



Modellazione parametrica in ambiente BIM di un sottovia ferroviario

BIM parametric modelling of a railway underpass

Francesco ABBONDI^(*)
Salvatore Antonio BIANCARDO^(**)
Gianluca SICIGNANO^(**)
Sara GUERRA DE OLIVEIRA^(**)
Andrej TIBAUT^(***)
Gianluca DELL'ACQUA^(**)

Sommario - I modelli di Building Information Modeling consentono ai progettisti di ottenere maggiore efficienza nello sviluppo delle varie alternative progettuali e nella ricerca della migliore soluzione.

Il contenuto informativo di tali modelli non si limita a supportare la fase di progettazione, ma prosegue nelle fasi di scelta del contraente, della realizzazione dell'opera, e della gestione dell'intera vita utile dell'edificio o dell'infrastruttura.

Il presente lavoro ha indagato il concetto di Building Information Modeling parametrico, noto anche come progettazione generativa o progettazione algoritmica, con un approccio del tipo "reverse engineering" applicato ad un sottovia ferroviario a Ljutomer, Slovenia.

Gli standard BIM internazionali, cioè gli Industry Foundation Classes (IFC), sistemi di classificazione e convenzioni di denominazione dei modelli, sono stati applicati ovunque possibile.

1. Introduzione

Con Infrastructure-Building Information Modeling (I-BIM) oppure Civil Information Modeling (CIM), Heavy-BIM (H-BIM) e Horizontal-BIM (H-BIM) ci si riferisce alle applicazioni del Building Information Modeling (BIM) concepite per gestire il processo di realizzazione delle infrastrutture, tra cui quelle di trasporto [1],[2].

Summary - Building Information Models allow designers to achieve greater efficiency among various design alternatives and to derive the optimal solution.

Building Information Models contain the data necessary not only for design, but also to support bidding, construction, and subsequently maintenance and management of the operation of the building or infrastructure.

This research involved exploring the concept of parametric Building Information Modelling, also known as generative design or algorithmic design, based upon a "reverse engineering" approach applied to a railway underpass in the north-eastern part of Slovenia.

Under the BIM approach, international standards are applied wherever possible (e.g., Industry Foundation Classes-IFC, classification system, model naming conventions).

1. Introduction

The terms Infrastructure-Building Information Modelling (I-BIM) or Civil Information Modelling (CIM), Heavy-BIM (H-BIM) and Horizontal-BIM (H-BIM) refer to the applications of Building Information Modelling (BIM) designed for managing the process of infrastructure construction, including transport infrastructures [1],[2].

^(*) Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Ingegneria, Italia.

^(**) Università degli Studi di Napoli Federico II, Scuola Politecnica e delle Scienze di Base, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, Italia.

^(***) Università di Maribor, Facoltà di Ingegneria Civile, Ingegneria dei Trasporti ed Architettura, Slovenia.

^(*) University of Naples Parthenope, Department of Engineering, Italy.

^(**) University of Naples Federico II, School of Polytechnic and Basic Sciences, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Italy.

^(***) University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and Architecture, Slovenia.

In Europa l'implementazione del BIM per gli appalti pubblici di lavori e concorsi di progettazione è stato previsto dalla Direttiva 2014/24/EU [3] come possibilità di richiedere l'uso di strumenti elettronici di simulazione per le informazioni.

Dai report delle maggiori case di software BIM, è possibile osservare come rispetto al più evoluto settore edile si stia sviluppando negli anni più recenti anche il settore infrastrutturale [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

La specifica categoria ferroviaria del dominio delle infrastrutture di trasporto, vede l'azienda italiana Italferr attualmente coinvolta nella realizzazione della metropolitana di Doha in Qatar [13], composta da quattro linee a sviluppo prevalente in galleria.

In BRADLEY et al. [14] si dimostra la diffusione internazionale delle applicazioni BIM infrastrutturali in 27 paesi. Il campo ferroviario pesa circa il 7% dell'intero comparto infrastrutturale, riferendosi i contributi maggiori alla Cina, Regno Unito, Taiwan e Giappone.

In Gran Bretagna il BIM è utilizzato per gestire il progetto High Speed 2 (HS2) che sta attuando una rete ad alta velocità da Glasgow, Edimburgo e Newcastle a Londra, riconvertendo linee già esistenti integrandole con altre da costruire [15], [16]. Anche la riqualificazione della Northern Hub Rail in Inghilterra su 350 km [17] e la linea ad alta velocità Honam di 9,38 km comprendente 2 gallerie e 6 ponti [18], prevedono l'impiego del BIM.

In Germania il BIM è stato utilizzato da Deutsche Bahn per lo scavo di un tunnel ferroviario a Rastatt, e sarà testato ancora in altri 12 progetti per provare i vantaggi del collegamento tra modello digitale, cronoprogramma e costi [19]. Un gruppo di lavoro del Ministero tedesco dei trasporti è dedicato al tema dell'interoperabilità dati BIM e proposte per i formati IFC rail [20].

NUTTENS et al. [21] dichiarano che i fattori chiave per il successo nella progettazione ferroviaria in BIM risiedono nella uniformità ed intelligenza dei vari modelli implementati, che permettendo il coordinamento dei progettisti e facilitandone le analisi di dettaglio, consentono l'ottimizzazione dei propri progetti.

LOVE et al. [22] descrivono il System Information Modelling (SIM) come un metodo per il controllo della produzione documentale, che attraverso l'eliminazione delle informazioni ridondanti risulta in una riduzione di tempi e costi perché riduce la tendenza alle varianti in corso d'opera.

KENLEY et al. [23] presentano i progetti in BIM della nuova linea ad alta capacità Moreton Bay Rail di 12,6 km in Australia ed il prolungamento della linea Kuala Lumpur Light Rail Transit di 35,5 km in Malesia. Emergono criticità nella modellazione parametrica e sul trasferimento dati da CAD a GIS legate alla scarsa interoperabilità tra i diversi ambienti software, da cui la necessità di ricerca verso lo sviluppo di formati dati aperti.

Il Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) della Stanford University [24] ha dedicato uno studio alle

In Europe, Directive 2014/24 / EU [3] provides for the implementation of BIM in public work contracts and design competitions as a basis for requesting the use of electronic simulation tools for information data.

Based on reports by the major BIM software companies, it is possible to observe how the infrastructure sector is developing in recent years compared to the more advanced building sector [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

With respect to the specific category of railways in the area of transport infrastructures, the Italian company Italferr is currently constructing the Doha metro in Qatar [13], consisting of four lines, primarily in tunnels.

BRADLEY et al. [14] demonstrate the international proliferation of infrastructure BIM applications in 27 countries. The railway infrastructure segment constitutes about 7% of the overall infrastructure sector, with the largest projects located in China, United Kingdom, Taiwan and Japan.

In Great Britain, BIM is currently being used to manage the High Speed 2 (HS2) project, which is implementing a high-speed network connecting Glasgow, Edinburgh, Newcastle and London, as well as upgrading existing lines by integrating them with others to be built in the future [15], [16]. In addition, the upgrade of the Northern Hub Rail in England over 350 km [17] as well as the 9,38 km Honam high-speed line including 2 tunnels and 6 bridges [18] both involve the use of BIM.

In Germany, BIM was used by Deutsche Bahn for the excavation of a railway tunnel in Rastatt and will be used in 12 other projects to prove the advantages of linking the digital model, time schedule and costs [19]. A working group of the German Ministry of Transport is dedicated to the issue of interoperability of BIM data and proposals for IFC rail formats [20].

NUTTENS et al. [21] conclude that the key factors for success in railway design using BIM are the uniformity and intelligence of the various models implemented, which optimize their projects by allowing the coordination of the designers and facilitating detailed analyses.

LOVE et al. [22] describe the System Information Modelling (SIM) as a method for tracking document production, which through the elimination of redundant information results in a reduction of time and costs because it reduces variations during project execution.

KENLEY et al. [23] present the BIM projects of the new 12.6 km Moreton Bay Rail high capacity line in Australia, and the extension of the 35.5 km Kuala Lumpur Light Rail Transit line in Malaysia. Critical issues have emerged in parametric modelling and on the data transfer from CAD to GIS linked to poor software interoperability, hence the need for further research regarding the development of open source formats.

Stanford University's Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) [24] conducted a study on the activities and techniques of virtual design and construction (VDC) phase, identifying different levels: a level of visualization of

attività ed alle tecniche della fase di progettazione e costruzione virtuale (VDC) individuando diversi livelli: un livello di visualizzazione degli elaborati [25], un livello documentale in cui si producono studi di fattibilità e computi metrici [26], un livello di analisi specifiche [27], un livello di analisi integrata [28].

Il livello di approfondimento del contenuto informativo degli oggetti digitali che compongono i modelli, Level of Development (LoD), ne definisce quantità e qualità in funzione degli stadi e delle fasi del processo [29]. Gli standard di progettazione degli USA [30] prevedono sei livelli di LoD: 100-200-300-350-400-500. Il modello della Victoria Station Upgrade a Londra [31], essendo destinato a gestire la stazione per tutta la sua vita utile, è stato formulato con un LoD500. Nel Regno Unito i LoD, che comprendono sia il contenuto grafico che quello informativo, sono stabiliti in un totale di 7 [32]. In Italia i livelli dei LoD delle infrastrutture vengono identificati con una scala alfabetica: A-B-C-D-E-F-G [33].

BuildingSMART International è l'autorità internazionale per una serie di standard noti come Industry Foundation Classes (IFC) [34]. Essa si prefigge di supportare la più ampia diffusione del Building Information Modeling (BIM) da parte delle industrie dell'architettura, ingegneria, costruzione e gestione (AECO) e del *facility management* (FM) nei settori degli edifici e delle infrastrutture [35]. Il particolare settore delle infrastrutture, che necessita di modellazione di elementi costruttivi specifici diversi rispetto alle costruzioni in generale, impegna bSI con diversi gruppi di lavoro per sviluppare standard specifici come IFC-Road, IFC-Bridge [36], IFC-Rail [37], ed altri.

Nel rispetto delle linee guida bSI, seppur non costituendo uno standard ufficiale bSI, è stato sviluppato in Cina uno standard BIM per le ferrovie [38].

