



BIM per infrastrutture ferroviarie: stato dell'arte, standard dei dati e sviluppi generali

Railway-BIM: analytical review, data standard and overall perspective

Gianluca DELL'ACQUA^(*)
Sara GUERRA DE OLIVEIRA^(**)
Salvatore Antonio BIANCARDO^(***)

Sommario - Il Building Information Modeling (BIM) è ad oggi ritenuto il metodo più adeguato per gestire il processo di realizzazione di opere edili e infrastrutturali. In edilizia il BIM è più evoluto ma si sta sviluppando anche nel settore delle infrastrutture. Le differenze più significative tra le due tipologie di opere consistono nelle dimensioni delle stesse, nella struttura dei dati, nelle esigenze gestionali e manutentive degli asset, nella rilevanza degli attributi non grafici e alle relative connessioni nel modello. Nella memoria è presentata una panoramica delle applicazioni BIM per le infrastrutture ferroviarie, sono descritti alcuni progetti di rilevante interesse per mostrare i vantaggi intrinseci del metodo e i livelli di rappresentazione dei modelli. Attenzione particolare è riservata all'interoperabilità, tra gli obiettivi principali delle applicazioni BIM, cui sono dedicati gli sviluppi della ricerca promossi dagli esperti del settore. L'analisi si conclude con una breve panoramica sui codici di calcolo specialistici utilizzati dagli attori del processo costruttivo per gestire gli ambienti di condivisione dei dati digitali.

1. Introduzione

Infrastructure-Building Information Modeling (I-BIM) è un termine comunemente usato nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC) per identificare le applicazioni del BIM alle infrastrutture come quel-

Summary - Building Information Modelling is now recognized the suitable methodology to undertake building and infrastructure projects. Far more developed for "traditional" construction, BIM is gaining momentum in the infrastructure field. The most significant differences when confronted with traditional building projects are the data structure, the project size (usually far more expansive than traditional building projects), the necessity for a more mature asset management and maintenance processes and the focus on non-graphical data and respective connection into the model. The present paper offers an overview of BIM applied to Railway projects, highlighting some relevant projects in the field, accenting the inherent advantages of its application, clarifying the representation levels that such models achieve and focusing on the interoperability, which as Information (core of BIM) is one of the key concepts that still requires research and attention from all specialists involved. The paper finishes with a brief overview of software tools specific to this area, being that technology and its natural development has a major role in allowing the greatest quality on the way information is input (in quantity and quality), retrieved and used by all stakeholders.

1. Introduction

Infrastructure-Building Information Modelling (I-BIM) is a term commonly used in the Architecture Engineering and Construction (AEC) industry to refer to the application

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

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

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

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

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

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

le di trasporto e idrauliche [1]. I-BIM consiste in gran parte nella utilizzazione di tecnologie ma è soprattutto una metodologia che si fonda su procedure e standard finalizzati all'efficientamento del processo costruttivo.

Poiché la definizione è di recente conio, si utilizzano talvolta anche i termini "Civil Information Modeling" (CIM), "Heavy-BIM" e "Horizontal-BIM" [2] per distinguere dal BIM edile per opere puntuali e strutture verticali.

Le principali tipologie di infrastrutture civili possono essere ripartite in cinque domini: trasporti, idraulica, energia, pubblica utilità e ricreazione come proposta da Bentley Systems [3]. Il dominio delle infrastrutture di trasporto è diviso in sei categorie: ferrovie, strade, ponti, gallerie, aeroporti e porti. A partire dall'analisi della letteratura è stato sviluppato un framework per valutare la maturità della metodologia e per misurarne l'incidenza nel settore ferroviario.

L'impegno profuso nello sviluppo e nell'implementazione dell'I-BIM ha coinvolto il settore professionale e il settore accademico. La maggior parte dei casi studio sono stati ottenuti dal report annuale di Bentley the Year in Infrastructure a causa della grande quota di mercato del software ferroviario Bentley BIM [3, 4, 5] e dai report annuali Autodesk BIM Awards [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Altri casi raccolti sono stati ottenuti da vari report disponibili su Internet.

Le aziende italiane del comparto ferroviario sono universalmente riconosciute per il know-how tecnico specialistico e tra quelle leader del settore la metodologia è già molto diffusa. Ad esempio Italferr è tra i partner coinvolti nella realizzazione della metropolitana di Doha in Qatar composta da quattro linee. La consegna delle prime tre linee è prevista entro il 2019 con apertura al pubblico entro il 2020. L'estensione prevalente delle linee della metropolitana di Doha è in galleria.

La linea rossa, nota anche come Coast Line, corre per circa 40 chilometri da Al Wakra a sud fino a Lusail a nord. La linea collega anche il Terminal 1 dell'aeroporto internazionale di Hamad con il centro della città. La linea è dotata di diciotto stazioni tra cui quella di Legtaifiya consente ai passeggeri di trasbordare sul tram di Lusail.

Essendo il progetto rilevante su larga scala, è richiesto un alto livello di cooperazione tra tutti gli specialisti coinvolti, con l'adozione dell'I-BIM, dei suoi processi e tecnologie. In Fig. 1 è raffigurato uno schema illustrativo del coordinamento tra i diversi modelli specialistici (Architettonico, Civile, MEP) del progetto della metropolitana di Doha.

2. Analisi della letteratura

BRADLEY et al. [13] hanno analizzato 259 contributi pubblicati in 27 diversi paesi a dimostrazione della diffusione internazionale del BIM. Gli studi riguardavano prevalentemente le applicazioni nel settore infrastrutturale, edile e di carattere generale senza specifici campi di

of Building Information Modelling (BIM) for facilities, such as transportation and water management infrastructure [1]. A big part of BIM is technology but primarily it should be considered a methodology, filled with processes and standards, that enhance the efficient delivery of the projects.

As BIM is a term recently introduced by many users, various institutions have different denominations of BIM, such as "Civil Information Modelling" (CIM), "Horizontal BIM" and "Heavy BIM" [2].

With reference to the categorizations used by Bentley [3], the major types of civil infrastructure are classified into thirteen categories under five domains: transportation, energy, utility, recreational and water management. The domain of the transportation facilities is divided into six categories: railways, roads, bridges, tunnels, airports and ports. Based on the literature review, a framework has been developed to evaluate the current practice and maturity of BIM and to measure how BIM changes the project delivery for the railway infrastructure facilities.

The effort put into BIM development and implementation can be divided into two types: industry effort and academic effort. Most collected industry cases were obtained from the Bentley the Year in Infrastructure annual reports due to the big market share of the Bentley BIM railway software [3, 4, 5] and from the Autodesk BIM Awards annual reports [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Other collected cases were obtained from various reports available on the Internet.

Italy is worldwide recognized for its specialist's technical know-how on railway, and the major companies already make use of this methodology for delivering complete projects. For instance, Italferr has been one of the chosen partners in the development of the Doha Metro Project in Qatar, a multi-billion development. Doha Metro will consist of four lines (Red, Green, Gold and Blue). The first three lines are planned to be accomplished by 2019 and open to the public by 2020. Most of the Doha Metro lines will be underground, so tunnelling plays a major role in construction.

The Red Line, also known as the Coast Line, runs for about 40 kilometres from Al Wakra in the south to Lusail in the north. The line also connects Hamad International Airport at Terminal 1 to the centre of the city. It has 18 stations with the Legtaifiya Station allowing passengers to transfer over to the Lusail Tram.

Being a large scale relevant project, it requires a high level of collaboration between all disciplines involved, improved by the adoption of the BIM methodology, its processes and technologies. Fig. 1 presents an illustrative scheme concerning the coordination between the Architecture, Civil, Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) models and some of the data easily retrieved from them, such as detailed structure models.

2. Literature review

BRADLEY et al. [13] analysed 259 papers produced by a total of 27 different countries displaying the truly international scope of BIM. The literature volume consisted of

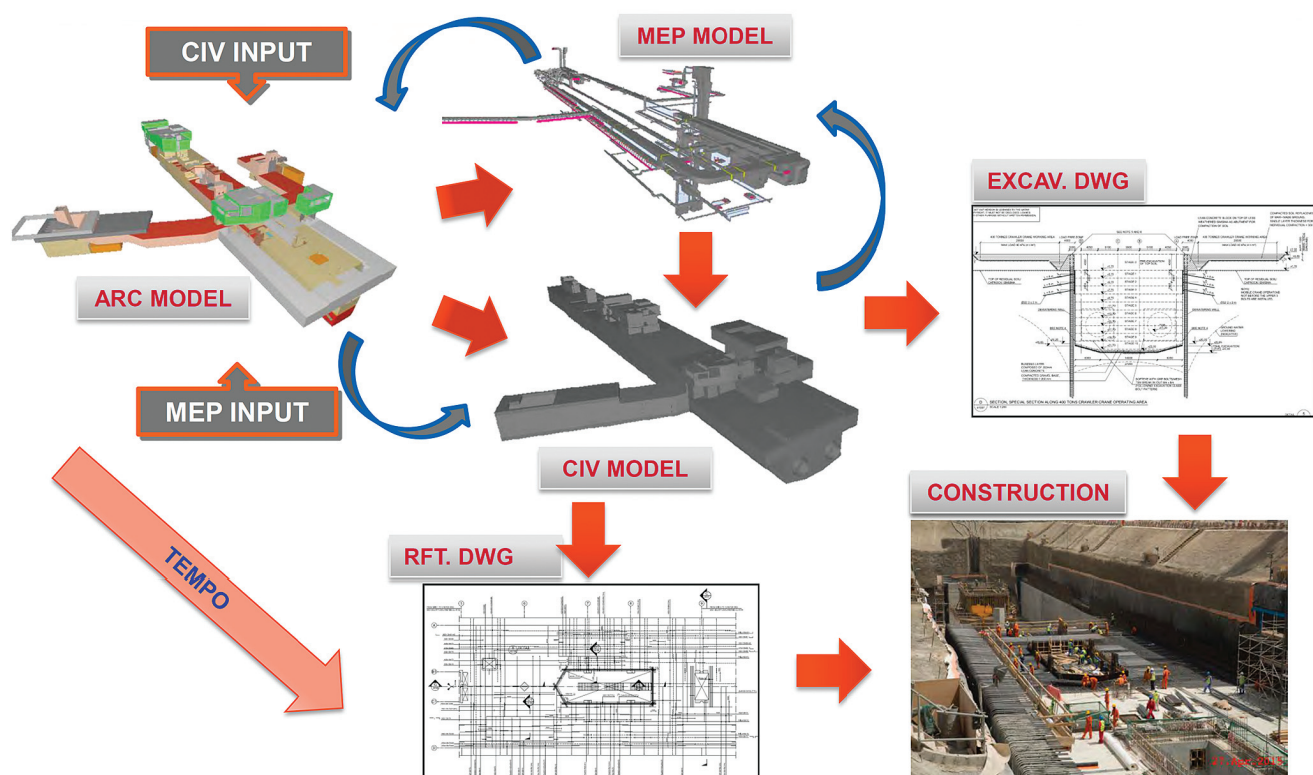


Fig. 1 - Progettazione e costruzione della metropolitana di Doha in Qatar [12].
Fig. 1 - Design & Build of Metro Doha: Red Line North Underground [12].

applicazione. La maggior parte degli studi riguardanti reti ferroviarie e metropolitane sono stati prodotti in Cina, Regno Unito, Taiwan e Giappone (Fig. 2). Il settore ferroviario incide per circa il 7% sulla produzione scientifica complessiva nel comparto infrastrutturale. La maggior parte degli studi riguarda applicazioni per strade e ponti, ma i risultati di queste ricerche sono largamente trasferibili alle infrastrutture ferroviarie per affinità di opere e processi.

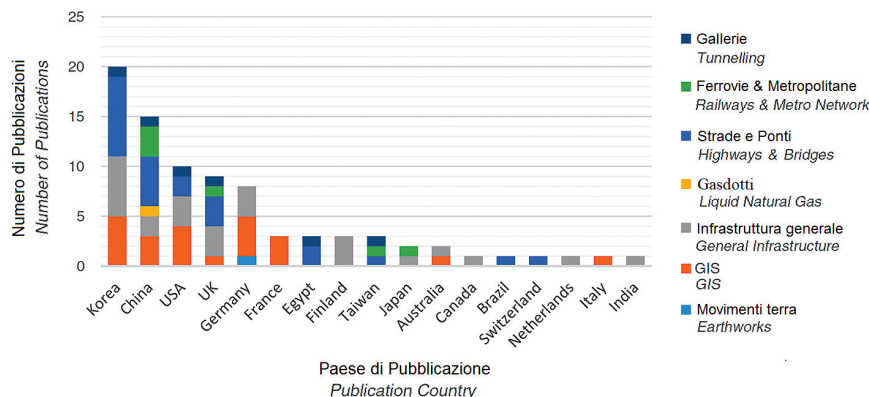


Fig. 2 - Distribuzione delle pubblicazioni su infrastrutture [13].
Fig. 2 - Distribution of infrastructure publications [13].

papers focusing on the infrastructure sector, buildings sector and generic work that has no specific sector focus. In infrastructure, China, United Kingdom, Taiwan and Japan are responsible for most of the studies related to railway and metro networks (Fig. 2). The Railway category makes up for approximately 7% of the infrastructure research. The majority of the publications relate to highways and bridges, though this research is highly transferable to rail due to the similar information structure and processes.

