



Il Tunnel Information Model per opere infrastrutturali strategiche

The Tunnel Information Model for strategic infrastructure works

David MARINI ^(*)
Maurizio CATAPANO
Antonio SQUILLANTE ^(*)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.11.2023.ART.2>)

Sommario - In un mondo moderno volto alla digitalizzazione dei processi e delle informazioni, l'Information Modeling rappresenta una evoluta modalità di rappresentazione del Progetto e di Organizzazione dell'Informazione nel settore dell'ingegneria e delle costruzioni.

Nel presente articolo viene rappresentato l'attuale stato di elaborazione del *Tunnel Information Model* (TIM) della Galleria di Base del Brennero (BBT), che ha la finalità di fornire al futuro gestore dell'infrastruttura ferroviaria uno strumento digitale utile, efficace ed intuitivo nel suo utilizzo.

1. Introduzione: BIM e infrastrutture

La metodologia BIM è oggi l'elemento trainante di una netta rivoluzione del settore dell'Architettura, dell'Ingegneria e delle Costruzioni. Coerentemente con gli sviluppi tecnologici in atto, sorge sempre di più la necessità di migliorare le performance delle strutture e delle infrastrutture per la successiva manutenzione da parte del gestore nel momento della sua messa in esercizio. Al tempo stesso, la possibilità di avere a disposizione un gemello digitale garantisce diverse possibilità fino ad ora mai possibili quando si parla di grandi infrastrutture. Basti pensare, ad esempio, alla garanzia di mantenimento dei dati informativi tutti disponibili all'interno di un modello virtuale, che siano dati provenienti dall'esecuzione dell'opera o che siano dati registrati in esercizio. Così come, in un progetto Infra-BIM, sarebbe possibile incrociare informazioni fisiche, geotecniche e geologiche provenienti dallo scavo – meccanizzato o tradizionale – per risalire alle condizioni dell'ammasso attraversato durante la fase di scavo.

È in questo campo che si inserisce lo sviluppo BIM della Galleria di Base del Brennero, un'opera strategica per il futuro dell'Europa, nonché l'opera sotterranea ferroviaria più lunga al mondo al suo completamento.

Summary - In a modern world aimed at the digitisation of processes and information, Information Modelling represents an advanced way of representing the Information and Organisation Project in the engineering and construction sector.

This article presents the current state of development of the *Tunnel Information Model* (TIM) of the Brenner Base Tunnel (BBT), which aims to provide the future railway infrastructure manager with a useful, effective, and intuitive digital tool in its use.

1. Introduction: BIM and infrastructure

BIM methodology is today the driving force behind a clear revolution in the Architecture, Engineering and Construction sector. Consistent with current technological developments, there is an increasing need to improve the performance of structures and infrastructures for subsequent maintenance by the operator at the time of commissioning. At the same time, the possibility of having a digital twin guarantees different possibilities until now never possible when it comes to large infrastructures. Just think, for example, of the guarantee of maintenance of the information data all available within a virtual model, whether it is data from the execution of the work or that it is data recorded in operation. As well as, in an Infra-BIM project, it would be possible to cross physical, geotechnical, and geological information from the mechanised or traditional excavation, to track back the conditions of the cluster crossed during the excavation phase.

It is in this field that the BIM development of the Brenner Base Tunnel is introduced, a strategic work for the future of Europe, as well as the longest underground railway work in the world at its completion.

^(*) Galleria di Base del Brennero BBT SE, Bolzano.

^(*) BBT SE Brenner Base Tunnel, Bolzano.

OSSERVATORIO

2. Obiettivo del modello BIM: strumento operativo in fase di esercizio

L'obiettivo finale del Tunnel Information Model è la gestione digitale ed informativa dell'infrastruttura ferroviaria comprensiva di opere civili, sovrastruttura ferroviaria ed attrezzaggio tecnologico. Il BIM viene integrato in maniera metodica nel sistema di documentazione di opere civili e tecnologiche con una visione transnazionale del progetto. Ciò richiede l'impostazione di un Modello Informativo di Progetto, sviluppato durante le fasi di progettazione e di costruzione dei diversi lotti costruttivi.

3. Project Information Model e Asset Information Model

Il BIM è lo strumento che consente di distribuire le informazioni e creare valore per tutta la filiera degli stakeholders coinvolti nel processo di costruzione e successivamente nel processo di gestione dell'opera. Tale metodologia prevede dunque che il modello progettuale (BIM) evolva prima o poi in quello costruttivo (PIM - Project Information Model), modello digitale della costruzione sviluppato durante le fasi di progettazione e realizzazione della costruzione, in funzione dei requisiti informativi e alla fine in quello gestionale (AIM - Asset Information Model), modello informativo continuamente aggiornato, usato durante la gestione e manutenzione dell'Asset.

La modellazione digitale del BBT ha, per l'appunto, lo scopo di ottenere un Project Information Model fruibile nella fase realizzativa, nonché infine un Asset Information Model utilizzabile per la fase manutentiva.

La peculiarità di questo Modello Informativo di Progetto risiede nella combinazione tramite cui viene implementato: un Design Information Model (DIM) ed un Construction Information Model (CIM) che si fondono in maniera sincronizzata in un unico modello informativo, ove il DIM ha le basi nella Progettazione Esecutiva di Dettaglio, mentre il CIM segue le lavorazioni in corso d'opera,

2. Objective of the BIM model: operational tool during operation

The final objective of the Tunnel Information Model is the digital and information management of the railway infrastructure including civil works, railway superstructure and technological equipment. The BIM is methodically integrated into the documentation system of civil and technological works with a transnational vision of the project. This requires the setting up of a Project Information Model, developed during the design and construction phases of the different construction lots.

3. Project Information Model and Asset Information Model

The BIM is the tool that allows distributing information and creating value for the entire supply chain of stakeholders involved in the construction process and subsequently in the work management process. This methodology therefore requires that the design model (BIM) evolves sooner or later into the construction model (PIM - Project Information Model), a digital model of the construction developed during the design and construction phases, depending on the information requirements and finally on the management model (AIM - Asset Information Model), a continuously updated information model used during the management and maintenance of the Asset.

The digital modelling of the BBT has, precisely, the purpose of obtaining a Project Information Model usable in the construction phase, as well as an Asset Information Model usable for the maintenance phase.

The peculiarity of this Project Information Model lies in the combination through which it is implemented: a Design Information Model (DIM) and a Construction Information Model (CIM) that merge in a synchronised manner into a single information model, where the DIM has the basis in the Detailed Executive Design, while the CIM follows the



Figura 1 – Evoluzione di un modello informativo - dalla fase di progettazione (BIM) alla fase costruzione (PIM), giungendo infine alla fase di esercizio (AIM).

Figure 1 – Evolution of an information model - from the design phase (BIM) to the construction phase (PIM), finally reaching the operation phase (AIM).

OSSERVATORIO

passando dai rilievi fino ai monitoraggi degli avanzamenti fisici (Fig. 1).

BIM → DIM + CIM → PIM → AIM

Quando si parla di un Modello BIM *As Built* si fa riferimento ad un modello informativo dell'opera così come è stata realizzata, completa di informazioni afferenti gli asset in esso contenuti [1]. Parlare di *As Built* equivale a posizionare il modello informativo nella fase di passaggio tra il PIM e l'AIM.

Il modello informativo della Galleria di Base del Brennero comprende sia le opere con rivestimenti definitivi delle opere realizzate con scavo in tradizionale, sia con scavo meccanizzato. Tutti gli elementi che confluiscono nel progetto sono a loro volta caratterizzati da un adeguato Livello di Fabbisogno Informativo (*Level of Information Need*).

Per cui, definiti prima i requisiti informativi di progetto, così come l'Asset, si intuisce la necessità di una efficace collaborazione con il cantiere per il corretto sviluppo di un *Tunnel Information Model*.

4. Il flusso sinergico di dati con il cantiere

I diversi requisiti informativi inseriti nel modello vengono individuati a priori in funzione di tutte quelle che possono essere le necessità sia in fase di realizzazione dell'opera nonché in fase di esercizio, differenziati per tratte realizzate con metodo di scavo in tradizionale e quelle in meccanizzato, rientrando nel loro set informativo e documentale.

Grazie alla modellazione dei singoli getti realizzativi e dei singoli conci installati dalla fresa, si inseriscono le singole Non Conformità (NC) nell'esatta posizione di rilevamento, così come delle Richieste di Modifica Tecnica pervenute nel corso della costruzione (Fig. 2 e 3).

Tale set documentale visualizzabile nel modello si collega all'Ambiente di Condivisione dei Dati del progetto.

Un esempio di collaborazione sinergica con la fase costruttiva è riportato a seguire per quanto concerne l'avanzamento delle TBM (*Tunnel Boring Machine*).

work in progress, going from surveys to monitoring of physical progress (Fig. 1).

BIM → DIM + CIM → PIM → AIM

When we talk about a BIM As Built Model, we refer to an information model of the work as it was created, including information regarding the assets contained in it [1]. Talking about As Built is equivalent to placing the information model in the transition phase between the PIM and the AIM.