Un altro gruppo di lavoro bSI denominato IFC Infra Overall Architecture [39],[40] si sta occupando di integrare alcuni standard Rail, Road e Bridge già sviluppati in diverse parti del mondo, in un unico emanando IFC5 che sostituirà l'IFC4 attualmente in vigore [41].

Un'altra iniziativa, ma specifica del settore ferroviario, è quella di railML.org [42], un'associazione di diritto tedesco con lo scopo di servire l'intero settore ferroviario in maniera indipendente da ferrovie, produttori e autorità. RailML.org ha sviluppato un formato di condivisione specifico per l'esercizio del traffico ferroviario più che degli aspetti costruttivi dell'infrastruttura [43],[44].

Dalla complessiva cospicua mole di attività di studio e ricerca mondiale nel settore [45], così come dalle già numerose applicazioni menzionate, emerge che l'approccio metodologico BIM è già un fattore chiave per migliorare coordinamento e collaborazione nei progetti di infrastrutture ferroviarie. Pur se occorre ancora ulteriore impegno di avanzamento della conoscenza nel settore delle grandi opere lineari [46], ne conseguono già chiari i vantaggi della ottimizzazione dei costi, del miglioramento delle analisi delle interferenze e della mitigazione dei ri-

design documents [25], a documentary level in which feasibility analysis and quantity surveys are produced [26], a level of specific analyses [27], and an integrated analysis level [28].

The level of in-depth analysis of the information content of the model digital objects (Level of Development, or LOD) defines their quantity and quality according to the stages and the phases of the process [29]. The design standards of the United States [30] provide for six levels of LOD: 100-200-300-350-400-500. The Victoria Station Upgrade model in London [31], intended to manage the station throughout its useful life, was formulated using LOD 500. There are 7 LODs in the United Kingdom, including both graphical and information content [32]. In Italy, the infrastructure LOD levels are identified using an alphabetical scale: A-B-C-D-E-F-G [33].

The organization buildingSMART International (bSI) is the international authority for standards known as Industry Foundation Classes (IFC) [34]. It aims to support the wider dissemination of Building Information Modelling (BIM) by the Architecture, Engineering, Construction and Operations (AECO) and Facility Management (FM) industries in the building and infrastructure sectors [35]. The infrastructure sector, which requires modelling of specific construction elements different from construction in general, uses bSI with different working groups to develop specific standards such as IFC-Road, IFC-Bridge [36], IFC-Rail [37], and others.

Although not an official bSI standard, a BIM standard for railways was developed in China in accordance with the bSI guidelines [38].

Another bSI working group called IFC Infra Overall Architecture [39, 40] is working on integrating some Rail, Road and Bridge standards already developed in different parts of the world, into a single standard IFC5 that will replace the IFC4 currently in effect [41].

Another initiative specific to the railway sector is railML.org [42], an association organized under German law with the aim of serving the entire railway sector while remaining independent of railways, manufacturers and authorities. The organization railML.org has developed a specific sharing format for the operation of rail traffic rather than the construction aspects of the infrastructure [43], [44].

From the overall large amount of worldwide study and research activities in the sector [45], as well as the numerous applications mentioned above, the BIM methodological approach is already a key factor in improving coordination and collaboration in railway infrastructure projects. Although further efforts to advance knowledge in the field of large linear works are still needed [46], the benefits of cost optimization, improved interference analysis and risk mitigation [47], [48], [49], [50] as well as in the life cycle management of railway assets are already evident [51].

schi [47], [48], [49], [50], così come nel *life cycle management* degli asset ferroviari [51].

2. Il caso di studio

2.1. Il contesto di riferimento

Il sottovia in esame è localizzato nella Slovenia nord-orientale nel comune di Ljutomer, a circa 40 chilometri ad est di Maribor, sul confine con la Croazia. La Slovenia è uno stato membro dell'Unione Europea ed è situato nell'Europa centro-meridionale, tra le Alpi e la Penisola Balcanica, con una superficie di 20273 km².

La rete infrastrutturale ferroviaria slovena al 2013 comprendeva circa 1.229 km di ferrovie di cui solo 330 km a doppio binario e 500 km elettrificati.

I progetti nel campo delle infrastrutture ferroviarie erano e permangono prioritari per la Slovenia in quanto la loro realizzazione è di sostegno allo sviluppo equilibrato e sostenibile del Paese.

Nell'ambito della Strategia nazionale di sviluppo per il periodo 2007-2023, sono previsti i Programmi di mobilità per lo sviluppo economico, con uno stanziamento complessivo di 11.692 milioni di € di cui per la modernizzazione della rete ferroviaria circa il 76% dei fondi (8,88 miliardi di €).

Nell'ambito del Programma operativo di sviluppo delle infrastrutture ambientali e dei trasporti era già previsto per la Slovenia, a valere sulla prospettiva finanziaria europea 2007-2013, uno stanziamento di 836 milioni per i trasporti di cui, per l'Asse prioritario 1: infrastrutture ferroviarie, sono previsti 449,6 milioni di € dal Fondo di Coesione.

Altri progetti sono in corso o in programma sulla rete infrastrutturale slovena.

La rete ferroviaria slovena nel 2013 [52] si presentava come in Fig. 1.

2.2. L'opera infrastrutturale e il processo BIM del reverse engineering

Il caso studio in esame è il sottovia stradale ad una linea ferroviaria nei pressi della stazione Grlava. Esso è parte integrante di un progetto europeo destinato all'interoperabilità ferroviaria di una linea di collegamento da Lione a Budapest ed oltre fino al confine con l'Ucraina, vedi Fig. 2.

2. Case Study

2.1. Context of the Case Study for Reference

The underpass in question is located in the north-eastern Slovenia, in the Ljutomer municipality, about 40 kilometres east from Maribor, on the border with Croatia. Slovenia is a member state of the European Union and is located in south-central Europe, between the Alps and the Balkan peninsula, with an area of 20273 km².

The Slovenian infrastructure network at a glance 2013 included about 1,229 km of railways of which only 330 km are double track and 500 km electrified.

The projects in the area of railway infrastructure are a priority as they are necessary for the balanced and sustainable development of the country.

As part of the national development strategy, for the period 2007-2023, mobility programs for economic development are planned, with a total allocation of 11,692 million €, of which about 76% of the funds for the modernization of the railway network (8.88 billion €).

Under the operational program for the development of environmental and transport infrastructure, an allocation of 836 million € was already planned for Slovenia as part of the European financial perspective 2007-2013, of which for priority Axis 1: infrastructure railway, 449.6 million euros are planned by the Cohesion Fund.



Slovenian railway network

Dual-track line
Single-track line

Figura 1 - Rete ferroviaria slovena (fonte: Ferrovie Slovene, 2013).
Figure 1 - Slovenian railway network (source: Slovenian Railways, 2013).

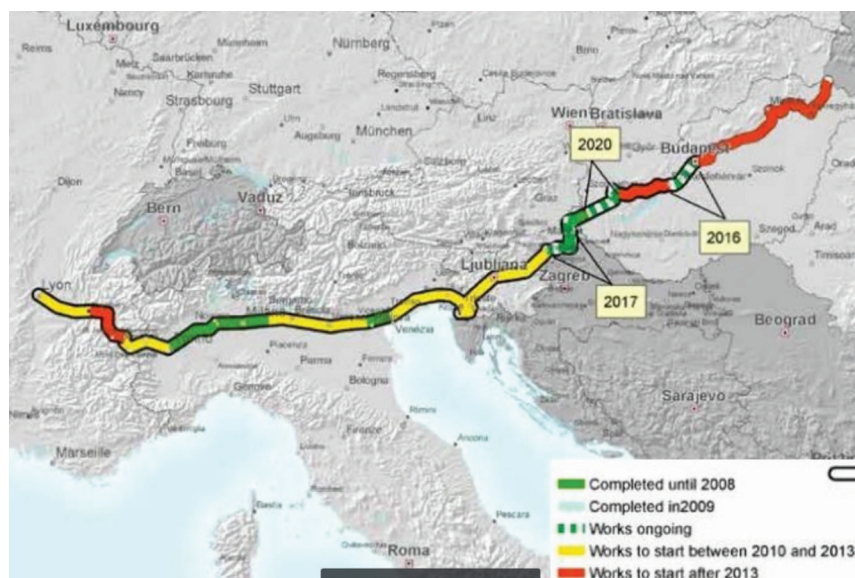


Figura 2 - Linea di collegamento da Lione a Budapest fino al confine con l'Ucraina.

Figure 2 - Railway line connecting Lyon and Budapest along the Ukrainian border.

Nel progetto, incluso nella programmazione strategica nazionale 2007-2013, si prevedeva la realizzazione del sottovia ferroviario con allargamento della strada, marciapiedi, scale di collegamento e un impianto di sollevamento utile per la raccolta ed il rilancio delle acque meteoriche.

L'intervento è finalizzato alla velocizzazione della tratta ed alla messa in sicurezza dell'intersezione [53].

Come preesistenza vi era una intersezione tra la linea ferroviaria su cui viaggiavano treni merci e passeggeri ed una strada locale urbana, intersezione regolata con passaggio a livello.

La carreggiata stradale originaria era costituita da due corsie di 3.25 m e relative banchine di 0.25 m, per una larghezza totale di 7.00 m, vedi Fig. 3.

Il "reverse engineering" della nuova opera è stato realizzato con la finalità di utilizzare il modello generato per la futura gestione e manutenzione dell'opera [54], [55], [56], [57]. Il reverse engineering, chiamato anche back engineering, è il processo mediante il quale un oggetto viene decostruito per analizzarne gli aspetti geometrici, materiali, funzionali ed informativi. Lo scopo è quello di creare il corrispondente modello digitale, al fine di produrre un nuovo oggetto che abbia le stesse proprietà o di gestire l'oggetto originale.

Per la modellizzazione sono stati utilizzati diversi codici di calcolo, sia *closed source* che *open source*, utili per restituire la complessità dell'opera.

Il modello realizzato tramite l'applicazione della metodologia BIM ha restituito anche l'intersecante tronco stradale per una lunghezza di 333 metri (vedi Figg. 4a e 4b).

Other projects are ongoing or planned on the Slovenian infrastructure network.

In Fig. 1 the Slovenian railway network in 2013 [52].