Building Information Modelling (BIM) is for the first time included in the new European directive on public procurement (European Parliament, 2014). Undeniably, the directive states that 'for public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as of building information electronic modelling tools or similar' [14]. In Europe, the BIM implementation scenario in the public construction sector is still highly heterogeneous and only few countries, namely the United Kingdom, can rely on a well-defined government strategy.

Il Building Information Modeling (BIM) è stato introdotto per la prima volta nella nuova direttiva europea sugli appalti pubblici (Parlamento europeo, 2014). Nella direttiva è esplicitamente previsto che “per gli appalti pubblici di lavori e i concorsi di progettazione, gli Stati membri possono richiedere l’uso di strumenti elettronici specifici, quali gli strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi” [14]. In Europa, lo scenario di implementazione del BIM nel settore dell’edilizia pubblica è ancora molto eterogeneo e solo pochi paesi, come il Regno Unito, possono contare su una strategia governativa ben definita.

Uno dei più grandi progetti infrastrutturali attualmente in corso di attuazione in Gran Bretagna è il progetto HS2, acronimo di High Speed 2, rete ferroviaria ad alta velocità di collegamento tra Londra, Leeds, Birmingham e Manchester (Fig. 3). HS2 è un programma di dimensioni eccezionali il cui completamento, nel rispetto di tempi e costi previsti, rappresenta una sfida molto complessa. A tal fine l’approccio collaborativo tra gli attori del processo offerto dal BIM è ritenuto indispensabile [15].

La condivisione delle informazioni sull’andamento dei lavori ne agevola la diffusione e il conseguente positivo coinvolgimento dell’opinione pubblica nel processo [15]. Dall’esame di questo progetto speciale si evince chiaramente l’importanza del Common Data Environment (CDE) ben strutturato che include la partecipazione attiva di tutte le parti interessate. L’adozione del BIM garantisce attualmente la corretta gestione del ciclo di vita della rete ferroviaria, migliorando l’authoring dei dati, potenziando la resa nelle fasi di acquisizione e visualizzazione dei dati, favorendo l’analisi computazionale e le simulazioni virtuali. Un altro progetto interessante è l’InterCity Dovrebanen - Sørli-Lillehammer, sviluppato da Rambøll Sweco ANS per l’Amministrazione delle ferrovie Norvegesi (NNRA), che interessa 230 km della rete ferroviaria locale di collegamento tra le principali città della Norvegia orientale. Il programma, sviluppato in ambiente BIM, è stato gestito con la partecipazione di oltre un centinaio di operatori impegnati in attività di progettazione, formulazione di proposte, simulazione, analisi, condivisione e commento delle soluzioni progettuali. L’intervento prevedeva la realizzazione di nuove linee e la riconversione di ferrovie esistenti, l’area dell’intervento ricade in una riserva naturale con un lago di notevole pregio ambientale. Pertanto per proteggere gli elementi di rilevanza storica e per minimizzare

One of the biggest governmental infrastructure projects currently ongoing in Britain is the HS2 project. HS2, acronym for the High Speed 2 project refers to a high-speed rail network connecting London to Leeds, Birmingham and Manchester in the future (Fig. 3). As the HS2 is a project of extreme dimensions, delivering it on time and on budget poses a real challenge. BIM is seen as a central part in overcoming this, as its centralized environment can collect and exchange data between all participating stakeholders [15].

Furthermore, it contributes to informing the population, especially of construction works that affect them directly, and can influence the social acceptance of the project in a positive way [15]. This particular project clearly illustrates the importance of a well-structured Common Data Environment (CDE) that includes the active participation of all stakeholders. BIM is currently assuring that the whole life cycle of the rail network is properly managed, enhancing data authoring, capture and visualization at a high level, allowing computational analysis and virtual simulations. Another interesting project is the InterCity Dovrebanen - Sørli Lillehammer, developed by Rambøll Sweco ANS, for the Norwegian National Rail Administration (NNRA), part of the 230 km InterCity commuter rail network connecting all major cities in eastern Norway. With more than a hundred participants, contributing to de-

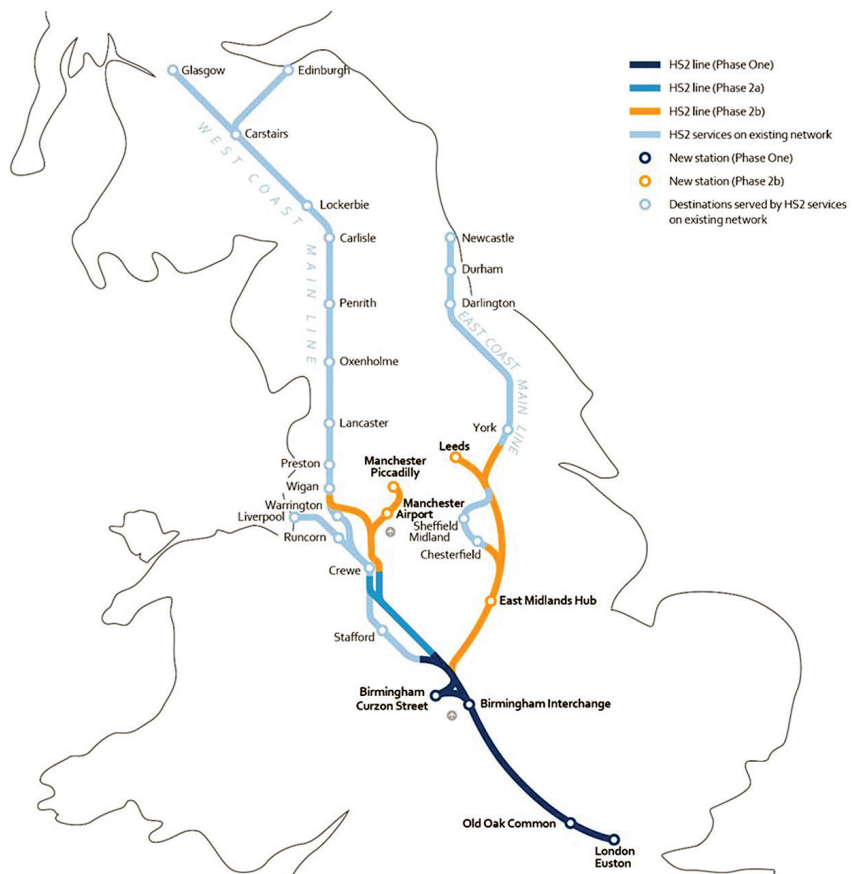


Fig. 3 - Rete ferroviaria del progetto HS2 [16].

Fig. 3 - HS2 network [16].

gli impatti ambientali è stato necessario ottimizzare la progettazione in tutte le discipline specialistiche [10].

Il BIM è stato utilizzato con successo per gestire lo scavo del tunnel ferroviario di Rastatt e sarà parte integrante di altri dodici progetti Deutsche Bahn Netz AG con la consulenza di Arup. Lo scopo principale di questi progetti pilota è testare l'applicabilità del BIM e comprovare i vantaggi [17,18], con particolare riferimento al collegamento tra modello digitale delle opere, cronoprogramma lavori e costi di costruzione. Il Ministero tedesco dei trasporti e della digitalizzazione ha attivato inoltre un gruppo di lavoro per analizzare lo stato dell'arte sull'interoperabilità dei dati BIM. Il comitato di esperti si è dedicato alla valutazione delle proposte per i formati IFC formulate in Cina e in Corea per le infrastrutture ferroviarie e stradali che saranno descritti in seguito, e a rappresentare la Germania nei tavoli di lavoro internazionali sulla digitalizzazione del settore.

Altri notevoli esempi di realizzazioni con impiego del BIM sono il potenziamento della Northern Hub Rail nell'area nord dell'Inghilterra che prevede la costruzione di nuovi binari, tracciati e rami con riqualificazione delle stazioni e elettrificazione di oltre 350 km di linee [19], e in Fig. 4 la ferrovia ad alta velocità Honam con 6 ponti e 2 gallerie per uno sviluppo complessivo di 9,38 km [20].

Gli esperti della TUC RAIL, una società belga di ingegneria ferroviaria, hanno messo in evidenza l'impatto positivo del BIM sui propri progetti, affermando che l'adozione della "nuova" metodologia ha favorito il coinvolgimento dei progettisti negli stati di avanzamento del lavoro migliorando il coordinamento, ed ha favorito la produzione di analisi più dettagliate e di anticipare il rilevamento delle interferenze [21]. La divisione BIM della TUC RAIL è stata attivata nel 2013 e da allora la qualità dei progetti e l'efficienza delle consegne sono migliorate. In Fig. 5 sono proposte le viste 2D e 3D dei modelli BIM, nonché i dettagli delle sezioni trasversali utili per anticipare la risoluzione di eventuali interferenze. I tecnici della società belga si dedicano soprattutto ad incrementare uniformità e "intelligenza" dei modelli per ottimizzare la gestione delle risorse nei progetti infrastrutturali.

LOVE et al. [22] hanno descritto i vantaggi offerti dall'impiego del System Information Modeling (SIM) per il controllo dei costi di costruzione delle opere ferroviarie. Il SIM è un ambiente di modellazione BIM per sistemi complessi che, con riferimento ad una particolare disciplina specialistica, può contribuire alla riduzione di tempi e costi nella produzione documentale riducendo errori ed omissioni. L'eliminazione di informazioni ridondanti minimizza la tendenza alle variazioni in corso d'opera e riduce così la probabilità di superamento dei costi.

Nel lavoro di KENLEY et al. [23] sono presentati i progetti della nuova linea alta capacità Moreton Bay Rail che collega Lawton e Kippa-Ring (12,6 km in Queensland, Australia) e il prolungamento della linea Kuala Lumpur Light Rail Transit (35,5 km in Malesia). Il BIM è stato

sign, propose, simulate, analyse, share, and comment throughout the entire project, the importance of BIM was crucial for the development of this demanding project. Containing as requirements new track planning and existing track rehabilitation or repurpose, in this case, the terrain presented the biggest difficulties, not only in terms of topography but also in environmental and cultural aspects since the corridors had to cross a nature reserve and a lake. Therefore, the protection of historical significance elements and keeping the environmental impact to a minimum were concerns. This required design optimization across all disciplines, 3D simulations and flood plain analysis [10].

BIM is also applied in the Tunnel Rastatt railway construction project with very positive feedback and will be an essential part in twelve more railway infrastructure projects of DB Netz AG, with Arup as an external consultant. The main aim of these pilot projects is to test the applicability of BIM and to evidence its advantages [17, 18], namely, those inherent to the linking of the digital model to a time schedule and cost related estimates. The German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure has additionally initiated a national expert group in charge of analysing current developments in the standardisation of data exchange for BIM data. This group is dedicated to the analysis of the Chinese and Korean IFC Rail and Road proposals, which will be further described in this paper, and to the German international representation interests in this area.

Other examples are the case study on the Northern Hub Rail Improvements across the North of England, involving the construction of two new platforms, along with new railway section, new tracks, station redevelopment and the electrification of more than 350 km [19], and the one presented in the Cho et al. [20] review of the BIM-based integrated construction management system used in a complex rail project comprising 6 bridges and 2 tunnels with a total length of 9.38 km, presented in Fig. 4.

TUC RAIL, a Belgian rail engineering company, highlights the importance that has occurred since the integration of BIM methodologies in their projects, stating that the "new" methodology enhanced the project team involvement in the design progress, improved coordination, provided more detailed analyses and made possible earlier clash detection [21]. Their BIM division was set up in 2013 and the quality and efficiency of the delivered designs have since improved. The BIM models can be used to go through the project based on 2D and 3D overviews and detailed cross-sections to analyse the design (Fig. 5), therefore detecting clashes or risks offering the possibility to timely address them. The division currently concentrates in adding more uniformity and intelligence to the models, allowing more analyses and enabling the models with better prepared asset management plans for their infrastructure projects.

In LOVE et al. [22], the forecasted construction cost in rail related projects is discussed, as well as the advantages on the juxtaposed use of BIM and Systems Information Modelling (SIM). SIM is defined as the process of modelling complex connected systems, essentially taking a spe-

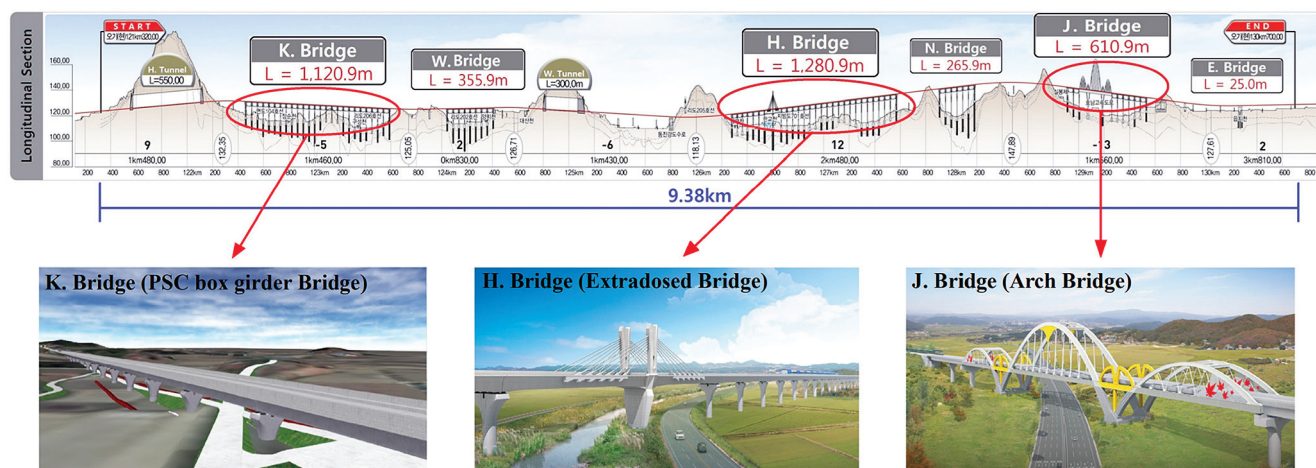


Fig. 4 - Linea ferroviaria ad alta velocità di Honam [20].
Fig. 4 - Honam high-speed railway lot. No. 4-2 [20].

analizzato con particolare riferimento alla modellazione parametrica per oggetti e stringhe e sul trasferimento dei dati da CAD a GIS. Le criticità identificate in entrambi i casi sono legate alla disponibilità di sistemi e strumenti scarsamente interoperabili. Gli autori suggeriscono pertanto di indirizzare le future attività di ricerca verso lo sviluppo di nuovi formati dati aperti.

