lavori di manutenzione e di pulizia su impianti di drenaggio, installazioni elettromeccaniche (impianti di ventilazione, porte di accesso ai cuni-

ing of drainage systems, of electromechanical installations (ventilation, access doors to cross passages...) or of the railway installation equipment (tracks, railway switches, contact line...). They were planned three types of maintenance intervals:

- regular intervals;
- intervals joker,
- intervals need for immediate interventions (disturbances resolution).

To enable the maintenance works, one tube at a time, barriers are arranged along the railway line during night-time between Saturday and Monday (an 8-hour barrier) and between Monday and Tuesday (a 6-hour barrier). Taking into account the time of construction site placement and assuming a construction site at about 1/3 of the tunnel, we have over 6 productive hours for the first two nights and four hours for the third night. Thanks to the safety systems installed, maintenance trains can enter tunnel through the portals and take the approach to the construction site at the speed of 100 km/h [62 mph] (speed view in the maintenance areas). For the maintenance activities of

coli trasversali,...) o su impianti di tecnica ferroviaria (binari, scambi, linea di contatto,...). Sono state pianificate 3 tipologie di intervalli per la manutenzione:

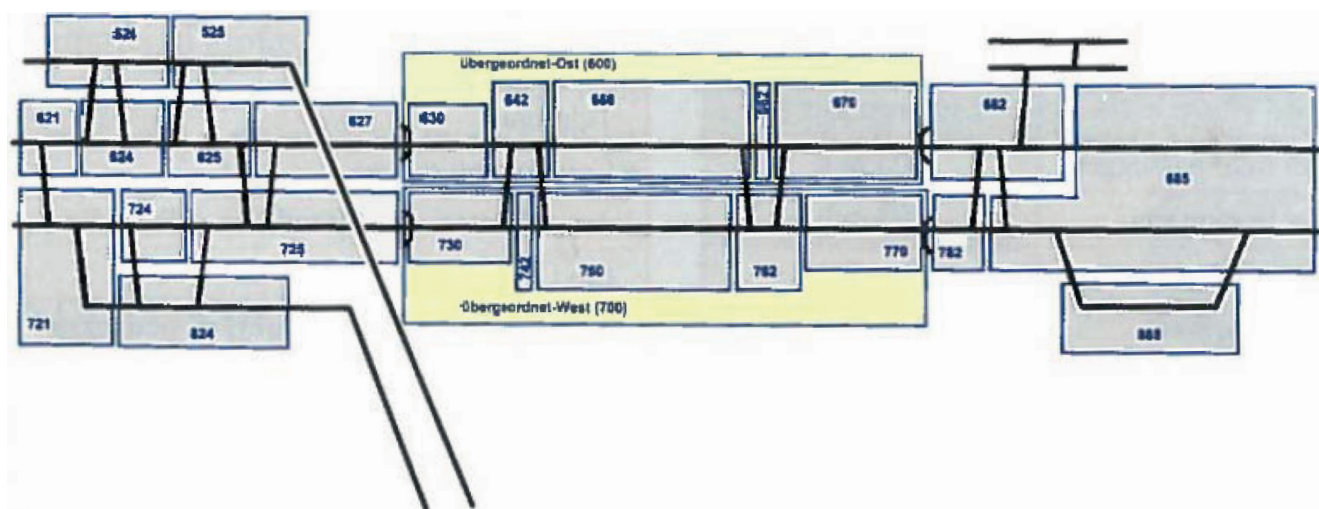
- intervalli regolari;
- intervalli joker;
- intervalli per necessità di interventi immediati (risoluzione perturbazioni).