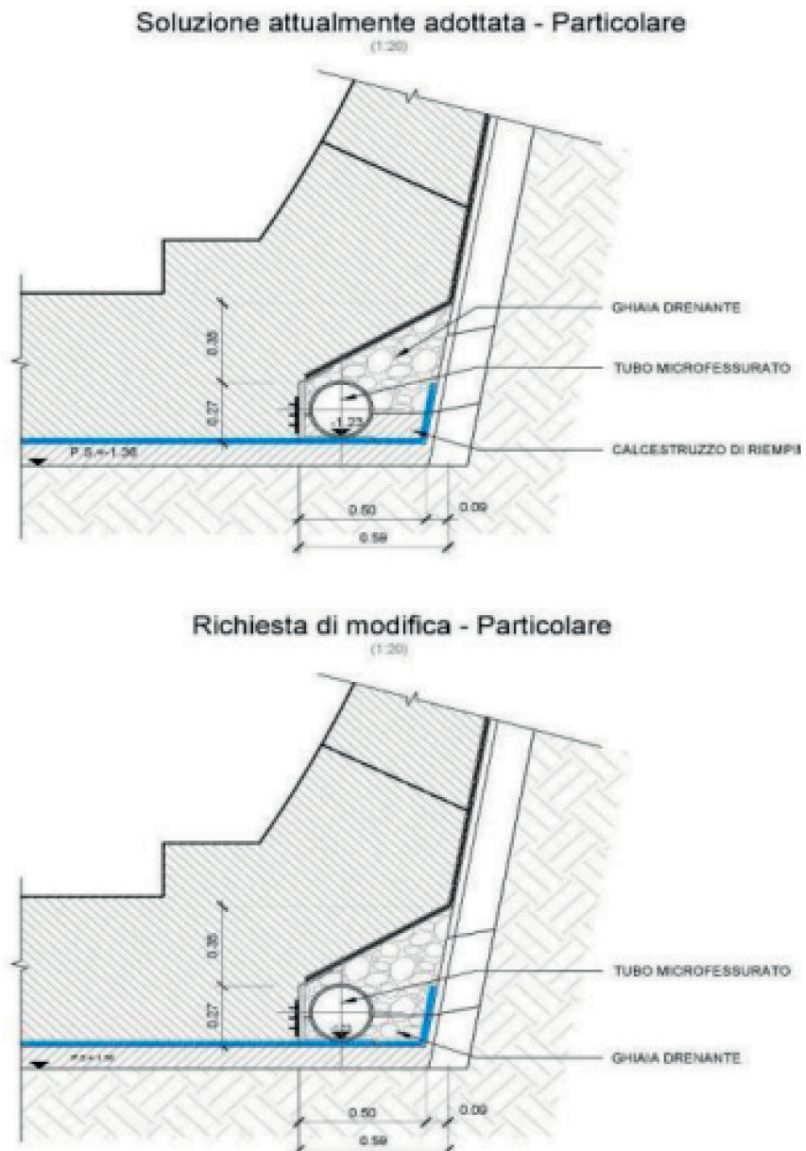


Figura 2 – Esempio di Richiesta di Modifica Tecnica in corso d'opera recepita nel modello informativo.

Figure 2 – Example of Technical Change Request during the work transposed into the information model.

OSSERVATORIO



Figura 3 – Esempio di Non Conformità inserita nel set informativo di un concio di galleria nella progressiva corrispondente all'interno del modello informativo.
Figure 3 – Example of Non-Conformity included in the information set of a gallery section in the corresponding point within the information model.

Nei conci di anelli installati dalla TBM vengono registrate una serie di informazioni provenienti dalla macchina scavante stessa. Tali informazioni riguardano sia set informativi in relazione a dati di posizione (progressiva, posizione del concio di anello, etc.), sia parametri fisici e meccanici registrati direttamente dalla fresa in corso d'opera (Fig. 4).

Questi parametri, acquisiti ogni tre secondi circa dalla TBM, costituiscono un sistema efficace al fine del monitoraggio delle condizioni dell'ammasso roccioso. Pertanto, ricoprono un'importanza all'interno del modello informativo di progetto. Essi sono in aggiunta anche presenti nei report anelli, presenti all'interno dell'Ambiente di Condivisione Dati (ACDat). Tra questi parametri si possono annoverare: coppia testa (MNm), Penetrazione (mm/giro), Peso smarino medio (t), Quantità *pea gravel* (m3), Scostamento anello orizzontale e verticale (mm), Spinta cilindri principali e ausiliari (KN), Velocità di avanzamento (mm/min), Volume bicomponente.

Anche i dati provenienti dai sondaggi in avanzamento, per esempio, vengono raccolte all'interno del modello. Pertanto, nel caso specifico dello scavo meccanizzato del Cunicolo Esplorativo, si accompagna alla modellazione dei conci di TBM, anche l'inserimento dei report provenienti dai sondaggi in avanzamento. Tali sondaggi vengono eseguiti in maniera sistematica durante lo scavo del Cunicolo Esplorativo e nelle tratte di faglia anche per le Gallerie di Linea.

Oltre i sondaggi relativi alle perforazioni in avanzamento, vengono implementati anche i report provenienti dai Rilievi del Fronte. La documentazione geologica, che consiste nei rilievi, risulta importante per interpretare correttamente i dati fresa (Fig. 5).

The information model of the Brenner Base Tunnel includes both the works with definitive linings of the works carried out with traditional excavation and with mechanised excavation. All the elements that flow into the project are in turn characterised by an adequate Level of Information Need.

Therefore, having first defined the project information requirements, as well as the Asset, the need for effective collaboration with the construction site for the correct development of a Tunnel Information Model is known.

4. The synergistic flow of data with the construction site

The different information requirements included in the model are identified a priori according to all the needs that may be required both during the construction phase of the work and during operation, differentiated by sections carried out with the traditional excavation method and those with mechanised one, falling within their information and documentary set.

Thanks to the modelling of the individual construction segments and the individual blocks installed by the TBM, the individual Non-Conformities (NC) are introduced in the exact detection position, as well as the Technical Change Requests received during construction (Fig. 2 and 3).

This document set that can be viewed in the model is connected to the project's Data Sharing Environment.

An example of synergistic collaboration with the construction phase is shown below with regard to the progress of the TBMs (Tunnel Boring Machine).

In the ring segments installed by the TBM, an information set from the excavating machine itself is recorded. This information concerns both information sets in relation to position data (point, position of the ring segment, etc.), and physical and mechanical parameters recorded directly by the TBM during the work (Fig. 4).

These parameters, acquired by the TBM approximately every three seconds, constitute an effective system for monitoring the conditions of the rock mass. Therefore, they are important within the project information model. They are also present in the ring reports, within the Common Data Environment (CDE). These parameters can include: head torque (MNm), Penetration (mm/turn), Average Muck weight (t), *Pea gravel* quantity (m3), Horizontal and vertical ring deviation (mm), Main and auxiliary cylinder thrust (KN), Excavation speed (mm/min), Two-component volume.

Data from surveys in progress, for example, are also collected within the model. Therefore, in the specific case of the

OSSERVATORIO



Figura 4 – Esempio di Report Anello estratto dalla TBM con il set di parametri fisici e meccanici registrati anche all'interno del singolo concio nel modello informativo.

Figure 4 – Example of Ring Report extracted from the TBM with the set of physical and mechanical parameters also recorded within the single section in the information model.

Dal rilievo del fronte effettuato in cantiere proviene l'indice RMR (*Rock Mass Rating*), sempre inserito nel TIM per ogni PK (progressiva chilometrica) di rilievo, che permette la classificazione della roccia attraverso un punteggio secondo "Bieniawski".

Dal flusso sinergico con la costruzione dell'opera, provengono altri fabbisogni informativi, tra cui a titolo d'esempio:

- barrette estensimetriche: misure delle deformazioni sul rivestimento di prima fase (betoncino proiettato e centine) tramite 5 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante saldate sulle centine e inglobate nel betoncino proiettato;
- celle di pressione: misura della pressione all'interno del rivestimento di prima fase (betoncino proiettato e centine), tramite n. 2 celle di carico disposte sotto il piede della centina;
- chiodi Strumentati: misura delle deformazioni dell'ammasso roccioso sul contorno dello scavo, tramite 5 chiodi strumentati disposti radialmente;

mechanised excavation of the Exploratory Tunnel, the modelling of TBM sections is also accompanied by the inclusion of reports from the surveys in progress. These surveys are carried out systematically during the excavation of the Exploratory Tunnel and in the fault sections also for the Line Tunnels.

The reports from the tunnel face mapping are also implemented in addition to the surveys related to the drilling in progress. The geological documentation, consisting of the surveys, is important for the correct interpretation of the TBM data (Fig. 5).

The RMR index (Rock Mass Rating) comes from the survey of the front carried out on site, always included in the TIM for each PK (progressive kilometre) of survey, which allows classifying the rock through a score according to "Bieniawski".

Other information needs arise from the synergistic flow with the construction of the work, including, by way of example:

- strain gauges: measurements of the deformations on the first-stage lining (shotcrete and ribs) by means of 5 pairs

OSSERVATORIO

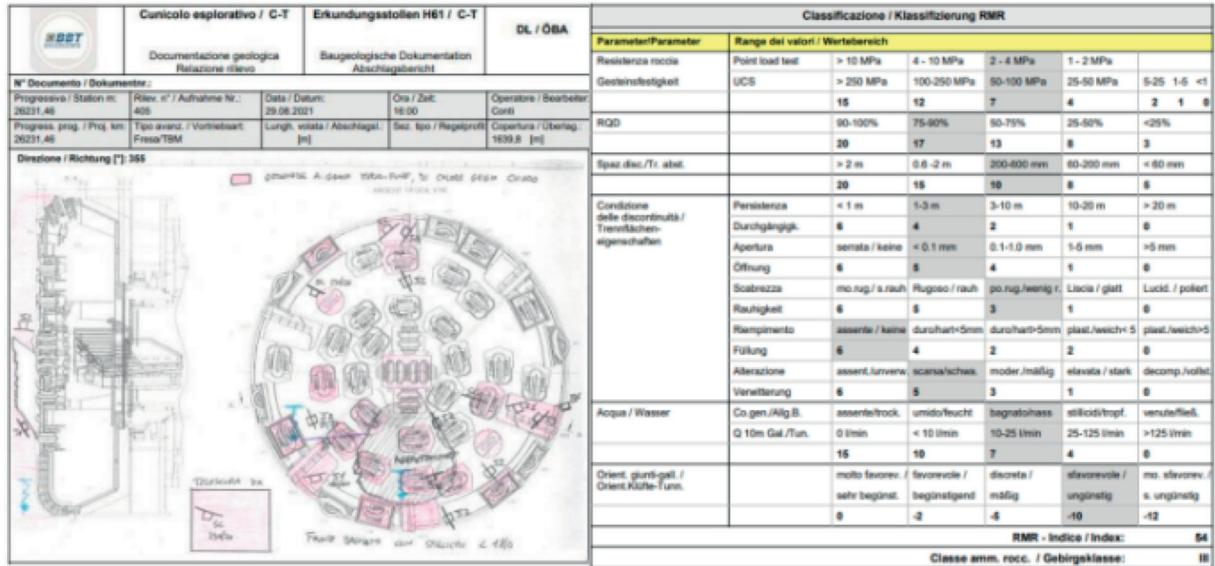


Figura 5 – Esempio di report di un rilievo del fronte inserito all'interno del modello alla progressiva corrispondente.
Figure 5 – Example of reports of a survey of the front inserted within the model at the corresponding point.

- convergenze: convergenza di 5 target riflettenti su rivestimento.
- Il tutto confluisce all'interno del livello di fabbisogno informativo di competenza, a seconda della parte d'opera e della tratta, in accordo alle più recenti normative, tra cui la ISO 19650 e la EN 17412. A seguire si riportano due estratti per tipo di scavo (Fig. 6 e 7).

