

# Building Information Modelling per un'infrastruttura ferroviaria "lineare": un'esperienza di implementazione nell'organizzazione complessa del sistema ferroviario ad alta velocità

## *Building Information Modelling for a "linear" railway infrastructure: an experience of implementation in a complex organization such as the High Speed Rail System*

Franco Persio BOCCHETTO<sup>(\*)</sup>  
Mara GAGGERO<sup>(\*\*)</sup>  
Federico MALLENI<sup>(\*)</sup>  
Paolo MANFERLOTTI<sup>(\*\*)</sup>  
Lucio MARONGIU<sup>(\*\*)</sup>  
Federico MOMONI<sup>(\*)</sup>  
Oliviero SANGIOVANNI<sup>(\*\*)</sup>

**Sommario** - Scopo dell'articolo è descrivere come il Consorzio Bonifica - Hitachi Rail STS ha sviluppato un'esperienza nell'implementazione del *Building Information Modelling* (BIM)<sup>(1)</sup> per un progetto pilota di infrastruttura "lineare" del Sistema Ferroviario ad Alta Velocità - nel rispetto delle normative vigenti e della specifica complessa organizzazione.

Il nostro scopo non è stato la descrizione dello stato dell'arte del BIM: si è trattato solo di un'esperienza "realistica-non teoretica" finalizzata a contribuire alla trasformazione digitale in atto nelle nostre Aziende.

Il nostro lavoro si è concentrato principalmente sul Modello di Processo BIM e sulla sua implementazione, in sintonia con le specifiche esigenze degli Appaltatori e della Committenza.

Abbiamo sviluppato un efficace modello digitale "connesso ai requisiti" per le Opere Civili e i Sistemi Ferroviari, utilizzando software differenti per ogni tecnologia (es. armamento, strutture civili, sistemi tecnologici, ecc.) gestito nell'ambito di una unica piattaforma di condivisione interattiva.

**Parole chiave:** Implementazione del BIM *Building Information Modelling*; Progettazione e costruzione di infrastrutture lineari; Sistemi ferroviari; Modello del Processo di realizzazione multi-tecnologia.

<sup>(\*)</sup> Bonifica S.p.A..

<sup>(\*\*)</sup> HITACHI Rail STS.

<sup>(1)</sup> Nella nostra esperienza, BIM significa un modello digitale, n-dimensionale, collegato ad un database di informazioni di progetto relative al processo di produzione delle nostre Aziende (e dei nostri Clienti). Combinando in un unico database le informazioni di progettazione, produzione, installazione e logistica, il BIM consente una piattaforma di collaborazione durante l'intero ciclo di vita del progetto.

**Abstract** - This paper describes how the Consortium Bonifica - Hitachi Rail STS has developed an expertise in *Building Information Modelling* (BIM)<sup>(1)</sup> implementation on a pilot project for a Railway High Speed System "linear" infrastructure - in accordance with current norms and regulations and its own complex organization. Our scope is not the description of the BIM state of the art: it is only a "real-not-theoretical" experience finalized to contribute the business-related digital transformation underway in our Companies. Our paper will be mainly focused on the BIM Process Model and its implementation, tuned on the specific Contractors and Client needs. We developed an effective "requirements-related" digital model for the Rail Civil Works and Systems, using different software for each topic-technology (e.g. alignment, structures, systems, etc.) managed in the interactive platform.

**Key words:** BIM *Building Information Modelling* implementation; Linear Infrastructures Design and Build; Railway Systems; Multi-Technology Delivery Process Model.

### Acronyms List

AEC	Architecture, Engineering and Construction
BEP	BIM Execution Plan
BIM	Building Information Modeling
CDE	Common Data Environment
CTS	Contract Technical Specifications
DID	Document Interface Detailed
DL	Document Lists

<sup>(\*)</sup> Bonifica S.p.A..

<sup>(\*\*)</sup> HITACHI Rail STS.

<sup>(1)</sup> In our experience BIM means a digital, n-dimensional model linked to a database of project information in our Companies (and Client) delivery process. Combining design, manufacturing, installation and logistics information in one database, BIM allows a platform for collaboration throughout the project's lifecycle.

## Elenco acronimi

AEC	Architecture, Engineering and Construction
BEP	BIM Execution Plan
BIM	Building Information Modeling
CDE	Common Data Environment
CTS	Contract Technical Specifications
DID	Document Interface Detailed
DL	Document Lists
DR	Design Requirements
DWG	Drawing (CAD programs filename extension)
EIR	Employer's Information Requirements
IAI	International Alliance for Interoperability
IC	Information Carrier
ICD	Interface Control Document
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of Development
MEP	Mechanical, Electrical, Plumbing
PBS	Product Breakdown Structure
PDM	Product Data Management
PE	Project Engineer
PLM	Product Lifecycle Management
QA	Quality Assurance
RTM	Requirements Traceability Matrix
SRS	System Requirements Specifications
SW	Software
TD	Technology Designer
V&V	Verification & Validation
WBS	Work Breakdown Structure

DR	Design Requirements
DWG	Drawing (CAD programs filename extension)
EIR	Employer's Information Requirements
IAI	International Alliance for Interoperability
IC	Information Carrier
ICD	Interface Control Document
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of Development
MEP	Mechanical, Electrical, Plumbing
PBS	Product Breakdown Structure
PDM	Product Data Management
PE	Project Engineer
PLM	Product Lifecycle Management
QA	Quality Assurance
RTM	Requirements Traceability Matrix
SRS	System Requirements Specifications
SW	Software
TD	Technology Designer
V&V	Verification & Validation
WBS	Work Breakdown Structure

## 1. Descrizione del modello

### 1.1. Principi chiave

Il nostro modello di processo BIM parte da tre presupposti principali:

- 1) Norme, Regolamenti<sup>(2)</sup> e nuove gare d'appalto internazionali<sup>(3)</sup> obbligano i Clienti e gli Appaltatori ad implementare la digitalizzazione BIM nei nuovi Progetti;
- 2) Il modello di processo BIM deve essere conforme o compatibile con quello dei nostri clienti;
- 3) Il modello di processo BIM deve adattarsi armonicamente ai processi aziendali di produzione i già esistenti e collaudati<sup>(4)</sup>.

In particolare per le Aziende organizzate secondo un modello di produzione consolidato (es. V-Cycle CENE-

## 1. Model Description

### 1.1. Key Principles

Our BIM Process Model starts from three main assumptions:

- 1) norms, Regulations<sup>(2)</sup> and new international tenders<sup>(3)</sup> oblige the Clients and the Contractors to implement the BIM digitalization in the new Projects;
- 2) the BIM Process Model has to be implemented to be compliant/compatible to the ones of our Clients;
- 3) the BIM Process Model has to harmonically fit the already existing, proven Company delivery processes<sup>(4)</sup>.

Especially for the Companies organized in accordance with a proven process-model delivery (e.g. V-Cycle CENELEC EN50126, EN50128)<sup>(5)</sup> ([1], [2], [3]) it is extremely

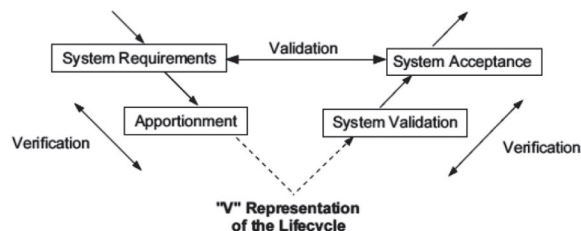
<sup>(2)</sup> The Italian DM 560/2017 is mandatory since the January 1<sup>st</sup> 2019: firstly for public works with an amount all starting from 100 million euro (January 2019) to less than one million euro (2022).

International regulations: see references

<sup>(3)</sup> e.g. in the recent railway/metro systems context: Metro Line 4 in Athens, Sanying and Green Line in Taipei, etc.

<sup>(4)</sup> Work Breakdown Structure (WBS), Requirements, Interfaces, Configuration, etc. and SW tools, procedures, etc.

<sup>(5)</sup> Ref. to the typical V-cycle delivery process defined by CENELEC 50126: dal CENELEC 50126:



BIM is applied during all the process delivery, from the beginning (requirements definition) throughout the installation, until the operation and maintenance.

<sup>(2)</sup> Il DM italiano 560/2017 è obbligatorio dal 1° Gennaio 2019: per le opere pubbliche con un importo decrescente da 100 milioni di euro (Gennaio 2019) fino a 1 milione di euro (2022).

Normativa internazionale: vedi riferimenti

<sup>(3)</sup> Ad esempio nel recente contesto dei sistemi ferroviario/metropolitana: Linea 4 della metropolitana ad Atene, Sanying e Green Line a Taipei, ecc.

<sup>(4)</sup> Work Breakdown Structure (WBS), requisiti, interfacce, configurazione ecc. e strumenti, procedure, procedure, ecc.

LEC EN50126, EN50128)<sup>(5)</sup> ([1], [2], [3]), è vivamente raccomandato (quasi obbligatorio) implementare il BIM evitando qualsiasi “distorsione” sui processi esistenti, in modo da garantire anche la verifica e la validazione di sicurezza dei sistemi. Nel contesto ferroviario sia le Opere Civili che i Sistemi tecnologici devono essere progettati e gestiti tenendo conto delle sostanziali differenze tra le discipline e le esigenze di integrazione tra le stesse. Ogni disciplina utilizza uno specifico strumento di progettazione diverso e il modello di processo di integrazione rappresenta un buon approccio per garantire la perfetta armonia nel risultato finale.

La nostra implementazione si è pertanto particolarmente focalizzata su questa esigenza, puntando su un modello di digitalizzazione “misto”: ogni disciplina (opere civili, tecnologie) utilizza i differenti e già collaudati strumenti di progettazione della Azienda, aggiornati al contesto BIM. Il modello BIM viene poi implementato grazie a opportuni “loop di processo”, finalizzati alla integrazione delle singole componenti. Questo approccio è diverso da quelli tipicamente adottati per le infrastrutture “puntuali” che considerano solitamente un unico strumento SW.

I principali pilastri del Modello di Processo sono descritti nei capitoli successivi secondo i criteri sopra riportati.

## 1.2. Modello di processo di base

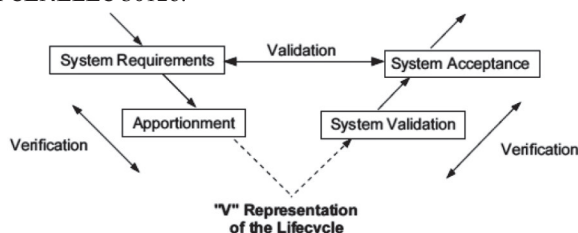
Il processo, ispirato principalmente alla norma UNI-11337 ([4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]) ed ai requisiti del Cliente, parte dal cosiddetto “Capitolato Informativo” (IC) dove vengono definite regole, organizzazione, pianificazione/programmazione, livello di dettaglio (LOD), SW, criteri di Verifica/Validazione, ecc.

### Visione strategica del “Capitolato Informativo”

Il Cliente definisce gli obiettivi informativi di ogni fase del processo (vedere par. 7 della UNI11337-1 e par. 3.2 UNI11337-5) [4].

In base a questi obiettivi, il Cliente nell’IC definisce anche le finalità di ogni modello digitale e i propri criteri di utilizzo.

<sup>(5)</sup> Rif. al tipico processo di consegna con ciclo a V definito dal CENELEC 50126:



Il BIM viene applicato durante tutto il processo di produzione, dall’inizio (definizione dei requisiti), attraverso l’installazione, fino all’esercizio e alla manutenzione.

*recommended (almost mandatory) to implement the BIM avoiding any “distortion” on the proven existing processes, so to guarantee the assessment and the Safety homologation of the systems too. In the railway context both Civil Works and the Systems have to design/operate taking into account the differences between the topics and the integration needs. Each discipline uses a different specific design tool, and the integrated process model is a good approach to guarantee the perfect harmony in the final result.*

*Our implementation is particularly focused on this requirement, aiming for a “mixed” digitalization model: each topic (Civils, Systems) uses the proven SW Company tools BIM upgraded, and the BIM model has been implemented thanks to several “loop of processes” too. This approach is different than the ones typically adopted for the “punctual” infrastructures that are considering usually a single SW tool.*

*The main pillars of the Process Model are described in the following chapters according to the above criteria.*

## 1.2. Basic Process Model

*The process, mainly inspired by the UNI-11337 ([4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]) norm and the Client’s requirements, starts from the “Information Carrier” (IC) where rules, organization, planning/scheduling, level of detail (LOD), SW, Verification/Validation criteria, etc. are defined.*

### Information Carrier Strategic Vision

*The Client defines the information-goals of each process-phase (see. Par. 7 of UNI11337-1 and par. 3.2 UNI11337-5) [4].*

*According to these goals, the Client in the IC defines also the each digital model goal and its own utilization criteria.*

*The use of a specific model contributes to define the Level of Detail (LOD) of each digital object, according to the informative goals needed by the model.*

*The model is finalized to:*

- geometrical checks (e.g. “clash/interference detection”);
- virtual construction (building “twice”);
- bill of quantities evaluation, according to the WBS;
- inconsistency analysis;
- model Arrangement for time/cost analysis.

*The UNI11337 prescribes also LOD characterization by typology, quantity, quality/stability of data and any information related to the object, defined also by permanent link between the object and its attributes, geometric/not geometric (e.g. functional, technology, economical, legal, etc.).*

*The information data, including the geometrical (and not) attributes, are displayed via:*

- graphics 3D objects, eventually linked to additional 2D drawings;

L'utilizzo di uno specifico modello contribuisce a definire il Livello di Dettaglio (LOD) per ogni oggetto digitale, in funzione degli obiettivi informativi necessari al modello stesso.