Gli intervalli regolari consentono lo svolgimento dei lavori di manutenzione, una canna alla volta, attraverso degli sbarramenti tra le notti da sabato a lunedì (sbarramento otto ore) e la notte tra lunedì e martedì (sbarramento 6 ore). Tenendo conto dei tempi di accantieramento e ipotizzando un cantiere in corrispondenza di circa 1/3 della galleria, si hanno a disposizione 6 ore produttive per le prime due notti e 4 ore per la terza notte. Grazie ai sistemi di sicurezza installati, i treni di manutenzione possono entrare in galleria attraverso i portali e percorrere l'avvicinamento al cantiere alla velocità di 100 km/h (velocità a vista nelle zone di manutenzione). Per la gestione della manutenzione della galleria di base del San Gottardo sono stati commissionati dei treni dedicati alla Hasarco Rail. I treni commissionati sono di tipologie necessarie per tutti i tipi di interventi. Nonostante la presenza dei sistemi di ventilazione la temperatura nelle canne resta elevata (compresa tra i 32 e i 38°C) così come nei cunicoli trasversali (maggiori di 40°C con picchi misurati fino a 45°C). Alla luce di queste condizioni poco ergonomiche, il personale coinvolto nelle attività di manutenzione effettua pause di 15 minuti ogni ora di lavoro in locali climatizzati a bordo dei treni di manutenzione oppure nelle stazioni multifunzionali. Il personale dedicato alla manutenzione del tunnel è sottoposto a severi e specifici test atti ad accertare l'idoneità fisica e psichica. Gli intervalli joker invece devono essere concordati e definiti

*the Gotthard Base tunnel, SBB commissioned special trains to Hasarco Rail. The special trains cover all the maintenance activities. Despite the presence of ventilation systems the temperature in the tunnel remains high (between 32 and 38 °C [90-100 °F]) as well as in the cross tunnel (more than 40 °C [104 °F] measured with peaks up to 45 °C [113 °F]). These conditions are not ergonomic. In fact, the personnel involved in maintenance activities make a 15 minutes break every work hour in air-conditioned rooms on board maintenance trains or in the multifunction stations. The staff dedicated to the maintenance of the tunnel is subject to strict and specific tests capable to assess the physical and mental fitness. The joker intervals instead should be agreed and defined in advance. They are specific to disturbances that require intervention within 72 hours in the days excluded from regular intervals. The joker intervals may be required and are granted only if there are no late trains or scheduled special trains between the hours of 00:00 and 04:00 in the 4 nights between Tuesday and Saturday. Finally interventions for immediate needs are required when you have disturbances that generate an interruption to train traffic (fig. 38) [1].*

*The tunnel maintenance costs amount to CHF 40 million a year, those related to ancillary facilities such as maintenance centers, new devices in the control rooms north and south of the tunnel and in substations amount to CHF 4 million. The operational cost of the base tunnel amounts to CHF 24 million a year.*

*In order to meet the projected budget annually, and to successfully perform routine maintenance and repairs within the ranges described above, it was necessary to make a maintenance management planning process. This process, which lasted two years, involving many specialized sectors both at regional and national level. The application software REAL (REsource ALlocation), developed on the*



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 37 - Settori di manutenzione.  
Fig. 37 - Maintenance sectors.