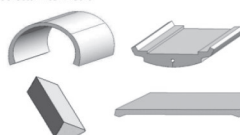
LEVEL OF INFORMATION NEED [UNI EN 17412-1:2021, UNI EN ISO 19650-1:2019]	
INFORMATION DELIVERY MILESTONE:	PROGETTO AS BUILT
OPERA:	OPERE IN SOTTERRANEO
MODELLO DISCIPLINARE:	STRUTTURE: SCAVO IN TRADIZIONALE
SCOPO:	Asset Information Model per la fase manutentiva Rappresentazione digitale e informativa Simulazione realizzativa 4D
ATTORI	Responsabili BIM BBT per progettazione e coordinamento - Figure BIM Appaltatore per documentazione e dati da cantiere
ELEMENTI	Rivestimenti definitivi: calotta, arco rovescio, murette, soletta intermedia 
- Informazioni alfanumeriche → Identificazione dell'oggetto → Contenuto informativo	LCB ARCO ROVESCIO, LCB CALOTTA, LCB MURETTE, LCB SOLETTA INTERMEDIA (GA) LCB_Codice identificativo, LCB_Data fine getto, LCB_Link N.C., LCB_Link R.d.M., LCB_Link modello tipologico, LCB_N.C., LCB_Note, LCB_Numero N.C., LCB_Numero R.d.M., LCB_R.d.M., LCB_Sezione tipo applicata, LCB_X Fine (m), LCB_X Inizio (m), LCB_Y Fine (m), LCB_Y Inizio (m), LCB_Z Fine (m), LCB_Z Inizio (m), LCB_Materiale, LCB_Mix design, LCB_Lunghezza (m), LCB_PK Fine (m), LCB_PK Inizio (m), LCB_WBS
- Documentazione → Set di documenti	Provenienti da cantiere e collegati all'ACD: Non Conformità, Richieste di Modifica Tecnica.

Figura 6 – Esempio di Livello di Fabbisogno Informativo per il rivestimento definitivo in tratte scavate con metodo tradizionale.
Figure 6 – Example of Information Requirement Level for the final lining in sections excavated with the traditional method.

- of vibrating wire strain gauges welded on the ribs and incorporated into the shotcrete;
- pressure cells: measurement of the pressure inside the first-stage lining (shotcrete and ribs), using 2 load cells arranged under the foot of the rib;
- instrumented soil nails: measurement of the deformations of the rock mass on the contour of the excavation, using 5 radially arranged instrumented soil nails;
- convergences: convergence of 5 reflective targets on lining.

All this falls within the level of information needs of competence, depending on the part of the work and the section, in accordance with the most recent regulations, including ISO 19650 and EN 17412. Below are two extracts by type of excavation (Fig. 6 and 7).

5. The case study of the Brenner Base Tunnel

The case study of the BIM development of the construction lots of the Brenner Base Tunnel is now practically addressed.
This is an As Built model, which can be updated in progress depending on further information needs that may arise, which must then be of assistance to the maintenance technician during the operation phase of the infrastructure. It is therefore essential to include the hydraulic systems and in particular the drainage wells for maintenance purposes as well as the development of cast savings in the linings so as to be able to best reproduce a PIM subsequently necessary for the technological design phase.

OSSERVATORIO

5. Il caso studio della Galleria di Base del Brennero

Viene ora affrontato nella pratica il caso studio dello sviluppo BIM dei lotti costruttivi della Galleria di Base del Brennero. Trattasi di un modello *As Built*, comunque aggiornabile in itinere in funzione di ulteriori esigenze informative che possono sopraggiungere, che dovrà poi essere di ausilio al manutentore durante la fase di esercizio dell'infrastruttura. Risulta fondamentale quindi l'inserimento dei sistemi idraulici ed in particolare dei pozzetti di drenaggio in ottica manutenzione così come lo sviluppo dei risparmi di getto nei rivestimenti in modo da poter al meglio riprodurre un PIM successivamente necessario per la fase di progettazione tecnologica.

5.1. Introduzione al progetto

La Galleria di Base del Brennero (BBT) è una galleria ferroviaria ad andamento pianeggiante che collega due Stati e rappresenta la parte centrale del nuovo corridoio ferroviario Monaco-Verona e si situa, più in generale, lungo il più esteso corridoio Scandinavo-Mediterraneo all'interno della rete europea di trasporti TEN-T. Si estende tra Innsbruck (Austria) e Fortezza (Italia) per una lunghezza complessiva di 64 km (inclusendo la circonvallazione di Innsbruck) e rappresenterà in futuro il collegamento ferroviario sotterraneo più lungo al mondo.

La BBT rappresenta un sistema complesso di gallerie, che si sviluppa per una lunghezza complessiva di 230 km e di cui a oggi ne sono stati completati 160, le cui principali sono le due gallerie di linea e il cunicolo esplorativo. Essa offrirà una valida alternativa per quanto riguarda il trasporto merci e aprirà al traffico passeggeri una nuova dimensione di viaggio.

Tra i principali vantaggi dell'opera si possono menzionare lo spostamento del traffico merci e passeggeri su rotaia, il decongestionamento del traffico a vantaggio dell'uomo e dell'ambiente, una maggiore sicurezza dai pericoli naturali e notevole decremento dei tempi di percorrenza. Oggi, per spostarsi in treno da Fortezza a Innsbruck sono necessari 80 minuti per il traffico passeggeri e 105 per il traffico merci mentre in futuro, a galleria completata, ne saranno sufficienti, rispettivamente, 25 e 35.

5.2. Utilizzo del Tunnel Information Model per le opere definitive dell'infrastruttura

L'utilità del *Tunnel Information Model* consiste in una gestione uniforme delle informazioni e dei dati per la fase di attrezzaggio tecnologico e di esercizio ferroviario. I metodi applicati per il BBT rispettano i più recenti sviluppi normativi in materia BIM. Si può così ottenere un miglioramento della comunicazione transnazionale, che comporta un aumento di trasparenza e qualità nel progetto. Inoltre, per progetti complessi di grandi dimensioni, un'implementazione BIM comporta una diminuzione di


LEVEL OF INFORMATION NEED [UNI EN 17412-1:2021, UNI EN ISO 19650-1:2019]	
INFORMATION DELIVERY MILESTONE:	PROGETTO AS BUILT
OPERA:	OPERE IN SOTTERRANEO
MODELLO DISCIPLINARE:	STRUTTURE: SCAVO MECCANIZZATO GALLERIE DI LINEA
SCOPO:	Asset Information Model per la fase manutentiva Rappresentazione digitale e informativa Simulazione realizzativa 4D
ATTORI	Responsabili BIM BBT per progettazione e coordinamento – Figure BIM Appaltatore per documentazione e dati da cantiere
ELEMENTI	Rivestimenti definitivi: concil anelli (da A a G) + concil di base CB3 e CB3 per predisposizione pozzetti 
→ Identificazione dell'oggetto	LCB CONCIO A GL, LCB CONCIO B GL, LCB CONCIO C GL, LCB CONCIO D GL, LCB CONCIO E GL, LCB CONCIO F GL, LCB CONCIO G GL, LCB CONCIO CB3, LCB CB3 + POZZETTO GL
→ Contenuto informativo	LCB_Codice identificativo anello, LCB_Coppia testa (MMm), LCB_Data montaggio, LCB_Differenza concio "x", LCB_Link N.C., LCB_Link R.d.M., LCB_Link modello tipologico, LCB_Link report anello, LCB_Matricola concio "y", LCB_N.C., LCB_Note anello, LCB_Note concio "x", LCB_Numero N.C., LCB_Numero R.d.M., LCB_N° anello, LCB_PK Centro anello (m), LCB_Penetrazione (mm/giro), LCB_Peso smarino medio (t), LCB_Posizione chiave, LCB_Quantità pea gravel (m3), LCB_R.d.M., LCB_Scostamento anello orizzontale (mm), LCB_Scostamento anello verticale (mm), LCB_Sezione tipo applicata, LCB_Spinta cilindri ausiliari (kN), LCB_Spinta cilindri principali (kN), LCB_Tipo anello, LCB_Velocità di avanzamento (mm/min), LCB_Volume bicomponente (m3), LCB_X Centro anello (m), LCB_Y Centro anello (m), LCB_Z Centro anello (m), LCB_Materiale, LCB_PK Fine scavo (m), LCB_PK Inizio scavo (m), LCB_WBS
- Documentazione → Set di documenti	Da cantiere e collegati all'ACDat: Non Conformità, Richieste di Modifica Tecnica, Report Anello.

Figura 7 – Esempio di Livello di Fabbisogno Informativo per il rivestimento definitivo in tratte scavate con TBM.
Figure 7 – Example of Information Requirement Level for the final lining in sections excavated with TBM.

5.1. Introduction to the project

The Brenner Base Tunnel (BBT) is a plain railway tunnel that connects two States and represents the central part of the new Munich-Verona railway corridor and is located, more generally, along the most extensive Scandinavian-Mediterranean corridor within the European TEN-T transport network. It extends between Innsbruck (Austria) and Fortezza (Italy) for a total length of 64 km (including the Innsbruck bypass) and will represent the longest underground railway connection in the world in the future.

The BBT represents a complex system of tunnels, which extends for a total length of 230 km and of which 160 have been completed to date, the main ones being the two line tunnels and the exploratory tunnel. It will offer a viable alternative with regard to freight transport and will open up a new dimension of travel to passenger traffic.

Among the main advantages of the work, we can mention the shift of freight and passenger traffic to rail, the decongestion of traffic for the benefit of man and the environment, greater safety from natural hazards and a significant decrease in travel times. Today, travelling by train from For-

OSSERVATORIO

perdite di dato ed errori di comunicazione grazie a una interconnessione di informazioni, e così anche un considerevole aumento di efficienza, che nel caso dell'implementazione BIM BBT riguarda la progettazione e l'esecuzione dell'attrezzaggio nonché l'esercizio e la manutenzione. In particolar modo, una gestione complessiva e unitaria di informazioni e dati delle gallerie principali comporta sul lungo termine un'ottimizzazione della manutenzione con riduzione di eventuali guasti grazie ad una manutenzione preventiva continuativa, nonché una riduzione di interruzioni del traffico ferroviario in fase di esercizio.

5.3. Il rivestimento definitivo delle opere civili in sotterraneo

Una particolarità del progetto della Galleria di Base del Brennero consiste nel fatto di aver considerato una durabilità delle strutture definitive realizzate in calcestruzzo con una vita utile di 200 anni.