2.2. The infrastructure work and BIM reverse engineering process

The case study in question is the railway underpass near the Grlava railway station, an integral part of the European project for railway interoperability of the connection line from Lyon to the Ukrainian border as shown in Fig. 2.

The project (Underpass Grlava 1 – design of the road-rail intersection on the railway line Pragersko – Hodoš «as part of the project» Elektrifikation and reconstruction of the railway Pragersko – Hodoš), included in the national strategic plan 2007/13, involved the construction of the railway underpass with widening of the road, sidewalks, connecting stairs and a lifting system useful for collecting and redistributing rainwater.

The treatment is aimed at speeding up the section and making the intersection safe [53].

Originally there was an intersection between the railway line upon which freight and passenger trains ran and a local municipal road; this intersection was controlled by level crossing.

The original roadway was made up of two 3.25 m lanes and 0.25 m shoulders on each side, for a total width of 7.00 m (see Fig. 3).

The "reverse engineering" of the new work was carried out with the aim of using the model generated [54], [55], [56], [57] for the future management and maintenance of



Figura 3 - Intersezione con passaggio a livello preesistente (fonte: © 2019 Google).

Figure 3 - Pre-existing level crossing (source: © 2019 Google).

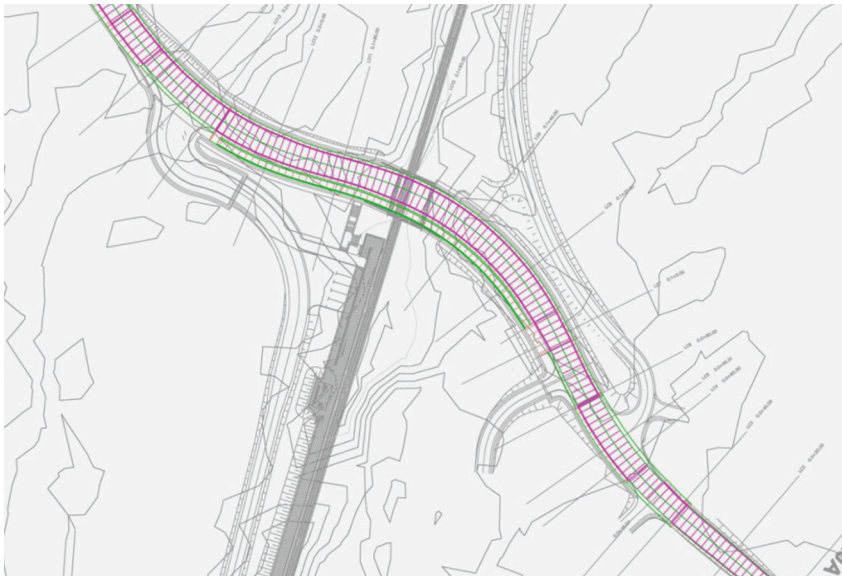


Figura 4a - Intersezione dei tronchi ferroviario e stradale.
Figure 4a - New railway crossing and road sections.

La modellazione 3D parametrica ha permesso la restituzione e l'analisi tridimensionale dell'intera opera inserita nel contesto preesistente ed in parte modificato dall'intervento, implementando in particolare le attività di:

- acquisizione di qualsiasi tipo di rilievi e dati provenienti dal sito;
- gestione interattiva delle coordinate;
- modellazione e analisi del terreno;
- gestione interattiva della geometria dei profili e delle sezioni trasversali;
- modellazione 3D dinamica e interattiva dei corridoi;
- gestione dinamica e interattiva della progettazione geometrica esecutiva.

Nella prima parte del lavoro si è proceduto alla geo-referenziazione dell'opera ed alla corrispondente modellazione del terreno mediante software Autodesk Civil3D®.

La modellazione della sezione trasversale è stata sviluppata mediante il tool Subassembly Composer per la modellazione di componenti costruttivi complessi, a cui è possibile associare proprietà e parametri attraverso una serie di collegamenti consequenziali tra elementi geometrici quali punti e linee, e assegnare loro una codifica personalizzata. Con il tool anzidetto si è sviluppata la modellazione di tipo parametrico programmando

the work. Reverse engineering, or back engineering, is the process by which an object is deconstructed to analyze its geometric, material, functional and information aspects. The aim is to create the corresponding digital model, in order to produce a new object having the same properties or to manage the original object.

For the modelling of the work, various calculation codes were used, both closed and open source, useful to recreate the complexity of the work.

The model created through the application of the BIM methodology recreates the road section for a length of 333 meters (see Fig. 4a and 4b).

Parametric 3D modelling allows for the reconstruction and three-dimensional analysis of the entire work, inserted in the original context and partially modified by the treatment, by means of the following functions:

- acquisition of any type of survey data and other data from the site;
- interactive geometry of the coordinates;
- modelling and analysis of the terrain;
- interactive management of profiles and cross sections;
- dynamic and interactive 3D modelling of corridors;
- dynamic and interactive management of the executive geometric design.

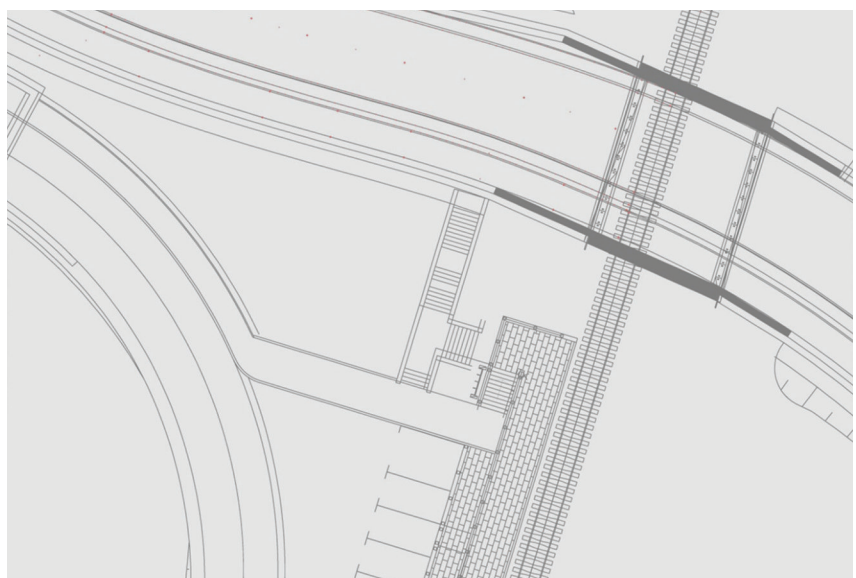


Figura 4b - Particolare del sottovia ferroviario all'intersezione.
Figure 4b - Detail of the railway underpass at the crossing.

un diagramma di flusso che mette in relazione elementi geometrici con la definizione di vincoli e regole per automatizzare lo sviluppo della sezione.

La modellazione 3D dell'infrastruttura ferroviaria è stata sviluppata con Autodesk Revit® creando una nuova famiglia di binari ferroviari, traverse e organi di attacco.

Infine, si è proceduto a testare l'estrazione di informazioni dai modelli creati importandoli in una piattaforma Open BIM per il coordinamento e l'analisi, Allplan Bimplus®, ed interrogandoli.

La sequenza degli applicativi utilizzati è riportata in Fig. 5.

2.3. Modellazioni orizzontale e verticale

Il primo obiettivo, noti i punti quotati e le curve di livello, è stato la modellazione della superficie del terreno. Una volta modellato il terreno, si è poi proceduto alla costruzione del tracciato planimetrico della ferrovia. Il tracciato è stato sviluppato tenendo conto delle rilevazioni effettuate in sito per registrare le caratteristiche geometriche dell'asse (vedi Fig. 6).

Successivamente è stato modellato il profilo altimetrico del sottovia, vedi Fig. 7.

2.4. Modellazione della sezione trasversale

In Figg. 8 e 9 una sezione trasversale della strada ed una del sottovia.

Alcuni elementi del sottovia non sono presenti nella libreria di Civil3D®, e pertanto è stato utilizzato un tool dell'ambiente software, Subassembly Composer, che per-

The first part of the work commenced with the geo-location of the work and the corresponding terrain modelling using Autodesk Civil3D® software.

The cross-sectional modelling was developed using Subassembly Composer, for the construction of complex components with which it is possible to associate properties and parameters through a series of consequential connections between geometric elements such as points and lines and assign them a personalized coding. With this application a parametric modelling has been developed by programming a flowchart that relates geometric elements with the definition of constraints and rules to automate the development of the section.

The 3D modelling of the railway infrastructure was developed with Autodesk Revit® creating a new group of railway tracks, sleepers and coupling devices.

Finally, the data extracted from the models were tested by importing them into an Open BIM platform, Allplan Bimplus®, first for coordination and analysis, and then for running queries.

In Fig. 5 the order of BIM application tools.

2.3. Horizontal and Vertical Modelling

The first objective, noting the elevation points and contour lines, was the modelling of the terrain surface. Once the ground was modelled, the planimetric layout of the road was then built. The route was developed taking into account the surveys carried out on site to record the geometric characteristics of the axis (see Fig. 6).

Then, the elevation profile of the railway underpass was modelled, as shown in Fig. 7.

2.4. Assembly Modelling

Figs. 8 and 9 show a cross section of the road and a cross section of the underpass, respectively.

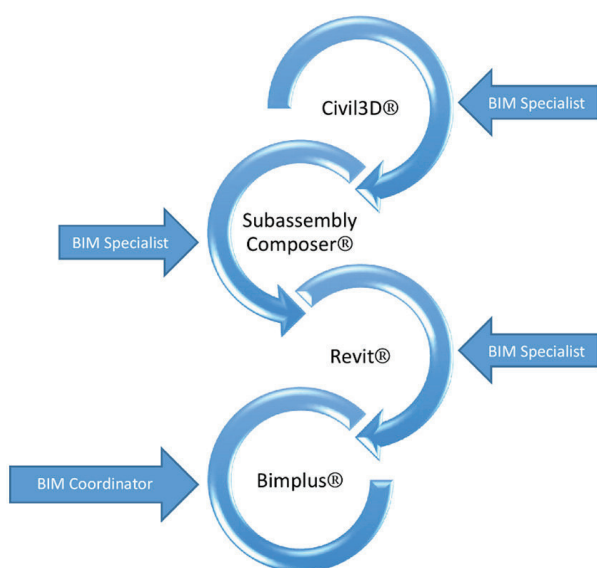


Figura 5 - Processo BIM delle applicazioni.
Figura 5 - Order of BIM application tools.