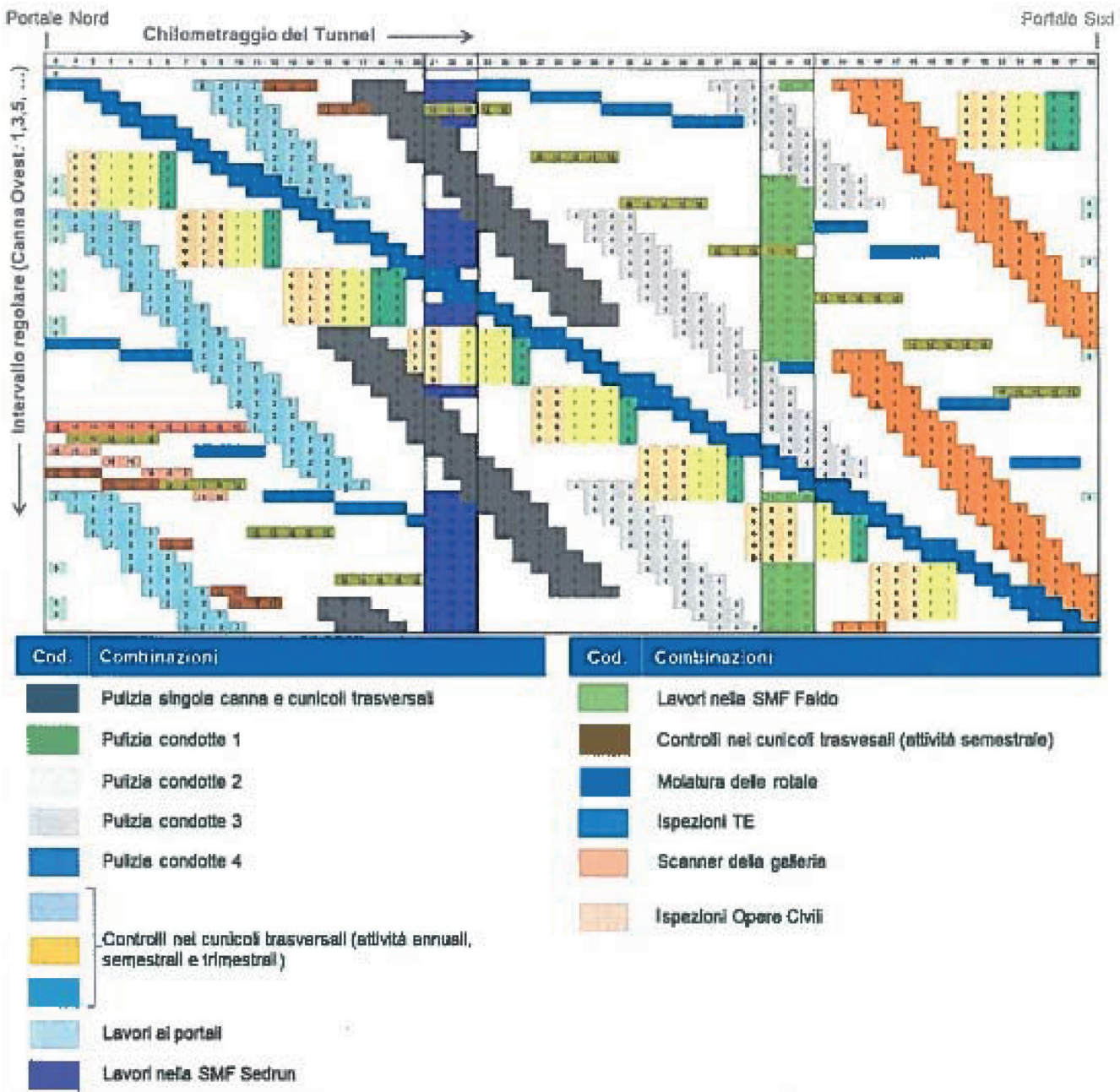


preventivamente. Essi sono specifici per perturbazioni che necessitano di intervento entro le 72 ore nelle giornate escluse dagli intervalli regolari. Gli intervalli joker possono essere richiesti e sono concessi solo qualora non ci siano treni in ritardo o treni straordinari programmati, tra le ore 00.00 e 04.00 nelle 4 notti tra martedì e sabato. Infine gli interventi per esigenze immediate vengono richiesti quando si presentano perturbazioni che generano un'interruzione della circolazione ferroviaria (fig. 38) [1].

basis of SAP R/3, is the main working tool for planners. This software allows the management of resources and their scheduling of the same depending on the various types of interventions needed.

5.5. The operation of trains

The maximum permissible train speed through the Gotthard base tunnel is 250 km/h [155 mph]. In general pas-



(Fonte - Source: FFS - SBB)

Fig. 38 - Modello di pianificazione ideale della distribuzione temporale delle attività di manutenzione.  
Fig. 38 - Maintenance activity planning.

I costi di manutenzione della galleria sono pari a 40 milioni CHF all'anno, quelli degli impianti accessori quali ad esempio centri di manutenzione, nuovi apparecchi delle centrali a nord e a sud della galleria e le sottocentrali sono pari a 4 milioni CHF. L'importo dell'esercizio della galleria di base è pari a 24 milioni CHF all'anno.