Nel dimensionamento dei rivestimenti definitivi vengono considerati oltre 30 condizioni di carico differenti; quelli essenziali sono dovuti agli sforzi indotti dall'ammasso roccioso, dall'influenza dell'aggressività dell'acqua, e dai requisiti di resistenza al fuoco.

Il Progetto Esecutivo di Dettaglio delle opere in sotterraneo prevede una scelta ben definita di sezioni tipo idonee ad affrontare gli sforzi indotti. In particolare, a seconda del metodo di scavo, si utilizza un rivestimento defini-

tezza to Innsbruck takes 80 minutes for passenger traffic and 105 for freight traffic while in the future, once the tunnel is completed, 25 and 35 will be enough, respectively.

5.2. Use of the Information Model Tunnel for the final works of the infrastructure

The utility of the Tunnel Information Model consists of a uniform management of information and data for the technological equipment and railway operation phase. The methods applied for the BBT comply with the latest regulatory developments in the field of BIM. In this way, an improvement in transnational communication can be achieved, which entails an increase in transparency and quality in the project. In addition, for large complex projects, a BIM implementation entails a decrease in data losses and communication errors thanks to interconnection of information, and thus also a considerable increase in efficiency, which in the case of the BIM BBT implementation concerns the design and execution of the tooling as well as operation and maintenance. In particular, an overall and unified management of information and data of the main tunnels involves optimisation of maintenance in the long term with reduction of any failures thanks to continuous preventive maintenance, as well as the reduction of disruptions of rail traffic during operation.

5.3. Final lining of underground civil works

A peculiarity of the Brenner Base Tunnel project is that the durability of the final structures made of concrete with a useful life of 200 years has been considered.

More than 30 different load conditions are considered in the sizing of the final linings; the essential ones are due to the stresses induced by the rock mass, the impact of the aggressiveness of the water, and the fire resistance requirements.

The Executive Detail Project of the underground works provides for a well-defined choice of type sections suitable for dealing with the induced stresses. In particular, depending on the excavation method, a final lining consisting of a ring in single-thickness prefabricated concrete segments and/or a final lining in cast-in-place concrete is used (Fig. 8).

In the case of traditional excavation, before the final lining is applied, the first-stage lining is prepared for the fitting of the waterproof membrane by regularising the surface with an additional layer of shotcrete. The waterproofing system consists of a geotextile with the function of draining the percolation water and protecting the base layer from imperfections, and a PVC sheet that performs the actual waterproofing function. In correspondence with the reinforced parts of the final lining, an additional membrane is also provided to protect the waterproofing (Fig. 9).

The drainage system provides for a "selective drainage" system, that is, separate for the percolation waters collected along both tunnel abutments in micro-cracked tubes, and

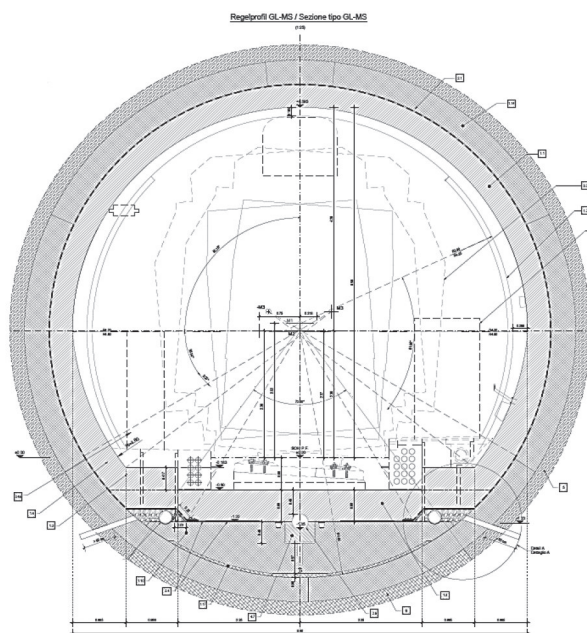


Figura 8 – Sezione tipologica del doppio rivestimento in tratte scavate con TBM.

Figure 8 – Typological section of the double lining in sections excavated with TBM.

OSSERVATORIO

tivo costituito da un anello in conci prefabbricati di spessore unico e/o un rivestimento definitivo in calcestruzzo gettato in opera (Fig. 8).

Nel caso di scavo tradizionale, prima della messa in opera del rivestimento definitivo, il rivestimento di prima fase viene preparato per la posa della membrana impermeabile mediante regolarizzazione della superficie con un ulteriore strato di betoncino proiettato. Il sistema di impermeabilizzazione consiste in un geotessuto con funzione di drenaggio delle acque di percolazione e di protezione da imperfezioni dello strato di base, ed in un telo in PVC che svolge l'effettiva funzione di impermeabilizzazione. In corrispondenza delle parti armate del rivestimento definitivo è inoltre previsto una ulteriore membrana a protezione dell'impermeabilizzazione (Fig. 9).

Il sistema di drenaggio prevede un sistema di "drenaggio selettivo", cioè separato per le acque di percolazione raccolte lungo entrambi i piedritti della galleria in tubi microfessurati, e le acque di piattaforma che prevedono un tubo centrale al di sotto della sovrastruttura ferroviaria con un flusso continuo di acqua in fase di esercizio di ca. 4l/s. Per permettere il corretto funzionamento, un'adeguata ispezionabilità e un'adeguata accessibilità per la manutenzione, sono necessari innumerevoli pozzetti disposti con cadenza regolare.

5.4. Il rivestimento definitivo gettato in opera per tratte scavate in tradizionale

In accordo con il Progetto Esecutivo di Dettaglio e nel rispetto delle sezioni di getto così come realizzate in corso d'opera, sono state sviluppate le diverse sezioni tipologiche in modo da ottenere delle estrusioni 3D parametriche da poter essere a loro volta utilizzate in modo versatile per le varie tratte di galleria. Esse costituiscono il punto di partenza per la successiva implementazione georeferenziata all'interno del tracciato del Lotto Costruttivo.

Il metodo utilizzato è di seguito proposto:

Modello generico metrico → Modello generico metrico adattivo

Nel dettaglio, dalla modellazione delle famiglie bidimensionali tramite i modelli generici metrici, si passa alla nidificazione all'interno del modello generico metrico tramite due punti adattivi e due punti di riferimento. Tramite i punti adattivi si ha la possibilità di estrarre le sezioni sul tracciato in funzione delle progressive chilometriche e quindi delle reali coordinate geografiche, mentre con i punti di riferimento è possibile dare le giuste rotazioni alle sezioni sul tracciato.

Di seguito si riporta il risultato ottenuto sull'esempio della calotta della sezione tipo GL-T2-T3-TRb e la relativa parametrizzazione di punti adattivi e di riferimento (sovrapposti). Le stesse famiglie adattive contengono i parametri condivisi come previsto dal proprio Livello di Fabbisogno Informativo (Fig. 10).

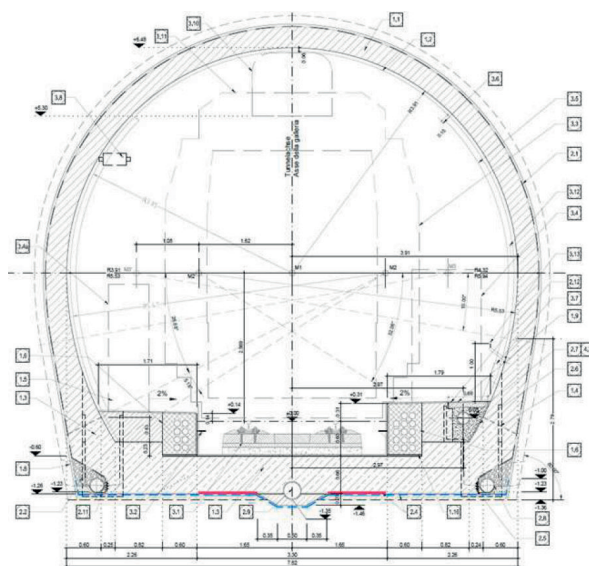


Figura 9 – Sezione tipologica del rivestimento definitivo in tratte scavate con metodo tradizionale.

Figure 9 – Typological section of the final lining in sections excavated using the traditional method.

the platform waters that provide a central tube below the railway superstructure with a continuous flow of water of approx. 4l/s during operation. Infinite wells regularly arranged are required to allow proper operation, suitable inspection and adequate accessibility for maintenance.

5.4. Final lining cast on site for sections excavated with the traditional method

In accordance with the Detailed Executive Project and in compliance with the casting sections as carried out during construction, the different typological sections have been developed in order to obtain parametric 3D extrusions that can in turn be used in a versatile way for the various sections of the tunnel. They constitute the starting point for the subsequent georeferenced implementation within the layout of the Construction Lot.

The method used is as follows:

Generic Metric Model → Generic Metric Adaptive Model

In detail, from the modelling of two-dimensional families through generic metric models, we move on to nesting within the generic metric model through two adaptive points and two reference points. Through the adaptive points the sections on the track can be extruded according to the mileage and therefore the real geographical coordinates, while with the reference points the right rotations can be given to the sections on the track.

Below is the result obtained on the example of the crown of the GL-T2-T3-TRb type section and the relative parameter-

OSSERVATORIO

In questo caso particolare il codice svolge:

- Importazione delle coordinate x, y, z dei singoli conci gettati.
- Creazione dei punti adattivi su cui istanziare i conci.
- Calcolo delle rotazioni dei profili di inizio e fine di ogni singolo concio gettato.
- Estrusione del getto del concio in funzione delle PK di inizio e fine con la sezione tipo utilizzata in cantiere.
- Popolamento degli attributi informativi e set documentale in ogni elemento così come previsto dal livello di fabbisogno informativo.

Si riportano a seguire alcuni output correttamente georeferenziati all'interno del sistema di riferimento adottato:

- modello locale sulla Galleria di Linea Est Sud, zona a singolo binario, tra le PK 49+082,87 e 49+223,03 caratterizzato dalla presenza delle sezioni tipologiche GL-MSTRB e GL-T2-T3-TRb (Fig. 12).

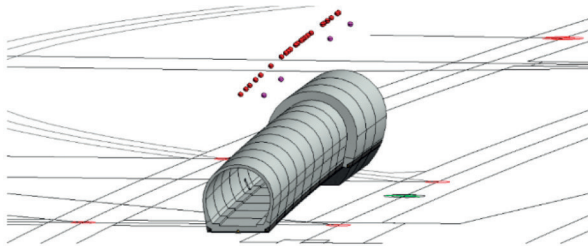


Figura 12 – Modello digitale di una tratta a sud della galleria realizzata con metodo tradizionale.
Figure 12 – Digital model of a section south of the tunnel made using the traditional method.