Il modello è finalizzato a:

- controlli geometrici (ad es. “clash/interference detection”);
- costruzione virtuale (costruire “due volte”);
- valutazione del computo metrico, secondo la WBS;
- analisi delle incongruenze;
- predisposizione del modello per l'analisi tempi/costi.

La UNI11337 prescrive anche la caratterizzazione dei LOD per tipologia, quantità, qualità/stabilità dei dati e qualsiasi informazione relativa all'oggetto, definita anche dal legame permanente tra l'oggetto e i suoi attributi, geometrici/non geometrici (es. funzionali, tecnologici, economici, legali, ecc.).

I dati informativi, compresi gli attributi geometrici (e non), sono visualizzati attraverso:

- oggetti grafici 3D, eventualmente collegati a disegni 2D aggiuntivi;
- testi scritti e/o contenuti multimediali (es. tempo 4D, costi 5D, esercizio 6D, manutenzione 7D) e/o schede informative di prodotto/processo (vedi UNI11337-3).

La Fig. 1 mostra una tipica implementazione dei diversi contenuti informativi: oggetto 3D (“boa” di segnalamento) con relative informazioni aggiuntive tramite file di testo.

Gli oggetti sono caratterizzati da attributi e informazioni, al fine di definire le caratteristiche tecniche delle opere da un lato e la “struttura identificativa univoca” (basata sulla WBS del progetto) dall'altro:

- tipologia di lavoro;
- ubicazione dei lavori;
- parte dei lavori;
- WBE e Computo Metrico.

Quest'area dati è disponibile per:

- collegare gli attributi ai disegni, generati automaticamente dai modelli;
- ottenere facilmente la stima di Computo Metrico;
- organizzare gli oggetti nei modelli in funzione degli attributi specifici, strumento utile che consente la Validazione del modello per i Clienti.

*Contenuti tipici dell'“Capitolato Informativo”:*

- 1) Gestione delle informazioni, dove è specificato:
  - a. Livello di Dettaglio del modello digitale (LOD);
  - b. pianificazione e programmazione delle attività;
  - c. coordinamento e gestione dei conflitti;
  - d. definizione del processo collaborativo;
  - e. sicurezza e protezione dell'integrità del progetto;

- written text and/or multimedia contents (e.g. time 4D, costs 5D, sustainability 6D, maintenance 7D) and/or informative product/process sheets (see UNI11337-3).

The Fig. 1 shows a typical implementation of different information contents: 3D object (“balise” signalling device) with related additional information by a text file.

The objects are characterized by attributes and information in order to define the technical features of the works on one side and the “univocal identification structure” (based on the project WBS) on the other:

- work type;
- location of the works;
- part of the works;
- WBE and bill of quantities.

This data area is available for:

- the attributes can be linked to the drawings, automatically generated by the models;
- thanks to this attributes-data, it is possible to get easily to the bill-of-quantities estimation;

The objects in the models can be organized according to the specific attributes, an useful tool that allows a good model validation for the clients.

Typical Contents of the “Information Carrier”:

- 1) Information Management, where it is specified:
  - a. level of Detail of the digital models (LOD);
  - b. planning and Scheduling of the activities;
  - c. conflict coordination and management;
  - d. collaborative Process Definition;
  - e. safety and Security of Project integrity;
  - f. information to be added to the digital models (e.g. requirements, interfaces, etc.);
  - g. constraints definition;
  - h. topographical reference;
  - i. digital files type.
- 2) Execution and Project Management:
  - a. strategical vision;
  - b. responsibility matrix;
  - c. norms, rules, BIM processes to use.

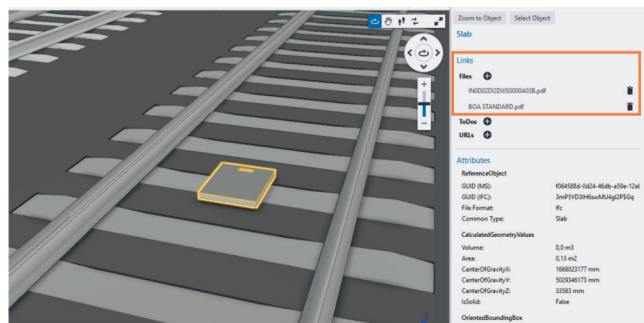


Fig. 1 - Attributi non geometrici.  
Fig. 1 - Not Geometrical Attributes.



- f. informazioni da aggiungere ai modelli digitali (ad es. requisiti, interfacce, ecc.);
  - g. definizione dei vincoli;
  - h. riferimento topografico;
  - i. tipologia di file digitali.
- 2) Esecuzione e gestione del progetto:
- a. visione strategica;
  - b. matrice di responsabilità;
  - c. norme, regolamenti, processi BIM da utilizzare.
- 3) Criteri di valutazione delle offerte di Appaltatori e Subappaltatori:
- a. criteri di valutazione dell'esperienza dei Subappaltatori sulla gestione dei modelli digitali;
  - b. documenti di gara;
  - c. criteri di valutazione dell'offerta BIM.

## 1.2.1. Fasi principali del processo

L'implementazione del BIM segue generalmente i seguenti principi (Fig. 2) ([19], [20]):

- *costruire due volte*: prima il modello digitale e poi la costruzione fisica vera e propria. Questo porta a una migliore collaborazione, al rilevamento tempestivo di errori/interferenze e a un processo di costruzione complessivo più veloce con meno errori;
- *creare i dati una sola volta*: ovvero "traduzione digitale" dei requisiti/interfacce/pianificazione in un database BIM comune: Assegnazione dei requisiti alla WBS, definizione delle Interfacce, ecc.;
- *costruire e pianificare insieme*: Tutte le parti interessate sono coinvolte nel processo di pianificazione, in modo da poter apportare modifiche al modello, evitando così modifiche dispendiose in termini di costi e di tempo durante la costruzione;
- *per l'intero ciclo di vita*: Il BIM ha benefici per l'intero ciclo di vita. Il modello comune di dati facilita l'esercizio, la manutenzione.

Il nostro Progetto pilota si è focalizzato solo sulla Progettazione – BIM 3D.

Le quattro fasi principali del processo identificato sono:

- definizione dei criteri della piattaforma di condivisione dei dati;
- definizione del modello informativo;
- validazione del modello [Clash Detection, Code Checking, ecc.];
- produzione e gestione dei documenti di progetto.

Le Figg. 3 e 4 mostrano una panoramica generale del processo, ispirata alle norme e, ove possibile, anche all'esperienza dei nostri Clienti.

- 3) *Contractors and sub-contractors offers evaluation criteria*:
- a. *subcontractors experience evaluation criteria on digital model management*;
  - b. *tender documents*;
  - c. *BIM offers evaluation criteria*.

## 1.2.1. Process main steps

The BIM implementation generally follows the main common principles (Fig. 2) ([19], [20]):

- *build twice*: the digital model firstly and then the actual construction process. This leads to better collaboration, earlier error/interference detection and a faster overall construction process with fewer errors;
- *create data only once*: "digital translation" of the requirements/interfaces/planning in a common BIM database: WBS, WBS requirements allocation, Interfaces, etc.;
- *build and plan together*: All the stakeholders are involved in the planning process so changes can be made in the model therefore cost/time-intensive modifications on the construction site can be avoided;
- *for the entire life cycle*: BIM has benefits for the whole life cycle. The data model facilitates service, maintenance and disposal.

Our pilot project is focused only on the Design - 3D oriented.

The four main steps of the process implemented in the Design, are:

- *data sharing platform criteria definition*;
- *information model definition*;
- *BIM validation [Clash Detection, Code Checking, etc.]*;

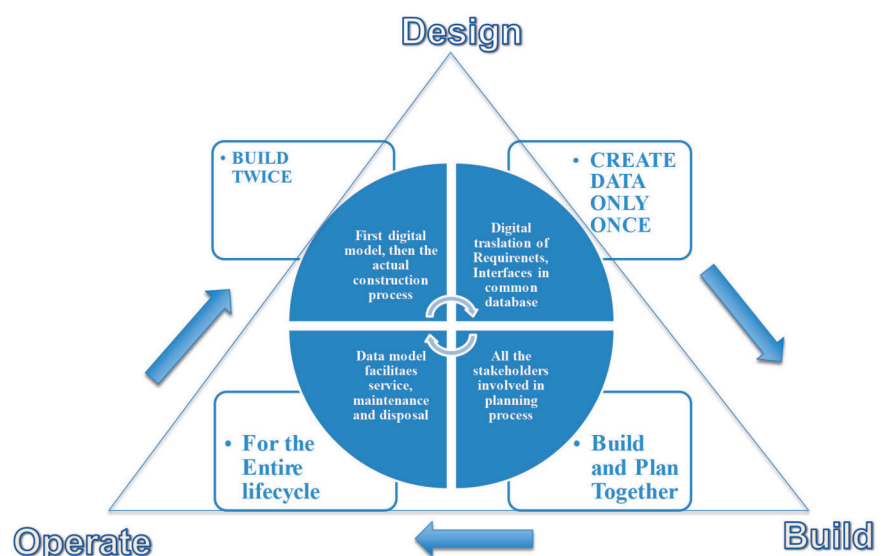


Fig. 2 - Principi del BIM.

Fig. 2 - BIM Principles.

## Pilastro 1 – Piattaforma di condivisione digitale

Si tratta di un tipico sistema di Product Data Management [PDM]<sup>(6)</sup>, organizzato in modo da garantire in tempo utile la condivisione delle informazioni per ogni partecipante al progetto.

I documenti di progetto sono classificati e gestiti secondo il BIM Execution Plan (BEP: che è la raccolta delle regole per gestire il flusso di dati e i modelli digitali tra tutti i progettisti/partecipanti al progetto. Nella nostra esperienza, per organizzare i documenti e gestire efficacemente la configurazione, abbiamo utilizzato come riferimento comune la Product Breakdown Structure (PBS) e la Work Breakdown Structure (WBS). Le piattaforme digitali comprendono anche il database dei requisiti.

## Pilastro 2 - Definizione e gestione del modello informativo

Il secondo pilastro è costituito principalmente da:

- definizione del modello per ogni tecnologia coinvolta e del relativo SW;
- definizione dell'area della piattaforma di integrazione;
- regole di accesso;
- definizione dei formati dei file;
- regole di gestione delle interferenze geometriche e informative.

## Pilastro 3 - Validazione del modello BIM

Il pilastro 3 consiste principalmente nell'attività di Verifica (e Validazione) sul modello digitale globale, al fine di rilevare conflitti, interferenze e convalidare la configurazione.

## Pilastro 4 - Produzione di documenti

I documenti derivati dal modello digitale devono essere conformi agli standard dei Clienti e delle Autorità di approvazione. Questo significa che il modello deve essere tradotto in formati, disegni, testi, ecc. utili per le approvazioni, la costruzione, l'"as built", ecc. Nella nostra esperienza la parte principale della documentazione di pro-

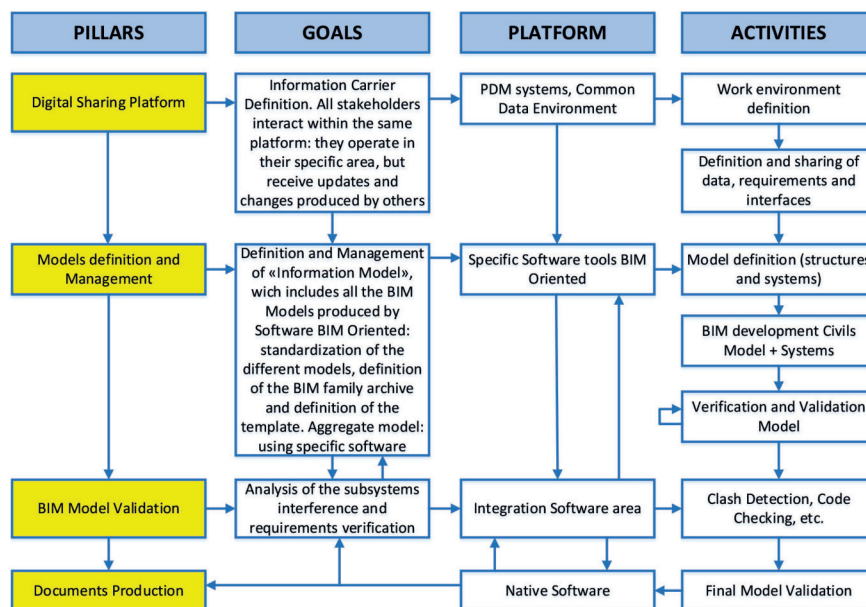


Fig. 3 - Processo di base del 3D BIM.

Fig. 3 - 3D BIM Basic Process.

- document production and management.

The Figs. 3 and 4 show a general overview of the process, inspired by the norms and, where possible, by the experience of our Clients too.

## Pillar 1 – Digital Platform

This is a typical Product Data Management [PDM] system<sup>(6)</sup>, organized in order to guarantee in good time information sharing for each stakeholder.

The project documents are classified and stored according to the BIM Execution Plan (BEP); the BEP is the collection of rules so to manage the data flow and the digital models between all the designers/stakeholders. In our experience, in order to organize the documents and the configuration, we used as a common reference the Product Breakdown Structure (PBS) and the Work Breakdown Structure (WBS). The digital platforms involves also the database for the requirements.

## Pillar 2 – Information Model Definition and management

The pillar 2 consists mainly of:

- model definition for each technology involved and the related SW;

<sup>(6)</sup> Il Product Data Management (PDM) è una funzione del Product Lifecycle Management (PLM) finalizzata alla gestione e pubblicazione dei dati di prodotto. L'obiettivo della gestione dei dati di prodotto è garantire che tutti gli stakeholder condividano un'intesa comune, in modo da ridurre al minimo possibili disallineamenti e mantenere i più elevati standard di controllo qualità. La gestione dei dati di prodotto fa parte della gestione del ciclo di vita del prodotto e della configurazione.