Al fine di rispettare il budget previsto annualmente e per riuscire ad effettuare la manutenzione ordinaria e straordinaria all'interno degli intervalli precedentemente descritti è stato necessario effettuare un processo di pianificazione della gestione della manutenzione. Tale processo, che è durato 2 anni, ha coinvolto i tanti settori specialistici coinvolti sia a livello regionale sia nazionale. L'applicativo software REAL (REsource ALlocation), sviluppato su base SAP R/3, è lo strumento di lavoro principale per i pianificatori. Questo software permette la gestione delle risorse e la relativa pianificazione delle stesse in funzione dei vari tipi di interventi necessari.

## 5.5. La circolazione dei treni

La velocità massima consentita ai treni all'interno della galleria di base del San Gottardo è di 250 km/h. In linea generale i treni passeggeri circoleranno attraverso la galleria di base ad una velocità di 200 km/h ed impiegheranno poco meno di 20 minuti per l'attraversamento (fig. 39). I treni merci circoleranno ad una velocità minima di 100 km/h. Tale velocità minima garantisce che, in

senger trains shall travel through the base tunnel at 200 km/h [124 mph], taking less than 20 minutes to get on the other side (fig. 39). Freight trains shall operate at a minimum speed of 100 km/h [62 mph]. This minimum speed ensures that two passenger trains and six freight trains per hour and direction can use the tunnel (the freight throughput will be reached after the opening of the Ceneri base tunnel); until then four freight trains and up to two passenger trains will operate in both directions. The passenger train speed cannot increase to the maximum because the excessive speed difference between freight and passenger trains reduces the route capacity. In order to ensure six freight trains per direction and hour, the speed of passenger trains must be limited to 200 km/h [124 mph]. In case of delay, the speed may be increased depending on the rolling stock and the operational situation (fig. 40) [2].

## 6. The commissioning

The commissioning of the base tunnel was extremely complex and it was subdivided into several stages (fig. 41). At the first stage, each system and component has undergone partial testing and commissioning from the point of view of functionality levels. After this stage was concluded, the commissioning of the entire tunnel followed. It took place in two steps: the functional testing and the commissioning trial operation [5].

The testing of technical systems, operational processes



(Fonte - Source: RSI)

Fig. 39 - Impatto della galleria sui tempi di percorrenza.  
Fig. 39 - Tunnel impact on journey times.



ogni ora, per ciascuna direzione, possano circolare due treni viaggiatori e sei treni merci (quest'ultima capacità sarà raggiunta con l'apertura della galleria di base del Ceneri); fino a quel momento giornalmente circoleranno quattro treni merci e fino a due treni passeggeri l'ora in entrambe le direzioni. Non è possibile aumentare la velocità dei treni passeggeri a quella massima poiché aumentando la differenza di velocità tra treni merci e passeggeri si riduce la capacità della tratta. Affinché nel traffico merci sia possibile garantire 6 tracce orarie per ogni direzione, la velocità dei treni passeggeri deve essere limitata a 200 km/h. In caso di ritardo la velocità potrà essere aumentata in funzione del materiale rotabile e della situazione dell'esercizio (fig. 40) [2].

and of system integration began in October 2015, requiring a total of over 3,500 train runs during which the interaction among tunnel components has been extensively tested (fig. 42).

In the role of service operator, AlpTransit Gotthard Ltd has demonstrated the compliance with the functionality and safety requirements of the tested equipment, obtaining the license for the operation testing phase in May 2016, and the following month the test phase began. The latter was under the responsibility of SBB, the future manager of the base tunnel.

The Federal Transport Office will issue the authorization for regular service scheduled for December 2016 only