- Modello della Galleria d'Accesso alla Fermata di Emergenza di Trens tra le PK 1+775,15 e 1+506,05 (Fig. 13).

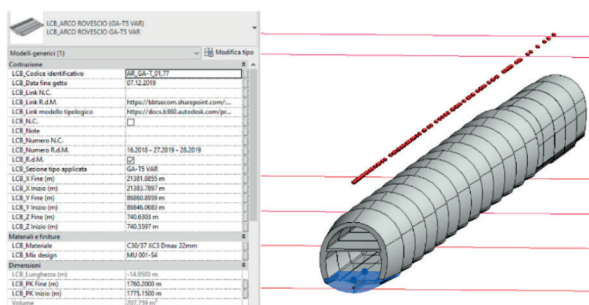


Figura 13 – Modello digitale della galleria di accesso alla Fermata di Emergenza di Trens.
Figure 13 – Digital model of the access gallery to the Trens Emergency Stop.

- Presenza di un rilievo del fronte con Rock Mass Rating pari a 66 (Fig. 14).

Lot is reported. Two twin TBMs S-1071 and S-1072 were used here, respectively called "Virginia" (which concluded its excavation in March 2023) and "Flavia". As for the Exploratory Tunnel, the type of machine adopted is the Double Shield TBM, with a diameter of 10,170 mm and a total length of the machine body of 210 m. The two DS-TBMs travel a route of 14 km northbound.

The positioning of each individual ring segment has been respected, keeping to the assembly diagrams provided for by the project and consistent with the positioning data from the machine's navigation system (VMT).

The main data concerns the position of the key segment A. Knowing the position of the key segment from the VMT and knowing the number of possible positions (19 design mounting diagrams for the line tunnels), the positions of the remaining segments can be determined analytically by automating everything through visual programming scripts (Fig. 16 and 17).

Knowing the coordinates of the track and positioning of the ring segments and knowing the number of rings between two PKs, we can proceed with the modelling using dedicated scripts depending on the section and the relative population of information and documentary set (Fig. 18 and 19).

Below is an example of a local model for a section of the East-North Line Tunnel between PK 36+992.02 and 36+671.78 (Fig. 20).

All the local models created are in turn federated within a single coordination model and/or Project Information Model.

5.6. Implementation of the technological equipment in the model

Technological equipment will also play an important role in the Brenner Base Tunnel project in BIM modelling. The information management plan currently created for this design phase provides clear indications on the requirements of the railway superstructure, electric traction systems, command and control systems, mechanical systems, etc.

The purpose of BBT is to have a unitary and complete model, therefore containing both specialised disciplinary models and information related to technological equipment (Fig. 21 and 22).

6. Model checking for underground works

The information flow also evolves according to control procedures and analyses of the associated information contributions. We are talking about coordination and verification, with processes and flows based on compliance with EN ISO 19650 standard.

This document will look at the processes of:

- Interference resolution or Clash Detection.
- Verification of information inconsistencies.

OSSERVATORIO

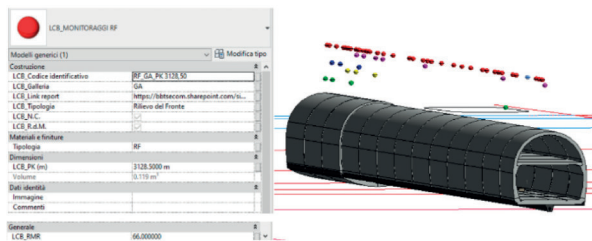


Figura 14 – Individuazione di una tratta con un buon RMR nella galleria di accesso alla Fermata di Trens.

Figure 14 – Identification of a section with a good RMR in the access tunnel to the Trens Stop.

- Modello del By-Pass CT 52/3 e relativi innesti sulla Galleria di Linea (GL) con sezione a singolo binario sulla Galleria di Linea Ovest Sud e a doppio binario sulla Galleria di Linea Est Sud con esempio *cut-off* delle lavorazioni al 31.08.2021 (Fig. 15).

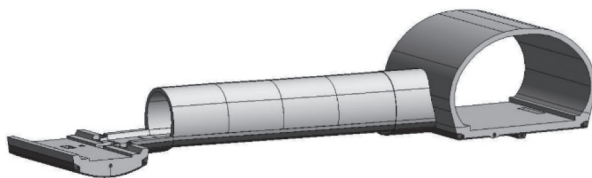


Figura 15 – Esempio di modello digitale in corso d'opera relativo ad un cunicolo trasversale.

Figure 15 – Example of a digital model in progress relating to a transverse tunnel.

5.5. Il rivestimento definitivo in conci per tratte scavate in meccanizzato

Si riporta, a titolo d'esempio, il caso dello scavo in meccanizzato delle Gallerie di Linea del Lotto Costruttivo H61 Mules 2-3. Qui sono state adoperate due TBM gemelle S-1071 e S-1072, denominate rispettivamente "Virginia" (che ha concluso il suo scavo a marzo 2023) e "Flavia". Come per il Cunicolo Esplorativo, la tipologia di macchina adottata è la *Double Shield TBM*, con un diametro di 10.170 mm ed una lunghezza complessiva del corpo macchina di 210 m. Le due DS-TBM percorrono un tracciato di 14 km in direzione Nord.

Sono stati rispettati i posizionamenti di ogni singolo concio di anello, fedelmente agli schemi di montaggio previsti da progetto e coerentemente con i dati di posizionamento provenienti dal sistema di navigazione (VMT) della macchina.

Il dato principale riguarda la posizione del concio chiave A. Nota dal VMT la posizione del concio chiave e noto il numero delle posizioni possibili (19 schemi di montaggio da progetto per le gallerie di linea), è possibile determinare analiticamente, automatizzando il tutto tramite script di programmazione visuale, le posizioni dei restanti conci (Fig. 16 e 17).

6.1. Clash detection

It is necessary to proceed with the federation of local and multidisciplinary models in order to obtain a single digital model, thus becoming the Coordination Model on which to carry out the related checks (Fig. 23 and 24).

By creating a coordination model in *.nwf format (Navisworks file group) composed of the various multidisciplinary local models with *.rvt extension (Revit project file), in case of correction on the single post verification model, the entire project information model and its derived files (*.nwc extension, Navisworks Cache File) can be automatically updated, and of course the updating of the checks set up at the same time as the progress of the work on site can be automated.

Depending on the case studies, it is advisable to proceed with research and selection groups. A first subdivision is possible according to the areas, type of excavation and bore (multidisciplinary local models), while a second one (necessary for clashes) takes place according to the (structural, hydraulic, miscellaneous, monitoring) discipline (Fig. 25).

The interference matrix is then implemented for the control of geometric interferences (Fig. 26).

Given the considerable extension of the work, the verification times are optimised through a matrix that simultaneously contemplates both the first level of coordination (according to EN ISO 19650) within a single model and the second level of coordination between several models.

Each interference is associated with a condition. The latter is automatically updated by the instrument each time the same test is performed as the construction progresses (for example, after resolving some interference on Revit, the test is postponed for rechecking) (Fig. 27 e 28).

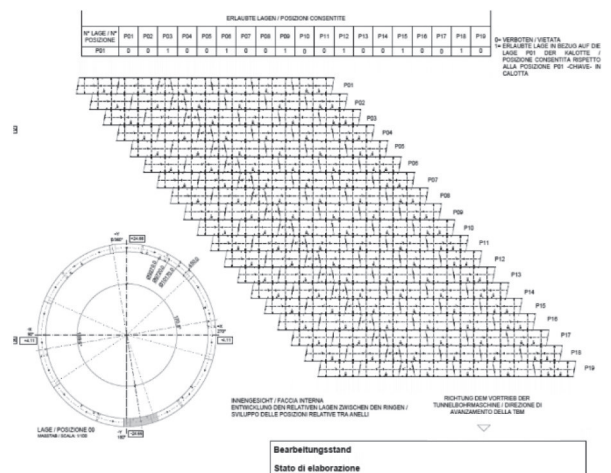


Figura 16 – Schema di montaggio di anelli della TBM.
Figure 16 – TBM ring mounting diagram.

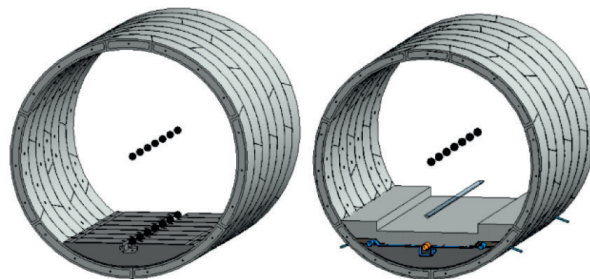


Figure 18 – Mechanised section models created with the individual families of the various segments.

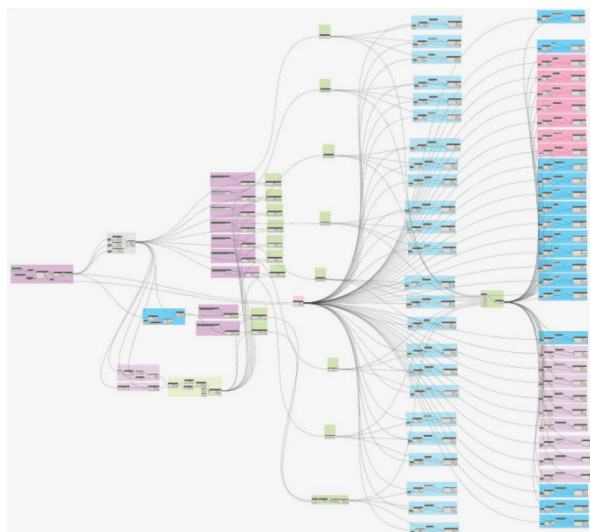


Figure 19 – Overview of the visual programming code for mechanised section modelling.

Figure 17 – Information set in the TBM ring segment family and implementation of the data for the assembly diagram to be observed in modelling.

A seguire si riporta un esempio di modello locale per una tratta di Galleria di Linea Est Nord tra le PK 36+992,02 e 36+671,78 (Fig. 20).

Tutti i modelli locali realizzati vengono a loro volta federati all'interno di unico modello di coordinamento e/o *Project Information Model*.

Anche l'attrezzaggio tecnologico ricoprirà nel progetto della Galleria di Base del Brennero un ruolo importante nella modellazione BIM.

