

SIG – Società Italiana Gallerie

Convegno “Le sfide per la realizzazione di grandi opere in sottterraneo: progettazione, costruzione e gestione di opere complesse e sfidanti”

Expotunnel 2016 - Bologna (Bo) 20 – 21 ottobre 2016

«GOTHARD BASE TUNNEL - LESSON LEARNED TO BE APPLIED FOR NEW PROJECTS” / “GALLERIA DI BASE DEL SAN GOTTARDO – ESPERIENZE DA APPLICARE IN FUTURI PROGETTI»

Davide Fabbri, Lombardi SA, ingegneri consulenti – Direttore tecnico e responsabile del settore opere sotterranee

1 Introduzione

Con l’inaugurazione della Galleria di Base del San Gottardo (abbreviato GBG), avvenuta lo scorso 1° giugno, è stato stabilito un record: la messa in esercizio della galleria ferroviaria più lunga del mondo. Tante sfide sono state superate, tanta innovazione è stata messa in campo. La conclusione dell’opera è l’occasione per passare in retrospettiva 25 anni di progettazione e 17 anni di realizzazione, analizzare successi e criticità, trarre esperienze da applicare in futuri progetti. Il presente contributo affronta esperienze positive, che hanno significativamente contribuito alla realizzazione dell’opera nel rispetto dei tempi e dei costi concordati, come pure esperienze meno positive, degne di miglioramento. I diversi temi affrontati si riferiscono ai lavori di genio civile e alle prestazioni riguardanti la fornitura e messa in opera dell’equipaggiamento non ferroviario, escludendo invece le prestazioni concernenti la tecnica e l’armamento ferroviari.

2 Modello contrattuale, ripartizione dei rischi, gestione dei conflitti

Il modello contrattuale, con il quale s’intende realizzare una grande opera sotterranea, influisce significativamente sull’organizzazione di progetto, sullo sviluppo della progettazione, sulla procedura di messa in appalto e infine sull’implementazione del contratto stesso durante tutta la fase di costruzione.

Una ripartizione dei rischi ragionevole è importante per la calcolo dei prezzi unitari offerti dall’imprenditore, come pure per la strategia da esso adottata in fase di gara e per la costruzione del rapporto tra committente e imprenditore successivo alla firma del contratto. L’analisi di esperienze acquisite in vari continenti, condotta dal gruppo di lavoro n. 3 dell’ITA (International Tunnelling and underground space Association), ha infatti evidenziato che solo un’opportuna e bilanciata ripartizione dei rischi permette, al committente, l’ottimizzazione dei costi di realizzazione dell’opera.

Meccanismi per la gestione dei conflitti sono essenziali per affrontare in modo professionale le difficoltà e le mutate condizioni che, inevitabilmente, caratterizzano la realizzazione di opere di questa portata.

Nel caso specifico della GBG la progettazione (tutte le fasi, eccezion fatta per i progetti esecutivi dell’equipaggiamento) e la direzione generale e locale dei lavori sono state svolte dal committente, AlpTransit San Gottardo SA, e dai suoi progettisti. Gli imprenditori hanno

quindi avuto solamente, si fa per dire, il compito di realizzare l'opera definita dai progettisti. I lavori di genio civile e le prestazioni riguardanti la fornitura e messa in opera dell'equipaggiamento non ferroviario sono stati contrattualizzati secondo il modello "classico" applicato in Svizzera per le opere sotterranee, definito dalle norme SIA (Società svizzera degli ingegneri e degli architetti). Tale modello prevede, tra l'altro, una remunerazione in base a prezzi unitari e quantitativi effettivamente messi in opera, un'attribuzione al committente dei rischi legati al sottosuolo, mentre quelli legati alle modalità di esecuzione e al raggiungimento delle prestazioni offerte sono attribuiti all'imprenditore (vedi norma SIA 198, Allegato 5 "Attribuzione contrattuale dei rischi"). La gestione dei conflitti è stata concepita per gradi, partendo dal livello più basso, quello di cantiere, salendo gerarchicamente, giungendo per i pochi casi per i quali non è stato possibile trovare una soluzione consensuale, fino alla commissione d'arbitrato, concordata preventivamente tra le parti e a carattere consultivo (nota bene: nessuna disputa è mai giunta in tribunale).

Quanto esposto nel presente e nel prossimo capitolo aiuterà a meglio comprendere le conclusioni che di volta in volta saranno tratte e come il successo ottenuto sia stato possibile malgrado notevoli difficoltà e modifiche progettuali.

3 Definizione precoce della convenzione d'utilizzazione e della base del progetto, in particolare per gli equipaggiamenti

La normativa svizzera SIA ha introdotto, a seguito di aggiornamenti pubblicati nel 2003, l'elaborazione, nello stadio iniziale della progettazione definitiva, di due importanti documenti, che – una volta firmati dalle parti – statuiscono tra committente e progettista ed eventualmente anche con il futuro gestore (se differente dal committente, come nel caso della GBG, con AlpTransit San Gottardo SA incaricata della realizzazione e le Ferrovie Federali Svizzere dell'esercizio) l'utilizzazione e i requisiti dell'opera (funzionalità, requisiti tecnici, durabilità, ecc.):

- La "Convenzione di utilizzazione": descrizione degli obiettivi d'utilizzazione e di protezione stabiliti dal committente come pure dei vincoli, delle esigenze e delle prescrizioni fondamentali per la progettazione, l'esecuzione e l'utilizzazione della costruzione (vedi Figura 1, estratto dalla norma SIA 260);
- La "base del progetto": descrizione tecnica della convenzione d'utilizzazione, adattata al linguaggio specifico della costruzione (vedi Figura 1, estratto dalla norma SIA 260).