La maggior parte dei contributi rinvenuti in letteratura sono dedicati alle attività e ai processi propri della fase di progettazione. La maggior parte dei progetti proposti in letteratura sono attualmente in costruzione o in esercizio.

La produzione scientifica si è focalizzata prevalentemente su i numerosi usi del BIM e allo sviluppo di formati dati specifici per opere civili e infrastrutture ferroviarie.

cific discipline perspective, that can reduce the amount time and cost to prepare documentation and lessen the propensity for errors and omissions. In the reduction of information redundancy, the tendency of scope changes during construction is minimized, thereby decreasing the probability of cost overruns. However, the need to better determine construction cost contingencies is also perceived.

The Moreton Bay Rail project (Queensland, Australia) encompassing the construction of a new 12.6 kilometres dual heavy track passenger rail line between Lawton and Kippa-Ring, and the Kuala Lumpur Light Rail Transit extension (Malaysia) in which the construction of the guideway presents an extension of approximately 35.5 kilometres were focused in KENLEY et al. [23]. The BIM perspective analysed focused on the exchange of object-based and string-based design and on the integration of a CAD construction model and GIS digital data collection. In both cases interoperability problems related to modelling were identified, namely between systems, models and tools. The additional effort in the development of open data standards and object-based models was advised and assumed as the solution.

Most of the revised literature focuses on the design phase of the projects, and in generating systems that refer to the dimensions and processes that exist throughout this phase. However, most of the present described projects are currently undergoing construction or already in function.

Industry academic effort has mainly focused its attention on exploring the numerous uses of BIM technology and on the development of data schema models for specific types of

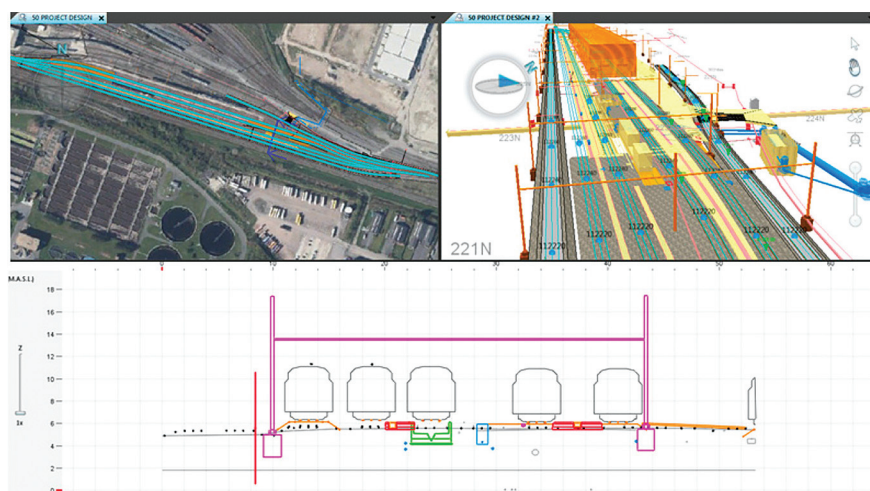


Fig. 5 - Modello BIM di una stazione ferroviaria: pianta, vista 3D e sezione trasversale [21].
Fig. 5 - Overview of a BIM model (plan view, 3D model, cross section detail) [21].

Il Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) della Stanford University ha sviluppato uno studio sull'utilizzazione delle tecniche di progettazione e costruzione virtuale (VDC) [24]. I cinque livelli di utilizzo sono di seguito elencati:

1. visualizzazione: i modelli sono sviluppati mediante rendering, animazioni e presentazioni degli elaborati progettuali [25];
2. documentazione: i modelli sono utilizzati per produrre dettagliate analisi di fattibilità, specifiche di prodotto/sistema e/o computi metrici [26];
3. analisi model-based specifiche: ad es. analisi strutturali, energetiche, stime dei costi e simulazioni dei flussi di traffico [27];
4. analisi integrata: collaborazione interdisciplinare tra stakeholder necessaria per indagini quali rilevazione di interferenze, integrazione tempi/costi o altri usi specifici di carattere gestionale [28];
5. automazione e ottimizzazione: le routine di produzione sono automatizzate.

3. Evoluzione informativa dei modelli

Il Livello di approfondimento del contenuto informativo dei modelli definito per obiettivi in funzione degli stadi e delle fasi di evoluzione del processo. Il livello di sviluppo degli oggetti digitali che compongono i modelli (LoD), definisce quantità e qualità del loro contenuto informativo ed è funzionale al raggiungimento degli obiettivi delle fasi (e stadi) del processo e degli usi ed obiettivi del modello cui si riferiscono [29]. Il concetto di LoD è stato introdotto nei programmi di attuazione BIM di alcuni paesi per favorirne il recepimento nelle norme nazionali specifiche.

Nel 2008 il concetto di LoD è stato adottato dall'AIA National Documents Committee come "Level of Development". Il Livello di "Sviluppo", definito come «il livello di completezza a cui è stato sviluppato un Elemento del modello» (AIA, 2008) è stato definito in cinque stadi progressivamente dettagliati (identificati in una scala numerica espressa in centinaia, dal 100 al 500), ciascuno dei quali include tutte le caratteristiche del livello precedente (AIA, 2008). Nel 2013 il significato di Level of Development si modifica in «I minimi dimensionali, spaziali, quantitativi, qualitativi e altri dati inclusi dall'elemento del modello per supportare gli utilizzi autorizzati con tale LoD» (E203™-2013). In questo contesto, l'obiettivo principale dei LoD è ancora legato all'affidabilità dei dati all'interno del BIM ma il nuovo documento dell'AIA (AIA, 2013c) definisce i contenuti come "minimi" e non "specifici", come riportato nella precedente versione (AIA, 2008).

Sono ancora presenti i cinque livelli e, a partire dal LoD 200, ogni livello si divide in due parti: attributi geometrici e non geometrici. Nel 2011 il BIMForum, legato a Building Smart USA, basandosi sulle indicazioni dei LoD

civil infrastructure, namely, Railway BIM data standard.

The Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) at Stanford University created a Virtual Design and Construction (VDC) Scorecard to evaluate the maturity of VDC innovation in four areas, specifically, planning, adoption, technology, and performance [24]. The five model uses levels defined in the technology area of the VDC Scorecard are described as follows:

1. *visualization: models are created for visualization purposes, such as rendering, animation, presentation and design review [25];*
2. *documentation: Models are used to provide accurate constructability analysis, product/system specification and/or quantity take-off documentation [26];*
3. *model-based analysis: models are re-used for a specific single-discipline analysis, e.g. structural, energetic, cost estimation and traffic flow analysis [27];*
4. *integrated analysis: cross-disciplinary stakeholder collaboration required for inquiries such as, clash detection, time/cost integration or other specific management use [28];*
5. *automation and optimization: routine analyses or fabrications are automated.*

3. Representation development

The level of clarity and reliability of the models' contents, at various stages in the design and construction process, can be defined by the Level of Development (LoD) achieved or desired. According to the Level of Development Specification Guide [29] it can be defined as "the degree to which the element's geometry and attached information has been thought through – the degree to which project team members may rely on the information when using the model".

The concept of LoD has been introduced in some countries' BIM implementation programs to foster their transposition into specific national design standards.

Five different LoD levels (100-500) are defined in the document AIA G202-2013, Project Building Information Modelling Protocol Form [30], to be applied in the United States of America design standards, described as follows:

- *LoD 100 Conceptual design, the model is developed to represent the information on basic level (conceptual model). Parameters like area, height, volume, location and orientation are defined;*
- *LoD 200 Approximate geometry (Design), general model where elements are modelled with approximate quantities, size, shape, location and orientation. Non-geometric information can be attached to the model elements;*
- *LoD 300 Precise geometry (Detailed design), accurate modelling level where elements are defined with specific assemblies, precise quantity, size, shape, location and orientation. Non-geometric information is linked to the model elements;*

stabilite dall'AIA, ha iniziato a definire le LoD Specification (BIMForum, 2013), introducendo nel contempo un nuovo livello di LoD (LoD 350). Per la prima volta gli attributi non grafici sono stati aggiunti alle specifiche geometriche ed entrambi sono riportati in due distinti documenti scaricabili dal sito: Element Geometry, che definisce i requisiti geometrici degli elementi del modello, illustrandone graficamente il livello di dettaglio e l'Associated Attribute Information che invece riporta in un foglio Excel gli attributi non geometrici (numerici o testuali) degli oggetti digitali. Questi ultimi, attributi non geometrici, sono inoltre classificati come "Baseline", intesi come linee guida da adottare, e "Additional" ovvero aggiuntivi.

Infine, è importante sottolineare come la scala dei LoD statunitense faccia specifico riferimento ai singoli elementi/categorie di elementi del modello BIM, oggetti digitali, e non al livello di sviluppo dell'intero modello (progetto).

La scala generale per i LoD negli USA [30] è di seguito proposta:

- LoD 100 Conceptual design, il modello è sviluppato per rappresentare le informazioni a livello di base come area, altezza, volume, posizione e orientamento (modello concettuale);
- LoD 200 Approximate geometry (Design), si tratta del modello generale in cui gli elementi sono corredati di quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento approssimativi; le informazioni di natura semantica (non geometriche) possono essere allegate agli elementi del modello;
- LoD 300 Precise geometry (Detailed design), il livello della modellazione è accurato e gli elementi sono definiti con dettagli specifici, quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento ben definiti; le informazioni non geometriche sono collegate agli elementi del modello;
- LoD 350 Construction Documentation, include i dettagli del modello e gli elementi di interfaccia con gli altri sistemi costruttivi opportunamente descritti con elaborati grafici e relativa documentazione;
- LoD 400 Fabrication and Assembly, gli elementi del modello sono configurati come specifici assemblaggi, con i dati completi relativi a fabbricazione, montaggio oltre a quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento; è anche possibile associare informazioni non geometriche agli elementi del modello;
- LoD 500 As-Built, gli elementi del modello costruttivo sono assemblati per scopi manutentivi e di esercizio; dimensioni, forma, localizzazione, quantità, orientamento e informazioni non geometriche sono associate agli elementi.

Nel Regno Unito la norma PAS 1192-2 [31] è il punto di riferimento per lo scambio delle informazioni nei progetti BIM. Nel 2013 il LoD è stato definito come "Livello di Definizione" che comprende sia il Level of Model De-

- *LoD 350 Construction Documentation, it includes model detail and elements that represent how building elements interface with various systems and other building elements with graphics and written definitions;*
- *LoD 400 Fabrication and Assembly, model elements are modelled as specific assemblies, with complete fabrication, assembly, and detailing information in addition to precise quantity, size, shape, location and orientation. Non-geometric information to the model elements can also be attached;*
- *LoD 500 As-Built, elements are modelled as constructed assemblies for Maintenance and operations. In addition to actual and accurate in size, shape, location, quantity, and orientation, non-geometric information is attached to modelled elements.*

In the United Kingdom, LoD is an acronym for "Level of Definition", which fundamentally corresponds to the previously explained concept of Level of Development. In the standard PAS 1192-2 [31], Level of Definition is a collective term used for and including "level of model detail" i.e. the description of the graphical content of the models and the "level of information detail", i.e. the description of the non-graphical content of models. The PAS 1192-2 includes a matrix that describe the different levels and their characteristics, in the next figure an extract of the matrix is presented (Fig. 6).

Most railway projects present a Level of Development (LoD) model with sufficient detail and accuracy for fabrication of each represented component. The quantity, size, shape, location, and orientation of the element as designed can be measured directly from the model without referring to non-modelled information such as notes or dimension call-outs, categorized as a LoD400, according to the American standards [29]. It is not so often that models where every element is a field verified representation in terms of size, shape, location, quantity, and orientation, eventually complemented with non-graphic information are developed. The reason may rely on the fact that railway infrastructures present themselves as complex structures, with a long-term construction period, turning the development of refined models for the whole project an intrepid challenge, and that clients usually require, within a brief first project period, information about time schedule and cost estimation which requires a comparatively low LoD model.

In addition, some BIM uses applied to railway infrastructures usually do not require a high LoD model. For example, the Chengdu-Guiyang Railway Passenger Line, on the Sichuan province in China project [6] where the China Railway Eryuan Engineering Group created, just in a six months period, a model where the main objective was to automatically adjust the design of the railway's subgrade and surface features in the best possible site layout, as the line navigated a challenging topography area.