Tempo di percorrenza	Piano di transizione 2014–2016 (da giugno 2014)	Piano di realizzazione 2017–2018 GbG + sbarramento linea lago di Zugo + risanamento dell'Axen	Piano di realizzazione 2019 GbG + risanamento dell'Axen	Piano target 2020 e segg. GbG e GbC
Zurigo–Bellinzona Zurigo–Lugano Zurigo–Milano C.	EC: 2h25 / ICN: 2h14 EC: 2h53 / ICN: 2h38 EC: 4h03	EC: 1h46 / ICN: 1h48 EC: 2h14 / ICN: 2h17 EC: 3h30	EC: 1h37 / ICN: 1h35 EC: 2h05 / ICN: 2h02 EC: 3h30	EC: 1h35 / ICN: 1h37 EC: 1h51 / ICN: 1h53 EC: 2h58
Basilea–Bellinzona Basilea–Lugano Basilea–Milano C.	EC: - / ICN: 3h19 EC: - / ICN: 3h43 EC: -	(EC: 2h45) / ICN: 2h45 (EC: 3h13) / ICN: 3h13 (EC: 4h29)	(EC: 2h36) / ICN: 2h36 (EC: 3h04) / ICN: 3h04 (EC: 4h29)	(EC: 2h36) / ICN: 2h36 (EC: 2h52) / ICN: 2h52 (EC: 3h59)
Basilea–Milano C.	EC: 4h04	EC: 4h04	EC: 4h04	EC: 4h04
Lucerna–Bellinzona Lucerna–Lugano Lucerna–Milano C.	EC: 2h10 / ICN: 2h05 EC: 2h38 / ICN: 2h29 (EC: 3h48)	(EC: 1h25) / ICN: 1h25 (EC: 1h53) / ICN: 1h53 (EC: 3h09)	(EC: 1h24) / ICN: 1h24 (EC: 1h52) / ICN: 1h52 (EC: 3h17)	(EC: 1h25) / ICN: 1h24 (EC: 1h41 / ICN: 1h40 (EC: 2h48)

(Fonte - Source: FFS - SBB)

Fig. 40 - Orari dei treni.  
Fig. 40 - Train times.

## 6. La messa in servizio

La messa in servizio della galleria di base è stata estremamente complessa e si è suddivisa in diverse tappe [5].

In una prima fase ogni impianto e componente è stato testato e collaudato a livello di funzionalità con delle prove parziali (fig. 41). Terminata questa prima fase ha avuto inizio la messa in servizio vera e propria dell'intera galleria. Essa si è suddivisa in due fasi: il test operativo e l'esercizio di prova. Nell'ottobre 2015 è iniziata la fase di test sui sistemi tecnici, sui processi di esercizio e sull'integrazione del sistema globale per un totale di oltre 3.500 corse ove si è verificato estensivamente l'interazione tra tutti i componenti della galleria (fig. 42).

Nella veste di esecutore, AlpTransit San Gottardo SA ha dimostrato la funzionalità e i requisiti di sicurezza di quanto testato, ottenendo l'autorizzazione d'esercizio per la fase di prova nel maggio 2016 e il mese successivo è iniziata la

after it had been shown that the passenger and freight train traffic, staff employment and event management work flawlessly. The issuing of the testing service authorization and the handing-over from the AlpTransit San Gottardo Ltd to SBB was a project milestone celebrated with the official opening on June 1, 2016 and with the public event on June 4 and 5, taking place in four areas: in Rynächt and Erstfeld at the North portal and in Biasca and Polleggio at the South one.

## 7. Conclusions

This event made clear the importance of transport and its development through the realization of the base tunnel. In fact, 220 to 260 freight trains will use the new line, a substantial increase compared to the current line of the original mountain capacity of 140 to 160 trains. The new level and almost straight line can accommodate very long





(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 41 - Test.  
Fig. 41 - Tests.

fase di prova. Quest'ultima è sotto la responsabilità di FFS, il futuro gestore della galleria di base. Solo una volta che è stato dimostrato che la circolazione dei treni sia passeggeri sia merci, l'impiego del personale e la gestione degli eventi funzionano in modo impeccabile, l'Ufficio federale dei Trasporti competente rilascerà l'autorizzazione al regolare esercizio previsto per dicembre 2016. L'ottenimento dell'autorizzazione d'esercizio per la fase di prova e quindi il passaggio dalla società AlpTransit San Gottardo SA a FFS, è stata una pietra miliare del progetto celebrata con l'inaugurazione ufficiale del 1° giugno 2016 e l'evento pubblico del 4-5 giugno che si è svolto in quattro aree: a Rynächt e Erstfeld al portale nord e a Biasca e Polleggio al portale sud.