2.2	Convenzione d'utilizzazione
2.2.1	La convenzione d'utilizzazione deve essere stabilita sulla base di un dialogo fra il committente ed i progettisti.
2.2.2	La convenzione d'utilizzazione descrive: <ul style="list-style-type: none"> - gli scopi generali dell'utilizzazione della costruzione - l'ambiente e le esigenze di terzi - le necessità dell'esercizio e della manutenzione - le direttive particolari del committente - gli obiettivi della protezione e i rischi particolari - le disposizioni delle norme.
2.2.3	Gli obiettivi e il grado di protezione sono fissati sulla base di una valutazione dei rischi.
2.5	Concetto strutturale e base del progetto
2.5.1	Il concetto strutturale comprende: <ul style="list-style-type: none"> - il sistema strutturale scelto - le informazioni sulle dimensioni principali, sulle proprietà dei materiali e sui dettagli costruttivi - le indicazioni sui metodi costruttivi previsti.
2.5.2	La base del progetto descrive: <ul style="list-style-type: none"> - la durata d'utilizzazione prevista - gli stati d'utilizzazione considerati - le situazioni di rischio considerate - le esigenze concernenti la sicurezza strutturale, l'efficienza funzionale e la durabilità così come i provvedimenti previsti per garantirne il rispetto, incluse la definizione delle responsabilità, le modalità di attuazione, i controlli e i meccanismi di correzione - le condizioni ammesse per il terreno - le principali ipotesi concernenti i modelli strutturali e di calcolo - i rischi accettati - altre condizioni rilevanti per il progetto.
2.5.3	L'estensione e il contenuto della base del progetto devono essere adattati all'importanza della costruzione e ai rischi ai quali essa è sottoposta, rispettivamente ai rischi che essa comporta per l'ambiente.

Figura 1: Convenzione d'utilizzazione e Base del progetto, definizioni (fonte: SIA)

La progettazione definitiva delle opere del genio civile della GBG è avvenuta negli anni compresi tra il 1996 e il 2003; l'equipaggiamento della galleria e delle opere annesse, formalmente parte integrante dei diversi dossier, è prevalentemente stato trattato in maniera qualitativa.

La normativa svizzera SIA in vigore in quel periodo non prevedeva la stesura dei due documenti summenzionati, bensì la redazione di un cosiddetto "piano di utilizzo e di sicurezza", pensato soprattutto per definire gli scenari e i carichi / fattori di sicurezza da considerare nel progetto per il genio civile.

I differenti "piani di utilizzo e di sicurezza" hanno subito durante la fase di realizzazione, fino anche a 10 anni dopo l'approvazione dei relativi progetti definitivi, svariate aggiunte. Per lungo tempo non sono stati formalmente approvati dal committente, il futuro gestore non li ha mai formalmente approvati.

Dalla seconda metà del 2003, quando i lavori di genio civile erano già deliberati e i lotti principali erano in piena attività di scavo, l'attenzione si è spostata sugli equipaggiamenti. In breve tempo si è compreso che il progetto definitivo (versione 1999) non definiva sufficientemente i requisiti per i differenti impianti elettromeccanici necessari. Si è quindi proceduto all'elaborazione di progetti definitivi specifici, con lunghe discussioni sui requisiti tecnici da considerare. Gli impianti e le parti d'opera risultanti si sono trovati spesso in conflitto con il progetto costruttivo del genio civile, con conseguente necessità di

ottimizzazione dell'equipaggiamento rispettivamente d'interventi correttivi della costruzione grezza.

Solamente la progettazione definitiva delle opere elettromeccaniche per gli impianti di approvvigionamento con acqua industriale e di spegnimento, rispettivamente di smaltimento delle acque, completata solamente negli anni 2011-2012, ha invece seguito la nuova normativa, con un coinvolgimento diretto anche del futuro gestore e un maggior dialogo tra le parti.

L'esperienza maturata sull'arco di quasi due decenni ha evidenziato l'importanza di una discussione approfondita e precoce non solo per le opere del genio civile, bensì pure per la definizione, con largo anticipo sulla fase esecutiva, dei requisiti per l'equipaggiamento. Diversi esempi concreti, che saranno illustrati nei capitoli seguenti, mettono in luce le possibili conseguenze.

Il modello contrattuale adottato, non rigido, bensì sufficientemente flessibile per recepire e gestire cambiamenti di progetto anche importanti, è stato essenziale per potere giungere con successo al traguardo.

4 Imprevisti geologici e conseguenze di un profilo di scavo "al limite"

Gli avanzamenti con TBM aperta (Gripper-TBM) della tratta di Bodio presero avvio il 01.11.2002 (canna est, 13.450 km) rispettivamente 01.02.2003 (canna ovest, 14.113 km). Le condizioni geologiche e geotecniche pronosticate per la tratta di Bodio, caratterizzata da un'unica unità geologica, lo gneiss della Leventina, erano le più favorevoli dell'intero progetto. Poche faglie di rilevanza secondaria erano state pronosticate sulla base delle poche informazioni disponibili da precedenti progetti e dalle osservazioni effettuate in superficie (vedi valutazione del rischio geologico nella Figura 2). L'impiego di centine metalliche quale provvedimento di sostegno all'avanzamento era previsto su pochi metri. Circa 200 m dopo l'avvio dell'avanzamento fresato, la TBM della canna est è penetrata in un'estesa zona di disturbo suborizzontale, della lunghezza superiore a 500 m (vedi Figura 3). Ciò è avvenuto durante il periodo di rodaggio della TBM, in quella fase in cui le squadre di lavoro prendono confidenza con il macchinario, e in una fase in cui l'equipaggiamento della fresa, in particolare quello necessario alla messa in opera dei provvedimenti di sicurezza più pesanti, non era ancora sufficientemente rodato.