In some other cases, the preparation of more detailed models is noticed, e.g. the Victoria Station Upgrade, London, England, developed by a joint venture team set up between Taylor Woodrow and Bam Nuttall [32], where the de-

tail (LoD: Livello di Dettaglio del modello) sia il Level of Information Detail (LoI: Livello di dettaglio delle Informazioni). Il livello di dettaglio del modello è la «descrizione del contenuto grafico dei modelli in ciascuna delle fasi» (BSI, 2013), mentre il livello di dettaglio delle informazioni è la «descrizione del contenuto non grafico dei modelli in ciascuna delle fasi» (BSI, 2013).

Secondo la PAS 1192-2:2013 sono stati definiti sette livelli di LoD. Nel 2015 il Technology Strategy Board ha sviluppato uno strumento BIM digitale gratuito che definisse i LoD e i LoI degli elementi (oggetti) e non dei modelli (progetto): l’NBS BIM Toolkit. Questo nuovo strumento ha cambiato la definizione da “Livello di dettaglio del modello” e “Livello di informazione del modello” a “Livello di dettaglio” e “Livello di informazione”, degli oggetti, mantenendo comunque gli stessi acronimi: LoD e LoI (Fig. 6).

La maggior parte dei progetti ferroviari presenta un modello di livello di sviluppo (LoD) con dettagli e accuratezza sufficienti per la fabbricazione di ciascun componente rappresentato. La quantità, la dimensione, la forma, la posizione e l’orientamento dell’elemento così come progettato possono essere misurati direttamente dal modello senza fare riferimento a informazioni non modellate come note o dimensioni da collegamenti esterni, e sono classificati come LoD400, secondo gli standard USA [29]. Non sono frequenti i modelli in cui per ciascun elemento rappresentato siano state verificate in sito dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento, eventualmente integrati con informazioni non grafiche. Le infrastrutture ferroviarie sono infatti opere complesse con lunghi tempi di realizzazione, tale circostanza richiederebbe modelli molto raffinati incompatibili in genere con le esigenze dei clienti interessati a gestire nel breve periodo la pianificazione di tempi e costi mediante modelli a LoD comparativamente inferiori.

Inoltre, alcuni usi del BIM applicati alle infrastrutture ferroviarie di solito non richiedono un modello con LoD elevato. Ciò si è verificato, ad esempio, per il modello della linea ferroviaria passeggeri di Chengdu-Guiyang, nella provincia di Sichuan in Cina. In tale caso il team di progettazione China Railway Eryuan Engineering Group ha sviluppato, in sei mesi,

tailed model includes the station management throughout its life, as well as 3D design, simulation and analysis (structural, architectural and building services clashes), quantity surveying and cost estimation, clearly achieves a LoD500, as defined by the American Standards.

4. Italian Technical Standards

UNI, the Italian Committee for Standardization, is publishing a new series of eight standard titled “Digital management of the informative processes” that are going to update the outdated UNI 11377:2009 Building and civil engineering works – Codification criteria for construction prod-

Fase	1	2	3	4	5	6	7
Modello	Schema	Idea	Definizione	Progetto	Costruzione	Consegna e chiusura	Esercizio
Stage number	Brief	Concept	Definition	Design	Build and commission	Handover and closeout	Operation
Model name							
Sistemi da governare Systems to be covered	N/D	Tutti	Tutti	Tutti	Tutti	Tutti	Tutti
	N/A	All	All	All	All	All	All
Illustrazione grafica (progetto edilizio) Graphical illustration (building project)							
Illustrazione grafica (progetto infrastrutturale) Graphical illustration (infrastructure project)							
A cosa serve il modello?	Modelli informativi che descrivono lo schema, i requisiti di prestazione, i parametri prestazionali e i vincoli del sito	Modelli che descrivono la risposta iniziale allo schema, l'intento estetico e definiscono i requisiti prestazionali. Il modello può essere utilizzato per lo sviluppo, l'analisi e il coordinamento della progettazione preliminare. Il contenuto del modello non è fisso e potrebbe essere soggetto a ulteriori sviluppi del progetto. Il modello può essere utilizzato per scopi di coordinamento, sequenziamento e stima	Un modello dimensionalmente corretto e coordinato che descrive lo schema, l'intento estetico e alcune informazioni sulle prestazioni che possono essere utilizzate per l'analisi, lo sviluppo del progetto e l'impegno iniziale del contraente. Il modello può essere utilizzato per scopi di coordinamento, sequenziamento e stima, incluso l'accordo su un prezzo obiettivo di prima battuta	Un modello dimensionalmente corretto e coordinato che può essere utilizzato per verificare la conformità ai requisiti normativi. Il modello può essere utilizzato come punto di partenza per l'incorporazione di modelli di progetto dell'appaltatore e può includere informazioni che possono essere utilizzate per la fabbricazione, il coordinamento, il sequenziamento e la stima, compresi l'accordo di prezzi obiettivo/prezzi massimi garantiti	Un modello accurato della risorsa prima e durante la costruzione che incorpora modelli di progettazione di subappalti specializzati coordinati e i relativi modelli di attributi. Il modello può essere utilizzato per il sequenziamento dell'installazione e l'acquisizione di informazioni installate	Un'accurata descrizione della risorsa dalla costruzione alla consegna, comprese tutte le informazioni necessarie per il funzionamento e la manutenzione	Una descrizione aggiornata della risorsa in un tempo specifico per tutte le principali modifiche apportate dal passaggio di consegne, inclusi i dati relativi a prestazioni e condizioni e tutte le informazioni necessarie per il funzionamento e la manutenzione. Il contenuto completo sarà disponibile nella PAS 1192-3 ancora da pubblicare
What the model can be relied upon for	Model information communicating the brief, performance requirements, benchmarks and site constraints	Models which communicate the initial response to the brief, aesthetic intent and outline performance requirements. The model can be used for early design development, analysis and co-ordination. Model content is not fixed and may be subject to further design development. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes	A dimensionally correct and co-ordinated model which communicates the response to the brief, aesthetic intent and some performance information that can be used for analysis, design development and early contractor engagement. The model can be used for co-ordination, sequencing and estimating purposes including the agreement of a first stage target price	A dimensionally correct and co-ordinated model that can be used to verify compliance with regulatory requirements. The model can be used as the start point for the incorporation of specialist contractor design models and can include information that can be used for fabrication, co-ordination, sequencing and estimating purposes, including the agreement of a target price/guaranteed maximum price	An accurate model of the asset before and during construction incorporating co-ordinated specialist sub-contract design models and associated model attributes. The model can be used for sequencing of installation and capture of as-installed information	An accurate record of the asset as a constructed at handover, including all information required for operation and maintenance	An updated record of the asset at a fixed point in time incorporating any major changes made since handover, including performance and condition data and all information required for operation and maintenance. The full content will be available in the yet to be published PAS 1192-3

Fig. 6 - PAS: livelli di definizione dei modelli digitali per edilizia e infrastrutture [31].

Fig. 6 - Levels of model definition for building and infrastructure projects, [31].

un modello in cui l'obiettivo principale consisteva nell'adeguamento automatico del tracciato alle caratteristiche dei sottofondi interessati per ottimizzarne il layout che ricade in un'area orograficamente molto accidentata [6].

In altri casi si rinvergono livelli di dettaglio superiori, si pensi ad es. al progetto per la riqualificazione della Victoria Station di Londra sviluppato dalla joint venture Taylor Woodrow e Bam Nuttall. In tal caso il modello è caratterizzato da un LoD500, come da standard USA, è stato utilizzato in fase di progettazione per simulazioni e analisi 3D (strutturale, delle interferenze architettoniche e costruttive), computi metrici e stima dei costi, il modello avanzato può essere utilizzato per gestire le opere durante l'intero ciclo di vita [32].

4. Norme tecniche italiane

La norma UNI 11337-1 Edilizia e opere di ingegneria civile Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni si compone di otto parti di cui ne sono state finora rilasciate cinque [33]:

- UNI 11337-1:2017: Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi;
- UNI/TS 11337-3:2015: Edilizia e opere di ingegneria civile - Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Parte 3: Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione;
- 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;
- UNI 11337-5:2017: Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 5: Flussi informativi nei processi digitalizzati;
- UNI/TR 11337-6:2017: Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 6: Linea guida per la redazione del capitolato informativo.

In Italia il LoD è il Livello di approfondimento e stabilità dei dati e delle informazioni degli oggetti digitali che compongono i modelli [33].

Per uniformità con la terminologia adottata in campo internazionale si utilizza l'acronimo "LoD" così come dedotto dalla lingua inglese "Level of Development". In analogia con il sistema di riferimento inglese e statunitense il complessivo livello di sviluppo (LoD-development) è definito sulla base sia dei livelli di sviluppo degli attributi grafici sia di quelli non grafici.

La scala dei LoD per gli interventi territoriali e le infrastrutture si articola come segue (Figg. 7, 8 e 9):

ucts and works, activities and resources - Identification, description and interoperability.

The parts of new standard already published are:

- *UNI 11337-1:2017: "Models, documents and informative objects for products and processes". The standard defines codification criteria for construction products and works, activities and resources. It provides the structure of informative instruments; the informative structure of the process; the informative structure of the product. The standard applies to any building works;*
- *UNI/TS 11337-3:2015: Building and civil engineering works - Codification criteria for construction products and works, activities and resources - Part 3: Models of collecting, organizing and recording the technical information for construction products;*
- *UNI 11337-4:2017: "Evolution and development of information within models, documents and objects". The standard specifies the scope and characteristics of any phase of the process according to UNI 11337-1 and defines the level of development of objects and processes. This standard applies to the whole work and its parts;*
- *UNI 11337-5:2017: "Informative flows in the digital processes". The standard specifies the roles, the rules and the flows need to production, management and transmission of the information and their connection and interaction in the digital construction process;*
- *UNI/TR 11337-6:2017: "Guidance to redaction the informative specific information". This technical report provides a guidance for redaction of the informative specific information according to UNI 11337-5. It provides procedural methods and gives a general layout of the contents related to informative document.*

In Italy, the standard UNI 11337-4:2017 - Part 4 [33], defines the LoD acronym as Level of Development in consistency with the American terminology, referring that in analogy with both American and English reference systems the concept defines both graphic and non-graphic attributes to the model. In this document LoD is defined as the level of depth and stability of the data and information of the digital objects that make up the models.

The levels of development of digital objects are identified through an alphabetic scale, as follows (Figs. 7, 8 and 9):

- *LoD A: Symbolic object: Entities are represented graphically through a geometric symbolic system with no geometry constraints. The quantitative and qualitative characteristics (performance, size, form, location, cost, etc.) are indicative;*
- *LoD B: Generic Object: Entities are graphically virtualized in a generic geometric system. Quantitative and qualitative characteristics (performance, size, shape, location, orientation, cost) are approximate;*
- *LoD C: Defined object: Entities are graphically represented in a defined geometric system. The quantitative and qualitative characteristics (performance, size, form,*

- LoD A, le entità sono rappresentate graficamente attraverso uno schema geometrico bidimensionale. Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, ecc.) sono indicative e assumibili statisticamente da altri modelli;
- LoD B, le entità sono rappresentate graficamente attraverso un sistema geometrico tridimensionale elementare. Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, ecc.) sono approssimate;
- LoD C, le entità sono virtualizzate graficamente attraverso un sistema geometrico tridimensionale definito. Le caratteristiche quantitative e qualitative principali (prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, ecc.) sono definite;
- LoD D, le entità sono virtualizzate graficamente attraverso uno sistema geometrico tridimensionale dettagliato. Le caratteristiche quantitative e qualitative

location, orientation, cost) are generally defined in compliance with the limits of the current legislation and technical standards;

- *LoD D: Detailed object: Entities are graphically represented in a detailed geometric system. Quantitative and qualitative characteristics are detailed. The interface with other specific construction systems is defined;*
- *LoD E: Specified object: Entities are graphically represented in a specific geometric system. Quantitative and qualitative characteristics are specific to the production system linked to a defined product. The details concerning the manufacturing, assembly and installation are defined, including the specific dimensions required for operation and maintenance;*
- *LoD F: Object executed: The entities representation is verified on site (as-built). Quantitative and qualitative characteristics are specific to the individual production system of the product. Management, maintenance*

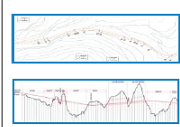
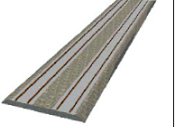
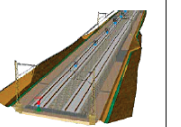
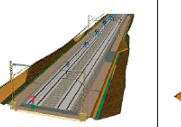
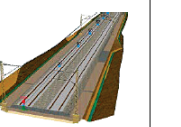
LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Tracciato planimetrico base (2D). Oggetto Asse 2D Caratteristiche • Lunghezze rettili • Raggi curve circolari	Geometria Tracciato planimetrico comprensivo di curve di transizione. Tracciato altimetrico comprensivo di raccordi verticali. Oggetto Asse 2D nel piano orizzontale Asse 2D nel piano verticale Caratteristiche • Parametri curve di transizione • Livellette • Raccordi verticali • Progressive chilometriche • Normativa ferroviaria	Geometria Tracciato planoaltimetrico completo. Oggetto Asse 3D Caratteristiche	Geometria Modello ferroviario a superfici, costruito sull'asse 3D. Oggetto Asse 3D Superfici 3D Caratteristiche • Sezione trasversale • Sagoma limite • Sopraelevazione ferroviaria in curva	Geometria Modello ferroviario completo a superfici, costruito sull'asse 3D. Oggetto Asse 3D Superfici 3D Caratteristiche • Sezioni tipo • Scarbate • Impianti di linea • Volumi di materiale (movimenti terra, sovrastruttura, ecc.)	Geometria Come LOD E (rilievo di quanto eseguito) Oggetto Asse 3D Superfici 3D Caratteristiche • Certificazioni di prodotto • Certificati di omologazione • Informazioni su terre e rocce da scavo • Esiti prove in situ • Esiti prove di laboratorio	Geometria Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su tracciati esistenti: Come LOD C o D (a partire da). Oggetto Asse 3D Superfici 3D Caratteristiche • Data di ultima manutenzione • Soggetto manutentore • Tipologia di intervento • Esiti rilievi
Layout Basic road alignment (2D). Object Axis Features • Tangents lengths • Circular curves radius	Layout Road alignment including spiral transition curves. Altimeter alignment including vertical transition curves Object 2D Axis in the horizontal plane 2D Axis in the vertical plane Features • Clothoid parameters • Gradients • Vertical transition curves • Kilometres • Railway regulations	Layout Horizontal/vertical road alignment Object 3D Axis Features	Layout Road corridor built on 3D axis Object 3D Axes 3D Surfaces Features • Cross-section • Vehicle gauge • Railway superlevation on curves	Layout Complete road corridor built on 3D axis Object 3D Axes 3D Surfaces Features • Cross-sections • Bank slope • Lineside equipments • Material volumes (earthworks, superstructure, etc)	Layout Same as LOD E (survey of what has been done) Object 3D Axes 3D Surfaces Features • Product certifications • Type-approval certifications • Soils and rocks details • On-site test results • Lab test results	Layout such as LOD F (with updates) Maintenance and management on existing roads: such as LOD C or D Object 3D Axes 3D Surfaces Features • Date of the last maintenance • Maintainer information • Measures type • Survey results

Fig. 7 - UNI 113307-4:2017 - Parte 4: Esempio di LoD tracciati ferroviari [33].