Il piano di gestione informativo attualmente realizzato per tale fase di progettazione fornisce chiare indicazioni sui requisiti della sovrastruttura ferroviaria, degli impianti di trazione elettrica, dei sistemi di comando e controllo, impianti meccanici ecc.

Lo scopo di BBT è quello di disporre di un modello unitario e completo, quindi contenente sia i modelli disciplinari specialistici che le informazioni correlate all'attrezzaggio tecnologico (Fig. 21 e 22).

Il flusso informativo si evolve anche in accordo a pro-

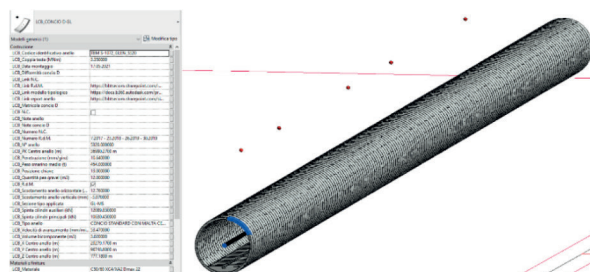


Figure 20 – Example of a model obtained by means of a mechanised section script.

OSSERVATORIO

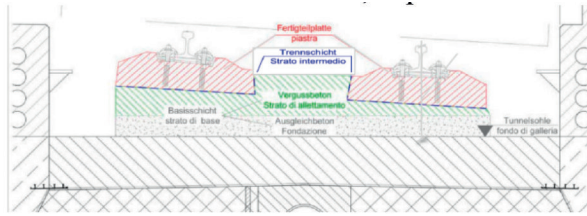


Figura 21 – Esempio di sovrastruttura ferroviaria.
Figure 21 – Example of railway superstructure.

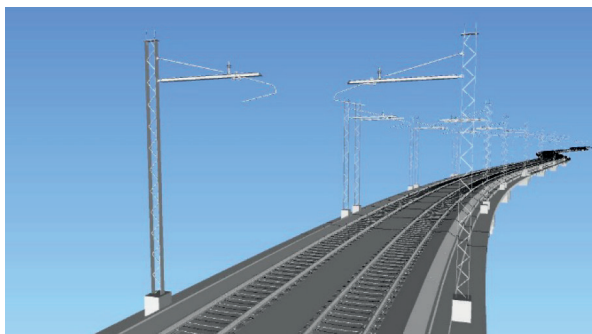


Figura 22 – Esempio di modello di una tratta della linea ferroviaria esistente Verona-Brennero.
Figure 22 – Example of a model of a section of the Verona-Brenner existing railway line.

cedure di controllo e analisi dei contributi informativi associati. Stiamo parlando del coordinamento e della verifica, con processi e flussi basati sul rispetto della normativa EN ISO 19650.

In questo documento verranno visti i processi di:

- Risoluzione delle interferenze o *Clash Detection*.
- Verifica delle incoerenze informative.

6.1. Clash detection

È necessario procedere con la federazione dei modelli locali e multidisciplinari al fine di ottenere un unico modello digitale divenendo così il Modello di Coordinamento su cui svolgere le relative verifiche (Fig. 23 e 24).

Creando un modello di coordinamento in formato *.nwf (Gruppo di file Navisworks) composto dai vari modelli locali multidisciplinari con estensione *.rvt (file di progetto Revit), è possibile, in caso di correzione sul singolo modello post verifica, aggiornare in maniera automatica l'intero modello informativo di progetto ed i relativi file derivati (estensione *.nwc, Navisworks Cache File), nonché ovviamente automatizzare l'aggiornamento delle verifiche impostate contestualmente all'avanzamento dei lavori in opera.

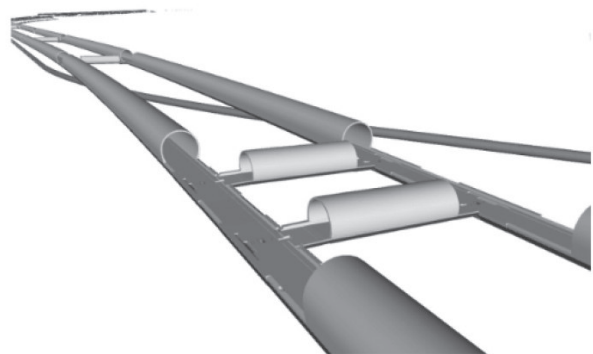


Figura 23 – Federazione di modelli locali e ottenimento di un modello di coordinamento dell'opera.
Figure 23 – Federation of local models and obtaining a coordination model of the work.



Figura 24 – Modello federato dell'opera visto dal cunicolo esplorativo.
Figure 24 – Federated model of the work seen from the exploratory tunnel.

An example of clash concerns TBM segments. Interference always occurs in the same models, demonstrating the fact that it is necessary to review the discretisation for the positioning of a certain number of segments between one PK and the other (Fig. 29 and 30).

Therefore, having identified the error, correctly reworking the site data and relaunching the Dynamo scripts for the discretisation of the path between two PKs and for modelling, the correct "As Built" model is obtained. In the meantime, the tests on the coordination model will have been updated automatically according to the corrections made (Fig. 31).

OSSERVATORIO

È opportuno, in funzione dei casi di studio, procedere con dei gruppi di ricerca e di selezione. Una prima suddivisione è possibile in funzione delle zone, tipo di scavo e canna (modelli locali multidisciplinari), mentre una seconda (necessaria per le *clash*) avviene in funzione della disciplina (strutturale, idraulica, varie, monitoraggio) (Fig. 25).

Si implementa poi la matrice delle interferenze per il controllo delle interferenze geometriche (Fig. 26).

Data la notevole estensione dell’opera si ottimizzano i tempi di verifica attraverso una matrice che contempla in maniera simultanea sia il primo livello di coordinamento (secondo EN ISO 19650) all’interno di un singolo modello sia il secondo livello di coordinamento tra più modelli.

Ad ogni interferenza viene associato uno stato. Quest’ultimo viene aggiornato automaticamente dallo strumento ogni volta che si esegue lo stesso test con l’avanzare della costruzione (ad esempio, dopo aver risolto alcune interferenze su Revit si rimanda il test per la nuova verifica) (Fig. 27 e 28).

Un esempio di *clash* riguarda i conci della TBM. L’interferenza si presenta sempre negli stessi modelli, a dimostrazione del fatto che è necessario rivedere la discretizzazione per il posizionamento di un certo numero di conci tra una PK e l’altra (Fig. 29 e 30).

Dunque, individuato l’errore, rielaborando correttamente il tabulato di cantiere e rilanciando gli *script* Dynamo per la discretizzazione del tracciato tra due PK e per la modellazione, si ottiene il modello “*As Built*” corretto. Nel frattempo, i test sul modello di coordinamento si saranno aggiornati in maniera automatica in funzione delle correzioni apportate (Fig. 31).

Altro esempio di *clash* è l’interferenza tra pozzetti e tubazioni (Fig. 32).

Un processo così impostato nella fase costruttiva dell’opera in sotterraneo permette di risolvere le interferenze del modello a priori prima della successiva progettazione tecnologica/ferroviaria e la futura manutenzione dell’Asset [2].



Figura 25 – Suddivisione del modello di coordinamento in tratte e gruppi per il loro successivo utilizzo nell’individuazione delle interferenze e delle incoerenze.

Figure 25 – Subdivision of the coordination model into sections and groups for their subsequent use in the identification of interferences and inconsistencies.

Matrice Clash Detection	Disciplina	STR					IDR			VAR			MON
Disciplina	Elemento	Calotte	Archi rovescio	Murette	Solette intermedie	Conci anelli TBM	Tubazioni di falda	Tubazioni di piattaforma	Pozzetti di drenaggio	Sottofondi	Ghiale	Riempimenti laterali	Monitoraggi
STR	Calotte	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2				LC1-LC2				LC1-LC2
	Archi rovescio		LC1-LC2	LC1-LC2			LC1-LC2	LC1-LC2		LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2
	Murette			LC1-LC2			LC1-LC2		LC1-LC2		LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2
	Solette intermedie				LC1-LC2								LC1-LC2
	Conci anelli TBM					LC1-LC2							LC1-LC2
IDR	Tubazioni di falda						LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2
	Tubazioni di piattaforma						LC1-LC2	LC1-LC2		LC1-LC2			LC1-LC2
	Pozzetti di drenaggio								LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2
VAR	Sottofondi									LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2
	Ghiale										LC1-LC2	LC1-LC2	LC1-LC2
	Riempimenti laterali											LC1-LC2	LC1-LC2
MON	Monitoraggi												LC1-LC2

Figura 26 – Matrice delle interferenze per l’analisi del modello di coordinamento.

Figure 26 – Interference matrix for coordination model analysis.

OSSERVATORIO

6.2. Analisi delle incoerenze informative

Viene proposta un'attività di verifica sull'analisi quantitativa e qualitativa dei parametri necessaria per la successiva parte dedicata alla simulazione realizzativa 4D:

- Codice identificativo.
- Data fine getto per tratte in scavo tradizionale e data di montaggio per tratte in scavo meccanizzato.
- *Work Breakdown Structure* (WBS).

L'obiettivo è identificare eventuali campi vuoti o incoerenti, i quali possono causare una mancata lettura nell'associazione al cronoprogramma.

Il flusso seguito dell'analisi è così impostato:

- Ricerca elementi tramite proprietà.
- Individuazione visiva degli elementi.
- Utilizzo dello strumento di analisi selezione (con settaggio ID e file sorgente).
- Esportazione tabulato completo di eventuali incoerenze riscontrate.
- Risoluzione incoerenza nel file sorgente del modello locale in Revit.
- Verifica finale.

Un settaggio simile offre la possibilità di risalire in maniera istantanea all'elemento interessato semplicemente intervenendo nel file sorgente (modello locale) tramite la ricerca dell'id (che corrisponde tra Revit e Navisworks avendo creato un modello di coordinamento *.nwf costituito da *.rvt e non da *.nwc). Il risultato a sua volta è esportabile in formato aperto tramite un *.csv utilizzabile per il coordinamento con le altre figure specialistiche coinvolte.

Solamente una volta risolte le incoerenze informative è possibile analizzare l'aspetto legato ai tempi di esecuzione delle parti d'opera.