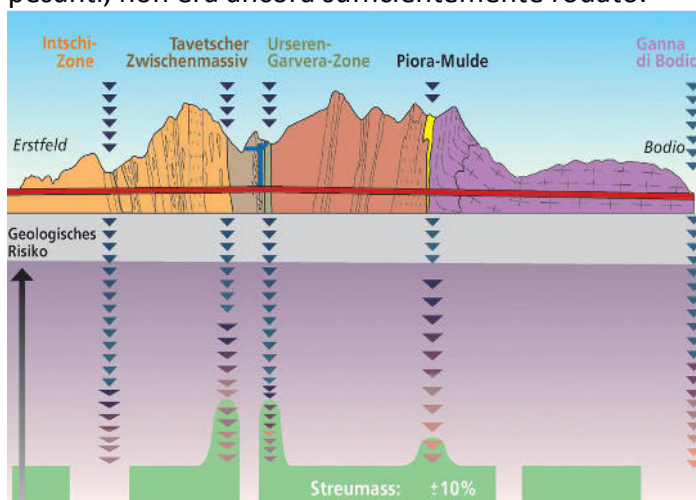


Figura 2: Rischio geologico, valutazione (fase iniziale degli scavi principali; fonte: ATG)

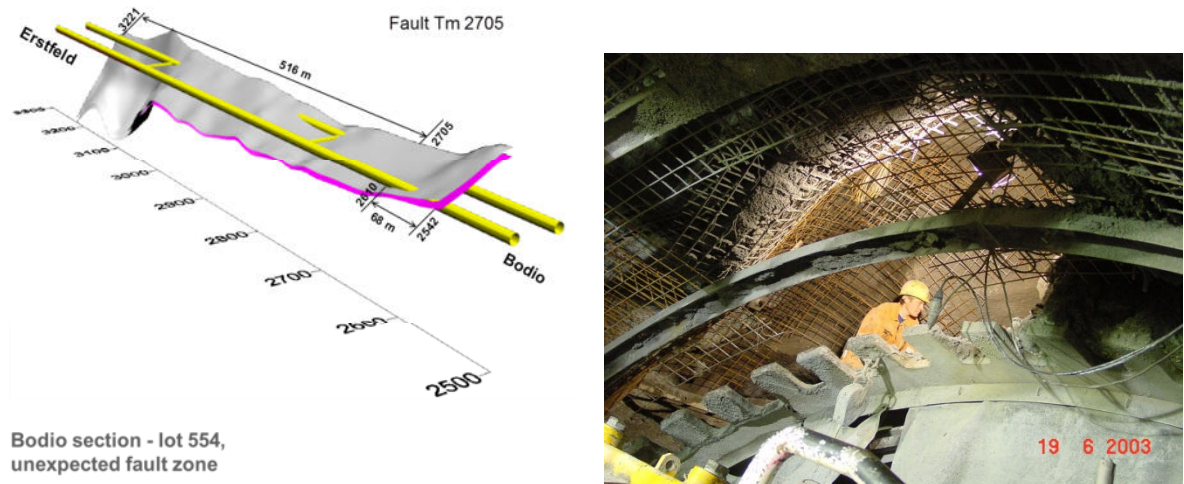


Figura 3: Zona di disturbo “Tm 2’705” (fonte: CI GBGS/Geolog.ch e CI GBGS/Lombardi SA)

La messa in opera di centine scorrevoli (TH36), ritenuta poco probabile e su tratte di lunghezza limitata, aveva condotto a un progetto d’appalto secondo il quale si rendeva necessario un sovrascavo, onde ottenere il necessario profilo alla loro messa in opera. A seguito dell’imprevisto geologico il progetto costruttivo ha dovuto quindi prendere in considerazione tratte centinate di decine o centinaia di metri: sovrascavo (diametro di scavo pari a 8.89 m, anziché 8.80 m con taglianti consumati, rispettivamente 8.83 m con taglianti nuovi) e inconsueti adattamenti del profilo, della geometria e del tipo d’acciaio delle centine (TH29+ invece di TH36) sono quindi stati necessari. Onde garantire uno spessore minimo di 27 cm per il successivo rivestimento interno (2 cm per il sistema d’impermeabilizzazione e 25 cm di calcestruzzo, rinforzato solo nelle zone di disturbo e in corrispondenza dei cunicoli trasversali), severe tolleranze sono dovute essere prescritte per l’applicazione delle misure di sostegno, in particolare per lo spessore e la pianeità del calcestruzzo spruzzato (vedi Figura 4).



Figura 4: Verifica del profilo minimo con “carro modina” (fonte: CI GBGS/Lombardi SA)

Nel complesso l’attraversamento di questo primo imprevisto geologico ha comportato un allungamento del programma dei lavori di circa 4 mesi nella canna est e di circa 1 mese nella canna ovest, molto meno toccata, e un maggior costo per il committente - a cui è attribuito il

rischio geologico – di circa CHF 10 milioni (senza la quota parte di messa a disposizione prolungata delle installazioni). Avanzamento giornaliero medio effettivo: da 2.1 m (est) a 2.5 m (ovest), nettamente inferiore ai rendimenti offerti dal consorzio d'impresе aggiudicatarie.