Fig. 7 - UNI 11337-4:2017 - Part 4: LoDs for Railways [33].

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Asse di posizionamento dei dispositivi.	Geometria Ingombro geometrico tridimensionale del dispositivo.	Geometria Geometria tridimensionale del dispositivo.	Geometria Come LOD C.	Geometria Come LOD D.	Geometria Come LOD E (rilievo di quanto eseguito).	Geometria Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su dispositivi esistenti: Come LOD C o D (a partire da).
Oggetto Polilinea 2D	Oggetto Superficie 3D Solido 3D	Oggetto Superficie 3D Solido 3D	Oggetto Superficie 3D Solido 3D	Oggetto Superficie 3D Solido 3D	Oggetto Superficie 3D Solido 3D	Oggetto Superficie 3D Solido 3D
Caratteristiche Lunghezza	Caratteristiche - Posizione nodi - Quote	Caratteristiche - Tipologia nodi - Tipologia linea	Caratteristiche	Caratteristiche	Caratteristiche - Piani di manutenzione - Classificazione (UNI 8290, CSI, ecc) - Certificazioni di prodotto - Certificati di omologazione	Caratteristiche - Data di ultima manutenzione - Soggetto manutentore - Tipologia di intervento
Layout Placement of devices axis	Layout 3D geometric device encumber	Layout 3D device geometry	Layout Same as LOD C	Layout Same as LOD D	Layout Same as LOD E (survey of what has been done)	Layout Such as LOD F (with updates) Maintenance and management on existing devices: such as LOD C or D
Object 2D polyline	Object 3D Surface 3D Corridor	Object 3D Surface 3D Corridor	Object 3D Surface 3D Corridor	Object 3D Surface 3D Corridor	Object 3D Surface 3D Corridor	Object 3D Surface 3D Corridor
Features Length	Features - Nodes position - Elevation	Features - Nodes typology - Line typology	Features	Features	Features - Maintenance planes - Classification (UNI 8290, CSI, etc) - Product certifications - Type-approval certifications	Features - Date of the last maintenance - Maintainer information - Measures type

Fig. 8 - UNI 11337-4:2017 - Parte 4: Esempio di LoD dispositivi ferroviari [33].

Fig. 8 - UNI 11337-4:2017 - Part 4: LoDs for Railways: Lineside system - electrification [33].

(prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, ecc.) sono dettagliate;

- LoD E, le entità sono virtualizzate graficamente attraverso uno sistema geometrico tridimensionale specifico. Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, ecc.) sono specifiche di un singolo sistema produttivo;
- LoD F, gli oggetti esprimono la virtualizzazione verificata sul luogo del sistema geometrico tridimensionale eseguito/costruito (as-built);
- Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, ecc.) sono specifiche del sistema produttivo utilizzato;
- LoD G, gli oggetti esprimono la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto di una entità in un tempo definito. Rappresentazione storicizzata dello scorrere della vita utile di un sistema geometrico tridimensionale aggiornato rispetto a quanto originariamente eseguito/costruito. Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazione, dimensione, forma, ubicazio-

and/or repair and replacement actions to be carried out throughout the entire life cycle of the work are defined for each individual product.

- LoD G: Object updated: Updated virtualization of the status of an entity in a defined time. The specific production system is updated with respect to what was originally performed, built or installed. Quantitative and qualitative characteristics are updated with respect to the object' life cycle and previous condition. Every single (and significant) intervention of management, maintenance, repair and replacement is registered, as well as the level of degradation that may exist.

The Figs. 7, 8 and 9 present examples of the LoDs specific for railway, railway electrification and railway signalling. Since the railway infrastructure consists of almost all systems, including architectural, structural, MEP, alignment systems (road, bridge and tunnel), as well as rail systems, more industry and academic effort needs to be combined on BIM technology development for railway infrastructure. There have been some BIM uses in the industry cases based on different models, from LoD100 to LoD500.

ne, costo, ecc.) sono aggiornate rispetto al ciclo di vita ed un precedente stato di fatto. È definito il livello di usura/degrado.

L'introduzione del BIM nel settore ferroviario richiede l'investimento di ingenti risorse perché tali infrastrutture sono insiemi di sistemi architettonici, strutturali, di segnalamento e MEP, con viabilità ausiliaria, ponti e gallerie. I modelli rinvenuti in letteratura sono di natura diversa e con livelli variabili da LoD100 a LoD500. Sul mercato sono disponibili alcuni codici di calcolo per la modellazione ferroviaria, come ad esempio il software Bentley OpenRail, questi possono utilizzati nell'intero ciclo di vita delle opere.

5. Interoperabilità

L'iniziativa più consolidata e diffusa che riguarda la standardizzazione del BIM a livello sovranazionale è ad oggi quella portata avanti dal consorzio building SMART International (bSI). L'organizzazione, senza scopo di lu-

There are many software tools available for railway projects, such as Bentley Rail Design and Operations software, which could be used to address various aspects of the rail asset lifecycle that combines expert rail knowledge.

5. Interoperability

The most established and widespread initiative focusing on worldwide BIM standardisation is the industry led buildingSMART International (bSI). It is registered as a non-profit organisation in the United Kingdom, and aims at providing the construction industry with innovative, sustainable and cost-efficient assets by enhancing modern software solutions performance with consistent data exchange [34].

Nonetheless, the modelling of infrastructures, such as bridges, roads, railways, tunnels, present inherent distinct requirements, which need to be addressed and incorporated. To advance the development of the missing fully-functional open data standards, bSI has initialised an Infrastructure

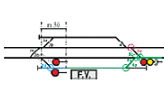
LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Assi planimetrici indicativi per il segnalamento.	Geometria Trattati indicativi per tipologia di segnalamento.	Geometria Sistemi completi di segnalamento.	Geometria Come LOD C.	Geometria Come LOD D.	Geometria Come LOD E (rilievo di quanto eseguito).	Geometria Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su opere esistenti: Come LOD C o D (a partire da).
Oggetto Assi 2D Simboli	Oggetto Assi 3D Superfici 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D Solidi 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D Solidi 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D Solidi 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D Solidi 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D Solidi 3D
Caratteristiche • Posizione • Tipologia	Caratteristiche	Caratteristiche	Caratteristiche	Caratteristiche	Caratteristiche • Piani di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, ecc) • Certificazioni di prodotto • Certificati di omologazione	Caratteristiche • Data di manutenzione/sostituzione • Soggetto manutentore • Tipologia di intervento
Layout Indicative planimetric axis for signalling	Layout Indicative lines for signalling typology	Layout Full signalling systems	Layout Same as LOD C	Layout Same as LOD D	Layout Same as LOD E (survey of what has been done)	Layout New measures such as LOD F (with updates) Maintenance and management on existing works: such as LOD C or D
Object 2D axes Symbols	Object 3D axes 3D surfaces	Object 3D axes 3D surfaces 3D corridors	Object 3D axes 3D surfaces 3D corridors	Object 3D axes 3D surfaces 3D corridors	Object 3D axes 3D surfaces 3D corridors	Object 3D axes 3D surfaces 3D corridors
Features • Position • Typology	Features	Features	Features	Features	Features • Maintenance planes • Classification (UNI 8290, CSI, etc) • Product certifications • Type-approval certifications	Features • Date of the last maintenance/replacement • Maintainer information • Measures type

Fig. 9 - UNI 11337-4:2017 - Parte 4: Esempio di LoD segnaletica ferroviaria [33].

Fig. 9 - UNI 11337-4:2017 - Part 4: LoDs for Railways: Lineside system - signalling [33].

cro, è stata fondata nel Regno Unito per supportare l'industria delle costruzioni nelle attività di ricerca e sviluppo. bSI è detentrica dei diritti di proprietà intellettuale dello Standard di Interoperabilità Open Source IFC – Industry Foundation Classes [34].

La modellazione delle infrastrutture quali ponti, strade, ferrovie, gallerie, presenta tuttavia requisiti specifici diversi dagli prodotti dell'industria delle costruzioni. Pertanto bSI ha attivato il gruppo di lavoro openInfra che ha l'obiettivo di sviluppare nuove linee guida per la condivisione dei dati, Model View Definitions (MVD) e integrazioni del database buildingSMART Data Dictionary (bSDD).

Consultando il sito web bSI si evince che sono in corso i lavori per estendere il formato IFC. A luglio 2015 è stato pubblicato il formato IFC-Alignment 1.0 indicato da BuildingSMART come base per altri standard infrastrutturali denominati IFC-Road e IFC Bridge [35].

Gli standard IFC attualmente disponibili sono prevalentemente destinati alla formalizzazione dei modelli dati. Tuttavia, la condivisione di oggetti digitali per la modellazione di elementi costruttivi specifici per le infrastrutture non fa ancora parte della pratica corrente e presenta notevoli complicazioni, pertanto sono state condotte alcune iniziative per sviluppare standard ad hoc. Come anticipato le ferrovie sono sistemi complessi composti da stazioni, cantieri, impianti di comunicazione, meccanici, elettrici e idraulici. Ad oggi non esiste uno standard dati affidabile e condiviso per la digitalizzazione dei componenti ferroviari che ne porti in contro la natura architettonica (stazioni), strutturale, impiantistica, infrastrutturale (linea e armamento).

In generale lo standard IFC garantisce il trasferimento agevole dei dati infrastrutturali ma la specificità degli oggetti da trattare, non riconoscibili nel formato aperto, è causa di perdita di rilevanti informazioni semantiche che vengono trasferite come elementi sconosciuti [36].

Di particolare interesse è la pubblicazione da parte della China Railway BIM Alliance, nel 2015, di uno standard BIM sui formati dati per le ferrovie [37]. Il documento è attualmente disponibile sotto forma di bSISPEC (Public Specification), il che significa che non è uno standard ufficiale bSI ma è un documento di validità nazionale (Cina) sviluppato nel rispetto delle linee guida bSI.

Lo standard cinese IFC-Rail può essere considerato il primo passo verso l'estensione di IFC per le ferrovie, pur essendo ad oggi molto condizionato dallo specifico contesto nazionale in cui è stato sviluppato. In bSI è stato istituito il gruppo di lavoro "IFC Infra Overall Architecture" incaricato di analizzare gli standard IFC-Rail (Cina), IFC-Road (Corea) e IFC-Bridge (Francia) e di integrarli nel miglior modo possibile. La pubblicazione del nuovo formato ufficiale IFC5 è attesa nei prossimi anni [38, 39].

Nel marzo 2013, l'IFC4 è stato ufficialmente rilasciato da bSI [40] ed è stato pubblicato come standard ISO 16739: 2013. Attualmente è la versione ufficiale di IFC in

Room composed of the InfraCom and the Steering Committees, which together form the openInfra initiative, where the goal is set on the development of new Information Delivery Manuals (IDMs) and Model View Definitions (MVDs) along with the corresponding terminology sets identified in the buildingSMART Data Dictionary (bSDD) database.

The website of bSI declares that work is ongoing for extensions of IFC. In July 2015, the IFC-Alignment 1.0 was accepted as a buildingSMART Final Standard and quoted it as the baseline for further infrastructure projects, such as IFC-Road and IFC Bridge [35].

The current Industry Foundation Classes (IFC) open standards for information exchange is focused on its application in building data models. However, the transfer of already well-defined building elements to represent civil infrastructure elements, besides of not being the ideal practice is filled with complications. Therefore, various research efforts have been conducted to develop data schema models for railway infrastructure facilities. Railways include structures, terminal facilities (e.g. rail yards, railway stations), communication systems, and Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems. From the definition, railway infrastructure could consist of architectural design (for railway stations), structural design, MEP design, alignment design, and rail design. However, there is no consistent and reliable, standardized terminology to define rail elements in computer science, e.g. sleeper slabs and ballast bed.