<sup>(6)</sup> Product Data Management (PDM) is the business function often within product lifecycle management (PLM) that is responsible for the management and publication of product data. The goal of product data management includes ensuring all the stakeholders share a common understanding, that confusion during the execution of the processes is minimized and that the highest standards of quality controls are maintained. Product data management is part of product lifecycle management and configuration management.

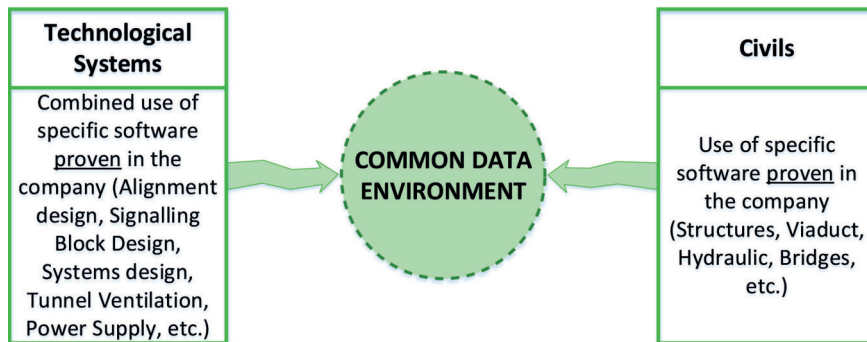


Fig. 4 - Piattaforma di condivisione.  
Fig. 4 - Sharing Platform.

getto è stata realizzata con gli attuali strumenti di progettazione riducendo al massimo la perturbazione ai processi produttivi esistenti.

L'utilizzo di software differenti e specifici non consente la gestione automatica delle configurazioni e delle varianti progettuali: riteniamo che questo problema possa essere risolto attraverso una chiara definizione del flusso di dati e l'implementazione dei processi BIM come indicato nel BIM Execution Plan. In breve, il BIM Execution Plan è necessario per superare i limiti del Software/strumenti attualmente in uso [19].

Allo stesso modo, possiamo dire che l'apparente complessità del processo BIM implementato (che richiede iterazioni multiple per ottenere una corretta integrazione tra le diverse tecnologie coinvolte) è premiata dal miglioramento dell'integrazione e della coerenza del progetto risultante e da un migliore controllo delle fasi/attività del Progetto.

## 1.2.1.1. Definizione dei criteri della piattaforma di condivisione dei dati

Lo scopo di questa fase è quello di preparare una "piattaforma digitale" per implementare la strategia collaborativa: tutti gli stakeholder interagiscono all'interno della stessa piattaforma. Ogni stakeholder opera all'interno dell'area tematica specifica ma riceve aggiornamenti e modifiche da parte degli altri, in modo tempestivo.

*Dati, Modelli, Criteri principali per la condivisione dei documenti*

La gestione digitale dei processi orientati al BIM comprenderà quindi un "ambiente di condivisione dati/informazioni", in cui ogni partecipante coinvolto, durante tutte le fasi del Progetto, potrà interagire con gli altri, al fine di ottimizzare l'intera informazione.

Questo ambiente è definito "ambiente di condivisione dei dati" (CDE = Common Data Environment) rif. UNI11337-5/2017) [4].

I principali requisiti del CDE sono:

- tutti i soggetti interessati possono accedere, in base a norme specifiche;

- definition of the integration platform area;
- rules to access;
- standard format files;
- rules of geometrical and informative interferences management.

## Pillar 3 – BIM model validation

*The pillar 3 consists mainly of verification (and validation) activity on the global digital model, in order to detect clashes, interferences, and to validate the configuration.*

## Pillar 4 – Documents production

*The documents derived from the digital model have to be compliant to the standard of the Clients and Authorities. This means that the model has to be translated into formats, drawings, texts, etc. useful for the assessments, construction, as built, etc. At the moment the main part of project documentation has been realized by mean of the current design tool so to reduce any perturbation to existing production processes.*

*Using different, specific software does not allow any automatic management of the configurations and design variations: we believe this issue can be solved by means of a clear definition of the data flow and implementation of the BIM processes as stated in BIM Execution Plan. In short, The BIM execution plan is required to overcome limitations of Software/Tools currently in use [19].*

*In the same way, we can say that the apparent complexity of the implemented BIM process (requiring multiple iterations to obtain a correct integration between the different technologies involved) is rewarded by improvement in the integration and consistency of the resulting project and a better control of the Project phases/activities.*

## 1.2.1.1. Data Sharing Platform criteria definition

*The scope of this phase is to prepare a "digital platform" for a collaborative implementation: all the stakeholders interact inside the same platform. Each stakeholder operates inside the specific topic area but receives updates and modification made by other on a timely manner.*

## Data, Models, Deliverables sharing main criteria

*The digital management of the BIM oriented processes will include a "data/information sharing environment", where each stakeholder involved, during all the Project phases, may interact with each other, in order to optimize the entire informative data.*

*This environment is defined "sharing data environment" (CDE = Common Data Environment) ref. UNI11337-5/2017) [4].*

*The main CDE requirements are:*

- all stakeholders may access, according to specific rules;



- tracciabilità delle revisioni;
- supporto per la scelta della tipologia e dei formati dei dati;
- facile accesso;
- archiviazione, aggiornamento e garanzia di riservatezza/sicurezza;
- al fine di garantire l'utilizzo consapevole dei dati/informazioni, ogni modello sarà identificato secondo uno specifico Stato di Lavoro, Coordinamento, Verifica e Approvazione nel CDE: questi attributi saranno un'opzione, strettamente dipendente dalla piattaforma utilizzata per la gestione delle informazioni (es. dal semplice file server organizzato in cartelle di progetto, fino ai sistemi *Cloud* avanzati) e dalle funzionalità disponibili.

La soluzione migliore è quella di sfruttare vantaggi specifici:

- coordinamento automatico dei dati tra le parti interessate;
- chiara relazione tra i dati in termini di gerarchie ("collegamenti "padre-figlio");
- gestione automatica degli aggiornamenti/revisioni;
- riduzione dei dati ridondanti e relativi rischi di duplicazione;
- facilità di comunicazione tra i partecipanti attraverso specifici moduli di interfaccia;
- il responsabile della gestione dei documenti guiderà il flusso di dati informativi all'interno del CDE, supportato dal BIM Manager e dagli specifici coordinatori/esperti delle tecnologie;
- ambiente di condivisione dei dati.

I principali vantaggi dell'utilizzo di un CDE sono:

- la proprietà delle informazioni rimane all'autore, solo l'autore può cambiarle;
- la condivisione delle informazioni riduce i tempi e i costi di produzione;
- i documenti possono essere generati utilizzando differenti combinazioni di file di modello, in base alle esigenze dei Clienti e dei contratti;
- le informazioni possono essere successivamente utilizzate per la pianificazione della costruzione, la stima, la pianificazione dei costi, l'esercizio e la manutenzione.

### 1.2.1.2. Definizione del modello informativo

Il cosiddetto "Modello Informativo" consiste principalmente nella definizione e gestione dei modelli BIM prodotti dai vari Software "BIM-Oriented": standardizzazione dei diversi modelli, definizione dell'archivio delle famiglie BIM di componenti, definizione del modello, ecc.

- *traceability of revisions;*
- *support for the choice of data typology and formats;*
- *easy access;*
- *storage, updating and guarantee of confidentiality/security;*
- *in order to guarantee the correct awareness in the data/information, each model will be identified according to a specific Work-State, Coordination, Verification and Approval in the CDE: this attributes will be an option, strictly depending by the platform used for the information management (e.g. from simple file server organized in project folders, until advanced Cloud systems) and by the functionalities available.*

*The better solution is addressed to take specific advantages:*

- *automatic data coordination between the stakeholders;*
- *clear relationship between the data in terms of hierarchies ("father-sons links");*
- *automatic updates/revisions management;*
- *redundancy data reduction and the related duplication risks too;*
- *easy communication between the stakeholders through specific interfaces modules;*
- *the responsible of documents management will lead the information data flow inside the CDE, supported by the BIM Manager and by the specific Systems/Product Managers;*
- *common Data Environment.*

*The main benefits of working using a Common Data Environment CDE are:*

- *ownership of information remains with the originator, only originator can change it;*
- *shared information reduces the time and cost in producing coordinated information;*
- *any number of documents can be generated from different combinations of model files, according to the Clients needs;*
- *information can subsequently be used for construction planning, estimating, cost planning, facilities management.*

### 1.2.1.2. Information Model Definition

*The so called "Information Model" consists mainly of definition and management of the BIM models produced by various BIM Oriented Software: standardization of the different models, definition of the BIM family archive, definition of the template, etc.*

*The Operative Process Model starts from the digital baseline of the physical contexts (alignment, permanent way features, etc.) and configure the digital 3D model of all systems to be installed, linking their physical and function-*



Il Modello del Processo Operativo parte dalla “baseline” digitale dei contesti fisici (topografia, caratteristiche della via di corsa, ecc.) e configura il modello digitale 3D di tutte le tecnologie da installare, associando i requisiti fisici e funzionali alla gestione del programma di commessa, ai fornitori, alla logistica/costruzione, all’installazione, all’esercizio e alla gestione dei processi di manutenzione.

Durante tutto il ciclo di vita del progetto, il database comune è utilizzato da tutti i partecipanti coinvolti, al fine di sviluppare il proprio scopo del lavoro. Il database implementa un “modello nD” ( $n \geq 3$ ), dove il modello 3D è la rappresentazione geometrica, 4D la programmazione logistica e di costruzione, 5D i costi, nD informazioni aggiuntive. Il modello è implementato utilizzando Software specifici.

Il modello geometrico 3D contiene il tracciato dell’infrastruttura, prodotto ad esempio da specialisti di armamento ferroviario; su questa base gli specialisti delle singole tecnologie (es. Strutture Civili, Segnalamento, Trazione Elettrica, ecc.) producono i loro modelli digitali, comprensivi di tutte le apparecchiature da installare; ogni tecnologia è connessa al database dei requisiti specifici (programmazione e costi inclusi) specificati da ogni parte coinvolta (compreso ufficio acquisti). I tecnici di logistica/costruzione fanno parte della progettazione complessiva dell’impianto, in modo da organizzare le attività sul campo e la logistica.

I pilastri chiave del nostro modello sono l’implementazione della *Matrice di tracciabilità dei requisiti* e *Matrix/Registro delle interfacce nel modello digitale*: ogni componente fisico è caratterizzato da requisiti specifici (contrattuali e derivati: requisiti derivati dalla risoluzione delle interfacce). I requisiti e le interfacce sono definiti e gestiti in parallelo [21].

Il Program Manager supporta tutto il processo, organizza la programmazione integrata, definisce le tappe fondamentali, gestisce i costi, ecc. Tutto il processo viene verificato dallo specialista System Assurance and Control.

La Matrice di Tracciabilità dei Requisiti (RTM) implementa il Processo dei Requisiti. L’RTM fa parte del Modello Informativo (Pilastro 3 del processo BIM), in cui ogni componente è caratterizzato da requisiti specifici, attraverso gli attributi del SW per l’ambiente di gestione dei requisiti stessi. Il collegamento logico tra il progetto e i componenti è la PBS/WBS.

Le fasi principali del processo di gestione dei requisiti in ambiente BIM sono:

## Fase 1 - Identificazione e Analisi dei Requisiti

Identificazione e acquisizione dei Requisiti: selezione, classificazione e inclusione dei requisiti di Progetto (a livello di Sistema e di Sottosistema - oggetti digitali) nel CDE, utilizzando un SW dedicato alla gestione dei requisiti, organizzato secondo il PBS/WBS.

*al requirements to the program management, procurement, logistic/construction, installation, operation and maintenance processes delivery.*

*During all the project lifecycle, the common database is used by all the stakeholders involved, in order to develop their scope of work. It has implemented a “nD model” ( $n \geq 3$ ), where the 3D model is the physical representation, 4D the logistic/construction scheduling, 5D the costs, nD when additional information is linked. The model is implemented using specific Software.*

*The 3D geometrical model contains the infrastructure alignment, produced e.g. by Permanent Way specialized engineers; on this baseline the technologies engineers (e.g. Civil Structures, Signalling, Traction Power, etc.) have produced their digital models, including all the equipment installed; each system is linked to the specific requirements database (scheduling and costs included) evaluated by each part involved (purchase experts included). The logistic/construction engineers are part of the installation overall design, so to organize the field activities and the logistics.*

*Key-pillars of our model are the implementation of the Requirements Traceability Matrix, and the Interface Matrix/Register into the digital model: each physical component has the specific requirements (contractual and derived: requirements derived from the interfaces resolution). The requirements and the interfaces are defined and managed in parallel [21].*

*The program manager supports the process, organizes the integrated scheduling, defines the milestones, manages the costs, etc. All the process is verified by System Assurance and Control specialist.*

*The Requirement Traceability Matrix (RTM) implements the Requirements Process. RTM is part of the Information Model (Pillar 3 of the BIM process), in which each component is linked to the specific requirements, through the features of the SW for management environment of requirements. The logical link between the project and the components is the PBS/WBS.*

*The main steps of the requirements management process - BIM oriented - are:*

## Phase 1 - Requirements Identification and Analysis

*Identification of requirements (structure organization): selecting, classifying and including project requirements (at system and sub-system level - digital objects) into the CDE, using a dedicated SW for requirements management, organized according to the PBS/WBS.*

## Phase 2 – Requirements Development and Correlation

*Linking and structuring the requirements: requirements will be linked and traced in order to establish a hierarchy among them which will support the identification of an optimal set of testing activities (especially at overall system level); the top-down hierarchy moves from Contract Technical Specifications (CTS) to System Requirements Specifications (SRS), to Design Requirements (DR), to design Document Lists (DL).*

## Fase 2 - Sviluppo e correlazione dei Requisiti

Collegamento e strutturazione dei requisiti: i requisiti saranno collegati e tracciati in modo da stabilire una gerarchia tra di essi che supporterà l'identificazione di un insieme ottimale di attività di controllo (soprattutto a livello di sistema complessivo); la gerarchia "top-down" si sposta dalle Specifiche Tecniche di Contratto (CTS) alle Specifiche dei Requisiti di Sistema (SRS), ai Requisiti di Progettazione (DR), agli Elenchi dei Documenti di Progettazione (DL).

