



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica (DISEG)
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

DALL'ESISTENTE ALL'INFRABIM PER LA GESTIONE DEI PONTI CASO STUDIO: NUOVO PONTE SUL FIUME BORMIDA

Relatori:

Prof. Anna Osello
Ing. Davide Lorenzo
Dino Aschieri

Candidato:

Marco Bozzone

Dicembre 2022

Abstract

Il patrimonio delle opere infrastrutturali in Italia è vasto e ricco di storia. Nel nostro paese ci sono 840.000 km di strade, 2.179 gallerie e 21.072 tra ponti e viadotti [1]. La maggior parte di queste opere è datata e prossima alla fine della sua vita nominale e necessita, perciò, di manutenzione. Ma qual è il livello di conoscenza che si ha su di esse? Si è in possesso dei loro progetti originali? Si conosce la storia della loro manutenzione e degli interventi che hanno subito?

Quando una Stazione Appaltante, che ha in gestione interi tratti stradali, si trova davanti ad un'opera da ispezionare e curare, si chiede quale sia la migliore strategia per conoscere, analizzare e gestire il manufatto. L'“*InfraBIM*”, cioè il BIM (Building Information Modeling) applicato al campo delle infrastrutture, si inserisce esattamente in questo contesto. Esso si configura come una metodologia che mira alla “*digitalizzazione*” delle infrastrutture, cioè punta a gestire, organizzare e monitorare opere esistenti con l'ausilio del BIM e dei relativi sensori. In questo senso, si possono porre le basi per iniziare un percorso di conoscenza dell'opera.

Il caso studio adottato per approfondire questo argomento è il “*Nuovo ponte sul fiume Bormida*”, situato a Terzo (AL), i cui progetti sono stati condivisi dalla Stazione Appaltante A.N.A.S. S.p.a. Sul ponte in questione sono previsti degli interventi di riparazione, che prevedono la demolizione dell'impalcato esistente e la sua sostituzione con una soluzione composita acciaio – cemento armato. Si elabora una metodologia per passare “*dall'esistente all'InfraBIM*”, stabilendo sin dalle fasi iniziali le finalità di conoscenza, gestione e programmazione della manutenzione dell'opera. Il percorso di conoscenza dell'opera parte dal rilievo del ponte, dalla sua ispezione visiva e dall'analisi in archivio della documentazione progettuale e storica. A questo segue una fase di modellazione architettonica e strutturale, che si basa sui disegni originali e sui progetti

della nuova soluzione. Lo scopo finale è quello di creare un modello completo che permetterà alla Stazione Appaltante di comprendere e conoscere l'opera, al fine di gestirla in tutti i suoi aspetti. Lo strumento che si utilizza per raggiungere questo fine è il “*Digital Twin*”, che consiste in un vero e proprio gemello digitale dell'opera, che la rappresenti totalmente negli aspetti stabiliti secondo le finalità e gli usi del modello.

Abstract

The heritage of infrastructure works in Italy is wide and rich in history. In our country there are 840,000 km of roads, 2,179 tunnels and 21,072 between bridges and viaducts [1]. Most of these works are dated and close to the end of their nominal life and therefore require maintenance. But, what is the level of knowledge we have about them? Are we in possession of their original designs? Do we know the history of their maintenance and the interventions they have undergone?

When a Contractor Station, which has entire road sections under management, is faced with a work to be inspected and treated, it's asked itself what is the best strategy to know, analyse and manage the artefact. "*InfraBIM*", i.e. BIM ("Building Information Modelling") applied to the field of infrastructure, fits exactly into this context. It's configured as a methodology that aims to the "*digitalisation*" of infrastructures, that is, aims to manage, organise and monitor existing works with the help of BIM and its sensors. In this sense, the foundations can be laid to begin a path of knowledge of the work.

The case study adopted to deepen this topic is the "New bridge over the Bormida River", located in Terzo (AL), whose projects were shared by the A.N.A.S. Contractor Station. S.p.a. Repairs are planned on the deck in question, which involve the demolition of the existing platform and its replacement with a steel-reinforced composite solution. A methodology is developed to move "*from the existing to InfraBIM*", establishing from the initial stages the purposes of knowledge, management and programming of the maintenance, of the work. The path of knowledge of the work starts from the survey of the bridge, its visual inspection and the archive analysis of the design and historical documentation. This is followed by an architectural and structural modelling phase, which is based on the original designs and the designs of the new solution. The ultimate goal is to create

a complete model that will allow the Contractor Station to understand and know the work, in order to manage it in all its aspects. The tool used to achieve this purpose is the “*Digital Twin*”, which consists of a real digital representation of the work, which totally show it in the aspects established according to the purposes and uses of the model.

Indice

Capitolo 1: INTRODUZIONE	14
1.1 L’InfraBIM	14
1.2 Digital Twin.....	16
1.3 Caso studio	19
Capitolo 2: METODOLOGIA.....	23
2.1 Capitolato Informativo BIM.....	23
2.2 Workflow e fasi del processo	26
2.3 Conoscenza dell’opera	27
2.4 Organizzazione del modello	36
2.5 Modello dell’esistente	42
2.5.1 Revit e la modellazione parametrica	42
2.5.2 WBS	43
2.5.3 Famiglie e Categorie	45
2.5.4 Parametri	54
2.5.5 Filtri	57
2.6 Modello della nuova soluzione strutturale	61
2.6.1 Tekla Structures.....	61
2.6.2 Carpenteria metallica.....	61
2.6.3 Calcestruzzo armato	66
2.7 Interoperabilità	69
2.8 La Realtà Virtuale al supporto dell’InfraBIM.....	76
Capitolo 3: Conclusioni.....	85

Bibliografia.....	89
-------------------	----

Indice delle figure

Figura 1 - Processo BIM (Tratto dalle slide del corso "InfraBIM, Design, Construction and Management", Politecnico di Torino)	14
Figura 2 - Carreggiata ponte (Foto da Google Maps)	19
Figura 3 - Inquadramento opera (Foto da Google Maps).....	20
Figura 4 - Trave esterna impalcato.....	20
Figura 5 - Prospetto	21
Figura 6 - Impalcato lato Acqui Terme	21
Figura 7 - Processo BIM nel lavoro di tesi.....	26
Figura 8 - Rilievo geometrico del ponte.....	28
Figura 9 - Corografia.....	29
Figura 10 - Sezione trasversale dell'impalcato	30
Figura 11 - Sezione di una pila.....	30
Figura 12 - Pianta del piano viabile.....	31
Figura 13 - Rapporto d'ispezione	32
Figura 14 - Degrado armatura da precompressione	33
Figura 15 - Armatura esposta di una pila	34
Figura 16 - Degrado armatura di una trave	34
Figura 17 - Elementi del ponte	37
Figura 18 - Sottoelementi ponte	37
Figura 19 – Processo assegnazione LOR	42
Figura 20 - WBS modello	44
Figura 21 - Fondazioni Pila	45
Figura 22 - Fondazione spalla sinistra.....	46
Figura 23 - Fondazione spalla destra.....	46
Figura 24 - Pila	47
Figura 25 - Vuoti della pila	47
Figura 26 - Muro spalla	48

Figura 27 - Vuoti del muro	48
Figura 28 - Muro d'ala	49
Figura 29 - Trave dell'impalcato	49
Figura 30 - Traverso intermedio.....	50
Figura 31 - Traverso di testata.....	50
Figura 32 - Soletta impalcato	51
Figura 33 - Sbalzi dell'impalcato.....	52
Figura 34 - Cordoli dell'impalcato	52
Figura 35 – Prospetto	53
Figura 36 - Sottostruttura	53
Figura 37 - Inquadramento topografico.....	54
Figura 38 - Parametri condivisi WBS	55
Figura 39 - Parametri condivisi Difetti.....	56
Figura 40 - Assegnazione dei difetti.....	57
Figura 41 - Filtro "Efflorescenze"	58
Figura 42 - Travi con "Efflorescenze" con intensità maggiore di 3	58
Figura 43 - Filtro "Esistente"	59
Figura 44 - Filtro "Demolizione"	60
Figura 45 - Filtro "Nuova costruzione"	60
Figura 46 - Disposizione travi e traversi	62
Figura 47 - Particolare piolatura e irrigidimenti.....	62
Figura 48 - Irrigidimenti traverso di testata.....	63
Figura 49 - Carpenteria metallica.....	63
Figura 50 - Nuova soluzione strutturale: parte metallica	65
Figura 51 - Posa parte metallica	65
Figura 52 - Posa delle lastre autoportanti.....	66
Figura 53 - Particolare armatura soletta 1	67
Figura 54 - Particolare armatura soletta 2	67
Figura 55 - Struttura composita (Tekla).....	68
Figura 56 - Struttura composita (Revit)	68

Figura 57 - Soluzione finale	69
Figura 58 - Interoperabilità.....	69
Figura 59 - Standard .ifc per l'esportazione.....	70
Figura 60 - Fase nuova costruzione in Tekla	71
Figura 61 - Elementi esportati	73
Figura 62 - Parametri IFC soletta	73
Figura 63 - Parametri IFC armatura	74
Figura 64 - Esportazione in IFC4	75
Figura 65 - Parametri esportazione IFC4	76
Figura 66 - Interoperabilità nella realtà virtuale.....	77
Figura 67 - Codice WBS dell'elemento	78
Figura 68 - Difetti dell'elemento (parte 1).....	79
Figura 69 - Difetti dell'elemento (parte 2).....	79
Figura 70 - Conversione in oggetti IFC.....	80
Figura 71 - Proprietà dei parametri da esportare	81
Figura 72 - Proprietà geometriche di una trave.....	82
Figura 73 – Dati sulla manutenzione.....	82
Figura 74 – Particolare 1 armatura soletta.....	83
Figura 75 - Particolare 2 armatura soletta	83
Figura 76 - Verifica di eventuali sovrapposizioni	84

Capitolo 1: INTRODUZIONE

1.1 L'InfraBIM

L'acronimo BIM, “*Building Information Modeling*”, indica un processo totale di creazione e gestione delle informazioni relative a una costruzione. È un procedimento che integra e mette in relazione diverse discipline, con i relativi dati strutturati multidisciplinari. Esso prevede una nuova organizzazione del progetto, in cui le diverse figure possono interfacciarsi tra loro, lavorando in un ambiente di dati condiviso: (vedi figura sottostante)



Figura 1 - Processo BIM (Tratto dalle slide del corso "InfraBIM, Design, Construction and Management", Politecnico di Torino)

Il processo BIM nasce dall'esigenza di digitalizzazione delle strutture e dei procedimenti di costruzione. Esso porta alla creazione di una rappresentazione digitale dell'opera, che viene considerata durante tutto il suo ciclo di vita, dalla pianificazione e dalla progettazione, alla costruzione e alla messa in funzione.

“La metodologia BIM, dapprima diffusasi nel settore edile, si sta difatti attualmente espandendo al settore delle infrastrutture civili” [2]. In un contesto di innovazione, si inserisce il concetto di *“InfraBIM”*. Il termine InfraBIM indica l’approccio del BIM applicato al caso specifico delle infrastrutture.