In its current state IFC is 'able' to act as a full-scale transfer mechanism for infrastructure project data. The major drawback is the specificity of the infrastructure objects and types, that are currently not recognised, meaning that important specific semantic information becomes absent, leading to its transfer as unknown elements [36].

Of special interest for the railway industry is the publication by the China Railway BIM Alliance, in 2015, of a railway BIM data standard [37]. This document is currently available as a bSISPEC (publicly available SPECification), which means that it is not an official international bS standard but a publication of a national standard in line with the bSI guidelines.

The Chinese IFC-Rail standard can be considered a stepping stone on the future development of the IFC extension for railways, but it is currently characterized by a substantial national influence. bSI proceeded with the appointment of a working group "IFC Infra Overall Architecture" in charge of analysing the Chinese IFC-Rail, the Korean IFC-Road and the French IFC-Bridge and incorporating them in the best possible way. The official infrastructure schema extension to IFC 4 shall be issued together with IFC 5 in the next years [38, 39].

In March 2013, IFC4 was officially released by bSI [40]. IFC4 is also published as an ISO standard (ISO 16739:2013). It is currently the official IFC version, complemented by two addendums and the extension IFC Alignment, that have been published since 2013. For the further analysis of the modelling architecture the IFC4 release will

vigore ed è corredata da due addendum e dall'estensione IFC Alignment. Per gli ulteriori sviluppi del formato ci si riferirà alla versione IFC4 basato sullo standard ISO 10303-11: Sistemi di automazione industriale e integrazione - Rappresentazione e scambio di dati sui prodotti - Parte 11: Metodi di descrizione: manuale di riferimento del linguaggio EXPRESS. In particolare IFC è stato sviluppato con EXPRESS-G che è un linguaggio di modellazione grafica basato su uno o più tipologie di diagrammi, costruiti a partire da simboli grafici con una semantica chiaramente definita che consentono la definizione dei dati invarianti e la specificazione dei vincoli, in sintesi il linguaggio consente di definire oggetti e relazioni tra essi con riferimento ad un dominio specifico. Gli elementi di EXPRESS sono pertanto: schemi, forme, entità, regole, costanti, funzioni, procedure e istruzioni eseguibili. Gli schemi contengono tutti gli elementi EXPRESS, le forme sono utilizzate nelle entità per definirne le proprietà o attributi. Dalla definizione delle entità scaturiscono gli elementi Ifc (Fig. 10).

L'architettura del modello dati IFC si articola in quattro diversi livelli: risorse, nucleo centrale, Interop (interoperabilità) e dominio. La struttura modulare è stata scelta per garantire che il modello informativo possa essere adattato alla natura dinamica e fortemente interconnessa del modello di informazione e alle eventuali modifiche che devono essere incorporate di conseguenza [38]. La documentazione dettagliata relativa al formato

be used. IFC4 builds up on standard ISO 10303-11: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: the EXPRESS language reference manual. The ISO standard refers to the description method which in case of IFC is the EXPRESS language. EXPRESS is not a programming language but a data modelling language that is defined in the EXPRESS Language Reference Manual in two different ways: textually and graphically. The graphical representation is called EXPRESS-G. EXPRESS consists of language elements that allow a fixed data definition and specification of constraints on the data defined, in summary it defines data objects and the relationships among them for a domain of interest. The elements of EXPRESS are: Schemas, Types, Entities, Rules, constants, functions, procedures and executable statements. The Schemas contain all EXPRESS elements, the Types are used in the Entities to define their properties or attributes. It is through the definition of the Entities that the Ifc elements are created. In Fig. 10 the spatial structure of railway engineering is presented.

The IFC information model architecture is divided into four different layers: Resource Layer, Core Layer, Interop (interoperability) Layer and Domain Layer. The modular architecture was chosen to ensure that the information model can be adjusted to the dynamic and highly interconnected nature of the information model matter and any changes that must be incorporated consequently [38]. The

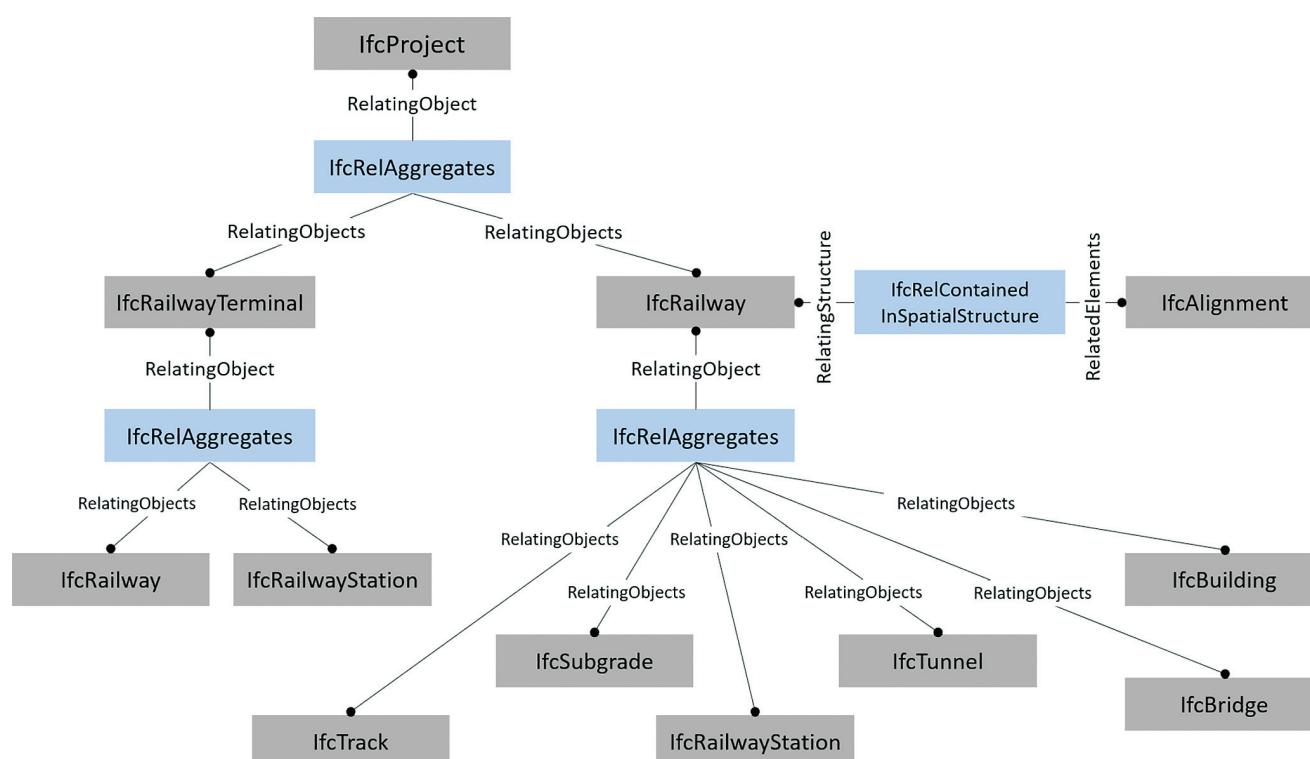


Fig. 10 - Struttura spaziale IFC per infrastrutture ferroviarie [37].
Fig. 10 - Spatial structure of railway engineering, adapted from [37].

IFC4 è disponibile su www.buildingsmart-tech.org, dove sono reperibili anche la definizione dello schema EXPRESS nonché le specifiche XML alternative e i dati di riferimento.

6. Formato di scambio per i dati ferroviari

Il formato IFC4 non contiene specifiche per le ferrovie e pertanto di seguito sono sintetizzati i contenuti dello standard BSI SPEC IFC Rail pubblicato in Cina [37].

Il formato BIM Data Railway si basa su IFC 4x1, su IFC 4x1 Extension e su ulteriori quattro standard nazionali Cina (GB/T), a cui fanno riferimento anche le norme:

- ISO 10303-1:1994 sistemi di automazione industriale e integrazione - Rappresentazione e scambio di dati sui prodotti - Panoramica e principi fondamentali;
- ISO 10303-11:2004 sistemi di automazione industriale e integrazione - Rappresentazione e scambio di dati sui prodotti - Parte 11: Metodi di descrizione: il manuale di riferimento del linguaggio EXPRESS;
- ISO 10303-21: 2012: sistemi di automazione industriale e integrazione - Rappresentazione e scambio dei dati di prodotto - Parte 21: Metodi di implementazione: codifica dei testi per la condivisione;
- ISO 16739:2013 piattaforma industry foundation classes.

Gli standard 2004 e 2012 sopra elencati sono richiamati anche in IFC4. L'architettura del modello si basa sullo standard IFC precedentemente illustrato, opportunamente modificato per soddisfare le esigenze specifiche dell'industria ferroviaria con le estensioni evidenziate in blu nella Fig. 11. Lo strato del dominio è stato sviluppato in otto rami: tracciato, geologia, sottofondo, ponti, gallerie, opere idrauliche, armamento e stazioni. Nello strato intermedio è stato aggiunto il modulo degli elementi ferroviari condivisi. Il modulo di estensione prodotto per lo strato centrale è stato esteso con IFC-alignment e le entità necessarie il tracciato sono definite nel modulo geometria del livello risorse.

Di seguito sono sintetizzati i contenuti degli otto schemi aggiuntivi del livello dominio e quello degli elementi ferroviari condivisi del livello interoperabilità previsti dallo standard BIM Data Railway [37]:

- *Shared Railway Element Schema* contenente le principali tipologie di condivisione (ad esempio, tipo di elemento geografico), elementi della struttura spaziale (ad es. elemento strutturale ferroviario, ad es. elemento strutturale del ponte o della galleria), componenti (ad es. componente dell'elemento ferroviario) e proprietà d'insieme (es. progetto ferroviario o generico elemento in calcestruzzo);
- *Alignment Schema* fondato sull'estensione IFC4 Alignment prodotta da buildingSMART nel 2015; sono state apportate due modifiche per soddisfare le esi-

detailed documentation of IFC4 is available at www.buildingsmart-tech.org, where the EXPRESS schema definition as well as alternative XML specifications and reference data are included.

6. Railway Data Exchange Format

The IFC4 does not contain any specifications regarding railway infrastructure. Therefore, the following chapter aims at outlining the Chinese bSI SPEC IFC Rail publication that exclusively describes railway relevant infrastructure elements [37].

The Railway BIM Data Standard, builds up on IFC 4x1 and the IFC 4x1 Alignment Extension, as well as on four Chinese national recommended standards (GB/T), which are also referenced by the ISO norms:

- *ISO 10303-1: 1994: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Overview and fundamental principles.*
- *ISO 10303-11: 2004: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual.*
- *ISO 10303-21: 2012: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure.*
- *ISO 16739: 2013: Industry foundation classes platform.*

The 2004 and 2012 listed standards are also referenced in the IFC4 release.

The architecture of the model is based on the previously explained IFC standard, modified to meet the needs of the railway industry, where the extensions made are highlighted in blue on Fig. 11. The Domain Layer is extended to the eight disciplines: Alignment, Geology, Subgrade, Bridge, Tunnel, Drainage, Track and Station. In the Interop Layer the module Shared Railway Elements was added. The Product Extension module of the Core Layer was extended by the IFC Alignment and the necessary entities for the alignment are defined in the Geometry Resource module of the Resource Layer.

The Railway BIM Data Standard [37] describes the eight-additional railway specific schemas of the Domain Layer and the Shared Railway Elements schema of the Interop Layer. The schemas contain the following information:

- *the Shared Railway Element Schema is a general schema containing the most important shared Types (e.g. Geo Element Component Type), Spatial Structure Elements (e.g. Railway Structure Element, e.g. Bridge or Tunnel Structure Element), Components (e.g. Railway Element Component) and Property Sets (e.g. Railway Project or Concrete Element General);*
- *the Alignment Schema refers to the buildingSMART IFC4 Alignment extension of 2015; two changes were*

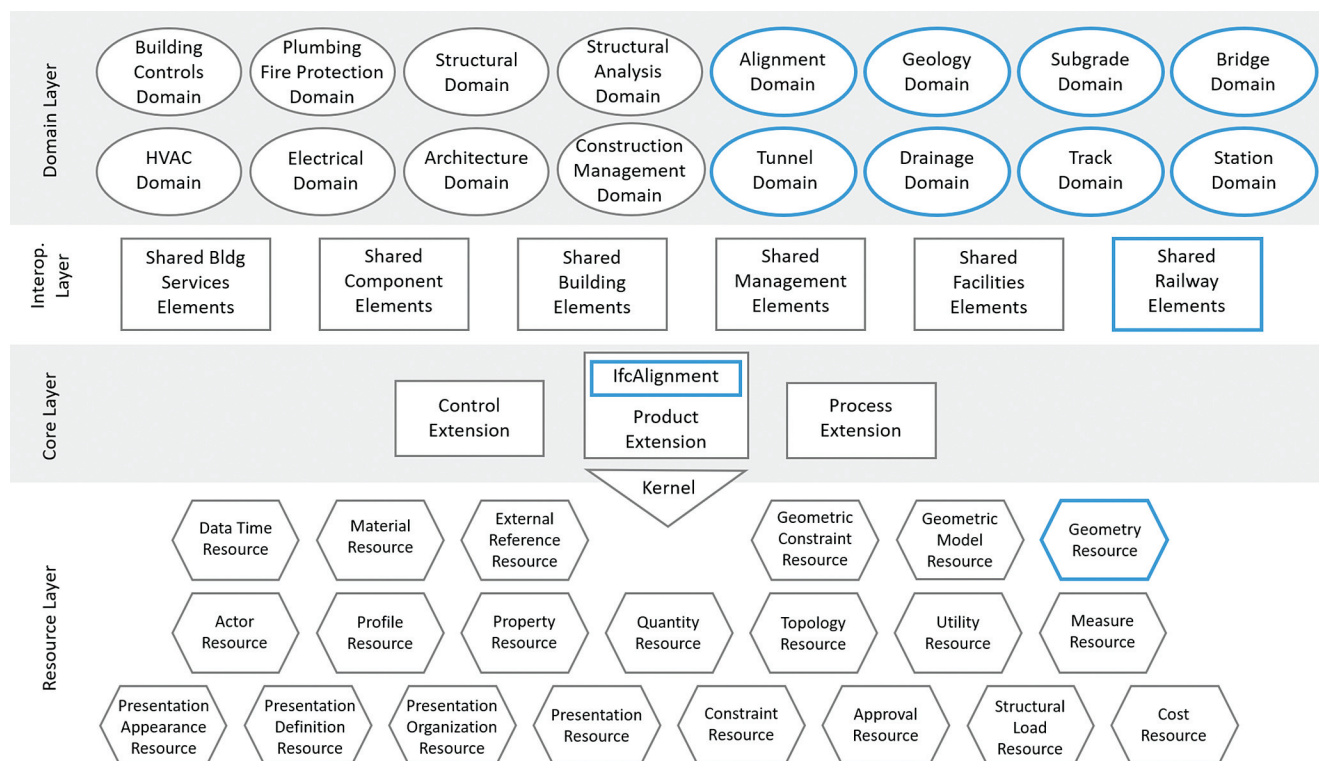


Fig. 11 - Architettura del formato aperto IFC per infrastrutture ferroviarie [37].