## Fase 3 - Gestione e tracciabilità dei Requisiti (Verifica dei Requisiti)

Gestione e rintracciabilità dei Requisiti: i requisiti saranno gestiti durante l'intero sviluppo del progetto, associando ciascuno di essi alla documentazione di Progetto pertinente e alle relative procedure di prova; in occasione di obiettivi specifici di progetto, i report di tracciabilità e i report V&V (Verifica e Validazione) forniranno la corrispondenza dei collegamenti tra i requisiti.

## Fase 4 - Validazione e chiusura dei requisiti

Al termine della fase di test e messa in servizio, il processo di gestione dei requisiti sarà chiuso attraverso la validazione finale dei requisiti con riferimento al completamento positivo delle attività di test e messa in servizio.

Al momento riteniamo che i software BIM non siano abbastanza maturi per essere integrati nel software di gestione dei Requisiti e, ancora una volta, i processi devono contribuire a risolvere questo problema; d'altra parte è possibile collegare le procedure di test (dalla verifica dei requisiti) come attributo dei componenti.

La gestione delle interfacce in ambito BIM assicura un processo efficace, coerente e sistematico attraverso il quale l'appaltatore può gestire e coordinare le interfacce identificando le informazioni da scambiare, i risultati e le azioni in modo da mitigare ogni potenziale impatto sul programma di Progetto, rispettare le date di completamento delle tappe fondamentali e di fornire un sistema pienamente integrato, funzionale e operativo secondo le condizioni e le specifiche del Contratto.

I documenti relativi alle interfacce sono formalizzati nell'Interface Control Document (ICD) (parte del Modello Informativo) collegato agli oggetti digitali in cui l'interfaccia specifica deve essere risolta.

Un ICD è formalizzato come documento di testo digitale, con schede informative allegate, e farà riferimento ad altri documenti quando necessario. Questo documento è un formato 2D allegato al modello digitale e memorizzato nel CDE.

L'interfaccia sarà considerata chiusa solo quando tutte le parti interessate avranno raggiunto un accordo comune, formalizzato da una "firma elettronica<sup>(7)</sup>", sull'ICD, dei rappresentanti dei progettisti di tutte le parti coinvolte.

<sup>(7)</sup> Valutazione digitale equivalente alla firma.

## Phase 3 – Requirements Management and Tracing (Requirements Verification)

*Management and Tracing of requirements: requirements will be managed throughout the project development by tracing each of them to the relevant design documentation and to the relevant testing procedure; at specific project milestone, Traceability Reports and V&V (Verification and Validation) Reports will provide evidence of the links among requirements.*

## Phase 4 – Requirements Validation and Closing-out

*At the end of the test and commissioning phase, the requirements management process will be closed through final validation of requirements by reference to successful completion of testing and commissioning activities.*

*At the moment we believe BIM software is not enough mature to be integrated to the requirements management software so, again, the processes have to completely solve this issue; by the other hand it is possible to link the test procedures (coming out from Requirement Verification) as attribute of the components.*

*The Interface Management BIM-implemented ensures an effective, consistent and systematic process by which the Contractor can manage and coordinate interfaces by identifying the interface points, engineering deliverables and the actions so to mitigate any potential impact to the Project program, in order to meet the key milestone completion dates and to deliver a fully integrated, functional and operational system as per the Contract conditions and specifications.*

*The interfaces documents are formalized in the Interface Control Document (ICD) (part of the Information Model) linked to the digital objects where the specific interface has to be solved.*

*An ICD is formalized as a digital text document, with history sheets attached, and will refer to other documents when necessary. This document is a 2D-format attached to the digital model and stored in the CDE.*

*The interface issue will be considered closed only when all parties involved have reached a common agreement as testified by an "e-signatures<sup>(7)</sup>", on the ICD, of the design representatives of all parties involved in the resolution of the interface issue. When the ICD is closed, the history sheet (or sheets) will record all the steps that have led to the final agreement. At each intermediate step, the history sheet will report who has the responsibility of the following step and its deadline. Our process, BIM harmonized, consists of three main steps:*

### Step 1 - Interface identification:

- interfaces identification and codification;
- interfaces settlement via their recording in an adopted software tool - BIM oriented.

<sup>(7)</sup> Digital assessment equivalent to the signature.

te nell'interfaccia. Quando l'ICD è chiuso, la scheda informativa (o schede) registrerà tutte le fasi che hanno portato all'accordo finale. Ad ogni fase intermedia, la scheda informativa riporterà chi ha la responsabilità della fase successiva e la sua scadenza. Il nostro processo orientato al contesto BIM, si compone di tre fasi principali.

## Fase 1 - Identificazione dell'interfaccia:

- identificazione e codifica delle interfacce;
- registrazione delle interfacce in uno strumento software specifico in ambiente BIM.

## Fase 2 - Definizione dell'interfaccia:

- pianificazione delle interfacce, definito in base al programma generale di gestione delle interfacce e alle esigenze del progetto;
- classificazione delle interfacce;
- definizione/descrizione dell'interfaccia nel documento dedicato;
- identificazione dei requisiti dell'interfaccia: consiste nel definire tutti i dati o le informazioni necessarie per risolvere l'interfaccia fornendo, nel caso, specifiche di progettazione dedicate. I requisiti dell'interfaccia devono essere registrati e documentati negli ICD/DID<sup>(8)</sup>.

## Fase 3 - Risoluzione dell'interfaccia:

- risoluzione di ogni questione in sospeso riguardante l'interfaccia;
- verifica della conformità del progetto ai requisiti di interfaccia;
- chiusura degli ICD/DID.

### 1.2.1.3. Validazione BIM

La Validazione BIM, come elemento del processo generale di verifica e validazione del ciclo di vita del progetto, è un'attività chiave dell'intero processo BIM.

La validazione BIM consiste in una prima analisi del modello digitale al fine di verificarne il contenuto dei dati, i contenuti geometrici e alfanumerici. L'obiettivo della fase di Validazione BIM è di assicurare che il modello digitale sia coerente con gli input di progettazione e sufficientemente affidabile per procedere con l'analisi basata sul BIM.

I Clienti svolgono un ruolo fondamentale nel processo BIM: collaborano ed agiscono come una sorta di co-autore del lavoro e, allo stesso modo, fortemente coinvolti nel processo di Validazione BIM - principalmente per verificare il corretto utilizzo dei metodi di scambio dati e l'aderenza tra i Capitolato Informativo (EIR) e il Livello di Dettaglio del modello digitale (LOD).

L'impegno del Cliente e dei progettisti nella fase di Validazione BIM si traduce quindi in un modello digitale coerente con le esigenze del Cliente per una soluzione

## Step 2 - Interface definition:

- *interfaces Schedule, defined for each interface according to the interface management overall programme and the project needs;*
- *interface classification;*
- *definition/description of the interface in the dedicated document;*
- *interface requirements Identification: it consists in defining all the input data or information needed to solve the interface by providing, in case, dedicated Design Specifications. Interface requirements shall be recorded and documented in the ICD/DIDs<sup>(8)</sup>.*

## Step 3 - Interface resolution:

- *resolution of each pending issue regarding the interface;*
- *verification of the design compliance with the interface requirements;*
- *closure of the ICD/DIDs.*

### 1.2.1.3. BIM validation

*BIM Validation, as an element of the general Verification and Validation process of the project life cycle, is a key activity of the overall BIM Process.*

*BIM validation consists in an initial analysis of the digital model in order to check its data content, geometric and alphanumeric contents. The objectives of the BIM Validation phase is to ensure the digital model is consistent with the design inputs and reliable enough to proceed with following BIM-based analysis.*

*Clients in BIM Process plays a vital role: they originate the process and act as a sort of co-author of the job and, in the same way, strongly involved into the BIM Validation process - mainly to verify the correct use of the exchange data methods and the adherence between the Employer's Information Requirements (EIRs) and the digital model Level of Detail (LOD).*

*Efforts of both Client and designers in BIM Validation phase result in a digital model consistent with Client's requirements that contains an optimal design solution able to support both the cost analysis and the construction program of the project.*

*BIM Validation is performed many times issuing the digital model during the so called checkpoints; this way potential flaws are early detected guaranteeing a realizable performance in succeeding applications and achieving a fully coordinated Information Management.*

*The Quality Assurance (QA) process will be used by the Client to verify the presence of all the alphanumeric attributes required in the EIRs<sup>(9)</sup> and developed in the BIM Execution Plan.*

<sup>(8)</sup> Document Interface Detailed.

<sup>(9)</sup> Employer Information Requirements: Client requirements specification related to the digital model, its attributes, and level of detail.

<sup>(8)</sup> Interfaccia del documento dettagliata.



progettuale ottimale in grado di supportare sia l'analisi dei costi che il programma di costruzione del progetto.

La validazione BIM viene eseguita più volte qualificando il modello digitale durante i cosiddetti "check-point"; in questo modo si rilevano tempestivamente i potenziali difetti, garantendo una performance realizzabile nelle applicazioni successive e ottenendo un efficace coordinamento e gestione delle informazioni.

Il processo di "Quality Assurance" (QA) sarà utilizzato dal Cliente per verificare la presenza di tutti gli attributi alfanumerici richiesti nelle EIR<sup>(9)</sup> e sviluppati nel BIM Execution Plan.

## 1.2.1.3.1. Clash Detection

L'incoerenza geometrica del progetto è un evento frequente che coinvolge diverse discipline: tipicamente le "sovrapposizioni" tra i componenti (oggetti appartenenti a diversi ambiti) si verificano quando i relativi progetti non sono ben integrati. Il BIM fornisce un modo efficiente per integrare diversi piani e rilevare quindi i conflitti.

Il rilevamento delle interferenze ("Clash Detection") è un'applicazione oramai comune del modello digitale BIM e consiste in un'analisi di coerenza geometrica e spaziale: l'ambiente BIM permette di effettuare tali analisi in breve tempo e facilmente.

Tipicamente lo strumento di Verifica del Modello è in grado di rilevare, distinguere e classificare le interferenze geometriche del modello digitale.

Il BIM Execution Plan definisce le diverse classi di interferenza in base a diversi gradi di severità: es. i conflitti tra i MEP<sup>(10)</sup> e gli elementi strutturali e architettonici, richiedono un diverso approccio da affrontare.

La Clash Detection viene eseguita essenzialmente in due fasi: il progettista rileva l'interferenza della sua area di competenza ottenendo una prima validazione BIM delle caratteristiche geometriche dei modelli della propria disciplina; successivamente nel Modello Integrato verrà applicata una regola per individuare le interferenze interdisciplinari.

Ad esempio, utilizzando uno strumento di controllo del Modello basato su regole impostate, è possibile verificare la distanza tra gli oggetti per determinare se la tolleranza minima (installazione/manutenzione) è rispettata per i diversi componenti [21].

## 1.2.1.3.2. Code Checking

Il "Code Checking" è un particolare tipo di Verifica BIM in cui il modello digitale è validato confrontando il modello stesso con le normative e i codici appartenenti ai requisiti del Progetto.

La costruzione di infrastrutture è regolata da molti Regolamenti, Norme locali e internazionali: le informa-

<sup>(9)</sup> Capitolato Informativo: Specifiche dei requisiti del cliente relative al modello digitale, ai suoi attributi e al livello di dettaglio.

<sup>(10)</sup> MEP: Mechanical Electrical Plants - Impianti Elettromeccanici.

## 1.2.1.3.1. Clash Detection

*Geometrical design inconsistency is a frequent event involving plans of different disciplines: typically overlaps between components (belongings at different items) happens when the related design are integrated. BIM provide an efficient way to integrate different plans and detect the clashes.*

*Clash detection is a common application of the digital model result of the BIM process and consists in a geometrical and spatial consistency analysis: BIM environment permits such analysis to be performed in a short time and with small effort.*

*Typically Model Checking tool are able to detect, distinguish and classify the geometrical interferences of the digital model.*

*BIM Execution Plan defines the different classes of the interference according with different degrees of severity: clashes between MEP<sup>(10)</sup> and structural and architectural elements, require different approach to be dealt.*

*Clash Detection is performed in two steps: the designer detects interference of his competence area obtaining a BIM Validation (of the geometric characteristics of the single discipline models) firstly then a desired rule-set will be applied in the Merged Model to find out interdisciplinary clashes.*

*For example, using a Rule-based Model Checking tool is possible to verify the distance between objects to determine if the minimum tolerance (installation/maintenance-wise) is respected for the different components in a building [21].*

## 1.2.1.3.2. Code Checking

*Code checking is a particular type of BIM Verification where the digital model is validate by comparing the model itself with the regulations and codes belonging to the Project requirements.*

*Construction of infrastructures is regulated by many local and international Rules and Laws: the relevant information included in those documents can be translated into parametric rules by mean of a semantic reading/interpretation system. A rule-based control system can be used to check them.*

*Results of the Code checking process can be "pass", "fail", "warning", and "unknown" (in case of incomplete or missing data). To support an automatic analysis, the Building Information Model have to be completed with specific information not usually generated by the BIM Authoring platforms what instead occurs with geometric characteristics and dimensions.*

*Typically Rule-based Model Checking process is organized into four main phases:*

- rule interpretation;

<sup>(10)</sup> MEP: Mechanical, Electrical Plumbing.



zioni rilevanti contenute in questi documenti possono essere tradotte in regole parametriche attraverso un sistema di lettura/interpretazione semantica. Un sistema di controllo basato su regole può quindi essere utilizzato per controllare i progetti.