7. Simulazioni 4D e analisi temporali

La transizione dalla metodologia CAD alla progettazione in ambiente BIM offre la possibilità, tra i mille benefici, di considerare la quarta dimensione all'interno di un progetto. Per far ciò, è fondamentale portare a termine

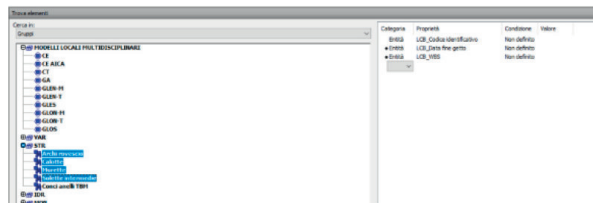


Figura 33 – Impostazione del test per la ricerca delle
incoerenze informative sul modello di coordinamento.
*Figure 33 – Setting up the test to search for information
inconsistencies on the coordination model.*

Another example of clash is interference between shaft and pipes (Fig. 32).

A process thus set up in the construction phase of the underground work allows solving the interferences of the model a priori before the subsequent technological/railway design and the future maintenance of the Asset [2].

6.2. Analysis of the informative incoherences

A verification activity is proposed on the quantitative and qualitative analysis of the parameters necessary for the next part dedicated to the 4D implementation simulation:

- Identification code.
- Cast end date for sections in traditional excavation and assembly date for sections in mechanised excavation.
- Work Breakdown Structure (WBS).

The objective is to identify any empty or inconsistent fields, which may cause a reading failure in the association to the schedule.

The flow followed by the analysis is set as follows:

- Search for items through properties.
- Visual identification of the elements.
- Use of the selection analysis tool (with ID setting and source file).
- Export of table with any inconsistencies found.
- Resolution of inconsistency in local template source file in Revit.
- Final test.

A similar setting offers the possibility of instantly tracing the affected element simply by intervening in the source file (local model) through the search for the id (which corresponds between Revit and Navisworks since a coordination model *.nwf consisting of *.rvt and not *.nwc has been created). The result in turn can be exported in open format

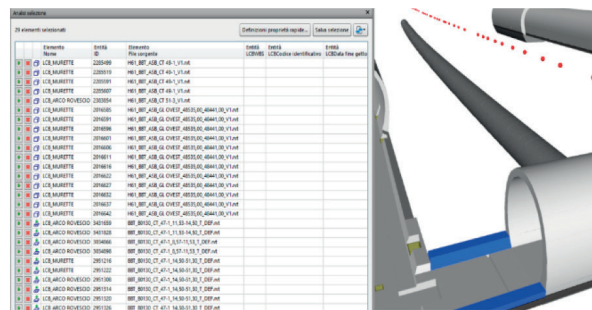


Figura 34 – Esito del test con visualizzazione dei concetti caratterizzata dalla presenza di incoerenza informativa.
Figure 34 – Result of the test with visualisation of the segments characterised by the presence of information inconsistency.

OSSERVATORIO

una rigorosa attività di controllo per le incoerenze informative. Basti pensare alle problematiche che potrebbero sorgere per l'assenza di parametri informativi, quali la data di realizzazione, WBS e codice identificativo (Fig. 33).

Si definiranno, dapprima, le attività realizzative giornaliere. In tal modo sarà possibile osservare il processo di simulazione dei getti di calcestruzzo e di montaggio dei conci prefabbricati, come realmente avvenuti durante le lavorazioni quotidiane (Fig. 34).

Successivamente, si passerà a collegare alcune attività individuate nel programma lavori con il modello digitale.

7.1. Simulazione dell'avanzamento getti e montaggio conci

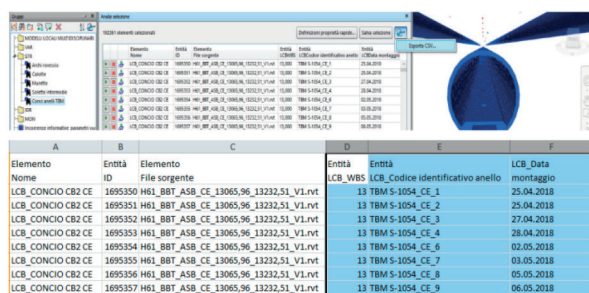
L'associazione ai modelli informativi per il rilevamento delle quantità consente di simulare e visualizzare l'evoluzione nel tempo delle varie lavorazioni, verificando ad esempio lo stato di avanzamento del cantiere ad una certa data.

Con le informazioni immagazzinate è fattibile l'implementazione di una simulazione realizzativa (concio per concio, data per data) dei rivestimenti definitivi (gettati o montati) sia per quanto concerne lo scavo tradizionale sia circa lo scavo in meccanizzato.

Il formato scelto per l'esportazione e per questo studio è il *.csv (comma-separated values).

Esso è un formato aperto basato su file di testo molto utilizzato per esportazioni e importazioni di tabelle di dati di e da fogli elettronici e/o database.

Nell'immagine successiva è possibile osservare il cronoprogramma delle esecuzioni giornaliere nelle tratte in tradizionale così come effettivamente avvenute in cantiere per ogni getto effettuato. Inoltre, attraverso procedure di auto "matching", appositamente modulate nel software, sono state associate in maniera corretta le singole lavorazioni del cronoprogramma importato con gli elementi modellati (Fig. 35 e 36).



Elemento	Entità	Elemento	Entità	Entità	LCB_Data
Nome	ID	File sorgente	LCB_WBS	LCB_Codice identificativo anello	montaggio
LCB_CONCIO CB2 CE	1695350	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_1	25.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695351	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_2	25.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695352	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_3	27.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695353	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_4	28.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695354	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_5	02.05.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695355	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_7	03.05.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695356	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_8	05.05.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695357	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_9	06.05.2018

Figura 35 – Estrazione delle informazioni relative all'effettiva data realizzativa del concio per il successivo collegamento automatico al cronoprogramma nel modello di coordinamento.

Figure 35 – Extraction of information relating to the actual date of completion of the segment for the subsequent automatic connection to the schedule in the coordination model.

through a *.csv that can be used for coordination with the other specialist figures involved.

Only once the information inconsistencies have been resolved can the aspect related to the execution times of the work parts be analysed.

7. 4D Simulations and temporal analyses

The transition from CAD methodology to design in a BIM environment offers the possibility of considering, among thousands of benefits, the fourth dimension within a project. To do this, it is essential to carry out a rigorous control activity for information inconsistencies. Just think of the problems that could arise due to the absence of information parameters, such as the date of completion, WBS and identification code (Fig. 33).

First, the daily construction activities will be defined. This way, the process of simulation of concrete castings and assembly of prefabricated concrete segments can be observed, as actually occurred during daily processing (Fig. 34).

Next, some activities identified in the work programme will be connected with the digital model.

7.1. Simulation of the progress of casts and segment assembly

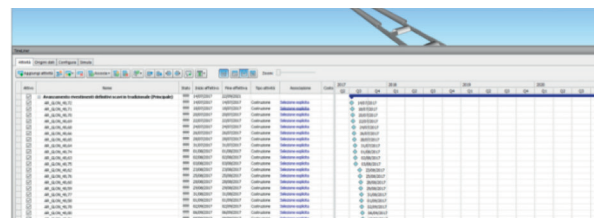
The association with the information models for the detection of quantities allows simulating and visualising the evolution of the various processes over time, checking for example the progress of the site on a certain date.

With the information stored, an implementation simulation of the final linings (cast or assembled) can be carried out (segment by segment, date by date) both with regard to traditional excavation and mechanised excavation.

The format chosen for export and for this study is *.csv (comma-separated values).

It is an open format based on text files widely used for exporting and importing data tables of and from spreadsheets and/or databases.

In the following image the schedule of daily executions



Elemento	Entità	Elemento	Entità	Entità	LCB_Data
Nome	ID	File sorgente	LCB_WBS	LCB_Codice identificativo anello	montaggio
LCB_CONCIO CB2 CE	1695350	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_1	25.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695351	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_2	25.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695352	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_3	27.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695353	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_4	28.04.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695354	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_5	02.05.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695355	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_7	03.05.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695356	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_8	05.05.2018
LCB_CONCIO CB2 CE	1695357	H61_BBT_ASB_CE_13065_96_13232_S1_V1.rvt	13	TBM 5-1054_CE_9	06.05.2018

Figura 36 – Collegamento automatico del cronoprogramma dei getti tramite lettura dell'attributo informativo temporale contenuto nel singolo concio.

Figure 36 – Automatic connection of the casts schedule by reading the temporal information attribute contained in the single segment.

OSSERVATORIO

Di seguito, si riportano alcune immagini rappresentative del risultato ottenuto, con l'occhio dell'osservatore all'altezza dei BY-PASS 52/2 e 52/2A [2] (Fig. 37, 38, 39 e 40).

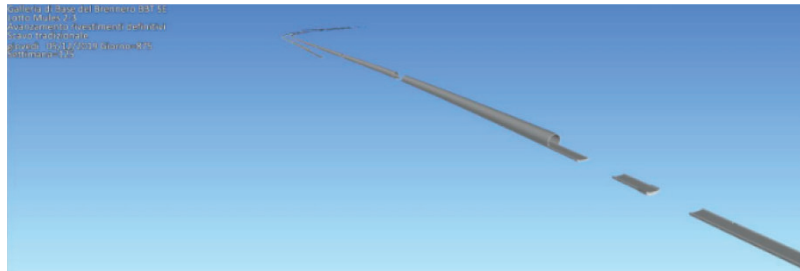


Figura 37 – Simulazione realizzativa della tratta a Sud scavata in tradizionale in un primo istante temporale di analisi.

Figure 37 – Construction simulation of the South section excavated using the traditional method in a first time instant of analysis.

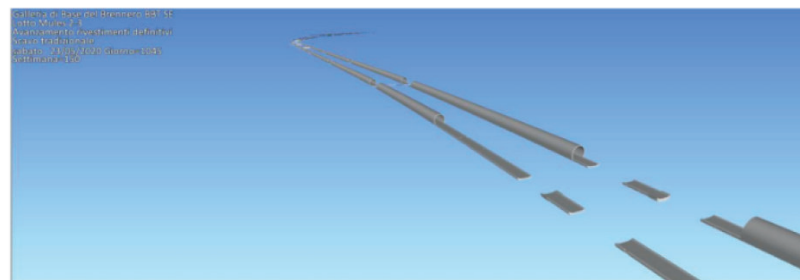


Figura 38 – Simulazione realizzativa della tratta a Sud scavata in tradizionale in un secondo istante temporale di analisi.

Figure 38 – Construction simulation of the South section excavated with the traditional method in a second time instant of analysis.