Nella parte finale della tratta di Bodio, le TBM hanno superato una vasta zona di disturbo, della lunghezza complessiva di circa 1.0 km, caratterizzata da tendenza a instabilità dell'ammasso roccioso a causa d'intensa fratturazione e da convergenze al contorno. Grazie all'esperienza maturata con oltre 10 km di avanzamento già effettuato, avendo tutto l'equipaggiamento prescritto contrattualmente, e beneficiando di maggior spazio nel settore L1 della TBM (quello subito dopo la testa) per l'applicazione dei provvedimenti di sostegno – ottenuto tramite modifiche apportate alla macchina, mirate a maggiore efficienza nell'applicazione di provvedimenti pesanti - l'avanzamento giornaliero si è situato tra 7 e 15 m. Nel complesso l'attraversamento di questo imprevisto geologico ha comportato un allungamento dei lavori di scavo di circa 2 mesi in entrambe le canne e un maggior costo per il committente di circa CHF 45 milioni (senza la quota parte di messa a disposizione prolungata delle installazioni), compresi i lavori di riprofilatura, resisi necessari a causa di eccessive convergenze. Questi ultimi sono stati eseguiti in un secondo tempo, tra il passaggio delle TBM e l'applicazione dei rivestimenti interni, comportando un prolungo del programma lavori di circa 8 e 11 mesi.



Figura 5: Zona di disturbo "Tm 13'460" (fonte: CI GBGS/Lombardi SA)

L'avanzamento giornaliero medio con TBM aperta, conseguito nelle due canne della tratta di Bodio, è evidenziato nella seguente tabella riassuntiva. Si consideri la differenza tra la media giornaliera calcolata sui soli giorni di avanzamento e quella considerando anche i giorni non produttivi (fermi macchina, manutenzione straordinaria della TBM ogni 4-5 km, ferie, ecc.).

Canna	Lunghezza effettiva	Fase di avanzamento				Rendimento medio		
		Inizio	Fine	Giorni con avanzamento	Giorni senza avanzamento	Solo avanzamento	Totale	Δ
	m					m/giorno	m/giorno	%
Est	13,450	01.11.2002	06.09.2006	1,149	256	11.71	9.57	81.8
Ovest	14'113	01.02.2003	26.10.2006	1,114	249	12.67	10.35	81.7

Tabella 1: Dati salienti effettivi dell'avanzamento con TBM aperta nella tratta di Bodio (fonte: H. Ehrbar)

L'esperienza maturata nel caso concreto ha evidenziato:

- La necessità di disporre sin dal primo metro fresato di una TBM completamente attrezzata per l'attraversamento d'imprevisti geologici, indipendentemente dal fatto che, nel profilo geologico pronosticato, zone con possibili difficoltà non siano previste nella prima fase dell'avanzamento.
- La necessità di un diametro minimo di scavo di almeno 9.00 m per potere mettere in opera provvedimenti di sostegno e rivestimento interno, senza ricorrere al sovrascavo e a misure eccezionali rispettivamente soluzioni speciali.
- L'opportunità, per avanzamenti lunghi e profondi, caratterizzati da poche informazioni su possibili zone di disturbo, ritenuti favorevoli dal punto di vista geotecnico, di assumere comunque nel cronoprogramma un fermo macchina oppure un rallentamento per l'attraversamento di imprevisti geologici. Ciò condurrà inevitabilmente a una riduzione dell'avanzamento medio, nello stesso tempo, però, a una durata totale dei lavori più aderente alla realtà.
- La necessità di considerare per l'allestimento del cronoprogramma, in particolare per quello a base gara, avanzamenti giornalieri medi che tengano conto di tutti i giorni non produttivi. Un fattore compreso tra 1.80 e il 2.00 si pone tra dati contrattuali e dati effettivi. Il confronto tra le tabelle 1 e 2 evidenzia come il calo del rendimento sia solo in parte dovuto ad un numero maggiore di giorni senza avanzamento (aumentati rispetto alle aspettative di un fattore compreso tra 1.45 e 1.50). Considerando i giorni con avanzamento, pur considerando uno spostamento delle classi di sostegno verso classi più impegnative – specchio delle condizioni geologiche più sfavorevoli rispetto a quanto pronosticato, nonché i bonifici di tempo riconosciuti per il superamento delle due zone di disturbo precedentemente citate e per un intervento di scavo in calotta per sbloccare la testa della TBM della canna ovest – i rendimenti medi offerti dall'imprenditore erano nettamente superiori a quelli poi effettivamente conseguiti.

Canna	Lunghezza A contratto	Fase di avanzamento				Rendimento medio		
		Inizio	Fine	Giorni con avanzamento	Giorni senza avanzamento	Solo avanzamento	Totale	Δ
	m					m/giorno	m/giorno	%
Est	13,955	01.11.2002	01.04.2005	595.5	176.2	23.43	18.08	
Ovest	14'795	01.02.2003	15.07.2005	629.3	169.0	23.51	18.53	

Tabella 2: Dati salienti contrattuali avanzamento con TBM aperta nella tratta di Bodio

Sulla base dell'esperienza acquisita va inoltre evidenziato che un sovrascavo, realizzato con congegni che consentano un aumento del diametro di scavo progressivo durante l'avanzamento, come originariamente pensato, non è stato realizzabile. Il passaggio dal diametro di scavo di 8.80 m a quello di 8.89 m nella seconda parte della tratta di Bodio, mantenuto poi costante, è stato messo in atto tramite l'aumento del diametro dei dischi perimetrali e lo spostamento graduale del loro asse verso l'esterno (shifting), realizzato a più tappe, senza interruzioni dell'avanzamento degne di nota.

Il modello contrattuale, la ripartizione dei rischi e la gestione dei conflitti scelti hanno permesso di gestire al meglio gli imprevisti geologici e i necessari adattamenti del progetto.

5 Sufficiente profilo dei cunicoli trasversali

Come accennato in precedenza, il progetto definitivo (versione 1999) non definiva sufficientemente i requisiti per i differenti impianti elettromeccanici, per cui si procedette a un approfondimento della progettazione dal 2003. Solo a fine 2006/inizio 2007, una volta

completate le procedure di appalto, e quindi noti gli impianti e gli elementi da installare, i problemi derivanti da un profilo di scavo molto esiguo, rispettivamente dal profilo finale della costruzione grezza dei cunicoli trasversali, sono stati pienamente compresi.