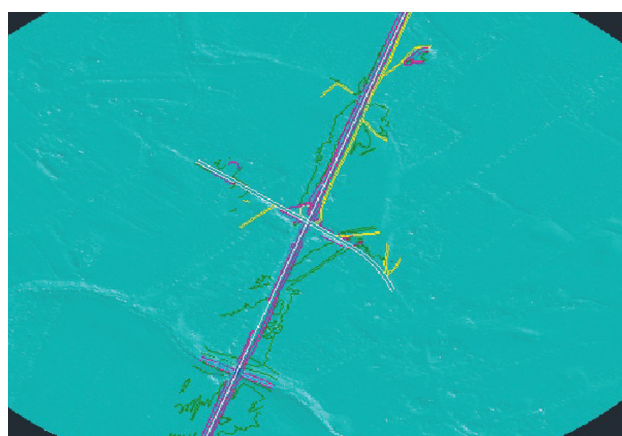


Figura 6 - Modello digitale del terreno con il tracciato planimetrico della ferrovia.
Figure 6 - Digital terrain model with railway axis.

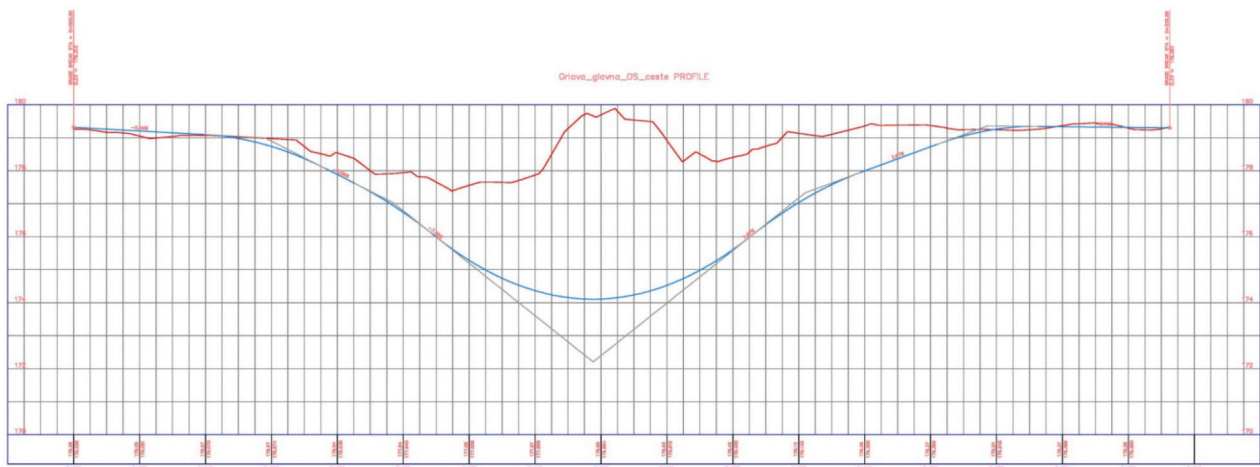


Figura 7 - Profilo altimetrico del sottopasso.
Figure 7 - Vertical profile of the underpass.

mette la costruzione e la modifica di componenti con funzionalità del tipo *drag and drop*, per visualizzare in anteprima il risultato ed il comportamento del componente.

Tramite l'utilizzo del Subassembly Composer è stato possibile:

- definire il funzionamento di un componente 'sezione tipo' mediante un diagramma di flusso intuitivo;
- applicare condizioni ed elementi di geometria comuni e suddivisi in categorie dal riquadro degli strumenti al diagramma di flusso;
- visualizzare un'anteprima della geometria di un componente 'sezione tipo' e simulare il funzionamento del componente con diversi valori obiettivo e condizioni;
- trovare e modificare le proprietà di un componente 'sezione tipo' mediante il diagramma di flusso e l'anteprima sincronizzati;
- salvare i componenti 'sezione tipo' in formato file PKT.

Il procedimento consiste nel creare una serie di collegamenti consequenziali tra punti, curve e figure geometriche da inserire nel diagramma di flusso in modo da ottenere un unico oggetto ed applicare allo stesso una propria forma visibile nell'anteprima. Poi tramite le finestre delle proprietà e della scelta dei parametri

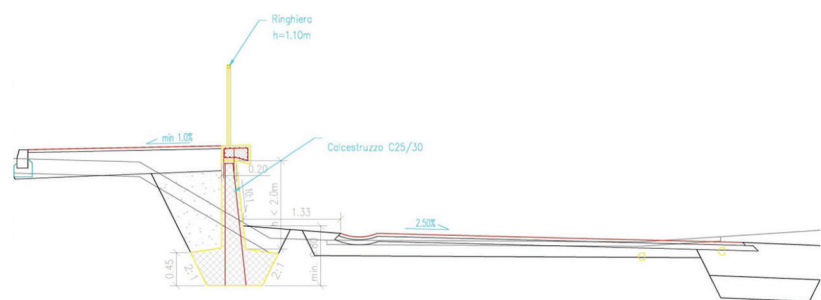


Figura 8 - Sezione trasversale della strada.
Figure 8 - Cross section of the road.

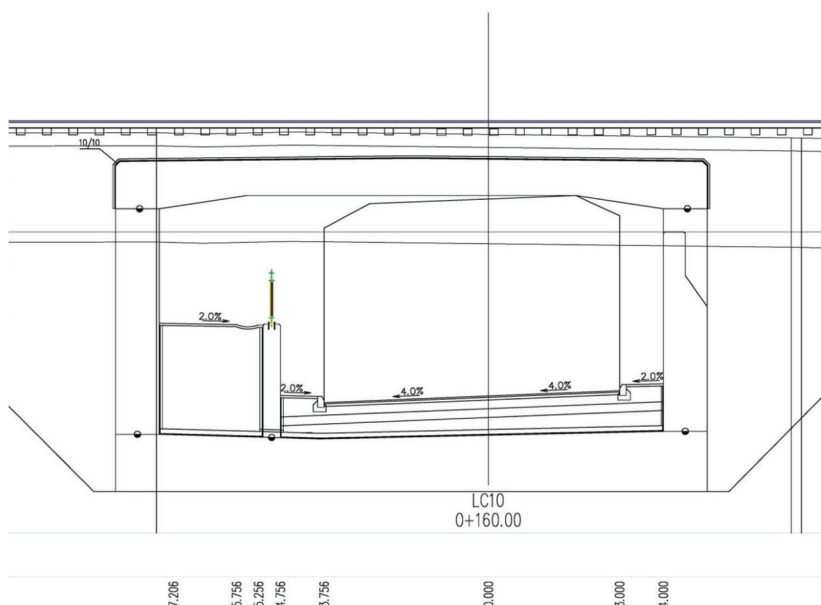


Figura 9 - Sezione trasversale del sottovia.
Figure 9 - Cross section of the underpass.

è possibile interrogare gli elementi ogni qual volta essi vengano aggiunti, in funzione del loro scopo.

La sezione del solido stradale era composta da un muro di sostegno che separa altimetricamente il marciapiede dalla strada. Per riprodurre il muro è stato creato un diagramma di flusso attraverso un sistema di vero/falso utile per riprodurre fedelmente la sezione e raggiungere l'obiettivo prefissato, vedi Fig. 10.

Lo stesso procedimento è stato utilizzato per modellare la sovrastruttura. Sono stati creati gli strati di usura, binder e base con differenti spessori e differenti materiali, impostando la pendenza trasversale. In questo caso le regole sono state inserite per automatizzare l'inserimento del marciapiede, oppure l'arginello in rilevato e la cunetta in trincea, vedi Fig. 11.

I modelli sono stati importati in Civil3D® conservandone le proprietà: ciò assicura l'operabilità anche nell'ambiente software generale Civil3D® in quanto è possibile modificare dinamicamente gli oggetti parametrici.

2.5. Il modello del corridoio

A questo punto, si hanno a disposizione tutti gli elementi necessari per creare il modello del corridoio.

A tal fine, è nata l'esigenza di modellare due corridoi diversi, uno rappresentativo del marciapiede l'altro per la strada, in Fig. 12 rispettivamente in arancio ed in magenta.

Interrogando il modello del corridoio, è immediata-

Some elements of the railway underpass are not present in the Civil3D® library, and therefore a program application, Subassembly Composer, was used that allows the construction and modification of components with reverse functionality, to preview the result and the behaviour of the component.

By using Subassembly Composer it was possible to perform the following operations:

- *define the operation of an assembly component using an intuitive flow chart;*
- *apply common and categorized constraints and geometry elements from the toolbox to the flowchart;*
- *preview the geometry of the assembly component and simulate the operation of the assembly component with different target values and conditions;*
- *find and edit the properties of an assembly component element using the synchronized flowchart and preview;*
- *save the assembly components in PKT file format.*

The procedure consists of creating a series of consequential connections between points, curves and geometric figures to be inserted in the flowchart in order to obtain a single object and apply its own shape visible in the preview. Then, through the windows properties and the choice of parameters, it's possible to query the elements every time they are added, according to their purpose.