I risultati del processo di Code Checking possono essere *pass*, *fail*, *warning* e *unknown* (in caso di dati incompleti o mancanti). Per supportare un'analisi automatica, il BIM deve essere completato con informazioni specifiche che non sono di solito generate dalle piattaforme BIM al contrario di ciò che invece avviene per le verifiche geometriche.

Tipicamente il processo di Verifica del Modello basato su regole è organizzato in quattro fasi principali:

- interpretazione delle regole;
- preparazione del Modello BIM;
- esecuzione delle regole;
- comunicazione delle regole.

Al momento non abbiamo usato un automatismo nel processo di Code checking [21].

## 1.2.1.3.3. Gestione della configurazione

Lo scopo della gestione della configurazione è quello di determinare e seguire gli elementi di configurazione e il loro stato di revisione. La gestione della configurazione è uno degli strumenti che permette al coordinamento del progetto di tracciare in continuità gli elementi di configurazione a partire dalla progettazione preliminare fino all'ultima validazione funzionale e all'esercizio.

L'approccio alla gestione della configurazione BIM passa essenzialmente attraverso la identificazione degli componenti di progetto, la gestione della relativa documentazione, e la designazione delle responsabilità del committente, degli appaltatori e dei subappaltatori, in modo da controllare la coerenza di quanto progettato con l'esecuzione del progetto stesso. Il contenuto include il controllo e il coordinamento dei documenti, il controllo e il coordinamento delle modifiche, le revisioni e il controllo e coordinamento delle interfacce.

Il nostro modello di processo per gestire la configurazione<sup>(11)</sup> in BIM, si concentra principalmente sui seguenti punti chiave:

<sup>(11)</sup> Per identificazione della configurazione si intende impostare e mantenere delle linee di base (che definiscono il Sistema, i sottosistemi, le apparecchiature) in qualsiasi momento del ciclo di vita del progetto. A seconda della fase del ciclo di vita del sistema, saranno progressivamente stabilite diverse linee di base.

In generale, l'Identificazione della configurazione sarà selezionata tenendo conto:

- la loro rilevanza nell'ambito del Progetto;
- la loro criticità in termini di alto rischio, sicurezza, ecc;
- le tecnologie nuove o modificate;
- le interfacce con altri sottosistemi;
- la loro suscettibilità ai cambiamenti;
- l'integrazione di elementi progettati / forniti da altri soggetti-appaltatori.

- *building model preparation*;
- *rule execution*;
- *rule reporting*.

*Right now we are not using any automatism in Code checking process [21].*

## 1.2.1.3.3. Configuration Management

*The purpose of configuration management is to determine and to follow up the configuration items and their review status. Configuration management is one of the tools (considered for the execution of the engineering work or project management) which allows the management to continually track the configuration items from preliminary design until the last functional validation and operation.*

*The approach to the BIM configuration management is through structuring of work, determining the work items and submittal documents, and designating responsibilities into that of the Employer, Contractors and subcontractors, so as to control the consistency of the system in the project execution. The content includes document control and coordination, change control and coordination, design review and interface control and coordination.*

*Our process model to manage the configuration<sup>(11)</sup> in BIM, is mainly focused on the following key-points:*

- *Product Break-Down Structure (PBS) Definition*;
- *product allocation to the Technological Sites (e.g. station, tunnel, depot, etc.);*
- *baseline definition and "Freezing": technical documents related to the PBS;*
- *formal Change Managements;*
- *Configuration Audits.*

*The typical outcome is:*

- *project PBS;*
- *baseline documents and configuration status;*
- *audits reports: functional and physical.*

*The CDE Authoring software typically keeps track of the previous versions of the single model and let possible to navigate between the different configurations that the design already had in his history (Fig. 5).*

<sup>(11)</sup> Configuration identification means setting and maintaining baselines (which define the System, subsystems, equipment) at any point time during the project life cycle. Depending on the system life cycle phase, different baselines will be progressively established.

In general, Configuration Identification will be selected taking into account:

- *their relevance within the Project scope;*
- *their criticality in terms of high risk, safety, etc;*
- *the new or modified technologies involved;*
- *the interfaces with other subsystems;*
- *their susceptibility to changes;*
- *the integration of items designed / supplied by other contractors.*

- definizione della struttura di prodotto (PBS - Product Break-Down Structure);
  - allocazione delle tecnologie ai siti (es. stazione, tunnel, deposito, ecc.);
  - definizione del Baseline: documenti tecnici relativi al PBS;
  - gestioni delle modifiche formali;
  - verifiche di configurazione.
- Il risultato tipico è:
- PBS di progetto;
  - documenti di base e stato della configurazione;
  - rapporti di audit: Funzionali e fisici.

Il Software di Authoring CDE tiene tipicamente traccia delle versioni precedenti del singolo modello e permette di navigare tra le diverse configurazioni che il progetto aveva già nella sua storia (Fig. 5 - Tracciamento della configurazione).

## 2. Impatti sull'organizzazione del gruppo di progetto esistente

La nostra esperienza nell'implementazione di questo progetto pilota ha evidenziato che l'organizzazione principale del progetto è influenzata solo marginalmente dall'implementazione del modello di processo BIM.

La figura seguente mostra un confronto con/senza implementazione del BIM (Figg. 6-7).

Il team di progetto cambia solo marginalmente a causa dell'implementazione del BIM. I ruoli chiave non sono influenzati; la differenza consiste nell'utilizzo dei soli strumenti SW aggiornati per i modelli digitali in luogo dei documenti "tradizionali" e degli strumenti di gestione dei contratti. I progettisti non sono sostituiti da specialisti del BIM: essi ricopriranno il ruolo di specialisti del BIM dopo il miglioramento delle loro competenze, secondo i nuovi processi e strumenti messi a disposizione dalla tecnologia.

Possiamo solo suggerire di aumentare le competenze del team fornendo un supporto specifico del BIM durante le prime fasi di implementazione.

Come già accennato, uno degli obiettivi del processo di implementa-

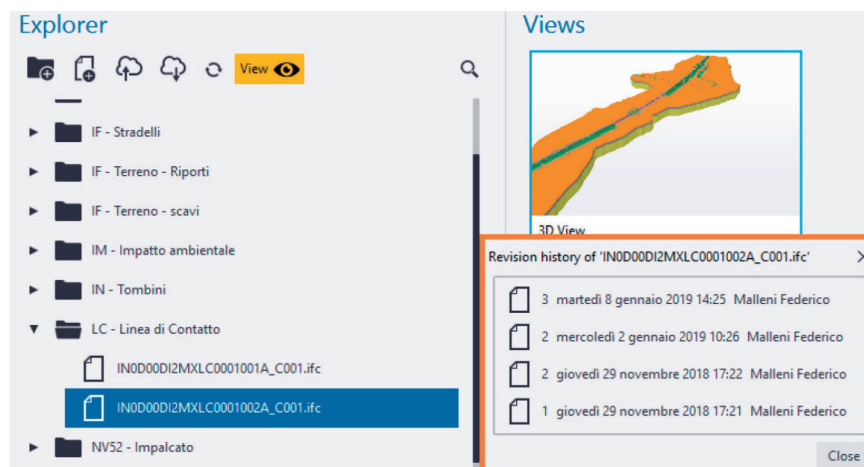


Fig. 5 - Tracciamento della configurazione.

Fig. 5 - Configuration Tracking.

## 2. Impacts on the existing project team organization

*Our experience implementing this Pilot Project highlighted that the main organization of the project is only marginally affected due to the BIM Process Model implementation.*

*The following picture shows a comparison with/without BIM process implementation (Figs. 6 and 7).*

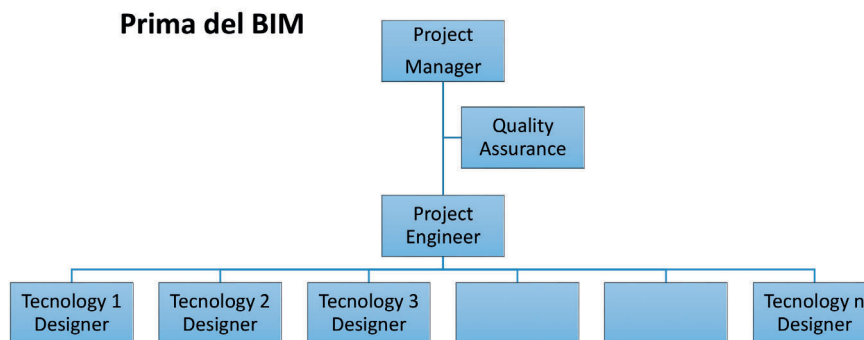


Fig. 6 - Tipica organizzazione del progetto prima del BIM.

Fig. 6 - Typical Project Organization before BIM.

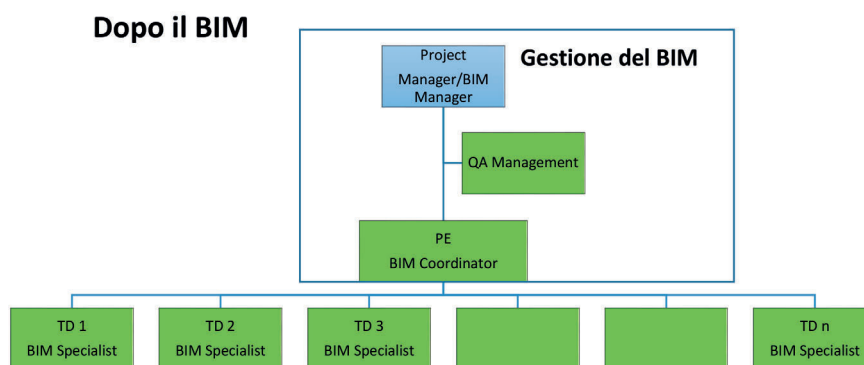


Fig. 7 - Tipica organizzazione del progetto con BIM.

Fig. 7 - Typical Project Organization with BIM.

zione del BIM nelle nostre Aziende è stato quello di ridurre il più possibile le interferenze tra i processi consolidati e gli strumenti utilizzati dalle specifiche tecnologie: il progettista mantiene il proprio processo di progettazione e utilizza strumenti e software di progettazione consolidati, ma aggiornati al BIM, mantenendo il proprio know how e quello dell'Azienda.

I risultati di ogni processo di progettazione tecnologica sono stati integrati tra loro all'interno del modello BIM complessivo, attraverso formati di file consolidati (ad esempio i file .DWG sono stati utilizzati per condividere geometrie tra diverse tecnologie), formati di dati neutri e non proprietari (abbiamo utilizzato la specifica Industry Foundation Classes IFC<sup>(12)</sup>) e piattaforme di integrazione. Questa strategia è stata scelta anche per ridurre la dipendenza del processo di modellazione BIM dai prodotti commerciali e dalle software house.

Abbiamo utilizzato un'ampia gamma di SW, per valutare quante informazioni vengono perse (attributi e caratteristiche geometriche) durante lo scambio di modelli grafici nella piattaforma. Confermiamo che l'interoperabilità è possibile, ma è obbligatorio continuare lo sviluppo di IFC, con particolare riguardo alla progettazione delle infrastrutture. Sugeriamo di sviluppare nuove entità IFC focalizzate alla infrastruttura ferroviaria e di implementare le informazioni secondo le geometrie complesse che la caratterizzano (che non sono le stesse entità che caratterizzano usuali elementi come pilastri, travi, ecc.).

## 3. Principali risultati e discussione

### 3.1. Programmazione visiva

La principale difficoltà incontrata nella realizzazione del modello digitale di un'infrastruttura lineare consiste nel fatto che le singole componenti sono correlate tra loro in modo semplice.

Un'infrastruttura lineare tradotta in un modello digitale deve attingere infatti a regole più complesse rispetto, ad esempio, a un edificio comune. In un edificio, la posizione parametrica degli oggetti può essere infatti facilmente collegata ad un unico punto (es. piano terra - fondazioni), mentre per un'infrastruttura lineare abbia-

*The project team changes only marginally due to BIM implementation. The key roles are not affected; the difference consists only using the updated SW tools for digital models instead of the "traditional" documents and contract management tools. The designers/engineers are not replaced by BIM specialists: they will cover the BIM specialist role after improvement of their skills, according to the new process and tools.*

*We can only suggest to increase the team knowledge with a specific BIM support during the first stage implementation (according to the Quality Management activities).*

*The BIM implementation process target has been to reduce as much as possible the interferences between the consolidated processes and the tools of the specific technology: the designer maintain his own design process and uses consolidated design tools and software (BIM updated-oriented) preserving its Company know how/how to.*

*Deliverables (of each technology design processes) have been integrated each another within the overall BIM model, by means of consolidated file formats (for example .DWG files has been used to share geometries between different Technologies), non-proprietary data formats (we used the Industry Foundation Classes IFC specification<sup>(12)</sup>) and integration platforms. This strategy was also selected in order to reduce the BIM modelling process dependency on a software house cluster of commercial products and "philosophy".*

*We used a wide range of SW, in order to assess how many information are lost (attributes and geometrical characteristics) during the graphic models exchange in the platform. We confirm that the interoperability is possible, but it is mandatory to continue the IFC development, mainly focused on the infrastructures design. We suggest in particular to develop new IFC entities focused on the railway infrastructure and to implement the information according to the complex geometries (not the same entities like the pillars, beams, etc.).*

## 3. Main Results and Discussion

### 3.1. Visual Programming

*The main difficulty found in building the digital model of a linear infrastructure is that the individual components are merely related one to the other.*

<sup>(12)</sup> Formato IFC = Industry Foundation Classes (IFC) è un modello di dati dedicato in particolare all'industria edile e delle costruzioni. Si tratta di una specifica di formato di file aperto e neutrale rispetto alla piattaforma che non è controllata da un singolo fornitore o da un gruppo di fornitori. Si tratta di un formato di file basato su oggetti, con un modello di dati sviluppato da SMART (ex International Alliance for Interoperability, IAI) per facilitare l'interoperabilità nell'industria dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC), ed è un formato di collaborazione comunemente usato nei progetti basati su Building information modeling (BIM). La specifica del modello IFC è aperta e disponibile. È registrato dall'ISO ed è uno standard internazionale ufficiale ISO 16739:2013.