Le esigenze normative in materia di sicurezza (larghezza delle vie di fuga di almeno 2.00 m), le esigenze della tecnica ferroviaria concernenti l'installazione di armadi di comando e di trasformatori nel cunicolo (forte occupazione della superficie residua), le tolleranze di scavo e di rivestimento del cunicolo, generalmente rispettate dall'imprenditore, ma cumulatesi negativamente (leggero sottoprofilo dello scavo più tendenza "a scendere" del cassero per il rivestimento interno), hanno fortemente limitato lo spazio disponibile per la messa in opera degli equipaggiamenti, richiesto ottimizzazioni dei piani d'officina e complicato le procedure di montaggio. In taluni casi sono state studiate e realizzate soluzioni ad hoc, differenti da quelle per gli equipaggiamenti "standard". Conflitti geometrici, da ricondurre in prima linea al cumulo sfavorevole delle tolleranze di scavo e di rivestimento del cunicolo, in determinate situazioni al superamento delle stesse, sono stati constatati ed hanno inevitabilmente condotto a interventi correttivi, atti a ottenere i millimetri o centimetri mancanti.

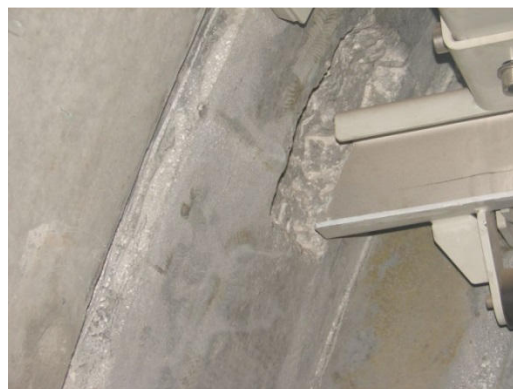
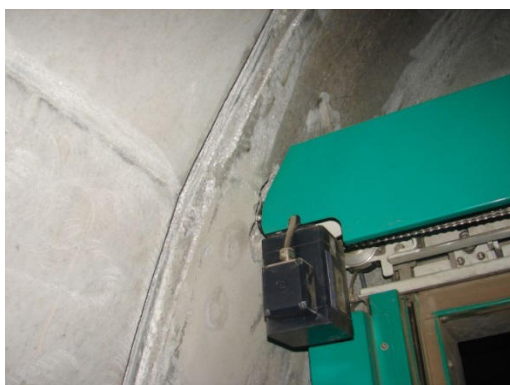


Figura 6: Equipaggiamento dei cunicoli trasversali, problemi geometrici e interventi correttivi (fonte: CI GBGS/Lombardi SA)

Le esigenze in termini di tolleranze, per l'esecuzione dei lavori di rivestimento in calcestruzzo e in particolare per l'esecuzione dei risparmi nelle pareti divisorie tra cunicolo e canna di circolazione (in casi particolari +10 mm/-5 mm, anziché ± 20 mm), come pure per la posa in getto di guide ed elementi di fissaggio delle porte antiincendio, hanno condotto a esigenze esecutive non usuali per le costruzioni in sotterraneo (vedi Figura 7), bensì paragonabili a quelle prescritte nell'edilizia, generando così un maggior onere.

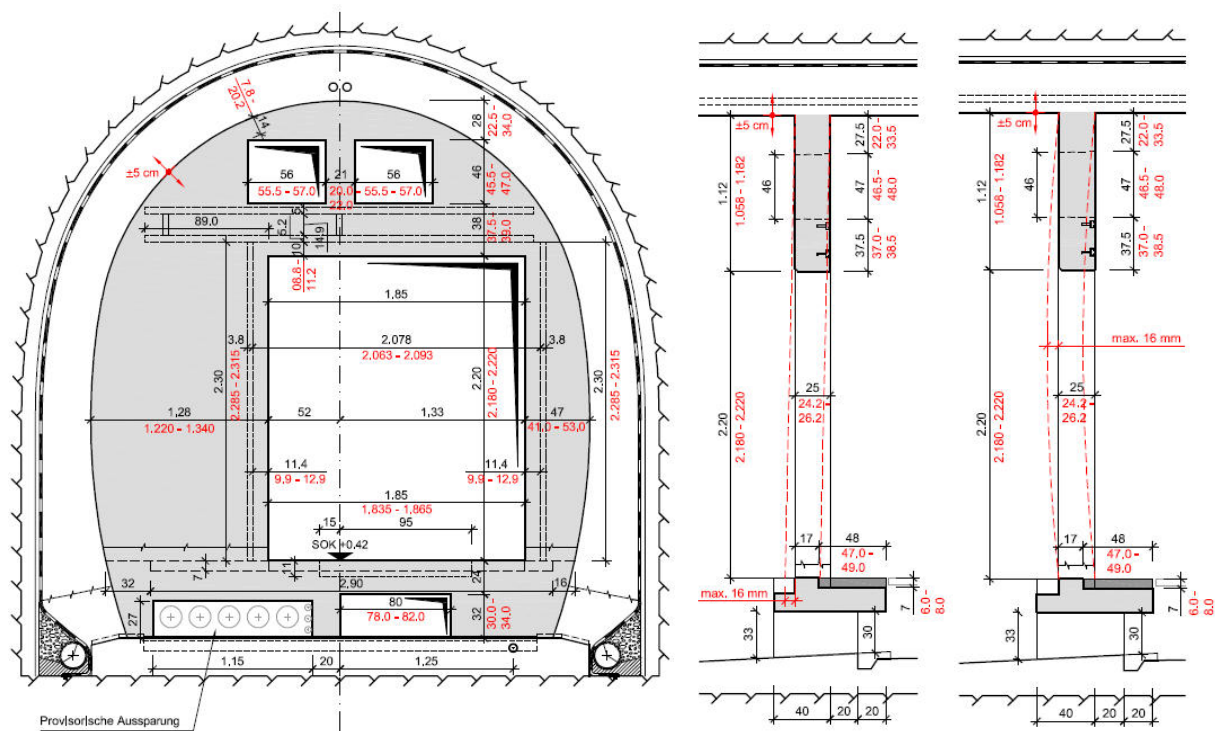


Figura 7: Pareti divisorie tra cunicoli trasversali e canne di circolazione, tolleranze di getto (fonte: CI GBGS/Lombardi SA)