The section of the corridor was composed of a retaining wall that separates the sidewalk from the road in terms of elevation. To reproduce the wall, a flowchart was created

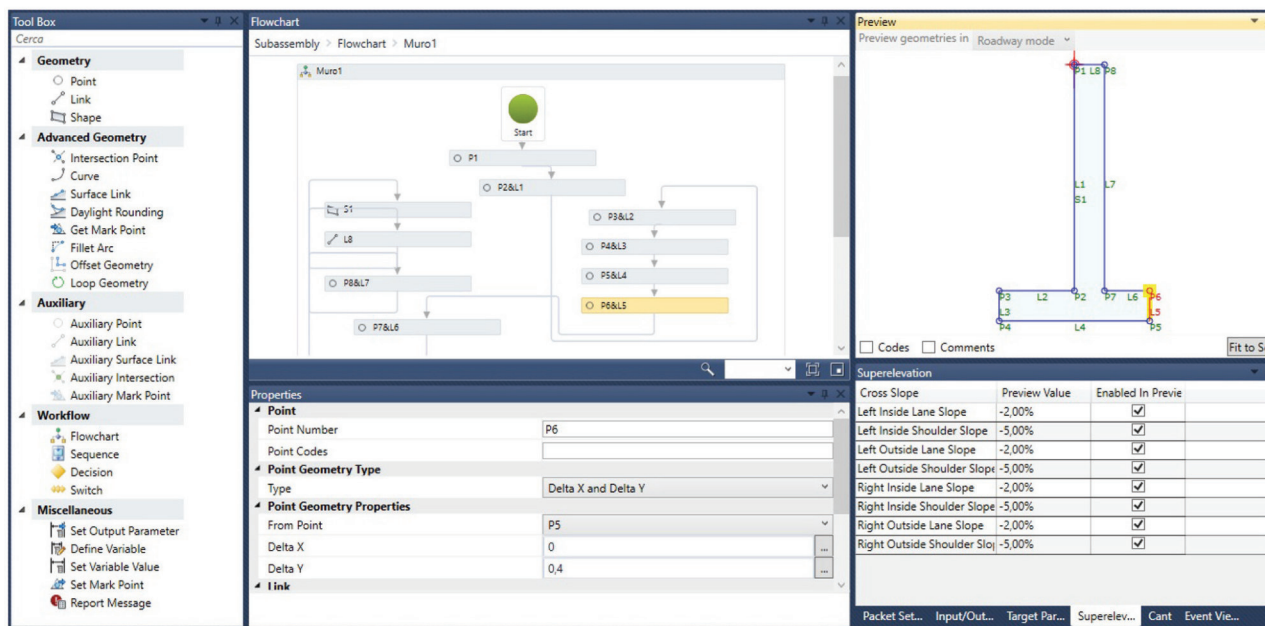


Figura 10 - Creazione del muro dal Subassembly Composer: Tool Box, Flowchart, Preview, Properties, Input/Output Parameters.

Figure 10 - Assembly modeling for the retaining wall by Subassembly Composer: Tool Box, Flowchart, Preview, Properties, Input/Output Parameters.

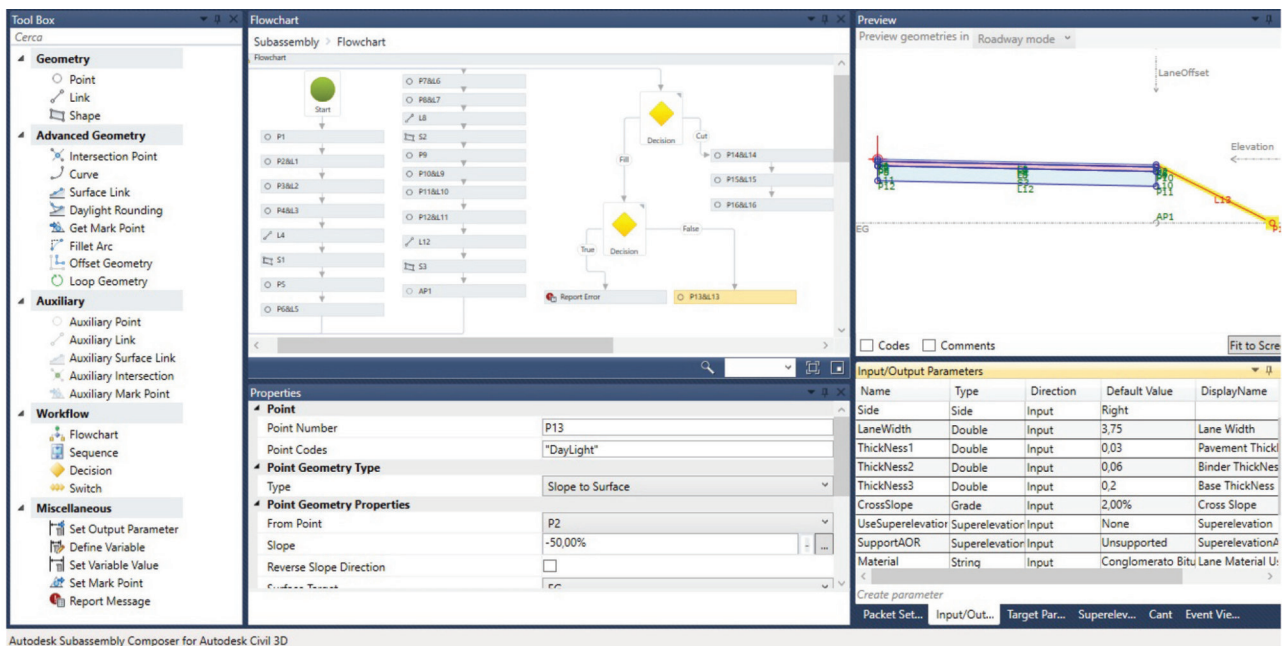


Figura 11 - Creazione della sovrastruttura stradale dal Subassembly Composer: Tool Box, Flowchart, Preview, Properties, Input/Output Parameters.

Figura 11 - Assembly modeling for the road superstructure by Subassembly Composer: Tool Box, Flowchart, Preview, Properties, Input/Output Parameters.

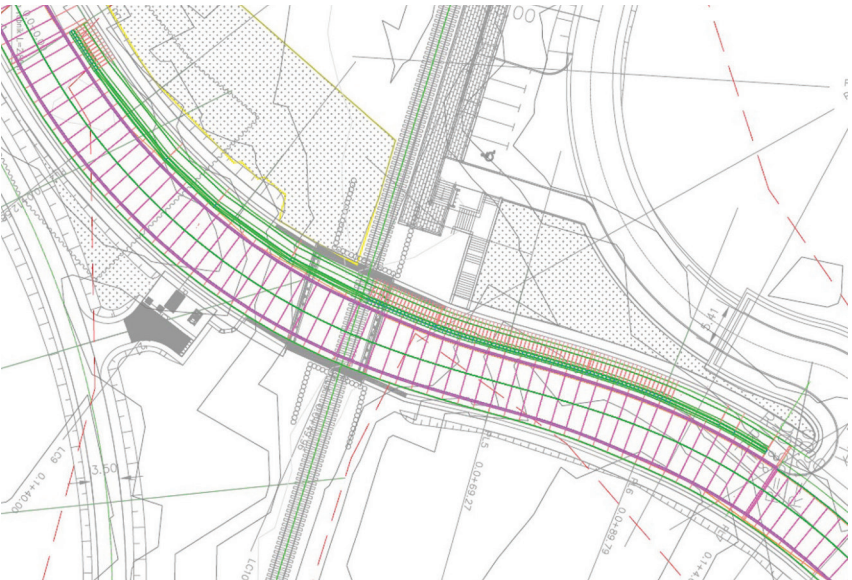


Figura 12 - Modello del corridoio stradale.
Figure 12 - Road corridor model.

mente ottenibile la sezione dinamica della strada ad una determinata progressiva, vedi Fig. 13.

2.6. Estrazione dei solidi

L'estrazione ed il trasferimento dei modelli solidi ad altro ambiente BIM si è reso necessario per arricchire gli

through a true/false system, useful for accurately reproducing the section and achieving the set objective (see Fig. 10).

The same procedure was used to model the superstructure, the wear, binder and base layers with different thicknesses and different materials were created, setting the transverse slope. In this case the rules have been inserted to automate the insertion of the pavement, or the embankment in the embankment and the hole in the trench (see Fig. 11).

The models were imported into Civil3D® while retaining the properties: interoperability between programs is total since in the Civil3D® environment it is possible to modify parametric objects automatically.

2.5. Corridor Modelling

At this point, you have all the elements necessary to create the corridor.

The need arose to create two different corridors, one for the sidewalk in orange in Fig. 12, the other for the street in magenta.

By querying the corridor model, the dynamic cross-section

stessi oggetti “intelligenti” integrandoli con contenuto informativo, quale le caratteristiche e le quantità dei materiali impiegati per realizzare la sovrastruttura stradale.

Il modello stradale nel suo complesso è stato quindi esportato nel formato aperto IFC. Ciò consente di conservarne alcune proprietà, continuando a riconoscere le famiglie e gli oggetti creati, la loro posizione e le loro dimensioni, vedi Fig. 14.

Sono stati quindi trasferiti i modelli del corridoio stradale vero e proprio, del marciapiede e del muro, al codice di calcolo BIM di tipo verticale Autodesk Revit®.

Il trasferimento al diverso ambiente BIM ha comportato delle operazioni preliminari per ovviare a problemi ancora esistenti di non completa interoperabilità.

Il primo passo da compiere è stato quello della definizione dei riferimenti spaziali entro cui sviluppare il modello, ossia i fili fissi delle opere attraverso l'uso delle ‘griglie’ e gli interpiani per lo sviluppo altimetrico attraverso l'uso dei ‘livelli’. Gli elementi costruttivi virtuali fanno riferimento a questi due elementi dimensionali, griglie e livelli, per stabilire le loro posizioni nello spazio. Per esempio un elemento verticale può essere posizionato in corrispondenza di una specifica intersezione tra griglie, e la sua altezza si svilupperà per un certo numero di livelli. Stabiliti i riferimenti spaziali si passa al posizionamento degli elementi costruttivi complementari.

Il flusso di lavoro sopra sintetizzato permette di sviluppare un modello BIM che può essere aggiornato con il contenuto informativo, necessario ad esempio per la gestione della vita utile dell'opera.

L'output principale è di tipo grafico. Ogni elemento grafico o documentale costituisce una famiglia definita come “gruppo di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate parametri ed una rappresentazione grafica associata”. Le modifiche del contenuto informativo non comportano la variazione di famiglie. Le famiglie sono i componenti costitutivi dell'opera e della relativa documentazione.

L'organizzazione delle famiglie è ripartita in tre macro-categorie principali:

- famiglie di sistema;
- caricabili;
- locali.