<sup>(12)</sup> IFC format = Industry Foundation Classes (IFC) data model is intended to describe building and construction industry data. It is a platform neutral, open file format specification that is not controlled by a single vendor or group of vendors. It is an object-based file format with a data model developed by building SMART (formerly the International Alliance for Interoperability, IAI) to facilitate interoperability in the architecture, engineering and construction (AEC) industry, and is a commonly used collaboration format in Building information modeling (BIM) based projects. The IFC model specification is open and available. It is registered by ISO and is an official International Standard ISO 16739:2013. (Wikipedia).



mo una variazione continua dei punti fissi lungo la linea [22].

Per spiegare meglio il concetto si consideri, ad esempio, ancora una volta la progettazione di un edificio: non appena viene definita la sua posizione nell'area di costruzione, restano da definire solo limitate relazioni con l'ambiente esterno. Considerando invece una infrastruttura lineare, ogni componente, anche se piccolo come ad es. una canalina per cavi o una boa di segnalamento, deve essere messo in relazione con gli altri attraverso un riferimento comune: nel settore ferroviario un riferimento comune per un ampio numero di elementi può essere l'asse dei binari.

Analizzando un caso specifico, ad esempio ancora la digitalizzazione della canalina per cavi, ma anche la catenaria di trazione, non è pensabile il posizionamento manuale rispetto al sistema comune di riferimento (i binari) ottenendo al contempo la precisione appropriata utile per valutare la presenza di conflitti o il rispetto di requisiti specifici: ad esempio per un elemento di canalina cavi lungo 0,5 m che significa che, in un modello digitale lungo un chilometro, devono essere posizionati 2000 elementi in una posizione specifica.

Dall'esperienza che abbiamo sviluppato, abbiamo capito che il modo corretto per risolvere i problemi di posizionamento nelle infrastrutture lineari è l'uso della programmazione parametrica utilizzando tecniche di programmazione visiva: la programmazione visiva, infatti, rende possibile implementare relazioni geometriche tra le parti di un disegno.

Come risultato finale abbiamo pertanto parametrizzato tutti quei componenti parametrizzabili rispetto all'asse binari tramite opportune regole parametriche, al fine di risolvere i limiti del singolo software di authoring.

La Fig. 8 mostra un esempio di una specifica subroutine SW, da noi progettata (*Computational Design*), in un ambiente di sviluppo SW BIM, al fine di avere i collegamenti parametrici tra l'allineamento della rotaia e le canaline per cavi, le recinzioni, le strade di servizio, ecc. lungo la linea stessa.

Questa strategia ha avuto come risultato anche la minimizzazione delle attività di rilavorazione: in generale infatti un cambiamento dello sviluppo dell'asse della rotaia comporta la generazione automatica del modello digitale modificato utilizzando il codice di programmazione visiva.

Modificando i parametri di programmazione visiva, è stato possibile generare diverse soluzioni conformi ai criteri di progettazione, riducendo lo sforzo di progettazione e ottimizzando i cicli ripetitivi.

*A linear infrastructure translated in a digital model using more complex rules (compared e.g. to a common building). In a building, the parametric position of the objects can be easily linked to a single point (e.g. the ground floor – foundations), while for a linear infrastructure we have a continuous variation of the fixed points along the line [22].*

*To better explain the concept consider, for example, the design of a building: as soon as is defined its position in the area of the construction just limited relation with the external environment remain. Considering a linear infrastructure each component, even if smaller as an element of a cable duct, is related each other by mean a common reference: in railway a common reference for a wide number of elements are the axis of the tracks.*

*Taking into consideration a specific case, for example the digitalization of the cable duct, (and the conductor of the traction power catenary too), is not possible manual positioning of the component with regard to a common reference frame (the track) and achieving the appropriate precision to evaluate the presence of clashes or the respect of specific requirements: e.g. element for cable duct is 0,5 m long that means that, in a kilometer long digital model, have to be positioned 2000 element in a specific position.*

*We understood the correct way to solve positioning issues in linear infrastructure is the use of parametric programming using visual programming technics: visual programming, in fact, makes possible implement geometric relationships between the parts of a design.*

*As final result we parametrized all the systems linked to the alignment axis through parametric rules, in order to solve the limits of the single authoring software.*

*The Fig. 8 shows an example of a specific SW subroutine, designed by us (Computational Design), in a BIM SW developing environment, in order to permit the parametric links between the rail-alignment and the cable ducts, the fences, the service roads, etc. along the line.*

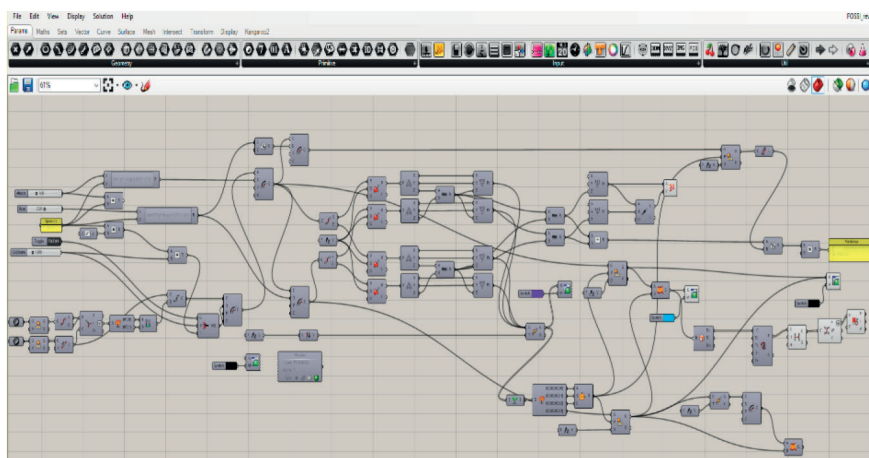


Fig. 8 - Esempio di modellazione visiva.

Fig. 8 - Visual Modelling Example.



## 3.2. Sviluppo del modello informativo

Come già accennato nei paragrafi precedenti, per ogni tecnologia abbiamo utilizzato un SW specifico, conforme alle norme e alle migliori pratiche delle nostre aziende per verificare la possibilità di introdurre il BIM nella nostra organizzazione senza profondi cambiamenti all'organizzazione stessa.

Utilizzando questa strategia abbiamo potuto testare il SW, alcune capacità di interoperabilità delle piattaforme, migliorare i processi e risolvere le interfacce che richiedono al processo stesso e al processo di gestione delle interfacce la soluzione ai limiti dei singoli software.

Nella Tabella 1 è riassunto l'elenco dei principali SW utilizzati durante questo progetto pilota.

La Fig. 9 mostra il "core" del nostro modello digitale integrato multidisciplinare.

Come anticipato, per avere il miglior modello integra-

*This strategy also permits result the minimization of the reworking activities: changes in the axis of the rail comports the automatic generation of the amended digital model using the visual programming code.*

*Modifying the visual programming parameters, it has been possible to generate several solutions compliant to the design criteria, reducing the design effort and optimizing repetitive loops.*

## 3.2. Developing the Information Model

*As previously mentioned, for each topic we used a specific SW, compliant to the norms and best practices of our Companies in order to verify the possibility to introduce BIM process in our organization without deep changes in the organization.*

*Using this strategy we have been able to test the SW, some platforms interoperability capabilities, improve the*

Tabella 1 – Table 1

Tipologia SW  
SW Typology

Argomento principale <i>Main Topic</i>	Attività <i>Activity</i>	Software	Compatibilità dei formati aperti <i>Open formats compatibility</i>
Progettazione strutturale e dimensionamento dei componenti <i>Structural Design and components Sizing</i>	Modelli BIM <i>BIM Models</i>	Calcolo ad elementi finiti 3D modello di calcolo BIM-oriented <i>3D finite elements calculation model BIM Oriented</i>	IFC 2x3, 4
	Computo metrico <i>Bill of Quantities</i>	Orientato agli oggetti del database <i>Database objects oriented</i>	IFC 2x3, 4, XML
Modelli di sistemi tecnologici <i>Technological Systems Models</i>	Modelli BIM <i>BIM Models</i>	Progetto e dimensionamento 3D BIM-Oriented <i>3D design and sizing BIM Oriented</i>	IFC 2x3, 4
	Computo metrico <i>Bill of Quantities</i>	Orientato agli oggetti del database <i>Database objects oriented</i>	IFC 2x3, 4, XML
Tracciato ferroviario <i>Railway Alignment</i>	Modelli BIM <i>BIM Models</i>	Progetto e dimensionamento 3D BIM-Oriented <i>3D design and sizing BIM Oriented</i>	IFC 2x3, 4, LandXML
	Computo metrico <i>Bill of Quantities</i>	Orientato agli oggetti del database <i>Database objects oriented</i>	IFC 2x3, 4, XML
Ambiente dati comune <i>Common Data Environment</i>	Gestione <i>Management</i>	Piattaforma di condivisione degli oggetti 3D BIM-Oriented <i>Integration Platform 3D objects BIM Oriented</i>	IIFC 2x3, 4, BCF
Validazione BIM <i>BIM Validation</i>	Aggregazione dei modelli <i>Models aggregation</i>	Piattaforma di condivisione degli oggetti 3D BIM-Oriented <i>Integration Platform 3D objects BIM Oriented</i>	IFC 2x3, 4, BCF
	Clash Detection <i>Clash Detection</i>	Piattaforma di condivisione degli oggetti 3D BIM-Oriented <i>Integration Platform 3D objects BIM Oriented</i>	IFC 2x3, 4, BCF

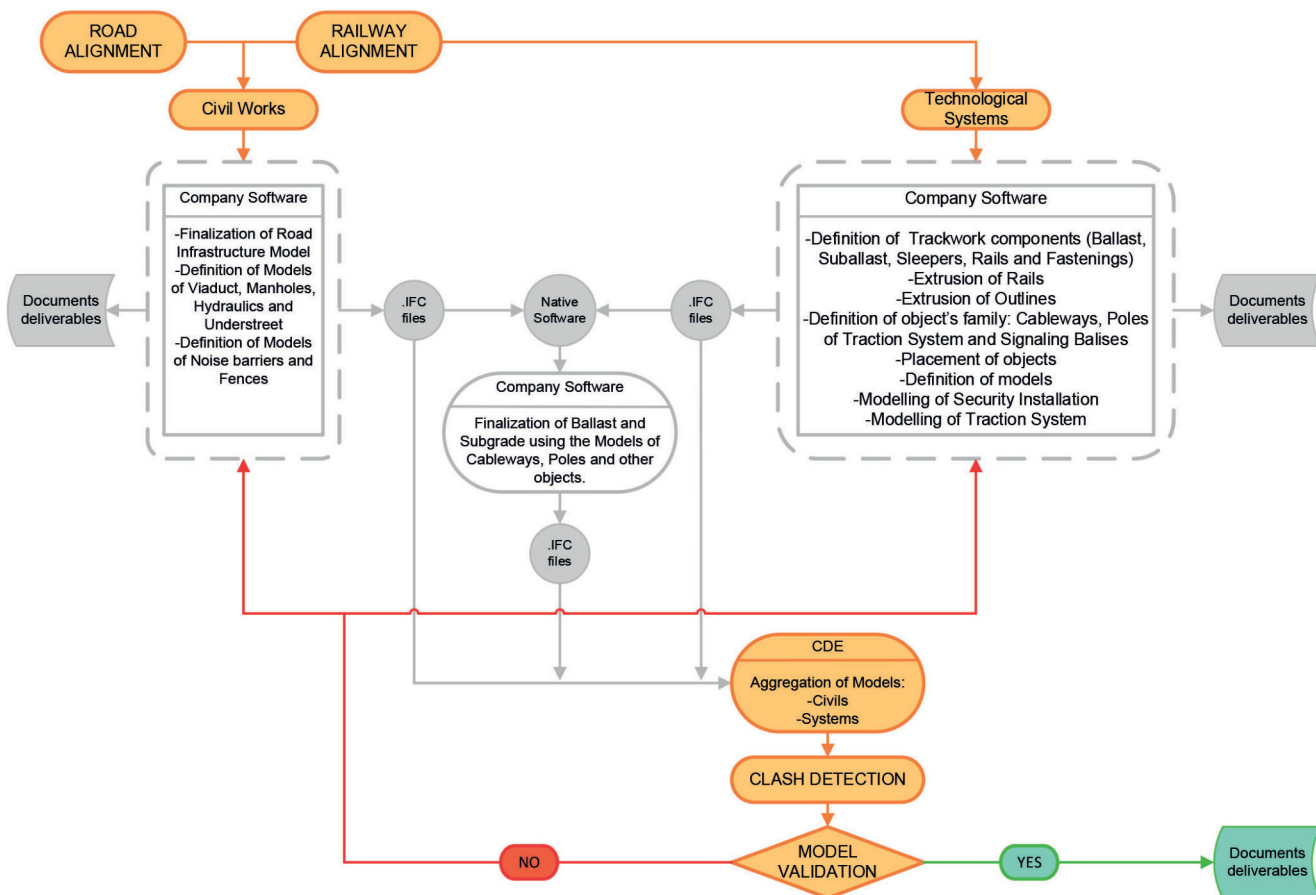


Fig. 9 - Modello di processo di integrazione.  
Fig. 9 - Integration Process Model.

to, siamo partiti dall'allineamento topografico comune (fornito dallo specialista dell'armamento ferroviario) e sono stati posizionati in conformità gli elementi di Opere Civili e Sistemi tecnologici.