L’InfraBIM mira alla *“digitalizzazione”* delle infrastrutture, cioè punta a gestire, organizzare e monitorare opere esistenti con l’ausilio del BIM e dei relativi sensori.

Nell’ambito delle infrastrutture diventa necessario l’intervento del BIM, poiché si deve prendere coscienza del patrimonio infrastrutturale e della sua età: molte opere sono prossime alla fine della loro vita utile, perciò, si deve decidere come operare su di esse. La digitalizzazione delle opere parte dalla conoscenza di questi manufatti, della loro storia e dello storico degli interventi che hanno subito nel corso degli anni. Infatti, *“una delle iniziative fondamentali per la trasformazione economica e sociale in chiave sostenibile è la messa in sicurezza delle nostre infrastrutture, che devono corrispondere ai bisogni delle imprese e dei cittadini” [1].* Quindi, il progresso e la novità partono proprio da un percorso di conoscenza e analisi, finalizzati a rendere sicura un’infrastruttura. Questo discorso è applicabile ad ogni tipo di infrastruttura. Le infrastrutture possono essere:

- Orizzontali: Strade, Ponti, Porti, Ferrovie, Aeroporti, Acquedotti
- Verticali: Ospedali, Teatri, Università, Attività commerciali

Nel lavoro di Tesi si è scelta come infrastruttura specifica un ponte.

1.2 Digital Twin

“Un gemello digitale è la rappresentazione virtuale di un oggetto o di un sistema lungo tutto il suo ciclo di vita, che viene aggiornata attraverso dati in tempo reale e fa uso di simulazioni, apprendimento e ragionamento automatici al fine di agevolare il processo decisionale” [3]. Quindi, è un modello virtuale che riflette totalmente un oggetto fisico. Generalmente, il modello è accompagnato da alcuni sensori che vengono posti sull’oggetto, collegati alle sue aree funzionali più rilevanti. I dati prodotti dai sensori sono trasmessi a un sistema centrale che li elabora e li applica alla copia digitale. Il sistema ha a disposizione dati precisi e in tempo reale, quindi è costantemente aggiornato. *“L'idea di tecnologia dei gemelli digitali è stata espressa per la prima volta nel 1991, con la pubblicazione di Mirror Worlds di David Gelernter. Tuttavia, la prima applicazione nel settore manifatturiero del concetto di gemelli digitali, nel 2002, e l'annuncio formale di un software incentrato sui gemelli digitali sono attribuiti al Dr. Michael Grieves (all'epoca docente presso la University of Michigan). Infine, fu John Vickers della NASA a introdurre nel 2010 un nuovo termine: "gemello digitale"” [3].*

Esistono diverse tipologie di gemelli digitali, in funzione del grado di ingrandimento del prodotto:

- Gemelli di componenti: sono l’unità base dei gemelli digitali.
- Gemelli di asset: quando più componenti funzionano nello stesso istante.
- Gemelli di sistema: quando si riferisce ad un insieme di più asset che interagiscono tra di loro.

- Gemelli di processo: quando si riferisce ad un insieme di più sistemi che interagiscono tra di loro

I gemelli digitali hanno notevoli vantaggi:

- Ricerca e sviluppo: il prodotto ha sempre continui aggiornamenti.
- Efficienza
- Vita del prodotto: i produttori tramite il gemello digitale prevedono la vita utile del prodotto.
- Test: il modello può essere utilizzato per qualsiasi simulazione.

Sono numerose le applicazioni dei Digital Twin, da grandi progetti come edifici e ponti, a progetti complessi a livello meccanico come automobili o turbine, fino ad apparecchiature elettriche.

In questo senso, l'InfraBIM si inserisce nel processo di creazione di un digital twin di un'infrastruttura.

Esso pone le basi di un processo per avviare un percorso di conoscenza di un'opera esistente. Lo strumento che esso utilizza per interfacciarsi con un manufatto e per rappresentarlo allo stato di fatto è, quindi, il “*Digital Twin*”. Come precedentemente detto, il Digital Twin consiste in un vero e proprio gemello digitale dell'opera, che la rappresenti totalmente negli aspetti stabiliti dalle finalità e dagli usi del modello. In parole più semplici, si può vedere il modello BIM del Digital Twin di un'opera come la “*cartella clinica*” che identifica e mostra la condizione reale del “*paziente*” in quell'istante di tempo in cui lo si osserva.

Chiaramente è un modello in continua evoluzione, perciò:

$$Digital\ Twin = Digital\ Twin(t)$$

Il “*paziente*” nel caso studio è un’opera infrastrutturale.

Il Digital Twin può essere costruito per comprendere il reale stato dell’opera d’arte, perciò, si configura come una possibile via per rappresentare un manufatto e pianificare la sua gestione.

Quando si parla di un’infrastruttura o di una struttura si deve fare attenzione al concetto di tempo, che è il primo parametro che cambia nella vita utile dell’opera. Davanti ad un oggetto che si modifica nel tempo si possono assumere diversi comportamenti: decidere di non prendersene cura, ricostruirlo oppure farne manutenzione. Quest’ultima soluzione si oppone alla logica odierna secondo cui “*si sta scegliendo di demolire e ricostruire dove si potrebbe invece riabilitare*” [4], poiché “*progettare e costruire il nuovo è spesso più facile che riabilitare*” [4]. Ma è stato dimostrato che “*un’efficace riabilitazione delle opere esistenti è quindi il più delle volte la scelta più efficiente*” [4], sia in termini di costi che di emissioni.

Ecco, quindi, che l’InfraBIM fa proprio il concetto di “*Resilienza del costruito*”, dove per resilienza si intende “*l’abilità di un ecosistema di ritornare al suo stato originale, dopo essere stato perturbato*” [5], andando a mirare verso un’etica di prevenzione e riabilitazione, nel senso di portare la struttura alle sue capacità e resistenze iniziali.

Sulla base di queste premesse, il lavoro è stato improntato all’elaborazione di una metodologia per:

- Gestire e analizzare
- Programmare la manutenzione
- Progettare uno specifico intervento

Su un'opera esistente. Quindi, in generale, per avviare un percorso di conoscenza dell'infrastruttura esistente.

1.3 Caso studio

L'infrastruttura scelta per l'elaborazione del processo BIM è il “Nuovo ponte sul fiume Bormida”, situato al km 40+273 della SS30 di “Val Bormida”, nel paese di Terzo (AL). L'opera, sotto la gestione della Stazione Appaltante A.N.A.S. S.p.a., si configura come un ponte a travata, con travi in cemento armato precompresso. Le immagini sottostanti mostrano l'opera:



Figura 2 - Carreggiata ponte (Foto da Google Maps)

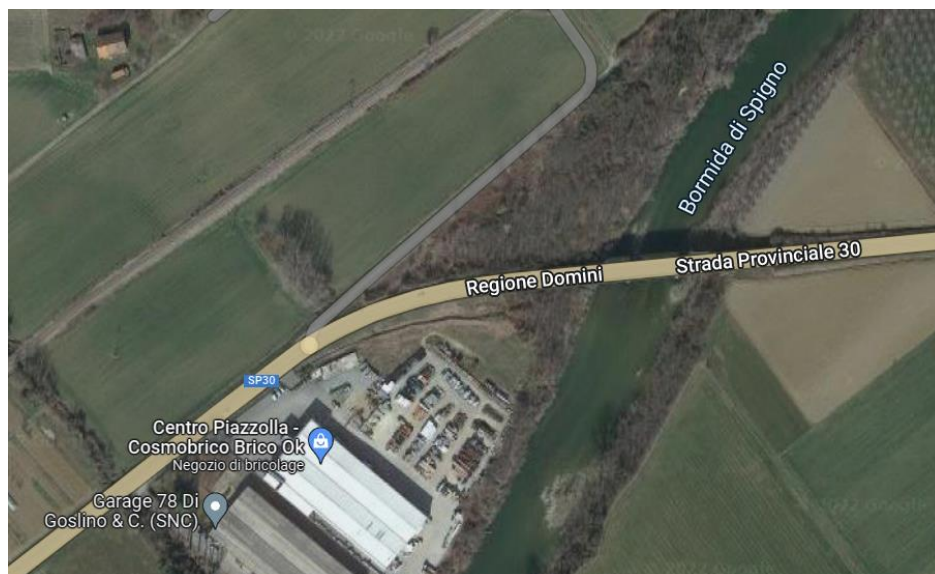


Figura 3 - Inquadramento opera (Foto da Google Maps)

Dopo un inquadramento geografico e generale dell'opera si è andati in loco a verificare l'effettivo stato dell'opera e a ispezionarla visivamente. Le immagini sottostanti mostrano lo stato dell'opera:



Figura 4 - Trave esterna impalcato



Figura 5 - Prospetto



Figura 6 - Impalcato lato Acqui Terme

Il ponte scavalca in obliquo il torrente Bormida di Spigno in direttrice E-O, sviluppandosi su 5 campate, aventi luce di circa 31.00 m e larghezza 12.60 m. Gli elementi della sottostruttura, quali pile a setti e spalle, sono inclinati di circa 55° rispetto all'asse longitudinale del ponte, in modo da risultare paralleli alla direzione di scorrimento del torrente. Gli impalcati si compongono di quattro travi principali in cemento armato precompresso a "I" e travi secondarie in cemento armato inclinate e posizionate agli appoggi in campata. A completamento vi sono le solette in cemento armato che presentano degli aumenti di spessore ai bordi per la formazione dei cordoli.

L'opera su cui si interviene è stata oggetto di ispezioni principali che hanno fatto emergere elementi di difettosità, tali da richiedere degli interventi di manutenzione.

Il processo considerato tiene conto degli interventi di manutenzione straordinaria programmata del ponte. Gli interventi previsti sono volti a:

- sostituire gli impalcati esistenti in cemento armato precompresso con nuovi in acciaio – calcestruzzo.
- ripristinare eventuali situazioni di degrado degli elementi strutturali accessori (spalle, muri d'ala e muri andatori).
- migliorare la funzionalità generale delle opere.

Capitolo 2: METODOLOGIA

2.1 Capitolato Informativo BIM

“Il Capitolato Informativo, comunemente abbreviato in “CI”, è il documento emesso dal committente ed indirizzato ai potenziali affidatari, in cui vengono sviscerati i requisiti di gestione informativa relativi al progetto” [6]. Il Capitolato Informativo BIM [7] della Stazione Appaltante regola le attività e le modalità generali di esecuzione inerenti al Building Information Modeling (BIM).

La normativa a cui fa riferimento il Capitolato Informativo è:

- *“Regolamento (UE) 2016/679 - GDPR (General Data Protection Regulation)”.*
- *“Decreto Legislativo n. 50 del 18 aprile 2016 - “Codice dei Contratti Pubblici””.*
- *“Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 560, 1° dicembre 2017. Modalità e i tempi di progressiva introduzione dei metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture”.*
- *“Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 430, 8 ottobre 2019. Realizzazione dell'archivio informatico nazionale delle opere pubbliche AINOP”.*
- *“UNI EN ISO 16739:2016. Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management”.*
- *“UNI EN ISO 19650-1:2019. Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria*

civile, incluso il Building Information Modeling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modeling - Parte 1: Concetti e principi”.