Le famiglie di sistema comprendono tutti gli elementi di base usualmente utilizzati in una costruzione quali muri, coperture, pavimenti, scale, ecc. Sono, in pratica, la struttura portante dell'intero modello e perciò consentono possibilità di personalizzazione svariate ma entro limiti preimpostati all'interno del codice di calcolo. Questo per escludere modifi-

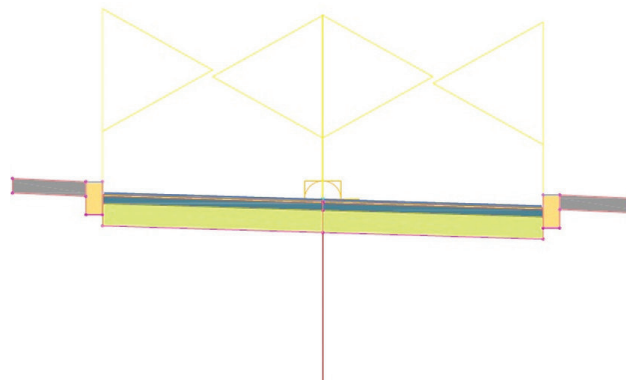


Figura 13 - Sezione dinamica della strada.
Figure 13 - Road cross-section example.

tion of the road can be immediately generated at a given station (see Fig. 13).

2.6. Corridor extraction

The extraction of corridors then allows the transformation of the “smart” objects by integrating them with necessary data, for example for the maintenance of the work, then the characteristics and quantities of materials used to make the road superstructure.

The whole model was then exported to the open IFC format. This allows to retain some properties continuing to recognize the groups and objects created, their position and their size (see Fig. 14).

Subsequently the entire road corridor model as well as the wall and sidewalk models were exported with a vertical BIM calculation code (Autodesk Revit®).

The change to the new BIM environment involved preliminary operations necessary to remedy still existing problems in terms of interoperability.

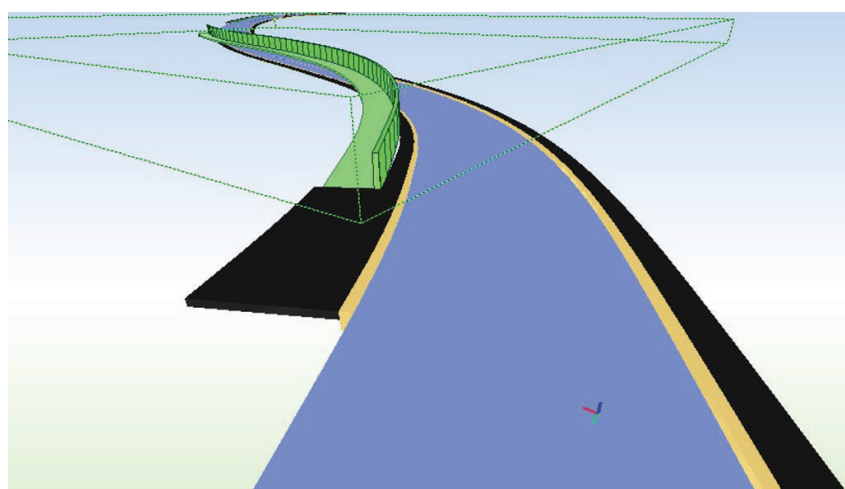


Figura 14 - Modello stradale estratto.
Figure 14 - Extracted road model.

che che possano compromettere il corretto funzionamento della famiglia.

Le famiglie caricabili invece, non sono già presenti nell'ambiente di progetto ma devono essere, appunto, inserite prelevandole da librerie esterne. Le famiglie caricabili servono a coprire ogni altra esigenza necessaria per la modellazione di un'opera e possono essere personalizzabili (partendo da specifici file di modello esterni all'ambiente di progetto) in termini di forma, composizione, aspetto e parametrizzazione dell'oggetto.

Le famiglie locali sono elementi unici creati quando è necessario disporre di un componente univoco, specifico di un progetto corrente. Quando si crea un elemento locale, in Revit viene generata per esso una famiglia che contiene solo quel tipo.

Il file risulta essere un database in cui sono memorizzate le informazioni parametriche del progetto e quindi degli oggetti BIM che ne fanno parte. La suddivisione principale del database prevede "Oggetti Modello" (famiglie), "Oggetti Annotazione" e "Viste". Ognuna di queste categorie possiede a sua volta alcune sottocategorie.

2.7. Creazione di una famiglia per il caso di studio e test su piattaforma Open BIM

Le famiglie di Revit®, assimilabili ai blocchi utilizzati in AutoCAD®, in quanto blocchi dinamici posseggono parametri modificabili (altezza, spessore, stratigrafia, etc.).

Per rappresentare l'armamento ferroviario è stata creata una nuova famiglia comprendente i binari, vedi Fig. 15.

Le rotaie sono state costruite a partire dal profilo e successivamente sviluppato per estrusione solida lungo il percorso, vedi Fig. 16.

Per allineare le estrusioni sono stati creati in seguito nuovi piani di riferimento, sia orizzontali che verticali per definire la geometria dell'oggetto. Successivamente l'oggetto estruso è stato vincolato ai piani di riferimento coordinati.

Il sottovia è stato modellato adottando famiglie disponibili (ad esempio muri, ringhiere e scale), vedi Figg. 17a, 17b, 17c, 17d.

Il modello, le informazioni, i documenti e le attività sono stati infine importati nella piattaforma Bimplus® dedicata al coordinamento ed all'analisi dei modelli specialistici delle varie discipline coinvolte in un progetto, vedi Fig. 18. Con una piattaforma Open BIM di questo tipo il BIM Coordinator ha la possibilità di svincolarsi dai formati proprietari e di interrogare i vari elementi importati in IFC, quindi georeferenziati ma con il vincolo di non poter effettuare ulteriori operazioni di modellazione.

Il vantaggio determinante è la possibilità di integrare e/o aggiornare i dati del progetto da qualsiasi software di progettazione specialistica, grazie all'interfaccia API (Application Programming Interface) aperta. Le informazioni vengono raggruppate in un modello BIM di coordina-

The first step to be taken is to define the spatial references within which the model will be developed, that is, the fixed wires of the works through the use of grids and interplanes for the altimetric development, using the levels. The virtual construction elements refer to these two-dimensional elements to establish their positions in space; for example, a vertical element can be positioned at a specific intersection between grids, and its height will develop for a certain number of levels. Once the spatial references have been established, one proceeds to positioning the complementary construction elements.

The workflow summarized above allows one to develop a BIM model that can be updated with useful information for managing the work. The main output is graphical. Each graphic or documentary element constitutes a family defined as a "group of elements with a set of common properties called parameters and an associated graphic representation". Changes to the information content do not involve the variation of groups. Groups are the building blocks of the work and related documentation.

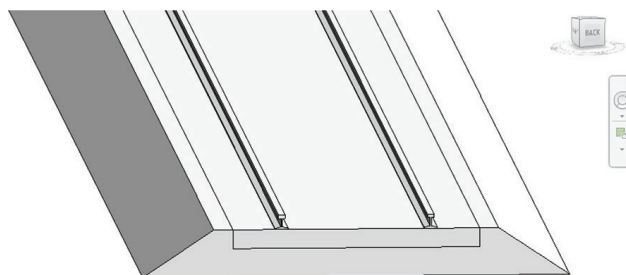


Figura 15 - Armamento della linea ferroviaria.
Figure 15 - Railway superstructure.

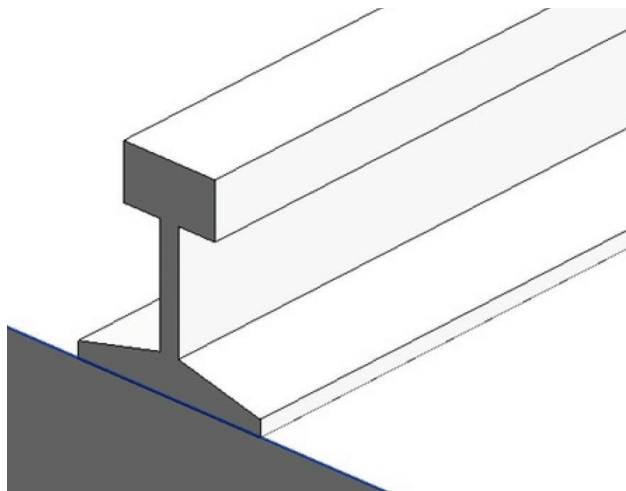


Figura 16 - Rotaia.
Figure 16 - Rail detail.

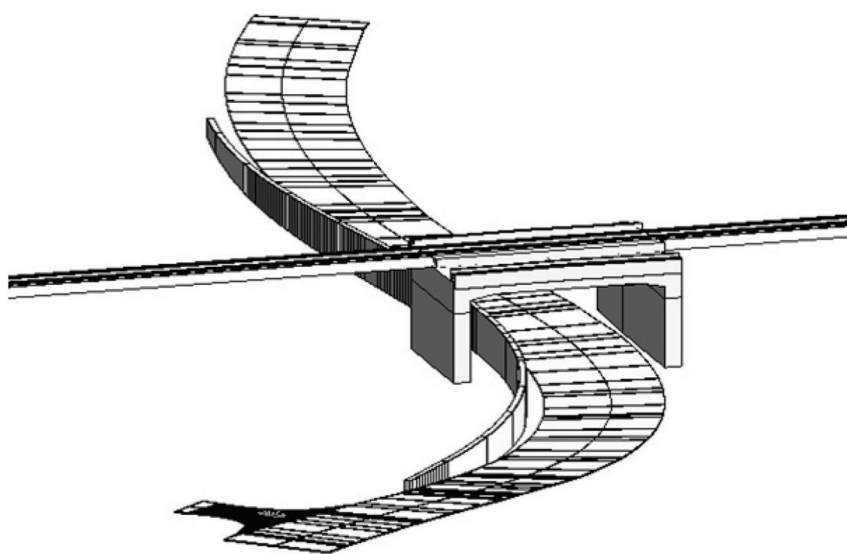


Figura 17a - Modello del tronco stradale in sottovia con la linea ferroviaria.
Figure 17a - Underpass road section with railway track.