Prima di ottenere il modello finale abbiamo dovuto implementare alcuni cicli di iterazione progettuale, tornando al software nativi di ogni tecnologia fino alla completa validazione del modello integrato.

Tutti i dati scambiati sono stati implementati attraverso i file in formato IFC, nell'ambiente e piattaforma comune.

La documentazione finale, conforme alle esigenze del Cliente/Valutatore, è stata prodotta utilizzando il software nativo di ogni tecnologia.

### 3.3. Validazione del modello BIM

La logica di Validazione del modello si basa sull'elaborazione di un metodo specifico, che consiste in diverse fasi come di seguito indicato.

Il primo controllo effettuato è stato finalizzato ai modelli di ciascuna delle tecnologie coinvolte (modelli cosiddetti "individuali").

processes and solve the interfaces demanding to the process itself and to the interface management process to solve limitations of the single software.

In the following Table 1 it is summarized the list of main SW used during this pilot project.

The following picture shows the core of our multidisciplinary digital integrated model (Fig. 9).

As previously mentioned, in order to have the better integrated model, we started from the common topographical alignment (supplied by the railway alignment specialist) and Civils/Systems items were positioned in accordance.

Before getting the final model we had to implement some design loops, coming back to the native software of each technology until the complete validation integrated model.

All the data-exchanged were implemented through the IFC format-files, in the common platform environment.

The final documentation, compliant to the Client/Assessor needs, was produced using the native software of each technology.

Questa fase di verifica è stata fatta guardando il modello 3D da diverse angolazioni e sezioni, quindi contrassegnando gli errori (da risolvere) o semplicemente le segnalazioni di incongruenze. Il controllo utilizzato è un processo parzialmente automatico con un alto grado di trasparenza. Non c'è bisogno di programmare regole avanzate, ma applicare solo di "filtri" per controllare le informazioni rilevanti.

Per ogni tecnologia abbiamo utilizzato un SW specifico conforme alle norme e alle migliori pratiche delle nostre Aziende.

Sono stati inclusi tutti i singoli modelli verificati [e validati secondo i requisiti in fase di progettazione] nella piattaforma di condivisione, al fine di aggregarli. Una volta fusi nel modello di collaborazione interdisciplinare, abbiamo eseguito la completa cosiddetta "clash detection", con l'obiettivo di verificare che i contenuti fossero conformi ai requisiti, e rilevare al contempo le "criticità fisiche".

I controlli sul modello aggregato hanno prontamente identificato queste criticità, un esempio nella Fig. 10:

- georeferenzamento errato di alcuni modelli;
- progettazione errata delle fondazioni di pareti portanti;
- compenetrazione di parti di modelli (ad es. tra ballast e terreno, tra ponti in acciaio e calcestruzzo, tra le condotte pluviali e la struttura del ponte in acciaio, ecc.);

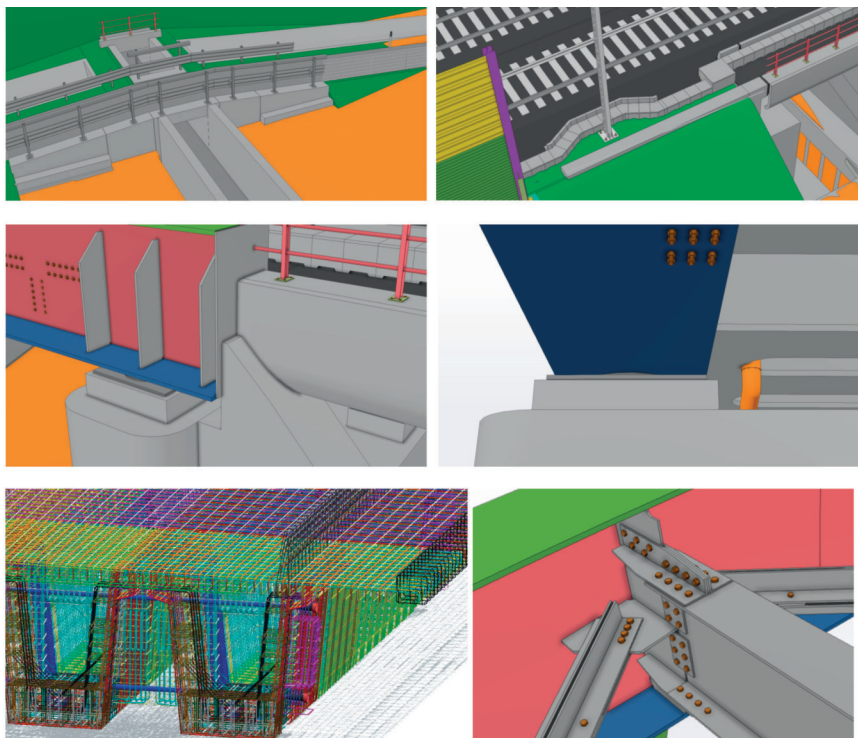


Fig. 10 - Esempi di conflitti.  
Fig. 10 - Clashes Examples.

### 3.3. BIM Model Validation

*The logic of a model validation is based on processing a specific method, which consists of different checking phases.*

*The first check carried out was finalized to the models of each of the technology involved ("individual" models).*

*This checking phase was made by looking at the 3D model from different angles and sections, and then marked whether this is a failure (to be solved) or just an over-reporting. The checking procedures considered is a partial-automatic process with a high degree of transparency in the checking process. There is no need for programming of advanced rules, just "filters" for checking relevant information.*

*For each topic we used a specific SW compliant to the norms, and best practices of our Companies.*

*All the individual models verified [and validated as per requirements during design phase] into the sharing platform have been included, in order to aggregate them. Once upon merged in the interdisciplinary collaboration model, we performed the complete "clash detection". The goals were to verify that the contents were complaints to the requirements, and detect the "physical criticalities".*

*Checks on the aggregate model have identified these critical issues, as per the picture below (Fig. 10):*

- incorrect geo-referencing of some models;
- incorrect designing of supporting walls foundations;
- interpenetration of parts of models (e.g. between ballast and soil, between steel and concrete decks, between the downpipe and the steel bridge structure, etc.);
- misalignment of some components (e.g. ballast with sleepers, width of the road not respected near the abutment of the viaduct, etc.).

*The process using to solve the critical issues allows the validation of the aggregate model. Below the structure of the validation process implemented is described (Fig. 11).*

*Thanks to this process-model (V&V related) we detected in advance the critical issues we would have had during the construction.*

### 3.4. Documents Production

*Design process concludes issuing the appropriate deliverables, according with international and local standard and laws.*



- disallineamento di alcuni componenti (es. ballast con traversine, larghezza della strada di accesso non rispettata in prossimità dell'appoggio del viadotto, ecc.).

Il processo utilizzato per risolvere le criticità ha dunque permesso la validazione del modello aggregato. Di seguito viene descritta il flusso logico del processo di validazione che abbiamo implementato (Fig. 11).

Grazie a questo modello di processo (relativo a Verifica & Validazione) abbiamo individuato in anticipo le criticità che avremmo riscontrato durante la costruzione.

### 3.4. Produzione documenti

Il processo di progettazione si conclude con l'emissione dei risultati appropriati, in accordo con gli standard e le leggi internazionali e locali.

In generale, tutte le attività di progettazione devono produrre un insieme di elementi (in accordo con i requisiti contrattuali del progetto) in cui gli elaborati di ingegneria possono essere generalmente raggruppati in Report, Note di calcolo e disegni.

La produzione automatica dei documenti è uno degli aspetti più interessanti del processo BIM: i costi di rilavorazione incidono pesantemente sia sui costi di progettazione sia sulla manodopera necessaria per la progettazione.

Per spiegare meglio il concetto, dobbiamo considerare che un tipico progetto ferroviario, in fase di progettazione dettagliata, contiene migliaia di documenti (e i disegni sono la parte principale); cambiare un elemento del progetto, come ad esempio una parte dell'allineamento ferroviario, comporta la modifica di un'enorme quantità di documenti.

L'estrazione automatica di disegni tradizionali 2D direttamente dal modello digitale comporta l'avere un insieme di disegni integrati e coerenti internamente, riducendo così le modifiche nella configurazione del progetto: le modifiche incidono pertanto solo su un sottoinsieme dei componenti del modello digitale complessivo e, non appena il modello digitale revisionato è stato verificato e validato, i documenti possono essere generati automaticamente (Fig. 12).

La nostra percezione sull'argomento è sia i Clienti sia i progettisti utilizzeranno sempre più spesso il modello digitale come elemento di revisione progettuale delle fasi contrattuali e, una volta revisionato ed approvato dal Cliente, i disegni contrattuali saranno generati risparmiando così molta carta e molto lavoro.

*Generally speaking, all the design activities have to produce a set of elements (according with the contractual requirements of the project) where deliverable of the engineering process can be generally grouped in Reports, Calculation notes and drawings.*

*Automatic document production is one of the most interesting aspects in the BIM process: reworking cost heavy impacts both on engineering costs and manpower required for the design.*

*To better explain the concept, we have to consider that a typical railway design, in detailed design phase, contains thousands of document (and drawings are the main part); changing an element of the project, as for example a part of the railway alignment, results in the change of an huge amount of documents, almost all if the project chainage has been changed.*

*Extracting automatically 2D traditional drawings directly from the digital model comports having an integrated and internally coherent set of drawings, this way reducing the revoking consequent to changes in the project configuration: the changes impact only a subset of the components of the overall digital model and, as soon as the revised digital model has been verified and validated, the documents can be automatically generated (Fig. 12).*

*Our perception on this topic is that Client and designer will use the digital model as element for design review contractual phases more and more and, revised and approved*

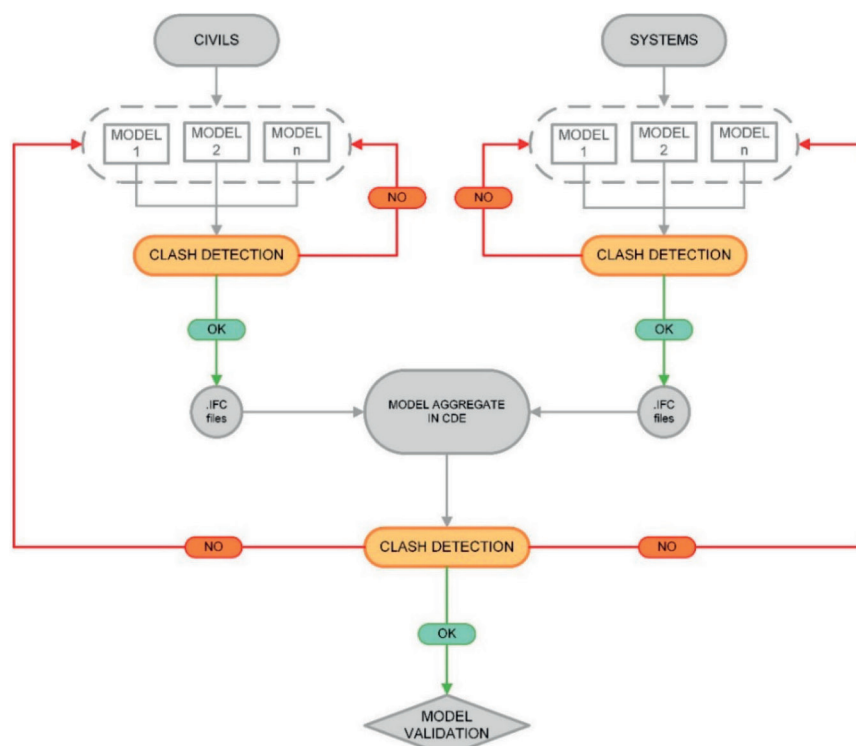


Fig. 11 - Processo di Validazione del Modello BIM.  
Fig. 11 - BIM Validation Process Model.



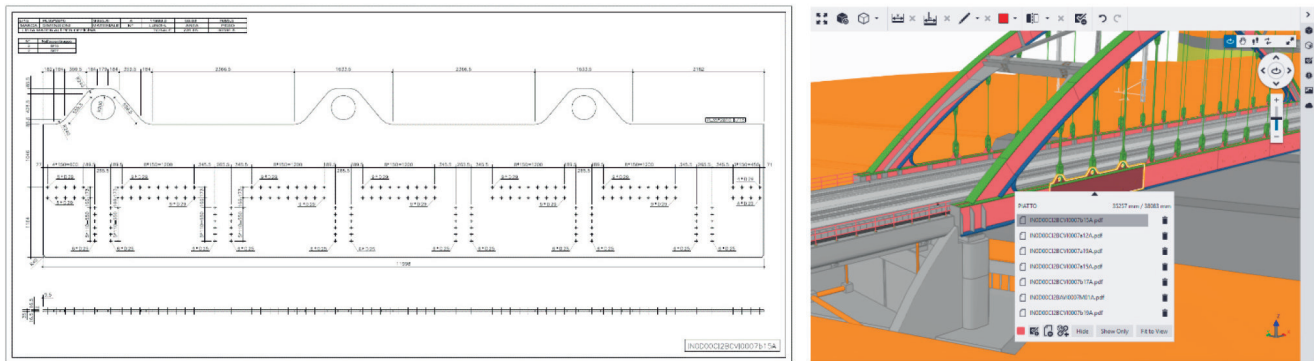


Fig. 12 - Documenti Esempi estratti.  
Fig. 12 - Documents Extracted examples.