Sulla base dell'esperienza acquisita, è evidente l'esigenza, già in fase di progetto definitivo e prima dell'elaborazione del progetto esecutivo delle opere del genio civile – che nel caso di gallerie lunghe vedrà la luce molto prima che gli equipaggiamenti siano appaltati e definiti nel dettaglio – di studiare e rappresentare con sufficiente grado di dettaglio gli equipaggiamenti da installare e i provvedimenti atti a garantire il loro allacciamento con energia elettrica e alla rete di trasmissione dati. Ciò non vale per i soli cunicoli trasversali, qui commentati, bensì anche per tutti i locali tecnici previsti anche nelle opere accessorie (edifici tecnici, centrali di ventilazione, ecc.).

Sulla base dell'esperienza acquisita, è altresì evidente la necessità di considerare il montaggio degli equipaggiamenti in condizioni di cumulo sfavorevole delle tolleranze di scavo e di getto del rivestimento, come pure di considerare le tolleranze di fabbricazione degli impianti e quelle di montaggio, garantendo ancora un ragionevole margine di sicurezza. Margine che permetterà un montaggio alla presenza di piccole non-conformità (esiguo superamento delle tolleranze del genio civile), ad assorbire le possibili differenze tra progettazione definitiva e costruttiva degli equipaggiamenti, a garantire l'agio necessario per il montaggio e per la futura manutenzione e non da ultimo a permettere l'aggiunta di equipaggiamento addizionale o modificato a seguito di nuovi requisiti tecnici o normativi.

Nel caso di opere paragonabili alla GBG, caratterizzate da lunghi tempi di progettazione e di realizzazione, la probabilità di essere confrontati con nuovi requisiti tecnici o normativi il cui impatto può essere importante, è elevata. Nel caso specifico, tra il 1999 (redazione del progetto definitivo del genio civile) e il 2005-2007 (messa in appalto degli equipaggiamenti dei cunicoli) nuove prescrizioni da soddisfare in caso d'incendio (resistenza strutturale con 1'000° C durante 90 minuti) e una maggiorazione delle variazioni di pressione dovuti

all'esercizio ferroviario (da ± 5 kPa a ± 10 kPa) hanno notevolmente accentuato le conseguenze di un profilo troppo esiguo dei cunicoli trasversali.

Un profilo di scavo e di rivestimento dei cunicoli trasversali, di 50 cm più alto e 50-100 cm più largo, avrebbe evitato la ricerca e l'adozione di soluzioni "al limite" ed evitato discussioni e attriti sul cantiere. Una migliore definizione dell'utilizzazione e delle basi di progetto a fine anni 90 non avrebbe forse potuto includere tutti gli sviluppi, avrebbe però potuto maggiormente sensibilizzare le parti e non avrebbe, forse, portato a un profilo di scavo e di rivestimento dei cunicoli trasversali "tirato all'osso", volto a minimizzare il preventivo di spesa (calcolati in fase di progetto definitivo, come usuale, in base ad un costo stimato dello scavo per m³ teorico).

6 Prototipi per elementi prodotti in serie (porte antiincendio, ventilatori, pavimenti tecnici)

La GBG, lungo i suoi 57 km di lunghezza, è contraddistinta da 178 collegamenti pedonali tra le due canne. 175 di essi sono cunicoli trasversali, delimitati da una porta antiincendio su ogni canna, mentre per 3 di essi la porta antiincendio è il solo elemento di separazione aerodinamica tra le due canne.

353 porte antiincendio 350 ventilatori con relative serrande e quasi 19,000 m² di pavimento tecnico sono stati necessari per equipaggiare i cunicoli trasversali della GBG. A questi andavano ad aggiungersi gli ordinativi previsti per l'equipaggiamento degli allora previsti 47 cunicoli trasversali della Galleria di Base del Ceneri (GBC; corretta strategia del cliente per un equipaggiamento uniforme di tutta la tratta) e quelli di riserva da tenere a magazzino per la fase operativa.

Onde soddisfare i severi requisiti in termini di resistenza all'incendio, di resistenza ai carichi dinamici e di durabilità, gli imprenditori aggiudicatari hanno dovuto sviluppare soluzioni tecniche nuove e uniche nel loro genere, per le quali le esperienze precedenti erano poche, ma per le quali era però prevista una produzione in numerosa.

Porte antiincendio

L'appalto delle porte dei cunicoli trasversali, caso unico nell'intero progetto, è avvenuto tramite una procedura "selettiva", contraddistinta da una prima fase di prequalifica, nella quale selezionare le soluzioni per le quali il cliente avrebbe ordinato e pagato un prototipo; da una seconda fase di test in scala 1:1, eseguiti in condizioni reali e condotti da un soggetto terzo, selezionato tramite separato appalto; da una terza fase di aggiornamento prima di procedere alla valutazione finale e all'assegnazione della commessa. L'impresa aggiudicataria, prima di procedere alla produzione in serie delle porte antiincendio, ha dovuto fornire a proprie spese e sottoporre nuovamente a test un secondo prototipo, allo scopo di dimostrare di avere corretto le imperfezioni riscontrate durante i test sul primo prototipo.