Fig. 11 - IFC Rail information model architecture, adapted from [37].

genze specifiche dell'ingegneria ferroviaria; in primo luogo il riferimento lineare di posizionamento degli elementi è stato convertito in un sistema a progressive e in secondo luogo la curva di transizione in IFC Rail è stata definita in modo leggermente diverso; IfcAlignment rappresenta lo spazio 3D combinando i dati costruttivi 2D orizzontali e verticali in funzione della progressiva; entrambe le entità IfcAlignment2DHorizontal e IfcAlignment2DVertical sono impostate a partire da diversi segmenti, ad es. IfcLineSegment2D, IfcTransitionCurve2D o IfcAlignment2DVerSegLine;

- *Geology Schema* composto da due elementi IfcGeologyPart che in geologia rappresenta il supertipo per tutti gli elementi della struttura spaziale, e IfcGeologyElement che è invece il supertipo di tutti gli elementi fisici della geologia; le condizioni del suolo, i dissesti geologici e i pozzi possono essere ulteriormente definiti e assegnati a determinati siti geologici, ad es. ad un ponte, al sottofondo, ad una galleria;
- *Subgrade Schema* che definisce il piano di appoggio della sede ferroviaria per tipologia (ad esempio rilevato, trincea), funzione (ferrovie, strade), protezione delle scarpate (griglie, gabbioni) e ne delimita chiaramente inizio e fine;

made to meet the needs of railway engineering; first the linear reference, which is used to position elements, was changed into a chainage system, and second the transition curve in IFC Rail is defined slightly different than in the Alignment extension; the IfcAlignment describes 3D space by combining 2D horizontal and 2D vertical construction information in function of the chainage; both entities IfcAlignment2DHorizontal and IfcAlignment2DVertical are set up of different segments, e.g. IfcLineSegment2D, IfcTransitionCurve2D or IfcAlignment2DVerSegLine;

- the *Geology Schema* consists of the two elements IfcGeologyPart, the supertype of all spatial structure elements in geology engineering, and IfcGeologyElement, the supertype of all physical elements of geology. Soil conditions, geology disasters and drill holes can be further defined and assigned to certain geological sites, e.g. bridge, subgrade, tunnel;
- the *Subgrade Schema* defines the subgrade of railway tracks inter alia by their form, (e.g. embankment, cutting), function (railway, highway subgrade), slope protection (grid frame, hollow brick), and assigns certain functions and a clear starting and end;
- the *Bridge Schema* defines bridges that are part of the railway lines. Amongst others the structural type of the bridge is specified, for instance rigid frame bridge or

- *Bridge Schema* che definisce i ponti che ricadono nelle linee ferroviarie; tra l'altro viene specificata la tipologia strutturale del ponte, ad esempio a telaio o ad arco, e dettagli tecnici, come il tipo di soletta, i piloni e i conci dell'arco;
- *Tunnel Schema* che non riguarda solo le gallerie lungo la linea ferroviaria ma può anche essere utilizzato per altre tipologie di tunnel; in analogia con i ponti lo schema specifica anche, in base a tipi predefiniti, la geometria del fornice circolare, rettangolare o ad arco con colonna e piedritti; inoltre ne codifica la funzione (ad esempio galleria ferroviaria, stradale, idraulica) e ulteriori dettagli tecnici, come la tipologia strutturale del fornice, delle centine, del rivestimento, ecc.;
- *Drainage Schema* finalizzato alla modellazione dei sistemi idraulici per la captazione, lo stoccaggio, la distribuzione e il controllo delle acque di pioggia superficiali e profonde e la manutenzione delle vasche di raccolta nei pressi delle opere ferroviarie; si divide in "Stormwater" riguardante le acque meteoriche e "Drainage" per le acque profonde; lo schema descrive il tipo di drenaggio (ad esempio cunetta, fosso di guardia) e la posizione;
- *Track Schema* che descrive gli elementi fisici del tracciato (ad esempio il tipo di piano di appoggio, di piastra, impermeabilizzazione), la funzione della traccia (ad esempio linea principale, di collegamento), picchetti di inizio e fine, componenti di tracce (ad es. rinforzi strutturali e giunzioni di binario) e componenti (ad es. massicciata, elettrificazione);
- *Station Schema* che descrive i terminali ferroviari, le stazioni e i loro componenti; e tra l'altro, riguarda la tipologia del terminale (ad esempio di linea, combinato, di testa), le caratteristiche (ad es. di rete, regionale, locale), la categoria (ad es. stazione intermedia, principale), la funzione (ad es. passeggeri, merci), il segnalamento (ad es. partenza, manovra) e il tipo di fermo vettura (ad es. fisso, smistamento).

In generale il formato è sempre strutturato su una descrizione dello schema, tipologie, entità e infine su un insieme di proprietà. Nel bSI SPEC Rail l'entità è una "classe di informazioni definita da attributi e vincoli comuni", lo schema è "l'esplicitazione della struttura per organizzare i dati destinati all'archiviazione, allo scambio e alla condivisione, utilizzando un linguaggio formale" e la proprietà è una "unità di informazione interna all'entità, definita da un particolare tipo o riferimento specifico alla medesima entità". Si noti che il formato bSI SPEC Rail si fonda solo su EXPRESS ed EXPRESS-G, senza alcuna specifica XML, in analogia con lo standard IFC4.

Un'altra iniziativa analoga promossa in ambito industriale è la railML.org nata al fine di favorire lo sviluppo di sistemi per la condivisione dei dati ferroviari. Il formato di condivisione è sviluppato nel linguaggio open source railML specifico per la gestione dei processi nel settore ferroviario. L'estensione del linguaggio railML è curata

arch bridge, and technical details, such as slab type, pier segments and arch segments;

- *the Tunnel Schema not only defines tunnels along the railway line but can also be used for non-railway-related tunnels. Like the Bridge Schema, the Tunnel Schema also specifies tunnels according to predefined types, such as circular tunnel, rectangular tunnel or straight wall and arch crown tunnel; furthermore, the function of the tunnel (e.g. railway tunnel, highway tunnel, hydraulic tunnel) and further technical details, such as system steel frame types, lining types, portal structure types, etc. are defined;*
- *the Drainage Schema focuses on describing the receipt, storage, distribution and control of the flow of rain and groundwater and the maintenance of collecting vessels near railway infrastructure; it distinguishes between "Stormwater" which refers to rain water and "Drainage" which refers to ground water; the schema describes the type of drainage (e.g. gutter, catch water ditch) and the location (e.g. near cutting, on slide slope);*
- *the Track Schema describes physical elements of tracks (e.g. sleeper type, slab type, isolation layer type), the function of the track (e.g. main track, connecting line, freight track), clear start and end points, components of tracks (e.g. strengthening equipment, track rail joints) and element assemblies of tracks (e.g. ballast bed, track panel);*
- *the Station Schema defines railway terminals and stations and their components. Amongst others, the terminal type (e.g. linear terminal, combined terminal, one station terminal), terminal feature type (e.g. network terminal, regional terminal, local terminal), station type (e.g. intermediate station, district station), station feature type (e.g. passenger station, freight station), signal type (e.g. starting signal, shunting signal), and car stopper type (e.g. fixed stopper, slide stopper) are defined.*

In general, all schemas are structured by the definition of the schema, followed by the type definitions, entity definitions and finally the property set definition. The bSI SPEC Rail defines an entity as a "class of information defined by common attributes and constraints", schema as "the definition of the structure to organize data for storage, exchange and sharing, using a formal language" and property set as a "unit of information within an entity, defined by a particular type or reference to a particular entity". Notable is the fact, that the bSI SPEC Rail only uses EXPRESS and EXPRESS-G specifications and no XML specification as the IFC4 release does.

Another noticeable industry driven initiative focused on the development of railway data exchange is the railML.org. Using an open-source markup language railML, this initiative has been since 2002 concentrating efforts to provide specific railway dedicated schemas and documentation, mainly focused on the process. The development of railML takes place in working groups of experts in railway software, data modelling and IT experts [41].

da un gruppo di lavoro formato da sviluppatori software esperti in tecnologie di modellazione dati [41].

Il lavoro principale degli esperti consiste nella realizzazione di quattro sub-schemi assemblabili:

- “Tempi” contenente informazioni su periodi di esercizio, composizione dei convogli e turni;
- “Infrastrutture” comprendente informazioni su topologia, geometria e elementi dell'infrastruttura ferroviaria;
- “Materiale rotabile” specifico per la descrizione dei rotabili e le possibili aggregazioni degli stessi;
- “Collegamenti” che implica il processo di organizzazione dei dati e la simulazione (percorsi/tempi/capacità).

Nel mese di ottobre del 2017 è stata rilasciata la versione beta 3.1 del railML basata sulla versione 1.1 del RailTopoModel [42]. Le organizzazioni railML.org e bSI si interessano entrambe della standardizzazione dei dati nel settore ferroviario, ma railML si occupa principalmente dell'esercizio del traffico ferroviario mentre bSI sviluppa formati che riguardano gli aspetti costruttivi delle infrastrutture [43].

7. Codici di calcolo

Sebbene il BIM ferroviario sia un campo di applicazione alquanto recente si rivengono già numerosi esempi di utilizzazione di software BIM come Autodesk Revit. Di recente sono stati sviluppati alcuni codici di calcolo specifici, come Bentley OpenRail ConceptStation e OpenRail Design, che sono tuttavia ancora poco diffusi in ambito professionale.

OpenRail ConceptStation offre funzionalità per la progettazione di binari, elettrificazione, gallerie e ponti, aiutando ingegneri e progettisti del settore ferroviario a creare modelli 3D intelligenti. Esplora le diverse opzioni di progettazione concettuale, grazie ai dati del contesto reale e alle analisi dei costi, per determinare rapidamente le configurazioni ottimali. Durante le fasi preliminari di progettazione e pianificazione delle reti ferroviarie, è possibile combinare l'acquisizione dei dati, la modellazione 3D e la modellazione concettuale, per ridurre elementi dai costi e dai rischi elevati.

OpenRail Designer introduce un nuovo ambiente di modellazione completo per la semplificata fornitura di progetti degli asset della rete ferroviaria. Questo ambiente unifica design e costruzione dal concept fino alla messa in servizio e al completamento. L'applicazione offre un ambiente di modellazione 3D coinvolgente e ad alte prestazioni che consente la modellazione parametrica istantanea e interattiva dei corridoi ferroviari.

La generazione del modello digitale del terreno è evidentemente il primo passo del progetto ferroviario e consiste nella restituzione fedele dell'orografia nei territori

Their core work is divided in four subschemas that can be combined:

- *timetable, containing information about the operating periods, trains and train parts and rostering;*
- *infrastructure, containing information about topology, geometry and railway infrastructure elements;*
- *rolling stock, specific for the description of the vehicles and their possible formations;*
- *interlocking, that involves the data preparation process and simulation (route/time/capacity).*

On October 2017 railML.org released the beta version of a rail scheme, railML v3.1, based on the RailTopoModel (Version 1.1) [42], an infrastructure asset management model aimed at the standardization of the description of railway systems. Being that railML.org and bSI clearly share interest on the railway business and even though their applications differ, being railML more focused on the operation level and bSI more focused on construction, their collaboration can certainly benefit this branch of the infrastructure construction industry [43].

7. Software tools

Although BIM is a relatively recent concept that can focus on the application of BIM for railway infrastructure facilities, many existing BIM software tools, such as Autodesk Revit, can be used to create a BIM model of a railway infrastructure facility. Many new software tools, such as Bentley OpenRail ConceptStation e OpenRail Designer, have been specifically developed for BIM. However, some specific software tools developed for railway infrastructure are only occasionally used by practitioners.

OpenRail ConceptStation creates conceptual track design including rail geometry, electrification, tunnels, and bridge design to evaluate more options during the planning and pre-bid project stage. Design more efficiently, identify high-risk items, and minimize costs. OpenRail Designer introduces a new, comprehensive modeling environment for streamlined project delivery of rail network assets. This environment unifies design and construction from concept through commissioning and completion.