## 7. Conclusioni

Tale evento ha permesso di comprendere l'importanza e lo sviluppo dei trasporti grazie alla realizzazione della galleria di base. Infatti sulla nuova linea potranno transitare da 220 a 260 convogli merci, un aumento sostanziale rispetto all'attuale capacità della linea storica di montagna (140-160 convogli). La nuova linea piana e pressoché rettilinea è in grado di accogliere anche treni merci lunghi e pesanti: carichi di 2.000 tonnellate potranno attraversare la Svizzera senza fermate e senza motrici supplementari, evitando dunque manovre lunghe e dispendiose ed inquinanti. Si otterrà un aumento della capacità annuale di trasporto merci passando dagli attuali 20 milioni di tonnellate a circa 50 milioni di tonnellate. La nuova ferrovia, in merito al traffico passeggeri, sarà in grado di competere in termini di durata del viaggio, sia con il traffico stradale sia con quello aereo. A trarne beneficio saranno gli oltre 20 milioni di abitanti che popolano il vasto bacino di utenza fra il sud della Germania e il nord Italia. Gli orari ferroviari nazionali e transfrontalieri saranno coordinati tra loro, articolandosi intorno ai nodi ferroviari di Zurigo e Milano. In questo modo sull'asse sud-nord i treni passeggeri potranno viaggiare a cadenza oraria e persino ogni 30 minuti nei periodi di punta.



(Fonte - Source: ©AlpTransit San Gottardo SA)

Fig. 42 - Test in galleria.  
Fig. 42 - Tests inside the tunnel.

and heavy freight trains (up to 2,000 tons) crossing Switzerland with no stops and no additional locomotives, thus avoiding long, expensive and polluting maneuvering. The annual freight carrying capacity will increase from the current 20 million tons to about 50 million tons. In terms of passenger traffic, the new railway line will compete with both the road and air traffic. More than 20 million people living in the vast catchment area between southern Germany and northern Italy will be the main beneficiaries of the project. The national and international rail timetables will be coordinated and articulated around the railway hubs of Zurich and Milan, thus enabling tight times between consecutive South-North passenger trains of an hour or even 30 minutes in peak periods.

Considering the planned increase of traffic, the Gotthard line, the three independent SBB teams have analyzed the energy consumption. using simulations based on a reference traffic scenario. All studies, based on the operational concepts for 2020, have led to the same conclusion – as compared with the mountain line, the overall energy consumption on the Gotthard base line will decrease by at least 10 percent. SBB expects an increase in energy consumption of 20 percent for the passenger traffic, due to the higher speed (200 km/h [124 mph], up to the maximum of 250 km/h [155 mph]) and increased aerodynamic drag inside the Gotthard base tunnel. Conversely, the same the traffic volume of freight traffic is expected to reduce the energy consumption by a third, or 33 percent. Freight trains use less energy in the Gotthard base tunnel since it requires less mechanical braking than the mountain line. They will increasingly use electric braking, which recovers some power into the rail power network. The heavier the freight traffic, the grater the energy saving and the better the base tunnel energy balance. The energy needed to power the ventilation system and the tunnel technical installations has been included in the calculations. In the light of these data and from the energy point of view, it appears that the base tunnel saves energy. It is also clear that the pollution is considerably reduced

Visto l'incremento di traffico previsto, le FFS hanno analizzato il consumo di energia sulla linea del San Gottardo con tre team di simulazione indipendenti. Tutti gli studi, basati sul concetto di esercizio del 2020, hanno portato alla stessa conclusione: rispetto alla linea di montagna, il consumo complessivo di energia sulla linea di base del San Gottardo si ridurrà di almeno il 10 per cento. Nel traffico viaggiatori le FFS prevedono un aumento del consumo di energia pari al 20 per cento, riconducibile alle più elevate velocità di circolazione (200 km/h, fino a un massimo di 250 km/h se necessario) e a una maggiore resistenza aerodinamica all'interno della galleria di base del San Gottardo. Per contro, nel traffico merci a parità di volume di traffico è attesa una riduzione del consumo di energia di un terzo (33 per cento). I treni merci consumeranno meno energia nella galleria di base del San Gottardo, dal momento che in galleria saranno necessarie meno frenature meccaniche rispetto alla linea di montagna. Essi ricorreranno più spesso alla frenatura elettrica, reimmettendo così maggiore energia nella rete ferroviaria. Con un traffico merci più intenso, aumenta quindi il risparmio percentuale e con esso il bilancio energetico per la galleria di base (tabella 6). L'energia necessaria per alimentare il sistema di ventilazione e gli impianti tecnici della galleria è stata inclusa nei calcoli. Alla luce di questi dati si evince che anche dal punto di vista energetico la galleria di base permette un risparmio.