Figura 8: Prototipo porta antiincendio, fase di test (fonte: ATG)

Sulla base dell'esperienza acquisita possono essere tratti diversi insegnamenti:

- La procedura selettiva, con test su prototipo in scala 1:1, si è rivelata un pieno successo. I miglioramenti apportati alla soluzione tecnica tra il primo e il secondo prototipo e ancora sulla soluzione definitiva, mai sarebbero potuti essere realizzati seguendo una procedura classica.
- La procedura selettiva ha richiesto tre anni. È quindi chiaro che una tale procedura debba essere decisa con largo anticipo sul termine di fornitura e che la progettazione definitiva, alla base della gara di appalto, debba essere avviata e conclusa con anticipo.
- I test hanno evidenziato come il requisito più difficile da soddisfare fosse quello legato agli sbalzi di pressione nella fase di esercizio (± 10 kPa; considerando i collegamenti aerodinamici tra una canna e il cunicolo trasversale, la risultante sulla porta è di 20 kPa; oltre 1 milione di cicli) e non, come inizialmente pensato, quello relativo ai requisiti antiincendio (resistenza strutturale durante 90 minuti con una temperatura esterna di $1'000^{\circ}$ C, temperatura del lato interno inferiore a 200° C).
- I test possono avere ripercussioni, oltre che sull'attrezzatura stessa (nel caso specifico le porte), anche sugli elementi di genio civile cui vengono applicati. Nel caso delle porte si è constatato, strada facendo, che la scelta definitiva avrebbe potuto influenzare il progetto esecutivo e la realizzazione delle pareti divisorie dei cunicoli trasversali. Ragione per cui questa realizzazione ha dovuto essere riprogrammata e ha parzialmente influenzato i lavori terminali dell'imprenditore di genio civile.

Ventilatori e pavimenti tecnici

A differenza di quello per le porte antiincendio, l'appalto dei ventilatori e dei pavimenti tecnici dei cunicoli trasversali è avvenuto tramite procedura "aperta", quindi in una sola fase. A valle dell'assegnazione, ma prima di dare avvio alla produzione in serie, l'imprenditore incaricato con la fornitura e la messa in opera dei ventilatori ne ha testato un prototipo, mentre quello aggiudicatario per i pavimenti tecnici ha dovuto costruire una superficie di verifica di alcuni metri quadrati (vedi Figura 9), sottoposta a test per verificare la tenuta (carichi puntuali e ripartiti, assenza di sollevamento delle singole piastre a seguito di pressione/risucchio, stabilità del telaio di supporto sottoposto a sollecitazioni orizzontali).

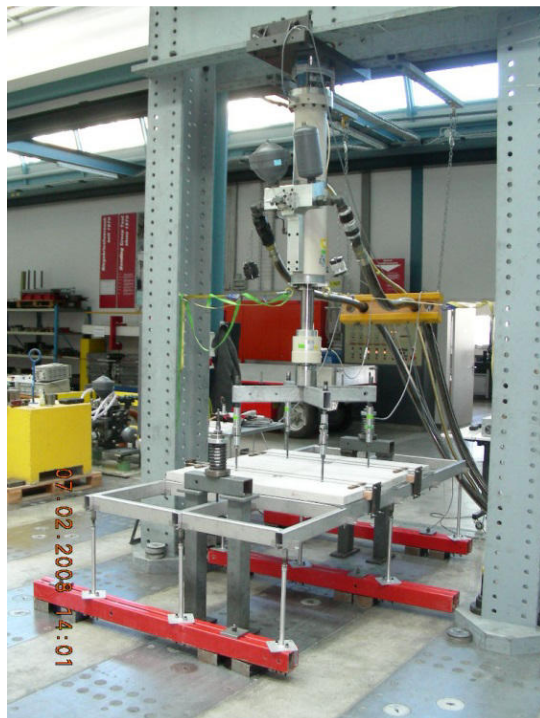


Figura 9: Pavimento tecnico, superficie di verifica (fonte: Alpiq Bulkhalter SA/EMPA)

Tali test hanno permesso di apportare puntuali miglioramenti. Nel caso dei pavimenti tecnici, una variante proposta dall'imprenditore, che prevedeva la posa di una striscia laterale in elementi forati in vetroresina lungo entrambi i lati del cunicolo, ha permesso di rinunciare al fissaggio delle piastre del pavimento in calcestruzzo al sottostante telaio. In fatti questa soluzione tecnica permetteva una compensazione del differente livello pressorio sopra e sotto il pavimento tecnico, dovuto ai collegamenti aerodinamici tra cunicolo e una delle canne tramite la ventilazione, eliminando le forze verticali risultanti (risucchio/compressione). La semplificazione del sistema, con piastre del pavimento semplicemente appoggiate, ha permesso una forte riduzione del tempo di montaggio e un netto miglioramento delle condizioni di accesso al vano tecnico sottostante.

Sulla base dell'esperienza acquisita possono essere tratti diversi insegnamenti:

- Nel caso di opere che richiedono una produzione in serie, anche elementi all'apparenza più standard, come appunto ventilatori e pavimenti tecnici, meritano un approfondimento in fase di progettazione costruttiva.
- Piccole migliorie consentono non solo di economizzare in termini di costo di produzione e di acquisto degli elementi, bensì anche di conseguire significativi miglioramenti / semplificazioni per quanto attiene alla procedura di montaggio e di manutenzione / utilizzo degli stessi.