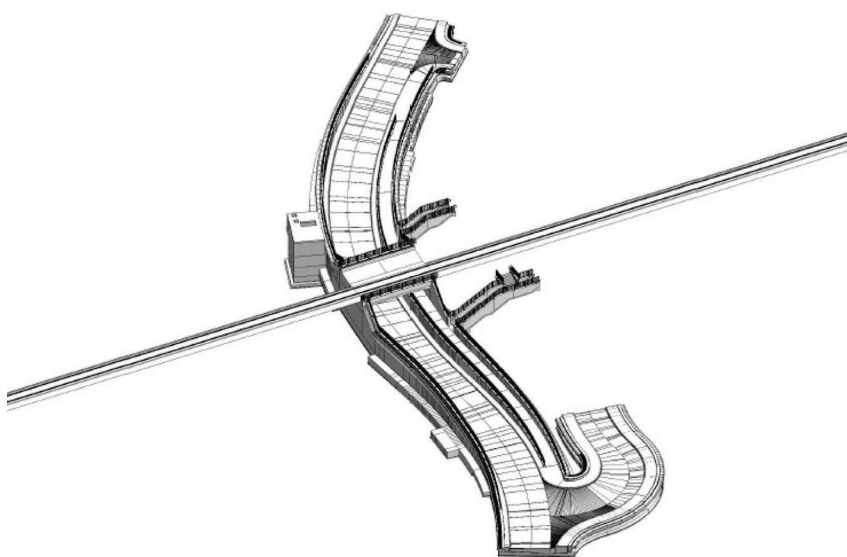


Figura 17b - Modello completo del sottovia con gli elementi costruttivi complementari.
Figure 17b - Completed underpass model with auxiliary construction elements.

mento centrale e sono quindi disponibili per tutti i processi successivi, fornendo così la base per una gestione efficiente del progetto.

Il modello completo del sottovia in Bimplus® si presenta come in Fig. 19.

3. Conclusioni e sviluppi futuri

L'analisi del caso studio proposto ha fornito elementi utili per valutare opportunità e criticità dello stato attuale

The organization of groups is divided into three main macro-categories:

- system;
- loadable;
- locals.

The system groups include all the basic elements usually used in a construction such as walls, roofs, floors, stairs, etc. They are, in practice, the supporting structure of the entire model and therefore allow various customization possibilities but within preset limits within the calculation code. This is to exclude changes that could compromise the correct functioning of the group. The loadable groups, on the other hand, are not already present in the project environment but must, in fact, be inserted from external libraries. The loadable groups are used to account for any other need that arises for purposes of modelling a work and can be customized (beginning with specific model files external to the project environment) in terms of shape, composition, appearance and parameterization of the object.

Local groups are unique elements created when a unique component specific to a current project becomes necessary. When a local item is created, a group that contains only that type of item is generated in Revit®.

The file is basically a database in which the parametric information of the project and therefore of the BIM objects that are part of it are stored. The main subdivisions include: "Model Objects" (groups), "Annotation Objects" and "Views". Each of these categories in turn has some subcategories.

2.7. Creation of a group in the case study, and test with an Open BIM platform

Revit® groups are similar to the blocks used in AutoCAD® and are therefore dynamic blocks with modifiable parameters (height, thickness, stratigraphy ...).

In the modelling of the subway a new group has been created which includes the track (see Fig. 15).

The rails were built starting from the profile and subsequently developed by solid extrusion along the way (see Fig. 16).



Figura 17c - Vista 2D del modello completo.
Figure 17c - 2D view of the completed model.

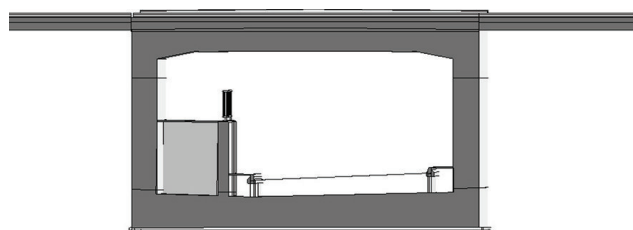


Figura 17d - Vista in sezione trasversale sul sottovia.
Figure 17d - Cross-section of the underpass.

della metodologia progettuale BIM, in particolare applicata al *reverse engineering*.

Il Modello BIM dunque si presenta come un conteni-

To align the extrusions, new reference planes were created later, both horizontal and vertical to define the geometry of the object. Subsequently, the extruded object was bound to the coordinated reference plans.

The underpass has been modelled by adopting available groups (for example, walls, railings and stairs) as shown in Figg. 17a, 17b, 17c and 17d.

The model, information, documents and activities were then imported into the Bimplus® platform that entails the coordination and analysis of specialist models of the various disciplines involved in a project (see Fig. 18). With this type of Open BIM platform, the BIM Coordinator is not bound to any particular proprietary format. The BIM Manager also has the ability to query the various elements imported into IFC, which are georeferenced but lack the ability to carry out modelling operations.

The decisive advantage of BIM modelling is the possibility of integrating and/or updating the project data from any specialized design software, owing to the open API (Application Programming Interface). The information is grouped into a centralized coordination BIM model and is therefore available for all subsequent processes, thereby providing the basis for efficient project management.

The full Bimplus® model is shown in Fig. 19.

3. Conclusions

The analysis of the proposed case study provided inter-

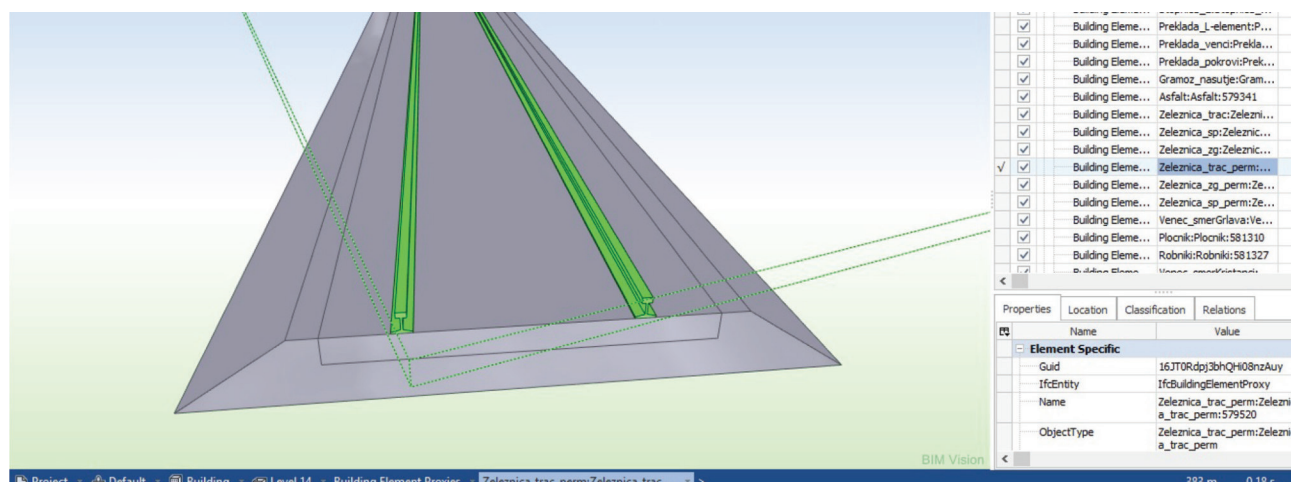


Figura 18 - Importazione in piattaforma Open BIM.
Figure 18 - Import into Open BIM platform.

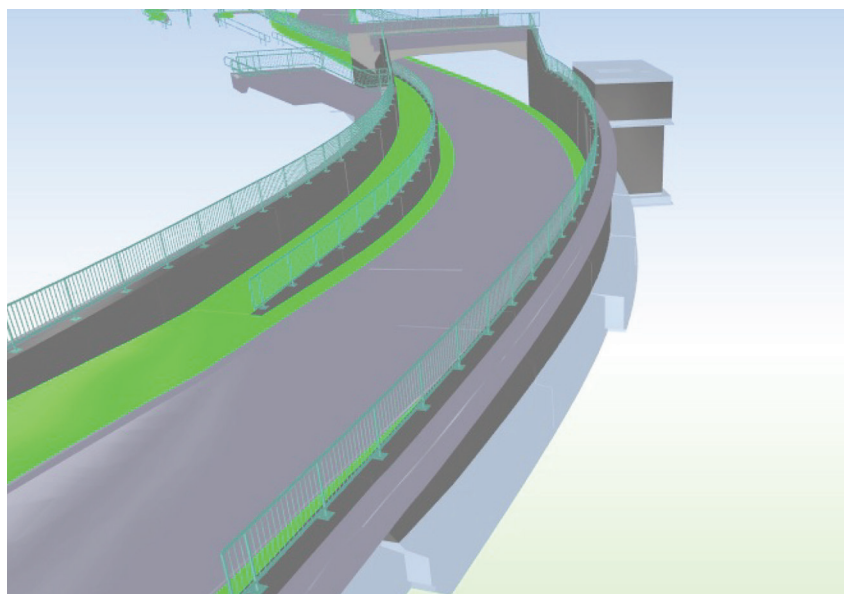


Figura 19 - Modello completo nella piattaforma Bimplus®.
 Figure 19 - BIM final model in Bimplus®.

tore di informazioni di carattere geometrico e funzionale, capace di aggiornarsi e conservare lo storico delle modifiche effettuate.

Seppur gestendo opportunamente le esistenti criticità relative alla non ancora completa interoperabilità tra i vari codici di calcolo, questo aspetto è stato esplorato nell'ottica di rendere il Modello strumento efficiente nell'ambito della gestione e manutenzione dell'opera.

L'impianto generale del lavoro è stato impostato in modo tale da poter essere ulteriormente approfondito e implementato ricercando soluzioni che arricchiscano il Modello con strumenti analitici previsionali in grado di tracciare gli andamenti evolutivi delle caratteristiche prestazionali nel tempo, da utilizzarsi in chiave predittiva. Si vuole cioè giungere ad un sistema cui possano essere inseriti e aggiornati i dati relativi agli indicatori di stato affinché si possano prevedere e pianificare con anticipo gli interventi manutentivi e/o di ripristino delle condizioni strutturali e funzionali delle opere.

Determinante, perché un sistema di tal tipo possa raggiungere una piena efficienza, sarà il raggiungimento di una completa interoperabilità tra i differenti codici di calcolo.

esting elements to evaluate the advantages and disadvantages of the design practice through BIM tools, as well as the current state of the methodology itself.

The model therefore presents itself as a receptacle of information of geometric and functional nature, updatable, allowing to keep track of the changes made. This aspect has been studied in depth, with a view to making the model a useful tool in the management and maintenance works.