- *“UNI EN 17412-1:2020. Livello di Fabbisogno Informativo”.*
- *“Norma UNI 11337:2017. Edilizia e opere di Ingegneria Civile: Gestione digitale dei processi informativi”.*
- *“Linee Guida ANAC”.*

Esso è inerente a:

- Attività di progettazione da esperire secondo metodologia BIM e per il livello di approfondimento progettuale affidato.
- Realizzazione e/o aggiornamento di modelli informativi di opere e luoghi mediante l’uso di metodi e strumenti elettronici di modellazione alle soluzioni costruttive messe in atto durante l’esecuzione dei lavori di realizzazione dell’opera (*“Modello As built”*).

Il Capitolato Informativo regola i contenuti e le modalità di realizzazione dei modelli informativi sviluppati dall’Affidatario. Quindi, modelli informativi di opere e luoghi sviluppati dovranno rappresentare e soddisfare i suoi requisiti.

Secondo il Capitolato Informativo [7], la Stazione appaltante deve verificare la necessità di disporre del modello informativo delle preesistenze (modellazione informativa BIM dello stato dei luoghi). In caso affermativo, dove tale modello non sia già disponibile, dovrà procedere ad affidare detta attività ad un progettista esterno. Questo permette di inquadrare a livello normativo il lavoro di tesi.

Nel presente lavoro, l'obiettivo richiesto all'Affidatario è lo sviluppo di un modello informativo definito "*As built*" e caratterizzato da tutte le integrazioni derivanti dalle soluzioni ingegneristiche di dettaglio attuate in sede di realizzazione delle opere e le modifiche o varianti disposte dalla Stazione Appaltante durante l'esecuzione del contratto. I modelli informativi realizzati nell'ambito di tale prestazione consentiranno un eventuale successivo approfondimento per quanto alle attività di gestione e manutenzione dell'asset infrastrutturale.

Per la gestione ed il controllo delle informazioni che verranno generate durante l'esecuzione della prestazione richiesta, è richiesto all'Affidatario di dichiarare le caratteristiche hardware e la tipologia di software che utilizzerà per lo svolgimento del servizio richiesto. L'Affidatario è tenuto a utilizzare software dotati di regolare contratto di licenza d'uso. Quindi, sin dall'inizio del lavoro si deve indicare:

- Infrastruttura Hardware
- Infrastruttura Software

Successivamente, la Stazione Appaltante mette a disposizione dell'Affidatario un ambiente condiviso di raccolta dati ("*ACDat*"), dove tutti i soggetti accreditati potranno condividere le informazioni prodotte, secondo le regole prestabilite dal CI-BIM: (vedi figura sottostante)

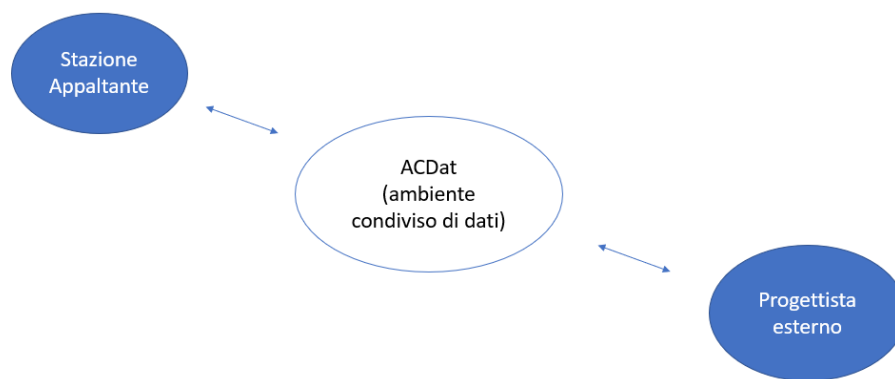


Figura 7 - Processo BIM nel lavoro di tesi

All'interno dell'ACDat è previsto un processo di cambiamento di stato dei modelli e degli elaborati, che identifica i livelli di maturità e di approvazione crescenti degli stessi.

Nell'ambito dello svolgimento delle prestazioni richieste, i modelli informativi devono essere realizzati con piattaforme software BIM compatibili con formati di interscambio open, quali l'Industry Foundation Classes (IFC) secondo gli standard definiti da “*buildingSMART International*”.

L'Affidatario deve poi consegnare alla Stazione Appaltante i modelli informativi in formato nativo ed in formato di interscambio open.

2.2 Workflow e fasi del processo

La prima fase del lavoro è incentrata sull'organizzazione del flusso di lavoro, finalizzata alla scelta corretta dei dati iniziali e alla gestione delle varie fasi del modello. Per la scelta dei dati iniziali è stato considerato un “*Asset database*”, cioè la base dati, che contiene l'inventario dei dati iniziali, costituiti dai progetti originali che contengono informazioni riguardo materiali, armature, geometrie e coordinate.

Esso è supportato da un “*Inspection Database*”, con i dati raccolti attraverso le più recenti ispezioni del ponte, che contengono informazioni visive, informazioni sul tipo di danno, la sua ubicazione e la sua estensione. Infine, si collega il “*Repair Database*” che raccoglie i dati inerenti alla nuova soluzione strutturale del ponte, con tutti i disegni relativi, materiali, armature e geometrie.

Anche per la parte di gestione delle fasi si utilizza un approccio metodologico, per cui si considera di dividere il modello in:

- Fase 1: Creazione di un modello del ponte esistente con travi in cemento armato precompresso
- Fase 2: Strategie e simulazioni per la demolizione dell’impalcato e la sostituzione con una nuova struttura composita
- Fase 3: Gestione del nuovo ponte tramite il modello digitale BIM

Nella parte iniziale di definizione delle priorità si stabiliscono gli usi e le finalità del modello, per stabilire i livelli di dettaglio e di informazioni del modello. Il modello mira all’obiettivo della “*gestione delle manutenzioni del patrimonio esistente*”.

2.3 Conoscenza dell’opera

Prima di prendere decisioni sulla gestione di un’infrastruttura è necessario conoscerla a fondo. La conoscenza del manufatto assegnato crea la consapevolezza del suo stato di fatto. La fase che precede la modellazione riguarda l’analisi globale dell’infrastruttura.

Gli elementi che permettono di inquadrare l’oggetto sono:

- Rilievo geometrico
- Documentazione storica e progettuale
- Ispezione visiva (Rapporto sui difetti)
- Prove sui materiali

Il rilievo geometrico è un insieme di procedure fondamentali per capire la geometria esterna della struttura e dei suoi dettagli costruttivi. Nel caso del ponte analizzato, è stata effettuata una ricostruzione geometrica di infrastrutture viarie tramite un rilievo laser scanner 3D, nel sistema di riferimento WGS84 – UTM 32N, come mostra la seguente figura:

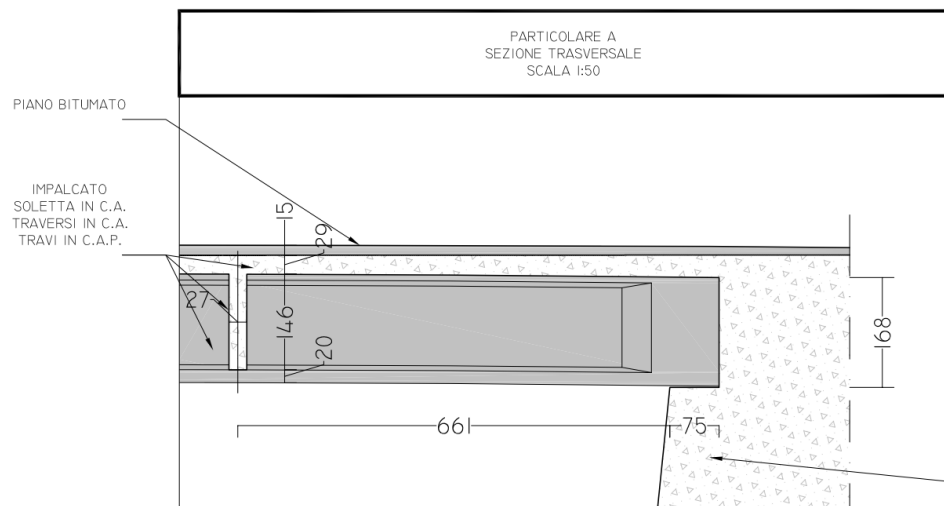


Figura 8 - Rilievo geometrico del ponte

Questa è un'operazione importante perché i dati che provengono dal rilievo con laser scanner possono essere confrontati con i dati geometrici definiti dai disegni progettuali, ai quali si può associare un livello di affidabilità.

Successivamente, si effettua un'analisi in archivio. Si ricercano le informazioni di base del ponte. Relativo ad esso, si ricavano:

- Relazione sui calcoli di stabilità
- Corografia
- Planimetria generale
- Disegni geometrici, disegni delle armature e prospetti
- Relazione di calcolo

La lettura e l'analisi dei progetti originali del ponte permettono di inquadrare l'infrastruttura a livello geografico:



Figura 9 - Corografia

Come si vede nella figura soprastante, si hanno informazioni sulla natura dell'opera e sul motivo della sua costruzione. Inoltre, fornisce anche informazioni sul contesto geotecnico e ambientale in cui è collocata.

L'opera si inquadra anche a livello progettuale, consultando le relazioni di calcolo e i disegni originali, come mostrano le seguenti immagini sottostanti:

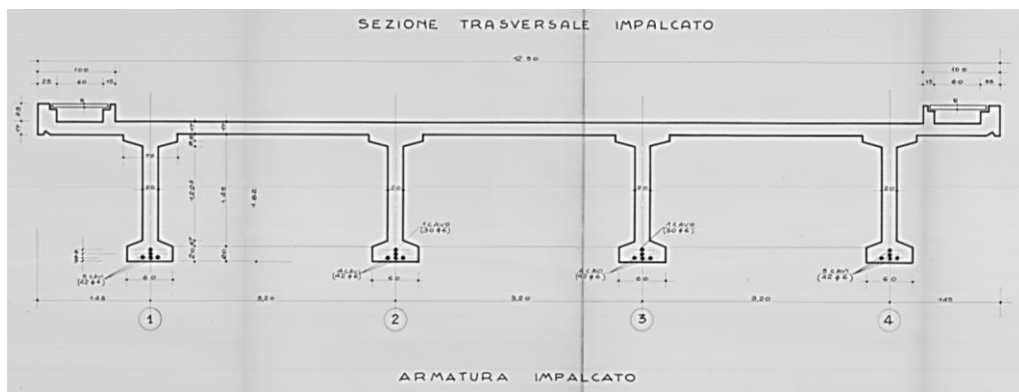


Figura 10 - Sezione trasversale dell'impalcato

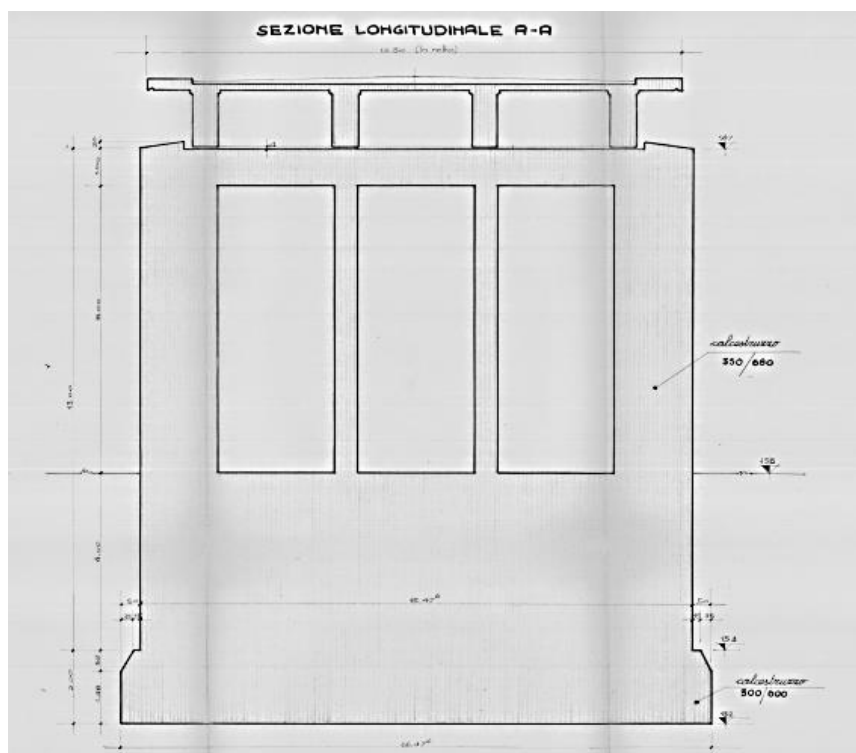


Figura 11 - Sezione di una pila

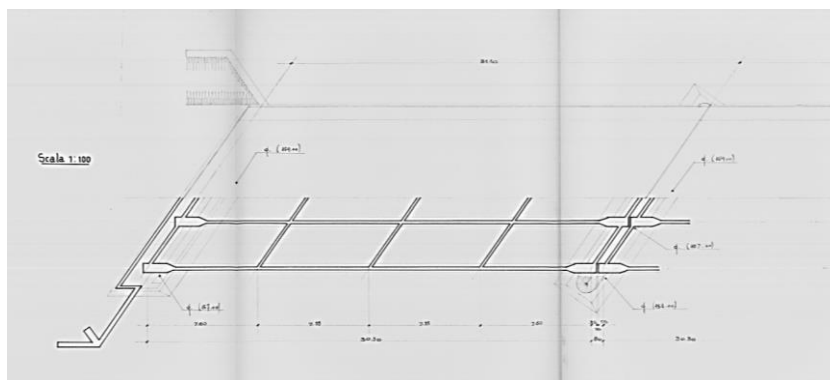


Figura 12 - Pianta del piano viabile

La consultazione dei progetti originali ha permesso di conoscere dati che riguardano:

- Geometria degli elementi strutturali
- Materiali
- Disposizione delle armature

Nei progetti, però, mancano alcuni dati relativi ad armature, geometrie e materiali: questi sono stati ipotizzati, coerentemente all'epoca, al fine di completare il modello.

L'analisi storico – critica, sulla base delle ispezioni della Stazione Appaltante, ha permesso di definire:

- Anno di costruzione: 1959/1960;
- Tecniche, regole costruttive e norme tecniche dell'epoca di costruzione: trattasi di strutture ordinarie da ponte, con elementi prefabbricati in cemento armato precompresso (travi longitudinali) ed elementi gettati in opera (spalle, fondazioni, pile, pulvini, giunture dei traversi). Fa riferimento alla

normativa del 1945 [8]. Negli anni 60' è, inoltre, probabile che venissero usate barre lisce di armatura [9].

- Forma originaria e le successive modifiche: la struttura non presenta elementi che ne denotino variazioni rispetto alla realizzazione iniziale.
- Traumi subiti e le alterazioni delle condizioni al contorno: non si riscontrano alterazioni delle condizioni al contorno.
- Interventi di consolidamento pregressi: molto improbabili, le strutture non presentano elementi che diano traccia di eventuali interventi di consolidamento pregressi.

Dopo la fase di rilievo e la fase di analisi dei progetti originali, la Stazione Appaltante ha organizzato un'ispezione visiva dell'opera. Dall'ispezione emerge la presenza di fenomeni di degrado che interessano globalmente le opere d'arte ed i loro elementi strutturali:

Elemento		Sottoelemento		Materiale	Difetto	Voto (da 1 a 5)	Estensione	Ispezione approf.
Pile	1/4	Fusti	1/1	C.A.	98 - DISTACCO SPIGOLI	4	10%	
Impalcato	2/5	Sbalzi	1/2	C.A.	31 - TRACCE DI SCOLO	5	20%	

Figura 13 - Rapporto d'ispezione

Il rapporto d'ispezione, come mostra l'immagine sopra, indica l'elemento analizzato, il suo ID e il sotto elemento, con il relativo materiale, al quale affianca il difetto riportato, con un voto che indica la pericolosità e l'intensità e una percentuale che identifica l'estensione. Dal rapporto si evince che a livello di deformazioni, dissesti e quadri fessurativi, con indicazioni, ove possibile, della loro evoluzione nel tempo, tutte le strutture presentano fenomeni di degrado localizzati, sparsi su tutti gli

elementi a vista, in molti casi dovuti all'esposizione ripetuta agli scoli delle acque meteoriche non ben regimentati. Il degrado si manifesta principalmente con evidenti macchie di umidità, talvolta accompagnate da sgretolamento localizzato dello spessore di copriferro ed armature lente esposte in stato di corrosione. Non si osservano deformazioni, dissesti o particolari quadri fessurativi anomali tali da presagire l'evoluzione di fenomeni di collasso.

Da quanto sopra esposto, emerge la presenza di fenomeni di degrado particolarmente rilevanti, quali:



Figura 14 - Degrado armatura da precompressione



Figura 15 - Armatura esposta di una pila



Figura 16 - Degrado armatura di una trave

Per completare l'ispezione sono state fatte anche delle prove sui materiali, prelevando dei campioni di armature e delle carote di calcestruzzo. Sulla base delle ispezioni e dell'analisi dello stato di fatto la Stazione Appaltante ha definito l'intervento di riparazione che il ponte subirà.

Il progetto prevede la demolizione degli impalcati esistenti e la ricostruzione di nuovi in acciaio - calcestruzzo. Non essendo previsto né un ampliamento né un incremento delle corsie fisiche e non andando a modificare lo schema strutturale di trasmissione delle forze alla sottostruttura, questa tipologia ricade tra gli “*interventi di riparazione o locali*” [10].

L'intervento mira a modificare l'impalcato, mantenendo numero e posizione degli appoggi sulle sottostrutture, in modo da rimanere aderenti alle ipotesi progettuali di partenza.

Si interviene sul ponte esistente sostituendo gli attuali impalcati in cemento armato precompresso con un impalcato a via superiore costituito da sezione mista acciaio – calcestruzzo, a travata metallica con soletta in cemento armato collaborante. I nuovi impalcati sono progettati costituiti da quattro travi principali, in acciaio a doppio T, completati da una soletta in cemento armato strutturalmente collaborante.

Le travi principali sono fra loro connesse da diaframmi ad anima piena (traversi) intermedi di campata, posti in senso perpendicolare alle travi principali. Anche i diaframmi sono a contatto con la soletta in cemento armato e sono saldati direttamente alle travi principali. Sono inoltre presenti traversi di appoggio.

Le travi principali sono irrigidite da costole verticali e orizzontali. Il varo della parte metallica dell'impalcato è previsto di punta dalle spalle. La soletta, in calcestruzzo armato, ha spessore costante ed è prevista gettata in opera. Dopo la posa in opera delle lastre prefabbricate si procede alla posa delle barre di armatura di orditura longitudinale e trasversale. Le lastre predalles vengono prefabbricate già con l'armatura trasversale necessaria all'intradosso. Alla suddetta fase seguono infine il getto della soletta a spessore definitivo e il getto dei cordoli laterali. L'arredo stradale è completato dalle velette laterali e da barriere di sicurezza "Bordo Ponte". Quindi, nella nuova soluzione strutturale:

- Pile, Fondazioni, Spalle, Muri d'ala: parti rimanenti.
- Travi, Traversi, Soletta, Cordoli: parti demolite.

Questa distinzione tra le parti che rimangono e quelle che verranno demolite è cruciale nella parte pre – modellazione, dove si decide il livello di dettaglio e di informazioni dei singoli elementi strutturali. La fase di conoscenza dell'opera e dell'intervento specifico che essa deve subire ci permette di impostare il lavoro mirato di modellazione, sulla base degli usi e delle finalità del modello.

2.4 Organizzazione del modello

Prima di iniziare l'effettiva fase di modellazione si stabiliscono gli elementi strutturali che verranno modellati, adeguandosi agli standards stabiliti per le infrastrutture. Si utilizza come riferimento e normativa il Capitolato Informativo della Stazione Appaltante, che vincola il formato di scambio in “.ifc 4.1” [11], in un'ottica di “Open BIM” [12]. Il formato “IFC (Industry Foundation Classes) è un modello dati standard, creato e mantenuto da buildingSmart International, per lo scambio di modelli BIM in formato aperto. Storicamente IFC copriva principalmente i casi d'uso relativi a modelli di opere edili. Il progetto internazionale IFC Bridge, dal 2018 al 2019, si è occupato di estendere lo standard per coprire anche modelli di ponti.” [2]

Il formato aperto IFC garantisce l'interoperabilità tra i modelli e permette una corretta esportazione. La struttura spaziale proposta dalla “Linea guida di applicazione dell'IFC a ponti e viadotti” [2] è costituita da tre diversi livelli:

- Primo livello: è costituito da “*ifcsite*”, cioè lo spazio di terreno in cui il ponte è situato.
- Secondo livello: si considera la tipologia d’opera “*ifcbridge*”, scegliendo nel caso specifico del Nuovo ponte sul fiume Bormida il tipo “*ifcgirder*”.
- Terzo livello: è relativo alle parti che costituiscono l’opera

Il ponte è definito da una sottostruttura (“*substructure*”), una sovrastruttura (“*superstructure*”) e un impalcato (“*deck*”):

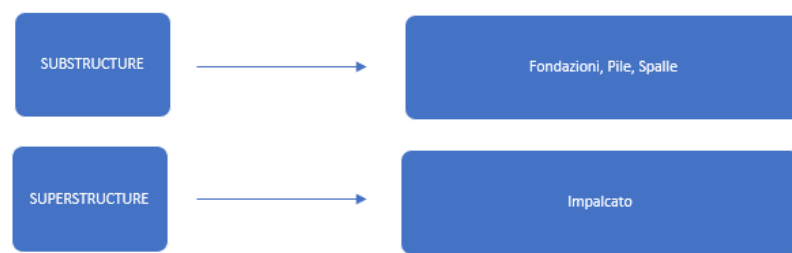


Figura 17 - Elementi del ponte

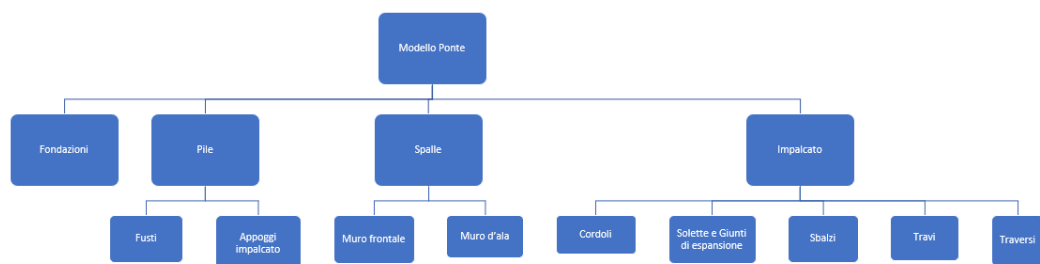


Figura 18 - Sottoelementi ponte

Una volta definita la parte spaziale, come si vede nelle immagini precedenti, si passa alla fase di organizzazione degli elementi strutturali

da modellare. Gli standards IFC ci permettono di capire quali elementi sono di utilizzo comune per la costruzione di un modello di un ponte o di un viadotto. Nel caso specifico del Nuovo ponte sul fiume Bormida sono stati modellati:

Tabella 1 - Elementi IFC

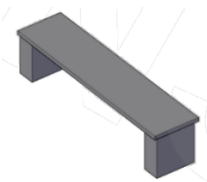
Categoria	Oggetto	Elemento
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcbeam</i>	Trave
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcbearing</i>	Appoggio
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifccolumn</i>	Pila
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcfooting</i>	Fondazione
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcslab</i>	Soletta impalcato
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcwall</i>	Spalla
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcbeam</i>	Traverso
<i>.ifcbuiltelement</i>	<i>.ifcwall</i>	Muro d'ala
<i>.ifcdiscreteaccessory</i>	<i>.ifcdiscreteaccessory</i>	Giunto d'espansione

Stabiliti gli elementi da modellare, si passa alla definizione del livello di approfondimento richiesto. Il livello di approfondimento, o “*LOD*”, è definito come “*Livello di approfondimento e stabilità dei dati e delle informazioni degli oggetti digitali che compongono i modelli*” [13]. Il LOD si configura come la somma del LOG, il livello di geometria, definito come “*Livello di approfondimento e stabilità degli attributi geometrici degli oggetti digitali che compongono i modelli*” [13], e del LOI, il livello di informazioni, definito come “*Livello di approfondimento e stabilità*

degli attributi informativi degli oggetti digitali che compongono i modelli” [13].

La scelta del LOD è operata mediante la consultazione della presente tabella del Capitolato Informativo della Stazione Appaltante:

Tabella 2 - LOD elementi

LOD B		GEOMETRIA Ingombro tridimensionale del ponte.	OGGETTO Superfici 3D. Solidi 3D.
LOD C		GEOMETRIA Ingombro tridimensionale effettivo del ponte.	OGGETTO Superfici 3D. Solidi 3D.
LOD D		GEOMETRIA Ingombro planimetrico del ponte. Barre d'armatura, barriere, pali di illuminazione, ecc.	OGGETTO Superfici 3D. Solidi 3D.

LOD E		GEOMETRIA Come LOD D.	OGGETTO Superfici 3D. Solidi 3D.
LOD F		GEOMETRIA COME LOD E (rilievo di quanto eseguito).	OGGETTO Superfici 3D. Solidi 3D.
LOD G		GEOMETRIA Nuovi interventi: (come LOD F) con aggiornamenti. Manutenzione e gestione su ponti esistenti: Come LOD C o D (a partire da).	OGGETTO Superfici 3D. Solidi 3D.

Sulla base del capitolato e sulla base della tipologia di intervento che la struttura subirà si decide di trattare in modo diverso le componenti del ponte. Nella nuova soluzione strutturale, a seguito “*dell'intervento di*

riparazione locale”, alcune parti rimarranno, mentre altre saranno demolite. Il LOD è, perciò, stabilito:

- In funzione della futura presenza dell’elemento nella nuova soluzione strutturale
- In funzione della quantità di informazioni progettuali che si hanno su un singolo elemento (Geometria, Materiale, Armatura)
- In funzione della quantità dei parametri che voglio assegnare all’elemento

Sulla base di queste premesse si è deciso di definire:

- Fondazioni: LOD C (Difficilmente ispezionabili e mancanza di dati)
- Pile e Spalle: LOD D (Parti che rimarranno)
- Travi e impalcato: LOD D

Le travi sono state trattate con un livello alto come per le pile e le spalle, nonostante facciano parte degli elementi da demolire, poiché su di esse si andrà ad associare un LOR, ossia il livello di affidabilità e di sicurezza di un dato. Quest’operazione è importante, poiché la costruzione del modello digitale parte dalla lettura dei disegni esistenti, ma quanto sono affidabili i dati in nostro possesso?

Il processo di assegnazione del livello di affidabilità segue il flusso mostrato dalla seguente figura:

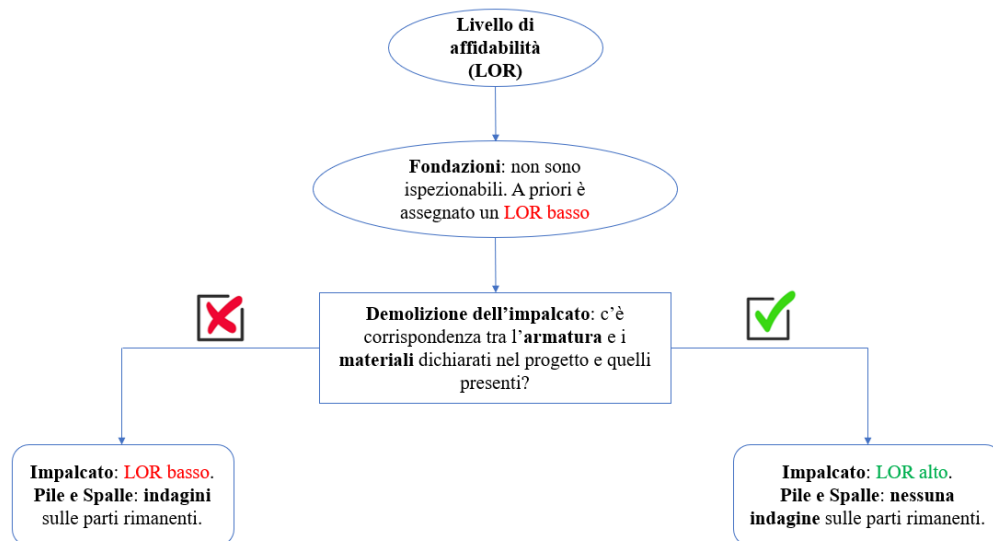


Figura 19 – Processo assegnazione LOR

La demolizione controllata di parte della struttura, in questo caso della trave di bordo, la più sollecitata, offre l'opportunità di verificare l'effettiva corrispondenza tra le armature presenti nella trave e quelle presenti nei disegni originali. Se la corrispondenza è elevata, l'affidabilità dei dati non richiede ispezioni invasive su pile e spalle, le parti che rimarranno. Mentre, se la corrispondenza è bassa saranno necessarie ispezioni e indagini su di esse, per aumentare l'affidabilità del modello. L'effettiva assegnazione del LOR e la verifica della relativa corrispondenza non sono state possibili per via del fatto che la demolizione dell'impalcato non è ancora avvenuta.

2.5 Modello dell'esistente

2.5.1 Revit e la modellazione parametrica

La modellazione del ponte esistente è stata fatta mediante l'utilizzo del software BIM Revit, versione 2022, della suite di Autodesk. Revit include degli strumenti specifici per ogni disciplina:

- Progettazione architettonica
- Progettazione Strutturale
- Progettazione MEP
- Costruzione

Questi strumenti permettono un'accurata modellazione di strutture e infrastrutture.

Il software Revit si basa e sfrutta il design parametrico. *“La modellazione parametrica è un tipo di modellazione tridimensionale che si differenzia dalla modellazione solida classica perché si basa sulla messa in relazione di varie componenti/parti del modello tra di loro o con numeri o caratteristiche che vengono appunto definiti parametri”* [14]. Essa *“permette di concatenare una serie di modifiche e di automatizzare dei processi ogni volta che si va ad agire su un determinato parametro per apportare una modifica”* [14], ma anche di *“apportare velocemente e in maniera esatta modifiche al progetto o di studiare in maniera relativamente semplice una serie di possibilità o alternative partendo da dei presupposti numerici (dimensionali, quantitativi) o formali assegnati”* [14].

2.5.2 WBS

La parte di modellazione deve essere orientata e organizzata sin dall'inizio. Prima di partire con la fase di modellazione pura si stabilisce una WBS (*“Work Breakdown Structure”*), che si configura come una struttura che scompone il lavoro in varie parti, elencando tutte le attività

di un progetto. In questo caso la WBS permette una corretta organizzazione delle parti da modellare e una loro classificazione:

- Livello 1: Categoria
- Livello 2: Famiglia
- Livello 3: Tipo
- Livello 4: Campata
- Livello 5: Numero ID

Un esempio di WBS del ponte esistente è quella mostrata dalla figura sottostante:

Testo	
Livello 1	Travi primarie
Livello 2	Trave
Livello 3	E
Livello 4	4
Livello 5	001

Figura 20 - WBS modello

Il primo livello fa riferimento alla categoria di Revit dell'elemento; nel caso specifico del ponte, si fa riferimento alle categorie standard di Revit delle infrastrutture. Il secondo livello fa riferimento alle famiglie create su Revit per modellare i diversi elementi. Il terzo livello si riferisce ai diversi tipi della singola famiglia. Per completare la classificazione, si numerano gli elementi considerando la campata su cui si trova l'elemento e l'ID.

2.5.3 Famiglie e Categorie

Gli elementi che compongono il ponte esistente sono creati mediante l'utilizzo di famiglie, che permettono di modellare gli elementi, classificarli e assegnare loro dei parametri specifici.

Si crea la famiglia “*Fondazioni pila*”. Esse fanno parte della categoria infrastrutturale “*Fondazioni Strutturali*”. Sono i sistemi di fondazione superficiale che diffondono e trasmettono i carichi al terreno. Questi elementi appartengono anche al tipo di fondazione superficiale, dove i carichi vengono trasferiti direttamente al terreno, che è aderente alla sua superficie inferiore. Alle fondazioni si collegano anche i pali di fondazione, i quali si identificano come degli elementi strutturali ad una dimensione prevalente. La geometria dei pali e il loro materiale sono stati ipotizzati poiché non ci sono informazioni a riguardo nei disegni progettuali. Anche il materiale delle fondazioni dirette è stato ipotizzato:

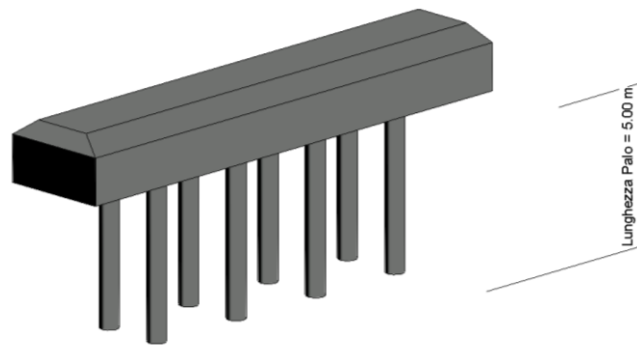


Figura 21 - Fondazioni Pila

La famiglia “*fondazioni pila*” ha un unico tipo.