Si evince inoltre che anche l'inquinamento risulta così notevolmente diminuito sia in termini di consumi energetici ma anche in termini di emissioni prodotte.

Anche dal punto di vista della sicurezza vi è stato un miglioramento della tratta grazie all'introduzione del sistema ECTS Level 2 ma anche all'impiego di altri sistemi, quali ad esempio "Integra Signum" e "ZUB", ma anche il TLT (Tunnel Leit Technik) per la supervisione degli impianti di automazione e domotica e il TAG (Tunnel Automatik Gotthard) che consente la trasmissione in automatico di avviso, di ordine e di allarme ai rispettivi operatori interessati. Tutti questi sistemi permettono un costante monitoraggio dei binari e della rete in generale (tabella 7).

I costi di realizzazione della galleria di base del San Gottardo, come pianificato, sono pari a 13,1 miliardi CHF. I costi di manutenzione annuali sono pari a 40 milioni (tabella 8).

Vista l'inaugurazione avvenuta è possibile affermare che l'uomo ha vinto la montagna. Questa vittoria è stata possibile grazie all'impegno totale di tutti gli operatori, all'impiego di tecnologia all'avanguardia in tutti i settori

TABELLA 6 – TABLE 6

Conseguenze energetiche della galleria  
*Tunnel energy consequences*

Conseguenze energetiche della galleria <i>Tunnel Energy consequences</i>	Quantità <i>Capacity</i>	Determinato da <i>Determined by</i>
Aumento del consumo di energia <i>Increase of energy consumption</i>	20%	Più elevate velocità di circolazione <i>The higher velocity of circulation</i> Maggiore resistenza aerodinamica in galleria <i>Increased aerodynamic resistance in the tunnel</i>
Riduzione consumo energia <i>Reducing energy consumption</i>	33%	Non necessaria secondo elemento di trazione <i>Unnecessary second traction member</i> Riduzione del numero delle frenature meccaniche <i>Reducing the number of mechanical braking</i>
Bilancio positivo <i>Positive results</i>	>10%	

TABELLA 7 – TABLE 7

Parametri principali della galleria del San Gottardo  
*Principal data of Gotthard tunnel*

Tipologia del traffico <i>Traffic type</i>	Misto <i>Passenger and goods</i>
Velocità di esercizio dei treni passeggeri <i>Passenger trains speed</i>	200 km/h
Velocità di esercizio dei treni merci <i>Goods trains speed</i>	>100 km/h
Velocità massima dei treni passeggeri <i>S<sub>max</sub> passengers trains</i>	250 km/h
Velocità massima treni merci <i>S<sub>max</sub> goods trains</i>	160 km/h
Numero treni passeggeri al giorno <i>Passenger trains number a day</i>	50-80
Numero treni merci al giorno <i>Goods trains number a day</i>	220-280
Sagoma limite <i>Rail gauge</i>	P/C 80 (FFS EBV4)
Pendenza massima <i>Slope max</i>	12,5‰
Raggio orizzontale di curvatura minima <i>Horizontal radius of minimum curvature</i>	5.000 m
Durata di impiego <i>Working life</i>	100 anni

della costruzione e della progettazione e grazie ad un approccio manageriale flessibile in funzione delle varie fasi del progetto ma con delle linee guida ben definite.