Clearly, establishing the digital terrain model is the first step of the railway design, replicating in the most accurate way possible the local ground conditions. The digital terrain model is a three-dimensional gridding visual computer model, which includes a variety of terrain features made up of points, break lines, boundaries, contours and triangle data. The digital surface model is established by importing terrain features, for example, fracture lines and contours, (spatial georeferenced), into the model and then interconnecting the information they contain.

In OpenRail, the final surface model can be displayed in different styles, wireframe, illustration, monochrome, or thematic, as presented on Fig.12. From the digital terrain model, we can gain a whole view of the local ground condi-

interessati dai tracciati. Il modello digitale del terreno è un oggetto 3D con un notevole contenuto informativo rappresentato da punti, curve di livello e dati da triangolazioni. Il modello digitale della superficie può essere generato ad esempio mediante importazione e interconnessione di curve di livello georeferenziate.

In OpenRail Designer il modello finale della superficie può essere visualizzato in diversi stili, wireframe, illustrazioni, monocromatiche o tematiche che semplificano la lettura del territorio in fase di progettazione (Fig. 12).

La modellazione della planimetria d'asse può essere sviluppata con due modalità: tracciamento diretto o per elementi. Il primo metodo si utilizza per tracciare assi che soddisfino i requisiti delle normative vigenti e talvolta anche per ricostruire linee ferroviarie esistenti. Nel secondo invece si procede la linea d'asse a partire da elementi isolati, o da catene di elementi (multielemento), che vengono poi connessi per garantire la continuità dell'andamento planimetrico [44]; anche il tracciamento del profilo altimetrico può essere sviluppato con le due procedure sopra descritte. Utilizzando il codice OpenRail è possibile modellare e modificare dinamicamente la sopraelevazione e qualsiasi configurazione degli scambi del binario. La qualità dei render 3D del modello finale migliora il fotorealismo del progetto [45].

Il modello ferroviario è costituito dalla sovrastruttura ferroviaria (rotaie, organi di attacco, traversine e massicciata), fondazione, sottofondo e altri componenti. Tutti gli applicativi BIM contengono i template completi di piattaforme tipo e i singoli componenti (Fig. 13) da adattare e combinare per costruire le sezioni trasversale del modello. La modellazione di tutti i componenti della piattaforma si ottiene assemblando insieme di punti vincolati che definiscono forme parametriche aperte o chiuse. Le tipologie di vincolo sono diverse: legame orizzontale e/o verticale, minimo/massimo, vincolo di pendenza, offset, superficie, variazione angolare e stile. Ciascun

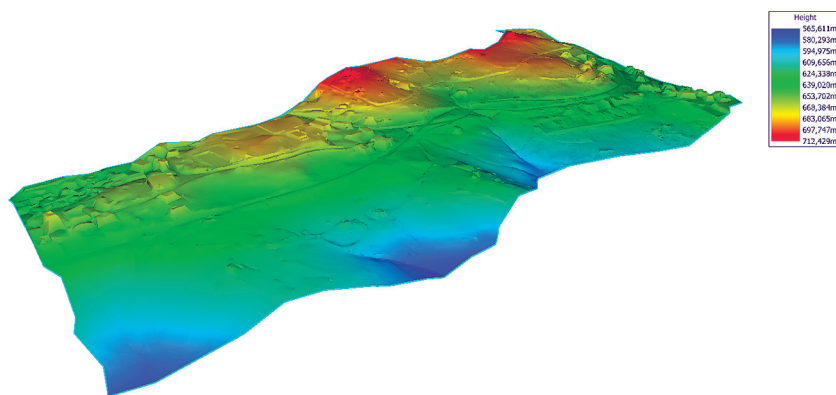


Fig. 12 - Modellazione OpenRail di una superficie tematizzata per quote.
Fig. 12 - Terrain display style: Thematic (height).

tions, which proves to be time-saving in the posterior alignment design decision process or analysis.

The horizontal alignment design can be prepared in two different ways: direct creation or regression analysis. The first directly relates to the creation of horizontal alignments which have to meet the relevant standard requirements or those that did not meet them, occasionally the case when producing as-built models. The second relates to the creation by modifying the existing geometry. The regression analysis method is divided into single-element and multi-element regression analysis. The single-element regression analysis method uses regression data to create individual elements while the multi-element regression analysis method connects those elements to create a smooth continuous alignment. [44].

A similar procedure is applied in the vertical alignment design, also divided into the direct creation method and the regression analysis method. In addition, OpenRail can cope with all types of turnout placement, that can be dynamically modified at any stage of the design, as well as superelevation. The rendering of the final 3D model improves the photorealism of the project [45].

The railway model consists of track (rails, fasteners, sleepers and ballast), subgrade, foundation and other components, so the user-defined typical sections template applied needs to accurately represent the desired cross-section. Most BIM prepared design tools provide templates, either complete detailed cross-section or isolated component templates (Fig. 13), that can be edited and combined to construct the final sections, or simply be created. In this tool, the development of a template involves the definition of components (set of named points that define an open or closed shape), and of the constraints, that are used to manage the behaviour of the points. There are diverse types of constraints that can be applied to a point, namely, horizontal, vertical, slope,

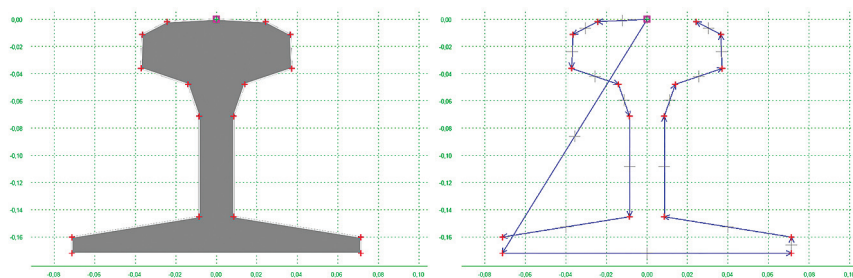


Fig. 13 - Sezione parametrica di una rotaia, a sinistra: i punti componenti e a destra i vincoli applicati ai punti.

Fig.13 - Rail track template detail (left side: components; right side: constraints).

punto del modello può essere vincolato al più in due modi, e in tale caso il punto è completamente vincolato. I vincoli consentono di controllare il comportamento del singolo punto e di conseguenza del modello nella sua interezza. In tale fase appare più evidente la differenza tra modellazione parametrica per oggetti intelligenti 3D e progettazione CAD tradizionale.

8. Conclusioni e prospettive

L'utilizzazione del BIM, con tutte le sue specificità ed esigenze, sta diventando un fattore chiave necessario per migliorare la qualità dei progetti ferroviari, soprattutto in termini di coordinamento e collaborazione, pianificazione e ottimizzazione dei costi, analisi delle interferenze e mitigazione del rischio. Ciò nonostante, l'eterogeneità delle modalità di implementazione del BIM nel settore delle opere pubbliche evidenzia la necessità di sviluppare ulteriori ricerche, in particolare nel comparto ferroviario. I sistemi di gestione integrata BIM-based devono essere ulteriormente studiati in termini di requisiti specifici con il contributo degli esperti del settore [46].

Lo standard IFC-Rail sviluppato in Cina e il linguaggio open-source railML costituiscono un avanzamento in termini di risposta alla domanda di interoperabilità, tuttavia i miglioramenti da apportare sono rilevanti come, ad esempio, l'integrazione dei formati dati comuni.

Dall'esame di alcuni casi studio è stato possibile rilevare vantaggi e potenzialità complessive di questa metodologia, nonché gli aspetti che possono e dovrebbero essere migliorati. I principali elementi costitutivi della modellazione BIM, ovvero gli oggetti tridimensionali standard, parametrici e intelligenti che contengono informazioni semantiche rilevanti, non sono ancora disponibili per le infrastrutture ferroviarie. I progressi del BIM, al di là della disponibilità di modelli tridimensionali intelligenti, robusti e dettagliati nei contenuti grafici, dipendono dallo sviluppo delle funzioni per il controllo delle relazioni tra la progettazione e le altre fasi del processo (ad esempio costruzione, esercizio, manutenzione). Inoltre è necessario implementare i modelli con dati utili per la gestione delle opere durante il ciclo di vita, e i software BIM dedicati dovrebbero essere ulteriormente potenziati con nuove funzioni per estenderne i campi applicazione.

horizontal/vertical maximum/minimum, vector offset, project to surface, project to design, angle distance and style. In a template point a maximum of two constraints can be applied, being then considered a fully constrained point. The mentioned types provide the user with an instrument from which to select the behaviour of one point and in extension of all the created template.

This is the step where the 3D parametric modelling process is perhaps more evident, since it refers to the development/use of intelligent design components.

8. Conclusions and prospects

BIM, with all its specificities and demands, is becoming mandatory and key on the delivered quality of railway projects, especially in terms of coordination and collaboration, schedule and cost optimization, clash detection and risk mitigation and high level of customization potential. Still, heterogeneity is noted in the BIM implementation scenario in the public construction sector, justifying further research, specifically in the Railway domain. BIM-based integrated construction management systems must be further investigated due to its particular requirements and the field experts contribute must be harnessed [46].

The Chinese IFC-Rail standard and the open-source markup language railML represent advancements on the interoperability required, but there are, nevertheless, extensive improvements to be made, for example, the integration of the common data formats.

The presented projects emphasised some of the advantages and overall potential on this methodology, as well as where it can and should be enhanced. The fundamental elements in BIM models (design) must be three-dimensional, standard, parametric and intelligent objects containing relevant semantic information, that at this point are not yet satisfactory available for an open application in railway projects. Beyond the robust, detailed, graphical and intelligent three-dimensional model, the connection between the design and the other project phases (e.g. construction, operation, maintenance), is vital to the advance of the BIM technology, and should be object of study and improvement. In addition, throughout the project life cycle, adequate information management practices must be implemented and the dedicated software should be enhanced in terms of function and application range.

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] Bentley Systems Incorporated, "The year in infrastructure 2014", Bentley Institute Press, 2015.
- [4] Bentley Systems Incorporated, "The year in infrastructure 2015", Bentley Institute Press, 2016.

- [5] Bentley Systems Incorporated, *"The year in infrastructure 2016"*, Bentley Institute Press, 2017.
- [6] Autodesk Inc., *"Autodesk 2012 Excellence in Infrastructure Awards"*, Autodesk, 2012.
- [7] Autodesk Inc., *"Autodesk 2014 Excellence in Infrastructure Awards"*, Autodesk, 2014.
- [8] Autodesk Inc., *"Autodesk Hong Kong BIM Awards 2014"*, Autodesk, 2015.
- [9] Autodesk Inc., *"Autodesk BIM Awards 2015 – Hong Kong, Macau & Taiwan"*, Autodesk, 2016.
- [10] Autodesk Inc., *"AEC Excellence Awards 2016"*, Autodesk, 2017.
- [11] Autodesk Inc., *"Autodesk Hong Kong BIM awards 2016"*, Autodesk, 2017.
- [12] ALBANESI S. (2016). *"Il Progetto Metro Doha"*, Italferr. Available at: http://www.cifi.it/UplDocumenti/Roma30112016/07_Cifi_Italferr_Convegno%20nov.%202016-Albanesi.pdf.
- [13] BRADLEY A., LI H., LARK R., DUNN S. (2016), *"BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective"*, Automation in Construction, 71, 139-152.
- [14] 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"*.
- [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] 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/x28b1-fUdmV_AEFxDWNQ2mfoUUc/12289952/data/bim_einzel-massnahmen.pdf.
- [18] 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>.
- [19] STACY M., BIRBECK J. (2013), *"BIM for the Northern Hub ECS1 programme"*, Structural Engineer, 91(11), 50-57.
- [20] 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.
- [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., BEHNAM 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 nD 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] BSI (2013). PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- [32] London Underground (LU), *"Victoria station upgrade"*, ICE building information modeling, Institution of Civil Engineers, London, pp. 27-31, 2012.
- [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 - The Home of BIM (2018), Available from: <https://www.buildingsmart.org/>.
- [35] BuildingSMART-Tech.org, *"Ongoing projects"*, Available from: <http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/projects>.
- [36] 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).
- [37] China Railway BIM Alliance (2015), *"Standard bSI SPEC Rail - Railway BIM Data Standard (Version 1.0)"*.
- [38] Bormann A., Liebich T. (2016), *"IFC Infra Overall Architecture – Project Plan"*. buildingSMART.
- [39] BuildingSMART – Germany (2016), *"Informationen der Expertengruppe IFC-Rail/IFC-Road"*, Available from: www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=News.show&id=522.
- [40] Model Support Group, buildingSMART International (2013), Industry Foundation Classes Release 4 (IFC4).
- [41] RailML.org. Available at: <https://www.railml.org/en/home.html>
- [42] RailML® wiki. Available at: <https://wiki.railml.org/index.php?title=UIC:RailTopoModel>
- [43] 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.
- [44] ZONG-TIAN L.U. (2013), *"Some Views on Using BIM in Railway Design"*, Railway Standard Design, 6, 140-142.
- [45] SHENG X., LUO H.P., WANG P. (2014), *"Application of Bentley Power Rail Track Software in the BIM Railway Design"*, Applied Mechanics and Materials, 587, 1091-1094. Trans Tech Publications.
- [46] DELL'ACQUA G. (2018), *"BIM per Infrastrutture. Il Building Information Modeling per le grandi opere lineari"*, EPC Editore.