Si crea la famiglia “*Fondazioni spalla destra e spalla sinistra*”. Fanno parte della categoria infrastrutturale “*Fondazioni strutturali*”. La

geometria dei pali e il loro materiale sono stati ipotizzati poiché non ci sono informazioni a riguardo nei disegni progettuali.

Anche il materiale delle fondazioni dirette è stato ipotizzato:

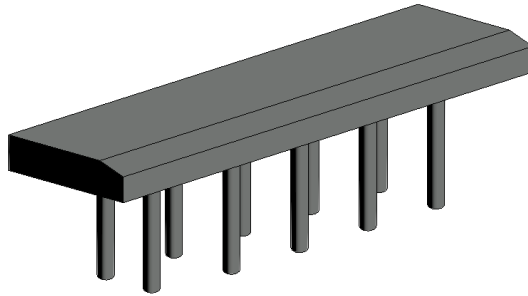


Figura 22 - Fondazione spalla sinistra

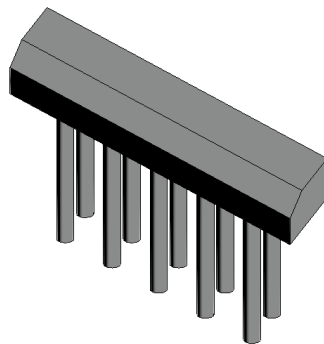


Figura 23 - Fondazione spalla destra

La famiglia “*Fondazioni spalla destra e spalla sinistra*” ha un unico tipo. Successivamente, si crea la famiglia “*Fusto pila*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Piloni*”. Si configura come un supporto intermedio della soprastruttura del ponte. Trasferisce i carichi orizzontali e verticali alle fondazioni.

Il materiale e la geometria sono definiti nei disegni progettuali:



Figura 24 - Pila

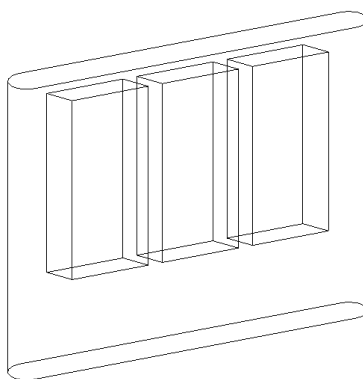


Figura 25 - Vuoti della pila

La famiglia “*Fusto pila*” ha un unico tipo.

Si crea, poi, la famiglia “*Muro frontale spalla sinistra e spalla destra*”. Fanno parte della categoria infrastrutturale “*Spalle*”. È un elemento che fa parte della sottostruttura, il quale supporta la parte finale della campata della sovrastruttura. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

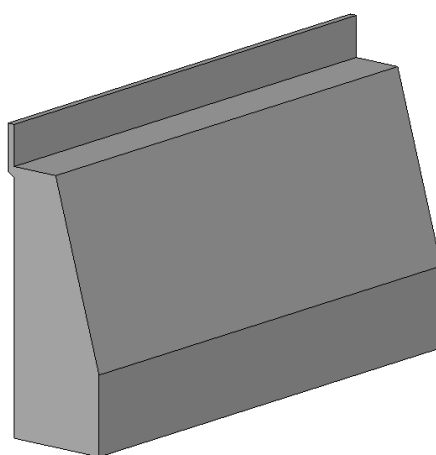


Figura 26 - Muro spalla

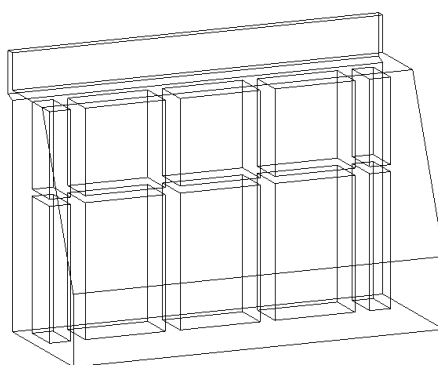


Figura 27 - Vuoti del muro

La famiglia “*Muro frontale Spalla sinistra e Spalla destra*” ha un unico tipo.

Si produce la famiglia “*Muro d’ala*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Spalle*”. Essi si configurano come dei muri di sostegno inclinati, che incrementano la resistenza alle azioni trasversali. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

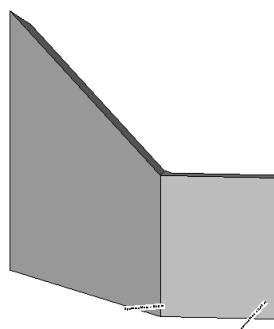


Figura 28 - Muro d'ala

La famiglia “*Muro d'ala*” ha un unico tipo.

Successivamente, si crea la famiglia “*Trave*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Travi Primarie*”.

Le travi da ponte costituiscono il telaio strutturale del ponte e la parte principale della soprastruttura. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

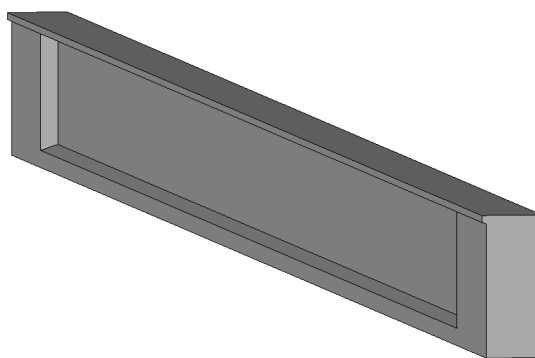


Figura 29 - Trave dell'impalcato

La famiglia “*Trave*” è costituita da due tipi: tipo E, per le due travi esterne, tipo I, per le travi interne.

A questa segue la famiglia “*Traverso intermedio*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Controvento trasversale*”. Costituisce, insieme alle travi primarie, il telaio strutturale del ponte. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

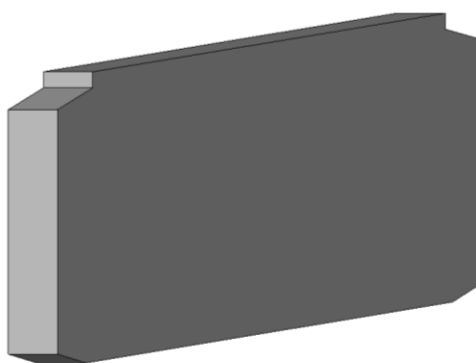


Figura 30 - Traverso intermedio

La famiglia “*Traverso intermedio*” ha un unico tipo.

I traversi sono completati dalla famiglia “*Traverso di testata*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Controvento trasversale*”. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

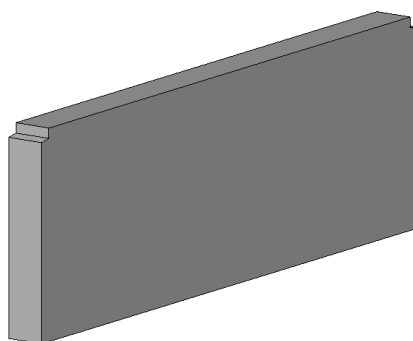


Figura 31 - Traverso di testata

La famiglia “*Traverso di testata*” ha un unico tipo.

Si crea la famiglia “*Giunti di espansione*”. Fanno parte della categoria infrastrutturale “*Giunti di espansione*”. Il giunto di espansione è progettato per permettere un traffico continuo tra le strutture. La geometria e il materiale sono stati ipotizzati, poiché non c’erano informazioni nei disegni progettuali. È stato modellato come una linea.

Si modella la famiglia “*Appoggi elastomerici*”. Fanno parte della categoria infrastrutturale “*Appoggi*”. Sono degli elementi o dispositivi installati tra la sottostruttura e la sovrastruttura per trasferire i carichi verticali e orizzontali applicati. Essi permettono i movimenti relativi tra la sottostruttura e la sovrastruttura. La geometria e il materiale sono stati ipotizzati, poiché non c’erano informazioni nei disegni progettuali.

Il modello viene completato con la parte che riguarda la sovrastruttura del ponte. Perciò, si modella la famiglia “*Soletta dell’impalcato*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Impalcato del ponte*”.

È la porzione di strada del ponte che supporta direttamente il traffico veicolare e pedestre. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:



Figura 32 - Soletta impalcato

La famiglia “*Soletta dell’impalcato*” ha un unico tipo.

Essa è completata dalla famiglia “*Sbalzi dell’impalcato*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Impalcato del ponte*”. È la porzione di strada del ponte che supporta direttamente il traffico pedestre. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

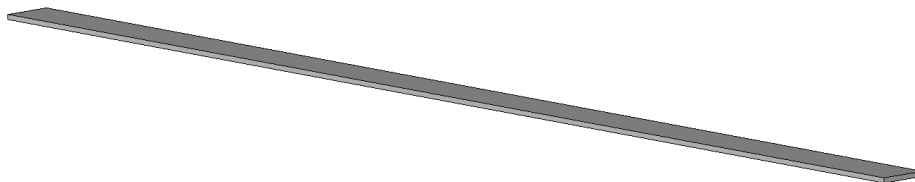


Figura 33 - Sbalzi dell'impalcato

La famiglia “*Sbalzi dell’impalcato*” ha un unico tipo.

Infine, si modella la famiglia “*Cordoli dell’impalcato*”. Fa parte della categoria infrastrutturale “*Impalcato del ponte*”.

È la porzione di impalcato del ponte che separa gli sbalzi dal tratto stradale. La geometria e il materiale sono definiti sulla base dei disegni progettuali:

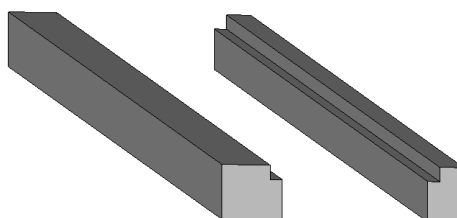


Figura 34 - Cordoli dell'impalcato

La famiglia “*Cordoli dell’impalcato*” ha un unico tipo.