7 Sufficiente riserva nel dimensionamento degli impianti elettrici e RCVS

La geometria dei locali tecnici, distribuiti su diverse opere accessorie (edifici della tecnica ferroviaria, centrali di ventilazione, ecc.) e alla base del progetto definitivo dell'intera opera (1999) è stata oggetto di un primo aggiornamento negli anni 2003-2005 a seguito dei

progetti definitivi dei singoli equipaggiamenti e della tecnica ferroviaria, nonché di alcune importanti opere supplementari (p.e. il sistema per l'estrazione dei fumi nelle fermate d'emergenza). Onde soddisfare l'accresciuto fabbisogno di superficie e di locali, si è proceduto ad un ingrandimento degli edifici (anche di quelli previsti in caverna), all'occupazione di volumi tecnici realizzati durante la fase di scavo, allo spostamento all'esterno di installazioni originariamente previste in sotterraneo.

I progetti definitivi dei singoli equipaggiamenti e della tecnica ferroviaria hanno permesso anche un aggiornamento del fabbisogno di energia elettrica stimato. Se da un lato un numero maggiore d'impianti ha comportato un incremento della superficie totale dei locali, esso ha pure condotto a un maggiore fabbisogno di energia elettrica e anche a un maggiore fabbisogno di raffreddamento e di ventilazione dei locali tecnici. Questi ultimi hanno in seconda battuta condotto a un ulteriore maggiore fabbisogno di energia elettrica stimato. Un processo perverso, in cui il "gatto si morde la coda" e che ha portato, nell'ultima fase d'installazione delle opere elettromeccaniche e di tecnica ferroviaria alla sostituzione di trasformatori già installati con modelli più grandi.

L'aumento della potenza installata e una sua delocalizzazione, in particolare lungo i cunicoli laterali e di aspirazione dei fumi nelle stazioni multifunzionali, hanno condotto a un secondo problema, legato alle perdite di tensione lungo i cavi elettrici delle linee d'approvvigionamento a 400 V. I requisiti riguardanti la rete elettrica prescrivevano, infatti, una caduta massima della tensione del 4% tra il trasformatore (passaggio da 6,000 V a 400 V) e l'utenza. Il rispetto di tale prescrizione avrebbe comportato, in seguito alla notevole distanza (quasi 1 km), a cavi elettrici con una sezione troppo grande per i tubi foderati già messi in opera e a notevoli problemi di posa. Per ovviare a questo problema si è dovuto ricorrere a una trasformazione intermedia della corrente da 6,000 V a 980 V, e quindi presso i consumatori delocalizzati a 400 V, derogando al principio iniziale.

Sulla base dell'esperienza acquisita possono essere tratti diversi insegnamenti:

- Nel caso di opere la cui realizzazione si svolge su oltre un decennio, cambiamenti di progetto e l'aggiunta di nuovi impianti devono essere considerati in modo adeguato nei primi stadi della progettazione, in particolare nel progetto definitivo. È inutile porre l'accento sull'importanza di una precoce discussione, approfondita, non solo circa l'utilizzo dell'opera, bensì estesa anche ai possibili futuri sviluppi. Auspicabile, quindi, avere superfici / volumi aggiuntivi e la possibilità di estendere, anche a tappe, la realizzazione dei locali tecnici.
- Considerare le conseguenze di un eventuale futuro maggiore fabbisogno di energia elettrica. Un margine del 30%, assunzione usuale nella realtà elvetica a livello di progetto definitivo, può non bastare.
- Considerare l'influsso di futuri sviluppi anche sul fabbisogno di raffreddamento e di ventilazione dei locali tecnici. Mentre per gli impianti elettrici è usuale considerare riserve, non lo è per quanto riguarda gli impianti RCVS.

8 Conclusioni

Al termine di quasi 25 anni di progettazione e 17 anni di realizzazione ci si rende conto che la GBG è stata una grande palestra, nella quale gli atleti, in questo caso ingegneri, tecnici e maestranze, hanno potuto duramente allenarsi e grazie alla quale, hanno potuto infine anche vincere una grande sfida e infrangere un record mondiale. Limitarsi a festeggiare e a porre l'accento sui successi ottenuti, rappresenterebbe un'occasione mancata. Da qui la necessità di analizzare anche le difficoltà e i passaggi a vuoto, che inevitabilmente costellano il divenire di una grande opera, al fine di possibilmente evitare che si ripresentino nella progettazione e realizzazione di grandi opere future.

In conclusione va sottolineato il successo di un modello contrattuale corretto e flessibile, che ha permesso di gestire tutti gli imprevisti e tutte le modifiche di progetto in corso d'opera.

9 Letteratura

- [1] H. Erhbar, Drives in the Gotthard Base Tunnel, Findings and lessons learned from the client's viewpoint, Swiss Tunnel Congress 2012 (Lucerne, Switzerland), Proceedings pages 115 to 135
- [2] A. Ferrari, S. Pedrazzini, Überwindung von unerwarteten Störzonen beim TBM-Vortrieb im TA Bodio, Tunnelling the Gotthard, FGU, ISBN: 978-3-033-05485-1, 2016, pages 392 to 397
- [3] The ITA Contractual Framework Checklist for Subsurface Construction Contracts, No. ISBN: 978-2-9700624-7-9, ITA Report N°006 / April 2011, 1st edition (draft of the 2nd edition 2016)
- [4] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (SIA), norma 198 "Lavori sotterranei" (edizione 1993), SN 561 198
- [5] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (SIA), norma 260 "Basi per la progettazione di strutture portanti" (edizione 1993), SN 505 260
- [6] Autori diversi, Tunnelling the Gotthard, GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo (SIA), ISBN: 978-3-033-05485-1, 2016
- [7] AlpTransit San Gottardo SA/Consorzio TA: Contratto di appalto galleria principale Faido/Bodio, lotto 452/554, 10.10.2001.
- [8] Contratti di appalto dell'equipaggiamento principale, lotti A, B1, B2