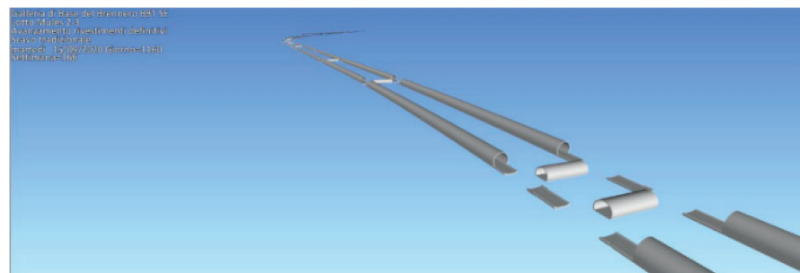


Figura 39 – Simulazione realizzativa della tratta a Sud scavata in tradizionale in un terzo istante temporale di analisi.

Figure 39 – Construction simulation of the South section excavated using the traditional method in a third time instant of analysis.

7.2. Programma di esecuzione lavori

Si va ora a presentare una seconda tipologia di presentazione e gestione 4D del progetto: il collegamento tra modello digitale informativo e il programma di esecuzione dei lavori (PEL). In questo, l'aspetto fondamentale lo riveste il parametro *Work Breakdown Structure* (WBS) presente all'interno di ogni singolo concio.

can be observed in the traditional sections as well as those that actually took place on site for each cast made. In addition, the individual processes of the imported schedule have been correctly associated with the modelled elements through self-“matching” procedures, specifically modulated in the software (Fig. 35 and 36).

Below are some representative images of the result obtained, with the observer's eye at the level of BY-PASSES 52/2 and 52/2A [2] (Fig. 37, 38, 39 and 40).

7.2. Work execution programme

A second type of 4D project presentation and management is now presented: the link between the digital information model and the work execution programme (PEL). In this, the fundamental aspect is the *Work Breakdown Structure* (WBS) parameter present within each individual segment.

In the exemplary case that we report, the following WBSs (Level 1) made through TBM are considered:

- WBS 013 for the exploratory tunnel (CE).
- WBS 035 and WBS 060 for the line tunnels (East North GLEN Line Tunnel, West North GLON Line Tunnel) (Fig. 41).

In order to refine the matching and speed up the procedure, the research groups must immediately dialogue with the activity identifiers (Activity IDs) of the *Work Execution Programme* (Fig. 42).

At this point, the activities of the work programme with scheduled dates could be imported and the model automatically linked to them. At the same time, the actual dates derived directly from the model as well as from the construction site results are reported (Fig. 43).

We can then proceed with the simulation of the activities through the actual dates.

This is reported in:

- White: initial aspect of the simulation, that is, the section to be carried out and not yet executed.
- Red: the processes in that section have begun but are not finished.

OSSERVATORIO

Nel caso esemplificativo che riportiamo, si considerano le seguenti WBS (Livello 1) realizzate tramite TBM:

- WBS 013 per il cunicolo esplorativo (CE).
- WBS 035 e WBS 060 per le gallerie di linea (Galleria di Linea Est Nord GLEN, Galleria di Linea Ovest Nord GLON) (Fig. 41).

Per poter affinare l'abbinamento e velocizzare la procedura, si fa in modo che i gruppi di ricerca dialoghino immediatamente con gli identificativi delle attività (ID Attività) del Programma Esecuzione Lavori (Fig. 42).

A questo punto, è stato possibile importare le attività del programma lavori con date previste e collegare automaticamente il modello alle stesse. Al tempo stesso, vengono riportate le date effettive desunte direttamente dal modello nonché dai consuntivi di cantiere (Fig. 43).

Si può procedere quindi con la simulazione delle attività attraverso le date effettive.

Si riporta in:

- Bianco: aspetto iniziale della simulazione, cioè la tratta da realizzare e non ancora realizzata.
- Rosso: le lavorazioni in quella tratta sono cominciate ma non terminate.
- Verde: aspetto finale della tratta, ossia le lavorazioni sono concluse (Fig. 44 e 45).

Nell'ultima immagine riportata, alla data riportata, si può desumere che:

- Il Cunicolo Esplorativo nella WBS 013 è terminato.
- È stata realizzata la prima parte della WBS 035 su GLEN e GLON.



Figura 41 – Inquadramento geografico delle WBS di interesse nel caso di analisi.

Figure 41 – Geographical classification of the WBSs of interest in the case of analysis.

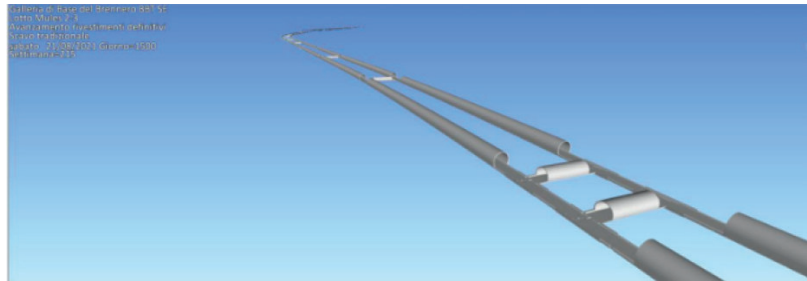


Figura 40 – Simulazione realizzativa della tratta a Sud scavata in tradizionale in un quarto istante temporale di analisi.

Figure 40 – Construction simulation of the South section excavated with the traditional method in a fourth time instant of analysis.

- Green: final aspect of the section, that is, the work is finished (Fig. 44 and 45).

In the last image shown, at the date shown, it can be inferred that:

- The Exploratory Tunnel in WBS 013 is finished.
- The first part of the WBS 035 was executed on GLEN and GLON.
- The section of WBS 060 has been lined on the GLON but not yet on the GLEN.



Figura 42 – Gruppi di ricerca automatici basati sulle WBS di interesse per la successiva simulazione.

Figure 42 – Automatic search groups based on the WBSs of interest for the subsequent simulation.

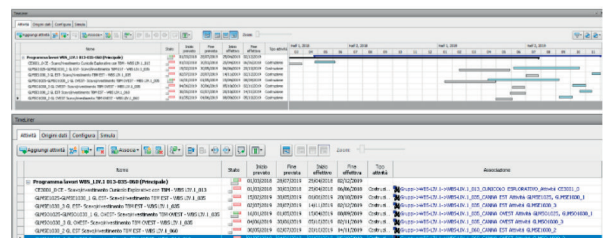


Figura 43 – Collegamento automatico del programma di esecuzione lavori (per le WBS di studio) con le WBS digitalizzate del modello informativo.

Figure 43 – Automatic connection of the work execution programme (for the study WBSs) with the digitised WBSs of the information model.

OSSERVATORIO

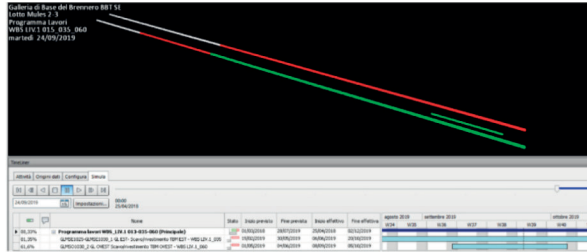


Figura 44 – Output del programma di esecuzione lavori in un primo istante di analisi.

Figure 44 – Output of the work execution programme in a first instant of analysis.

- È stata rivestita la tratta della WBS 060 sulla GLON ma non ancora sulla GLEN.
- Non è completato lo scavo e quindi il rivestimento sulla seconda parte della WBS 035 sulla GLON mentre non è partito lo scavo sulla GLEN corrispondente.

8. Conclusioni

La metodologia BIM aumenta i vantaggi all'aumentare della complessità dell'opera, come nel caso di tunnel ferroviari di notevole lunghezza. Vantaggi che spaziano dalla fase progettuale, con l'implementazione di un modello BIM, alla fase costruttiva, con lo sviluppo di un modello As Built, fino a giungere ad un modello di Asset Information Model dell'Infrastruttura nella fase manutentiva e di gestione.

Questo approccio metodologico permette di tracciare efficacemente lo sviluppo dell'infrastruttura nel suo intero ciclo di vita, in modo da concepire, progettare, costruire e gestire l'opera in maniera integrata e sostenibile nell'ottica della sua vita intera.

Il modello informativo dell'infrastruttura si pone come elemento fondamentale oggi giorno sin dai primi step progettuali per prevenire errori, mitigare incongruenze durante la costruzione rispetto a quanto progettato, ridurre la perdita di dati e diminuire i tempi e costi non solo di realizzazione dell'opera quanto anche di strumento utile in fase di esercizio dell'infrastruttura ferroviaria.

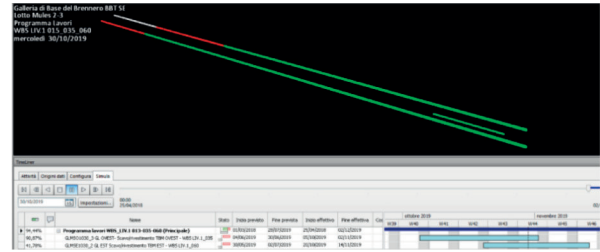


Figura 45 – Output del programma di esecuzione lavori in un secondo istante di analisi.

Figure 45 – Output of the work execution programme in a second instant of analysis.

- The excavation and therefore the lining on the second part of the WBS 035 on the GLON has not been completed while the excavation on the corresponding GLEN has not started.

8. Conclusions

The BIM methodology increases the advantages as the complexity of the work increases, as in the case of railway tunnels of considerable length. Advantages that range from the design phase, with the implementation of a BIM model, to the construction phase, with the development of an As Built model, up to an Asset Information Model of the Infrastructure in the maintenance and management phase.

This methodological approach allows effectively tracing the development of the infrastructure throughout its entire life cycle, in order to conceive, design, build and manage the work in an integrated and sustainable manner with a view to its entire life.

The infrastructure information model is a fundamental element today from the first design steps to prevent errors, mitigate inconsistencies during construction compared to what was planned, reduce data loss, and reduce the time and costs not only of carrying out the work but also of a useful tool during the operation of the railway infrastructure.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] ABBONDATI F., ABRAMOVIC B., BIANCARDO S.A., DELL'AQUILA G., INTIGNANO M. (2021), "Building Information Modeling orizzontale: il caso di studio della linea ferroviaria Croata Gradec-Sveti Ivan Zabno", CIFI - Ingegneria Ferroviaria n. 12, pag. 979-994.
- [2] CATAPANO M., FRANCHI G., MARINI D. (2022), "Metodologia BIM per le opere in sotterraneo: realizzazione di un project information model come strumento di supporto per il project management e per la futura gestione dell'asset"; Tesi di master - Politecnico di Milano.