La realizzazione di ogni singola parte del ponte permette di ricostruire un modello architettonico digitale di esso, fedele agli schemi progettuali rinvenuti in archivio. Le immagini seguenti mostrano il risultato raggiunto:



Figura 35 – Prospetto



Figura 36 - Sottostruttura

La digitalizzazione del progetto ci permette di facilitare anche l'inquadramento dell'opera, attuato inserendo la topografia della zona in cui esso è collocato, come mostra la seguente figura:

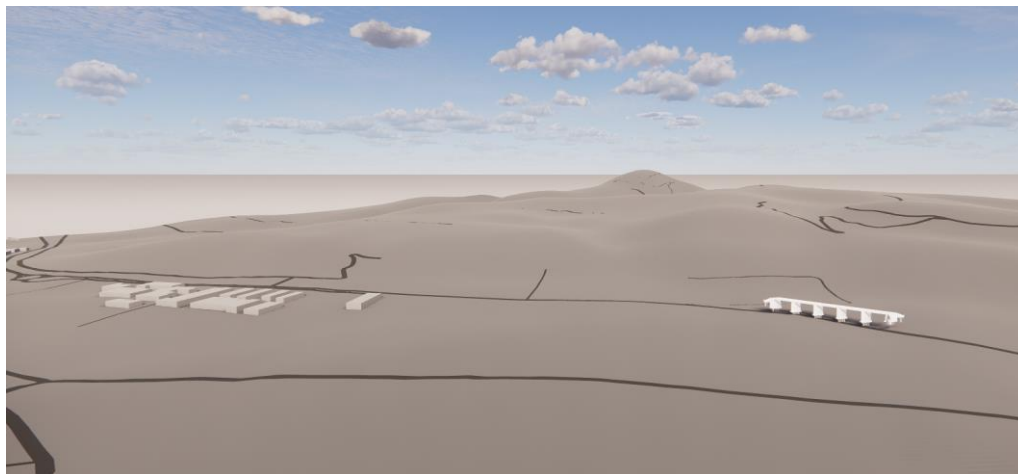


Figura 37 - Inquadramento topografico

2.5.4 Parametri

La parte di modellazione digitale deve essere arricchita e accompagnata da una corretta scelta di alcuni parametri. La scelta dei parametri è condotta sulla base delle finalità del modello e sugli usi. I parametri scelti permettono una profonda conoscenza della struttura, dato che l'intento finale è quello di creare un digital twin dell'opera, per gestirla nel migliore dei modi. All'interno di Revit esistono:

- Parametri di progetto: sono specifici per un unico file di progetto. Le informazioni che contengono non possono essere condivise con altri progetti.
- Parametri di famiglia: controllano i valori variabili della famiglia, come ad esempio le quote o i materiali.

- Parametri condivisi: sono definizioni di parametri utilizzabili in più famiglie e progetti. Dopo aver aggiunto un parametro condiviso ad una famiglia o un progetto, è possibile utilizzarlo come parametro della famiglia o del progetto.
- Parametri globali: sono specifici per un singolo file di progetto, ma non sono assegnati a categorie.

I parametri di base che sono stati assegnati sono:

- Testo ID
- Materiale dell'elemento
- Quote elemento (Informazioni geometriche)
- Copriferro Armatura (Esposizione ambientale)

A fianco dei parametri di base che Revit fornisce si assegnano dei parametri condivisi, definiti dal gruppo WBS, che permette un'accurata classificazione degli elementi: (vedi figura sottostante)

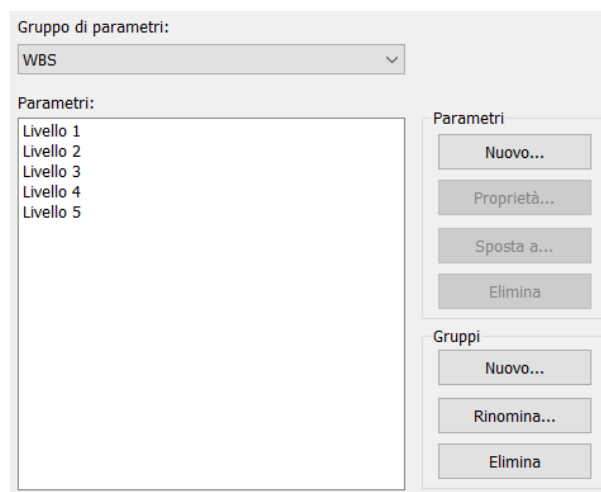


Figura 38 - Parametri condivisi WBS

Ogni elemento del ponte sarà caratterizzato da una diversa nomenclatura. Tra i parametri condivisi è stato creato un gruppo di parametri aggiuntivi denominato “*Difetti*”, visibili nella figura qui sotto:

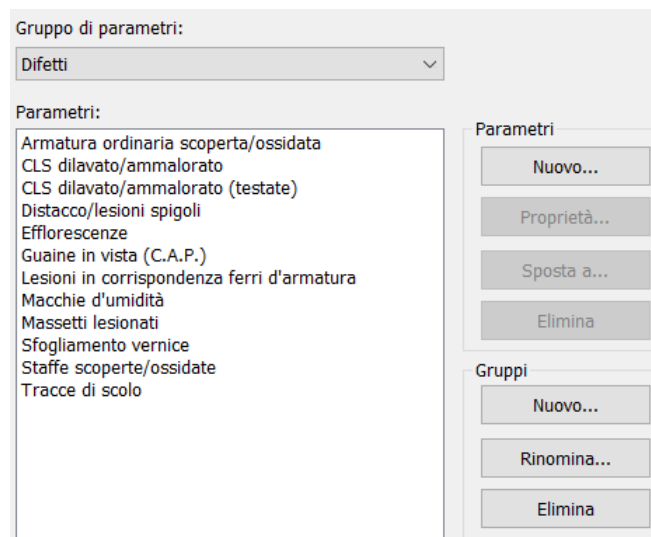


Figura 39 - Parametri condivisi Difetti

Essi sono stati creati come parametri condivisi all’interno del progetto e fanno parte della disciplina “*comune*” e sono di tipo “*intero*”, cioè sono descritti da un valore numerico intero, che ne identifica l’intensità.

Questo gruppo di parametri è stato creato in seguito all’ispezione approfondita svolta dalla Stazione Appaltante. L’ispezione mostra che molteplici elementi del ponte riportano delle lesioni e dei difetti. Per completare il digital twin del ponte occorre assegnare agli elementi i rispettivi difetti. Perciò, sulla base dell’impostazione del rapporto d’ispezione si assegna ad ogni elemento il relativo difetto:

Altro		⬆
Tracce di scolo	5	
Staffe scoperte/os...	4	
Massetti lesionati	0	
Macchie d'umidità	4	
Lesioni in corrispo...	4	
Guaine in vista (C...	0	
Efflorescenze	3	
Distacco/lesioni sp...	0	
CLS dilavato/amm...	0	
CLS dilavato/amm...	0	
Armatura ordinaria...	0	
Sfogliamento verni...	0	

Figura 40 - Assegnazione dei difetti

La figura qui sopra mostra come ogni difetto sia accompagnato da un valore numerico che varia da 0, segno di un difetto poco grave, a 5, cioè un difetto particolarmente grave.

2.5.5 Filtri

Il digital twin costruito mostra i “*segni del tempo*” del ponte esistente. Quando si apre il modello e si necessita fare una rapida analisi visiva dei difetti che esso presenta, si possono costruire dei filtri all’interno di Revit. Ad esempio, se si volesse indagare quali “*travi primarie*” del ponte mostrano il difetto “*efflorescenze*” con una pericolosità maggiore di 3, si può creare il filtro dedicato, come indicato dalla figura:

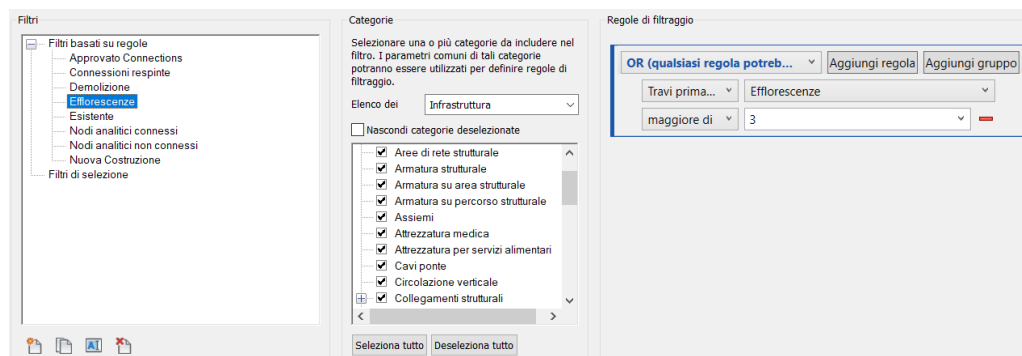


Figura 41 - Filtro "Efflorescenze"

Esso ci permette a livello grafico di vedere gli elementi evidenziati in modo rapido, come mostra la figura sotto:

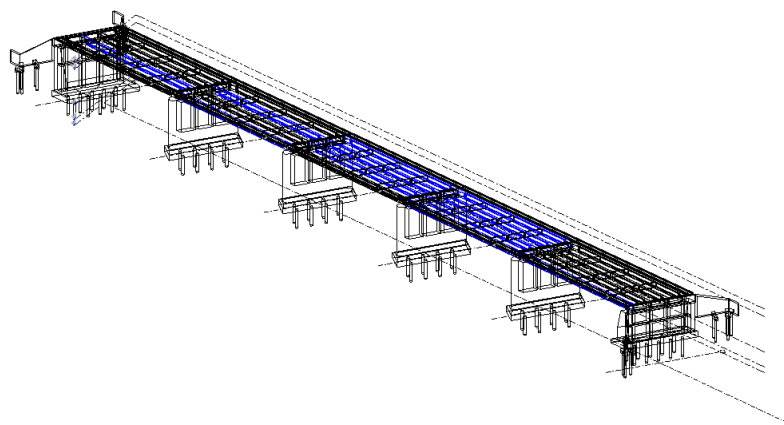


Figura 42 - Travi con "Efflorescenze" con intensità maggiore di 3

A questa tipologia di filtri se ne affiancano altre. Un esempio è quello dei filtri delle fasi. *“Il filtro delle fasi è un criterio che si applica ad una vista per gestire la visualizzazione degli elementi in base allo stato della fase: nuova, esistente, demolizione o temporanea.”* [15]

Il modello del ponte è caratterizzato da fasi differenti, poiché esso subirà un intervento locale di riparazione dove l’impalcato esistente verrà demolito e poi sostituito.

I filtri delle fasi permettono di gestire gli elementi che verranno demoliti e quelli che rimarranno. I filtri, che si riferiscono alle diverse fasi, sono:

- Filtro “Esistente”: si riferisce a tutto il ponte esistente.
- Filtro “Demolizione”: si riferisce alle parti che verranno demolite, cioè travi, impalcato, appoggi e traversi.
- Filtro “Nuova costruzione”: relativo alla parte che verrà esportata tramite “.ifc”, che sarà la base di appoggio della nuova soluzione composita.