The general layout of the work was set up in such a way as to be able to be enhanced and implemented by seeking solutions that enrich the model with forecast analytical tools capable of tracking the evolutionary trends of the performance characteristics over time, to be used in a predictive way. In other words, the goal is to create a system where the data relating to the status indicators can be inserted and updated so that maintenance and / or restoration interventions of the structural and functional conditions of the works can be foreseen and planned in advance.

The goal of complete interoperability between the different calculation codes will be crucial to achieve full efficiency.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] CHENG J.C., LU Q., DENG Y., (2016), "Analytical review and evaluation of civil information modeling", *Automation in Construction*, 67, 31-47.
- [2] FITCH E., (Ed.), "The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology Smart Market Report", McGraw-Hill Construction, 2012.
- [3] EU 2014, "Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on Public Procurement and Union Repealing Directive 2004/18/EC".
- [4] Bentley Systems Incorporated, (2015), "The year in infrastructure 2014", Bentley Institute Press.

- [5] Bentley Systems Incorporated, (2016) "*The year in infrastructure 2015*", Bentley Institute Press.
- [6] Bentley Systems Incorporated, (2017), "*The year in infrastructure 2016*", Bentley Institute Press.
- [7] Autodesk Inc., (2012), "*Autodesk 2012 Excellence in Infrastructure Awards*", Autodesk.
- [8] Autodesk Inc., (2014), "*Autodesk 2014 Excellence in Infrastructure Awards*", Autodesk.
- [9] Autodesk Inc., (2015), "*Autodesk Hong Kong BIM Awards 2014*", Autodesk.
- [10] Autodesk Inc., (2016), "*Autodesk BIM Awards 2015 – Hong Kong, Macau & Taiwan*", Autodesk.
- [11] Autodesk Inc., (2017), "*AEC Excellence Awards 2016*", Autodesk.
- [12] Autodesk Inc., (2017), "*Autodesk Hong Kong BIM awards 2016*", Autodesk.
- [13] ALBANESI S., (2016). "Il Progetto Metro Doha", Italferr. Available at: http://www.cifi.it/UplDocumenti/Roma-30112016/07_Cifi_Italferr_Convegno%20nov.%202016-Albanesi.pdf.
- [14] BRADLEY A., LI H., LARK S., DUNN S., (2016), "*BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective*", *Automation in Construction*, 71, 139-152.
- [15] BALL M., (2015). "*On the Fast Track: High Speed 2 Uses BIM to Connect Cities Across the UK*", Available at: <https://www.autodesk.com/redshift/high-speed-2-bim-connect-uk-cities/>.
- [16] United Kingdom Department for Transport (2017), "*High Speed Two: From Concept to Reality – Moving Britain Ahead*", Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/629380/high-speed-two-from-concept-to-reality.pdf
- [17] STACY M., BIRBECK J., (2013), "*BIM for the Northern Hub ECS1 programme*", *Structural Engineer*, 91(11), 50-57.
- [18] CHO H., LEE K.H., LEE S.H., LEE T., CHO H.J., KIM S.H., NAM S.H., (2011), "*Introduction of Construction management integrated system using BIM in the Honam High-speed railway lot No. 4-2*", *Proceedings of the 28th ISARC*, Seoul, Korea.
- [19] DB Netz AG, (2016), "*Anlage 3a zur Vereinbarung zur Finanzierung von Building Information Modeling (BIM) bei Pilotprojekten im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms*", Available at: https://www.deutschebahn.com/file/de/11883440/x28b1fUdmV_AEFxDWNQ2mfoUUc/12289952/data/bim_einzel-massnahmen.pdf.
- [20] Federal Republic of Germany Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) (2016), "*Digitales Planen und Bauen – Stufenplan zur Einführung von Building Information Modeling (BIM)*", Available at: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/digitales-bauen.html>.
- [21] NUTTENS T. DE BREUCK V., CATTOOR R., DECOCK K., HEMERYCK I., (2018), "*Using BIM models for the design of large rail infrastructure projects: key factors for a successful implementation*", *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(1), 73-83.
- [22] LOVE P.E. ZHOU J., EDWARDS D.J., IRANI Z., SING C.P., (2017), "*Off the rails: The cost performance of infrastructure rail projects*", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 99, 14-29.
- [23] KENLEY R., HARFIELD T., BENHAM A., (2016), "*BIM interoperability limitations: Australian and Malaysian rail projects*", *EDP Sciences-Web of Conferences*.
- [24] Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University. (2015), "*VDC Scorecard-home*", Available at: <https://vdcscorecard.stanford.edu/>.
- [25] MOON JAE-WOO C.S., SHIM K.M., LEE Y.H., KIM W. SON, (2008), "*Development of railway infrastructure information models based on object-based 3D models*", *Proceedings of the 8th World Congress on Railway Research (WCRR2008)*, Seoul, Korea.
- [26] DING L.Y., ZHOU Y., LUO H.B., WU X.G., (2012), "*Using 3D technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction*", *Automation in Construction*, 21, 64-73.
- [27] FUJISAWA Y., YABUKI N. (2012), "*Cooperative information sharing between a 3D model and structural analysis software for railway viaducts*", In *International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering*, (pp. 203-206). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [28] MARZOUK M., ABDEL ATY A. (2012), "*Maintaining subway infrastructure using BIM*", In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (pp. 2320-2328).
- [29] BIMForum (2017), "*Level of Development Specification Guide*", Available at: <http://bimforum.org/lod/>.
- [30] AIA, (2013), *AIA Document G202-2013, Project Building Information Modeling Protocol Form*, the American Institute of Architects (AIA).
- [31] London Underground (LU), "*Victoria station upgrade*", *ICE building information modeling*, *Institution of Civil Engineers*, London, pp. 27-31, 2012.

- [32] BSI, (2013). PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- [33] UNI 11337-4, (2017), Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti (Construction and civil engineering works: Digital management of building information processes-Part 4: Evolution and information development of models, documentation and objects).
- [34] *buildingSMART International - The Home of BIM*, (2018), Available from: <https://www.buildingsmart.org/>.
- [35] GOLPARVAR-FARD M., SAVARESE S., PEÑA-MORA F., (2010), "Automated model-based recognition of progress using daily construction photographs and IFC-based 4D models", In *Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice* (pp. 51-60).
- [36] *buildingSMART International - "Ongoing projects"*, Available from: <http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/projects>.
- [37] *buildingSMART International - Annual Report*, (2018), Available from: <https://www.buildingsmart.org/>.
- [38] China Railway BIM Alliance, (2015), "Standard bSI SPEC Rail - Railway BIM Data Standard (Version 1.0)".
- [39] BORMANN A., LIEBICH T., (2016), "IFC Infra Overall Architecture – Project Plan". *buildingSMART*.
- [40] *buildingSMART International - Germany* (2016), "Informationen der Expertengruppe IFC-Rail/IFC-Road", Available from: www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=News.show&id=522.
- [41] Model Support Group, *buildingSMART International* (2013), *Industry Foundation Classes Release 4 (IFC4)*.
- [42] RailML.org. Available at: <https://www.railml.org/en/home.html>
- [43] RailML® wiki. Available at: <https://wiki.railml.org/index.php?title=UIC:RailTopoModel>
- [44] AUGELE V., (2017), "Project Paper: Comparative Analysis of Building Information Modelling (BIM) and RailTopo-Model/railML in View of their application to operationally relevant Railway Infrastructure Project", *Technical University of Dresden*.
- [45] DELL'ACQUA G., DE OLIVEIRA S.G., BIANCARDO S.A., (2018), "Railway-BIM: Analytical review, data standard and overall perspective". *Ingegneria Ferroviaria*, 73(11): 901-923.
- [46] DELL'ACQUA G., (2018), "BIM per Infrastrutture. Il Building Information Modeling per le grandi opere lineari", EPC Editore.
- [47] ZONG-TIANG L.U. (2013), "Some Views on Using BIM in Railway Design", *Railway Standard Design*, 6, 140-142.
- [48] SUCHOCKI, M. (2017), *The BIM-for-rail opportunity*. *WIT Transactions on The Built Environment*, 169, 37-44.
- [49] FABOZZI, S., CIPOLLETTA, G., CAPANO, E., ASPRONE, D., DELL'ACQUA, G., BILOTTA, E. (2019), *BIM-FEM interoperability for the modelling of a traditional excavated tunnel*. In *Tunnels and Underground Cities. Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art* (pp. 785-794). CRC Press.
- [50] DE OLIVEIRA, S. G., TIBAUT, A., DELL'ACQUA, G. (2019). "Airport Pavement Management Systems: An Open BIM Approach." In *International Symposium on Asphalt Pavement & Environment* (pp. 450-459). Springer, Cham.
- [51] KUPRIYANOVSKY, V., SINYAGOV, S., SUKONNIKOV, G., FEDOROVA, N., DOBRYNIN, A., NAMIOT, D., YARTSEV, D. (2017). *The new paradigm of the digital railway-assets life cycle standardization*. *International Journal of Open Information Technologies*, 5(2), 64-84.
- [52] Italian Trade Agency, "Slovenia Quadro Investimenti in Infrastrutture", Novembre 2013.
- [53] DE LUCA, M., MAURO, R., RUSSO, F., DELL'ACQUA, G. (2011) *Before-after freeway accident analysis using Cluster algorithms*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 20, Pages 723-731.
- [54] TIBAUT, A., KOSEDNAR, D., PUČKO, Z., ČUŠ, BABIČ, N., ČASAR, R., ŽALIG, V., HLASTEC, U., (2014), *DEGRIP – Interoperability of processes and building information models. Final research report*. [DEGRIP – Povezava procesov in informacijskih modelov gradbenih objektov. Konno poročilo o raziskovalnem projektu (Vol. 14)]. Maribor: University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and Architecture.
- [55] BIANCARDO S.A., VISCIONE N., ORETO C., VEROPALUMBO R., ABBONDATI F., (2020), "BIM Approach for Modeling Airports Terminal Expansion", *Infrastructures*, 5(41).
- [56] BIANCARDO S.A., CAPANO A., DE OLIVEIRA S.G., TIBAUT A., (2020), "Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design", *Infrastructures*, 5, 37.
- [57] ABBONDATI F., BIANCARDO S.A., PALAZZO S., CAPALDO F.S., VISCIONE N., (2020), "I-BIM for Airport Infrastructures", *Transportation Research Procedia*, 45, 596-603.