Un progetto di tali dimensioni ha permesso anche l'individuazione di numerose lesson learnt che potranno essere impiegate in futuro su progetti simili o comunque tali lezioni possono essere dimensionate per future opere. Purtroppo una lesson learnt da tenere in considerazione per le opere future, è che, nonostante il sistema puntuale, preciso ed accurato di sicurezza impiegato non è stato sufficiente per evitare che 8 persone perdano la vita durante la costruzione di tale opera.

TABELLA 8 – TABLE 8

Dati economici  
Principal economic data

Fondo dei Trasporti Pubblici (FTP) <i>Fund of Public Transport</i>	30 miliardi CHF <i>CHF 30 billion</i>
Costo della Nuova Ferrovia Trans Alpina (NFTA) <i>NFTA cost</i>	19,1 miliardi CHF <i>CHF 19.1 billion</i>
Costo della galleria di base del San Gottardo <i>Gotthard base tunnel cost</i>	13,1 miliardi CHF <i>CHF 13.1 billion</i>
Costo annuale manutenzione della galleria di base del San Gottardo <i>Maintenance annual cost of Gotthard base tunnel</i>	40 milioni CHF <i>CHF 40 million</i>

both in terms of energy consumption and of pollutant production (table 6).

From the safety point of view, the line has improved due to the introduction of the ECTS Level 2 system, but also by other systems such as “Integra Signum” and “ZUB”, but also the TLT (Tunnel Leit Technik) for the supervision of automation and home automation and the TAG (Automatik Gotthard Tunnel systems) which allows the transmission automatically warning, command and alarm to the respective operators concerned. These systems allow continuous track and general network monitoring (table 7).

The costs of construction of the Gotthard Base Tunnel, as planned, amounted to CHF 13.1 billion. The annual maintenance costs amount to 40 million (table 8).

After the inauguration it can be asserted that man has overcome the mountain. This victory was possible owing to the full commitment of all operators, to the use of cutting-edge technology in all construction and design disciplines, plus a flexible management approach depending on the project phases, and yet with well-defined guidelines.

A project of this size has also provided many “lesson learned” to be used in similar future projects or resized to fit future works. Unfortunately, a lesson learned to be considered in the future is that, despite the strict application of the precise and accurate safety system, it couldn't prevent eight deaths during the tunnel construction.

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] M. CORRADINI, A. FRABETTI, “La nuova ferrovia transalpina sull'asse del San Gottardo”, La Tecnica Professionale, CIFI Editore, Roma (I), ottobre 2016.
- [2] AA.VV., AlpExpress, Edizione speciale, Editore AlpTransit San Gottardo SA, Lucerna (CH), 2016.
- [3] AA.VV., “La nuova galleria del San Gottardo – La Svizzera per eccellenza”, Editore FFS SA, Berna (CH), 2016.
- [4] AA.VV., “Sicurezza a bordo”, Editore FFS SA, Berna (CH), 2016.
- [5] AA.VV., “Galleria di base del San Gottardo”, Editore AlpTransit San Gottardo SA, Lucerna (CH), 2016.
- [6] AA.VV., “Cifre e fatti del progetto – La costruzione grezza, la tecnica ferroviaria e la fresatrice”, Editore AlpTransit San Gottardo SA, Lucerna (CH), 2016.
- [7] AA.VV., “Galleria di base del San Gottardo”, Editore FFS SA, Berna (CH), 2016.
- [8] AA.VV., “Nasce l'opera del secolo”, Editore AlpTransit San Gottardo SA, Lucerna (CH), 2015.
- [9] AA.VV., “AlpExpress”, Editore AlpTransit San Gottardo SA, Lucerna (CH), 2015.
- [10] AA.VV., “AlpTransit Gotthard – Nuove vie di transito attraverso il cuore delle Svizzera”, Editore AlpTransit San Gottardo SA, Lucerna (CH), 2012.
- [11] AA.VV., “L'opera del secolo diventa realtà”, Vol.2, Editore Rolf E. JEKER, Aesch (CH), 2011.
- [12] AA.VV., “Storia e tecnica ferroviaria”, Editore CIFI, Roma (I), 2007.
- [13] AA.VV., “Il futuro inizia”, Vol.1, Editore Rolf E. JEKER, Aesch (CH), 2004.