Al momento tuttavia il software BIM oriented può produrre automaticamente disegni per i singoli elementi ma non completamente per le complesse strutture lineari; quindi, quello che abbiamo fatto, è stato quello di utilizzare strumenti software tradizionali per generare parte della documentazione, utilizzandola come input per il modello digitale finale migliorando drasticamente la qualità del prodotto finale in termini di integrazione e coerenza.

## 4. Esperienza acquisita

In seguito alcune riflessioni derivanti dalla esperienza condotta sul progetto pilota:

- è necessario utilizzare software specializzato, al fine di ottenere i documenti di progetto e garantire l'integrazione dei modelli utilizzando i file in formato standard .IFC;
- è strategico definire l'ambiente di integrazione del SW adatto alle specifiche esigenze del progetto: in particolare riguardo la Clash Detection la Gestione della Configurazione, ecc. e al livello BIM 4D (tempo) e 5D (costi);
- i requisiti dei sottosistemi devono essere assegnati ad un livello dei singoli componenti e i requisiti generali devono essere assegnati a livello di modello integrato, ad esempio, i requisiti operativi e di manutenzione;
- la proprietà intellettuale deve essere accuratamente protetta, attraverso una specifica politica di accesso al modello digitale a diversi livelli di dettaglio: le caratteristiche di ogni componente/sistema/ecc. devono essere riservate all'interno delle Aziende;
- è estremamente difficile gestire i grandi dati correlati alle infrastrutture lineari: utilizzando gli strumenti attuali, è utile suddividere l'infrastruttura in diverse sezioni, gestite separatamente;
- il processo di modellazione digitale dell'infrastruttura lineare non è ancora completamente automatizzabile;
- l'interoperabilità IFC in ambito ferroviario non funziona ancora perfettamente;

*the digital model by the Client, the contractual drawings will be generated saving in this way a lot of paper.*

*Right now it is quite different: BIM software can automatically produce drawings for single elements but there are problems in approaching linear structures so, what we did, has been to use traditional software tools to generate part of documentation, using it as an input for the final digital model improving drastically the quality of the final product in term of integration and consistency.*

## 4. Lesson Learned

*Some main lesson learned during the experience are in the following.*

- *it is necessary to use specialized software, in order to obtain the design deliverables and to ensure the models integration using the .IFC standard-format files.*
- *it is strategical to define the SW integration environment fitted on the specific project requirements: this is finalized to the Clash Detection, Configuration Management, etc. and to the 4D (time) and 5D (costs) BIM level.*
- *the subsystems requirements have to be allocated to the level of single components and the overall requirements have to be allocated at integrated level model e.g. operation and maintenance requirements.*
- *the intellectual property has to be accurately protected, through a specific policy to access on the digital model at different levels of details: the features of each component/systems/etc. have to be confidential inside the Companies.*
- *it is extremely difficult to manage the big data, linear infrastructures related: using the current tools, it is useful to divide the infrastructure into different sections, separately managed.*
- *the digital process modelling of the linear infrastructure is not yet totally automated.*
- *the IFC interoperability does not work perfectly.*

- la diversa interoperabilità del SW è possibile solo attraverso il formato IFC;
- i tempi di elaborazione dei dati dei file IFC sono difficili, con alta probabilità di perdita di informazioni: questo può avere un impatto significativo sulla validazione del progetto.

## 5. Conclusione e sviluppi futuri

Questo articolo ha descritto un'esperienza di implementazione di un BIM reale e non teorica, tenendo conto dei numerosi vincoli presenti nelle nostre Aziende<sup>(13)</sup>, compresa la tipica e complessa organizzazione finalizzata a contratti multi-tecnologia.

Abbiamo implementato la metodologia BIM nel contesto ferroviario (opere civili e sistemi tecnologici nelle infrastrutture di trasporto "lineari") utilizzando un modello di processo a partire dalla definizione e gestione dei Requisiti e delle Interfacce fino ad un modello digitale integrato completo tra opere civili e tecnologie, riducendo il più possibile le interferenze con i processi e gli strumenti consolidati delle Aziende: il progettista mantiene il proprio processo di progettazione e utilizza strumenti di progettazione consolidati e software BIM aggiornati, preservando il know how aziendale e le modalità di produzione.

I risultati operativi, in termini di oggetti Livello di Dettaglio, parametrizzazione, efficienza globale, ecc. sono conformi a quelli comunemente prodotti per le infrastrutture "puntuali" (es. edifici), dove l'esperienza BIM è consolidata da (quasi) 15 anni.

Il processo implementato è stato validato dal fatto che Bonifica S.p.A., anche grazie a questo progetto pilota, è stata certificata secondo la norma ISO19659-1<sup>(14)</sup> per quanto riguarda le informazioni e i processi relativi al BIM.

Abbiamo anche sottolineato che non dobbiamo confondere la digitalizzazione, la condivisione e l'interoperabilità con l'efficienza dell'organizzazione. Anche un ambiente "obsoleto", con modelli di processo efficaci, dovrà solo aggiornare sia i processi che gli strumenti per migliorare l'efficienza. Le Aziende ben organizzate, possono adattare facilmente i moderni strumenti informatici alla loro organizzazione utilizzando un appropriato BIM Execution Plan.

<sup>(13)</sup> Grazie a: Dott.ssa Romina BOLDRINI (Bonifica S.p.A.) – Ing. Francesco VITRANO (Hitachi Rail STS); Bonifica S.p.A.: Ing. G. BERTOLINI (BIM Coordinator); Ing. M. COMO, Ing. N. DI IUORIO, Arch. L. GIORDANI e l'Ing. C. ROSSI (BIM Specialists/Structures); l'Ing. G. CAPUANI e Geom. C. SESTILI (BIM Specialists/Hydraulics); Ing. A. MORETTI e l'Ing. C. SANTOPONTE (BIM Specialists/roads infrastructures); Hitachi Rail STS S.p.A.: Ing. Paolo FARINELLI (Process Model contribution); Ing. Giuseppe MARCHIORI (review e ottimizzazione della traduzione linguistica); Techne s.r.l. (digitalizzazione di sistemi BIM); Ing. Pierfrancesco COPPOLA; Ing. Antonio IANNIELLO; TecnoKons s.r.l. (digitalizzazione dell'allineamento BIM); Ing. Francesco LAURIELLO; Geom. Pasquale NARDIELLO.

<sup>(14)</sup> La norma ISO19659-1 - pubblicata dal gennaio 2019, comprenderà anche la UNI11337, come allegato di questi ultimi.

- the different SW interoperability is possible only through IFC format.
- the data processing times of the IFC files, are hard, with high probability to avoid information: this impacts on the validation of the project.

## 5. Conclusion and next steps

*This paper has described an experience of a real-not-theoretical BIM implementation, taking into account the many constraints in our Companies<sup>(13)</sup>, including the typical complex organization finalized to the multi-disciplinary contracts delivery.*

*We implemented the BIM methodology in the railway context (civil works and technological systems in the "linear" transportation infrastructures) using a process model starting from the Requirements and Interfaces definition and management until a complete integrated digital model between civil works and systems, reducing as much as possible the interferences with the consolidated processes and tools of the specific Company-technology: the designer maintains his own design process and uses consolidated design tools and software BIM upgraded, preserving the own Company know how and how to deliver.*

*The operative results, in terms of objects Level of Detail, parametrization, global efficiency, etc. are compliant to the ones commonly produced for the "punctual" infrastructures (e.g. buildings), where the BIM experience is well established for (almost) the past 15 years.*

*The process implemented was assessed by the fact that Bonifica S.p.A., thanks also to this pilot project, was certified according to ISO19659-1<sup>(14)</sup> as far as regards the information and processes BIM related.*

*We have highlighted also that we have not to confuse digitalization, sharing and interoperability with the efficiency of the organization. Also an "obsolete" environment, having effective process-models, will have only to update both processes and tools in order to improve the efficiency. Companies well organized, may adapt easily modern IT tools to their organization using an appropriate BIM Execution Plan.*

<sup>(13)</sup> Thanks to: Dott.ssa Romina BOLDRINI (Bonifica S.p.A.) – Ing. Francesco VITRANO (Hitachi Rail STS); Bonifica S.p.A.: Ing. G. BERTOLINI (BIM Coordinator); Ing. M. COMO, Ing. N. DI IUORIO, Arch. L. GIORDANI and Ing. C. ROSSI (BIM Specialists/Structures); Ing. G. CAPUANI and Geom. C. SESTILI (BIM Specialists/Hydraulics); Ing. A. MORETTI and Ing. C. SANTOPONTE (BIM Specialists/roads infrastructures); Hitachi Rail STS S.p.A.: Ing. Paolo FARINELLI (Process Model contribution); Ing. Giuseppe MARCHIORI (language translation optimization); Techne s.r.l. (BIM systems digitalization); Ing. Pierfrancesco COPPOLA; Ing. Antonio IANNIELLO; TecnoKons s.r.l. (BIM alignment digitalization); Ing. Francesco LAURIELLO; Geom. Pasquale NARDIELLO.

<sup>(14)</sup> The norm ISO19659-1 – published since January 2019, will include the UNI11337 also, as an attached of the ones.

Questo è solo un primo passo, finalizzato ad esplorare la fattibilità-sostenibilità di un'implementazione realistica. I prossimi passi che vediamo:

- a) consolidare i processi operativi all'interno delle Aziende, secondo i requisiti BIM;
- b) implementare le dimensioni 4 (quantità e costi) e 5 (programmazione e pagamenti);
- c) implementare il processo di manutenzione basato sul BIM;
- d) tenere conto delle migliori pratiche e dei processi necessari per garantire la sicurezza dei dati e il controllo della proprietà intellettuale.

*This is only a first step, finalized to explore the feasibility-sustainability of a realistic implementation. The next steps we currently see:*

- a) to consolidate the operative processes inside the Companies, according to BIM requirements;*
- b) to implement the dimensions 4 (quantities and costs) and 5 (Scheduling and payments);*
- c) to implement the maintenance process based on the BIM;*
- d) taking into account the best practices and processes necessary to guarantee the data security and the intellectual property control.*

### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

Le norme e i regolamenti internazionali sono stati il nostro principale riferimento. Nel corso degli ultimi 15 anni sono stati scritti numerosi articoli, da Università, Società di Ricerca, Società di Ingegneria, ecc. sul tema del BIM: il punto di vista e gli obiettivi sono ovviamente diversi.

Ci limitiamo quindi a una breve selezione di documenti pragmatici, finalizzati all'implementazione realistica e non teorica, obiettivo principale del nostro "progetto pilota".

*The norms and the international regulations have been our main reference. Many papers have been written during the past 15 years, by Universities, Research Companies, Engineering Companies, etc. in the BIM topic: the point of views and the goals are obviously different.*

*Therefore we reference only a short selection of pragmatic-de papers, finalized to the realistic and not theoretical implementation, main goal of our "pilot project".*

- [1] BS EN 50126:2017 Railway applications the specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).
- [2] BS EN 50128:2011 Railway applications - Communication, signalling and processing systems -Software for railway control and protection systems.
- [3] Decreto Ministeriale 560/2017.
- [4] UNI 11337:2017 (parts 1; 4; 5; 6) Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni.
- [5] UNI 11337-7:2018 Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni".
- [6] UNI EN ISO 16739:2016 Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management.
- [7] EN ISO 29481-1:2017 Building information models - Information delivery manual methodology and format.
- [8] EN ISO 29481-2:2016 Building information models - Information delivery manual interaction framework.
- [9] BS EN ISO 19650:2018 (parts 1; 2) and PD 19650:2019 (part 0) – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling.
- [10] ISO19659-1.
- [11] BS 1192:2007 + A2:2016 – Collaborative production of architectural, engineering and construction information. Code of practice.
- [12] PAS 1192-2:2013 – Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- [13] PAS 1192-3:2014 – Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling.

- [14] BS 1192-4:2014 – Collaborative production of information. Fulfilling employer's information exchange requirements using COBie. Code of practice.
- [15] PAS 1192-5:2015 – Specification for security-minded building information modelling, digital built environments and smart asset management.
- [16] PAS 1192-6:2018 – Specification for collaborative sharing and use of structured Health and Safety information using BIM.
- [17] BS 8536-1:2015 – Briefing for design and construction. Code of practice for facilities management (Buildings infrastructure).
- [18] BS 8536-2:2016 – Briefing for design and construction. Code of practice for asset management (Linear and geographical infrastructure).
- [19] EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS R., LISTON K., 2011, "*BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*", Second edition, USA: John Wiley & Sons, Hoboken.
- [20] BEETZ J., LEEUWEN J.v., VRIES B. D., 2009, "*IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*", 23, (pp 89-101). <https://pdfs.semanticscholar.org/1e8c/91b84f00dfd6d5aa5bcabbca0476015dd48f.pdf>.
- [21] HJELSETH E., 2016, "*Classification of BIM-based model cecking concepts*", Journal of Information Technology in Construction, Oslo and Akershus University College of Applied Sciences, Norway. [https://www.itcon.org/papers/2016\\_23.content.07786.pdf](https://www.itcon.org/papers/2016_23.content.07786.pdf).
- [22] BORRMANN, A., JUBIERRE Y. Ji. R. e FLURL M., 2012, "*Procedural Modeling: A new approach to multi-scale design in infrastructure projects*", EG ICE Workshop on Intelligent Computing in Civil Engineering, Technische Universität München, Germany. [http://www.cie.bv.tum.de/publications/proceedings/20120704\\_Borrmann\\_et\\_al\\_EGICE.pdf](http://www.cie.bv.tum.de/publications/proceedings/20120704_Borrmann_et_al_EGICE.pdf).