In ogni vista si può gestire la visibilità dei filtri, che possono essere personalizzati a livello grafico. Le tre fasi del modello sono gestite come dei parametri di progetto, assegnate ai relativi elementi che ne fanno parte. Quindi, il filtro “*Esistente*” codifica gli elementi mostrati in figura:

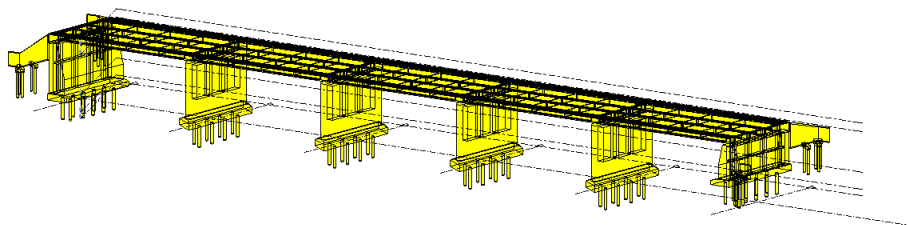


Figura 43 - Filtro "Esistente"

Il filtro “*Demolizione*” codifica gli elementi mostrati nella figura sottostante:

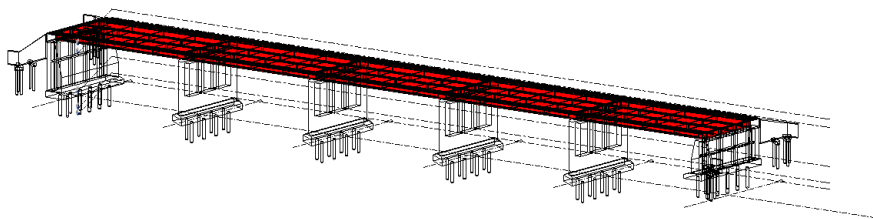


Figura 44 - Filtro "Demolizione"

Mentre, il filtro “*Nuova costruzione*” identifica gli elementi mostrati nella figura qui sotto:

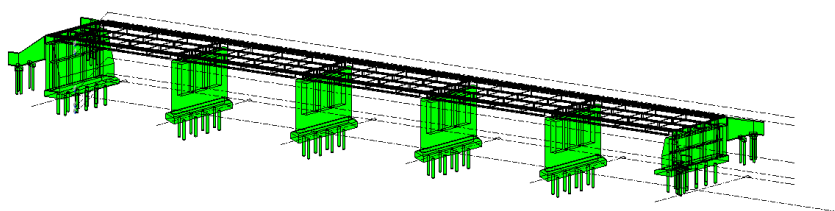


Figura 45 - Filtro "Nuova costruzione"

La parte evidenziata dal filtro nuova costruzione è quella che si esporterà per modellare la sovrastruttura relativa alla nuova soluzione costruttiva. Si attiva il filtro e si esporta il file in formato “*.ifc4.1*”.

2.6 Modello della nuova soluzione strutturale

2.6.1 Tekla Structures

La nuova soluzione strutturale prevede la realizzazione di una struttura composita acciaio – cemento armato. Per modellare la parte nuova si utilizza il software strutturale Tekla, nella versione 2022. Tekla Structures è il software BIM principalmente utilizzato per la progettazione costruttiva di strutture in acciaio, in cemento armato prefabbricato e gettato in opera. Tekla Structures permette di gestire l'opera strutturale dalla progettazione alla fabbricazione fino alla cantierizzazione.

2.6.2 Carpenteria metallica

La modellazione su Tekla parte dall'impostazione dell'unità di misura del file e delle griglie di riferimento, utili per muoversi all'interno dell'area di creazione. La prima fase consiste nella modellazione della carpenteria metallica. Il nuovo impalcato progettato è costituito da 4 travi principali, in acciaio con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica di tipo S355J2W, secondo UNI EN10025 – 5, a doppio T, ad altezza costante pari a 1500 mm. Le travi sono collegate alla soletta tramite una connessione realizzata con pioli muniti di testa tipo "Nelson", secondo UNI EN ISO 13918, in acciaio S235J2 + C450, classificato secondo la UNI EN10025 – 2. Le travi principali sono fra loro connesse da traversi intermedi di campata alti 1000 mm, posti ad interasse in senso perpendicolare alle travi principali; anche i diaframmi sono a contatto con la soletta in cemento armato e sono saldati direttamente alle travi principali.

Le travi principali sono poste ad interasse di 3.20 m, come mostrato dalla figura sottostante:

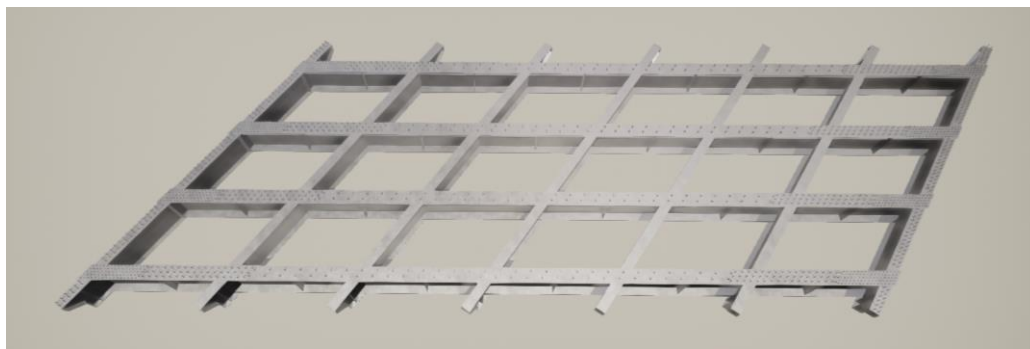


Figura 46 - Disposizione travi e traversi

Le travi principali sono irrigidite da costole, in acciaio S355J2W, poste in alternanza ai traversi intermedi. Gli irrigidimenti sono presenti sia a livello trasversale, sia a livello longitudinale, nelle travi e nei traversi, come mostrato dalle seguenti immagini:

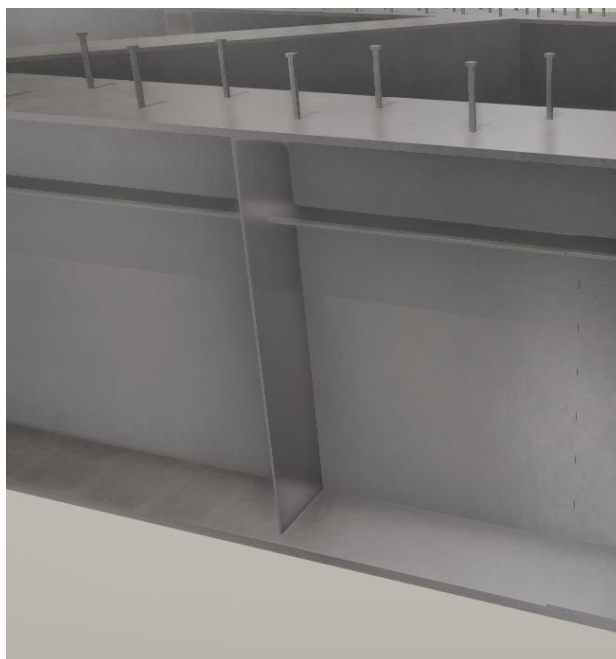


Figura 47 - Particolare piolatura e irrigidimenti

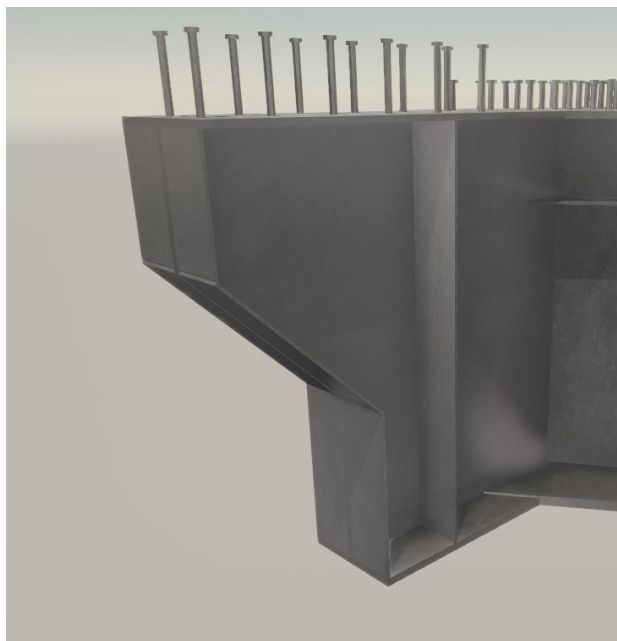


Figura 48 - Irrigidimenti traverso di testata

Ai fini logistici e realizzativi, le travi principali sono prefabbricate in 3 conci di diversa lunghezza. I suddetti conci vengono quindi assemblati in opera mediante giunzioni saldate e il risultato finale è mostrato dalla seguente immagine:

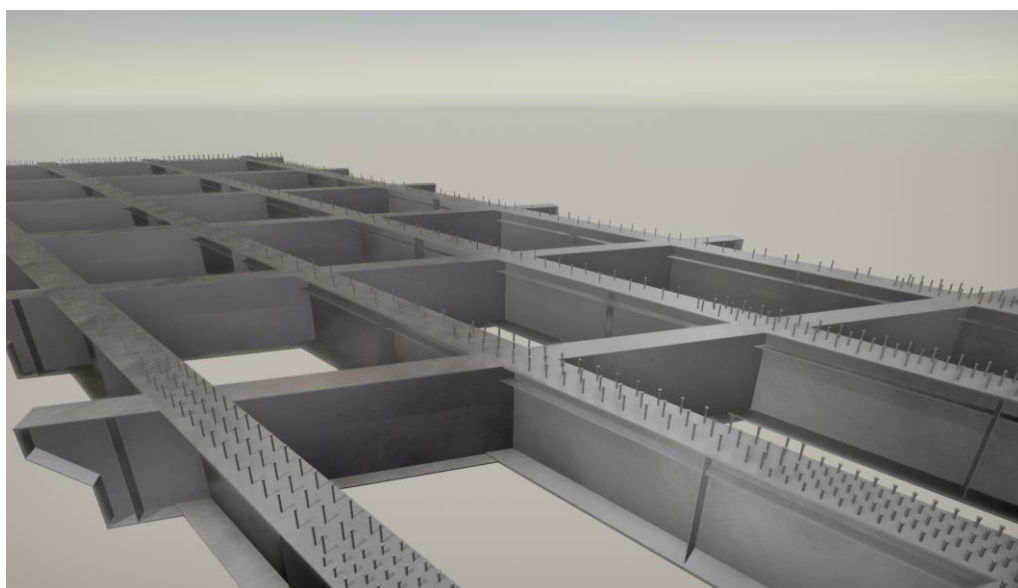


Figura 49 - Carpenteria metallica

Nella modellazione della parte metallica su Tekla, si utilizza un livello di sviluppo più alto rispetto alla modellazione dell'esistente. Si considera un livello di dettaglio alto e un livello di informazioni alto. Si assegnano dei parametri di default ai singoli elementi strutturali:

- Travi: Si assegna il nome, la geometria dell'elemento, il materiale e la finitura. Inoltre, si definisce nell'esportazione IFC l'entità "*IfcBeam*" e il sottotipo IFC4 "*Beam*".
- Traversi: Si assegna il nome, la geometria dell'elemento, il materiale e la finitura. Inoltre, si definisce nell'esportazione IFC l'entità "*IfcBeam*" e il sottotipo IFC4 "*Diaphragm*".
- Saldature: Si definisce la tipologia di saldatura e la dimensione del cordone (altezza di gola).
- Pioli: Si definisce la tipologia di bullone, nel caso del progetto lo standard "*Nelson*". Si imposta la lunghezza, la lunghezza di taglio e la dimensione.
- Piatti di irrigidimento: Si assegna il nome, la geometria dell'elemento, il materiale e la finitura. Inoltre, si definisce l'entità nell'esportazione IFC come "*IfcPlate*".

Una volta definiti e assegnati i parametri, si procede all'esportazione in formato IFC su Revit, per verificare la disposizione spaziale dei componenti. Il risultato finale è mostrato dalle figure seguenti:



Figura 50 - Nuova soluzione strutturale: parte metallica

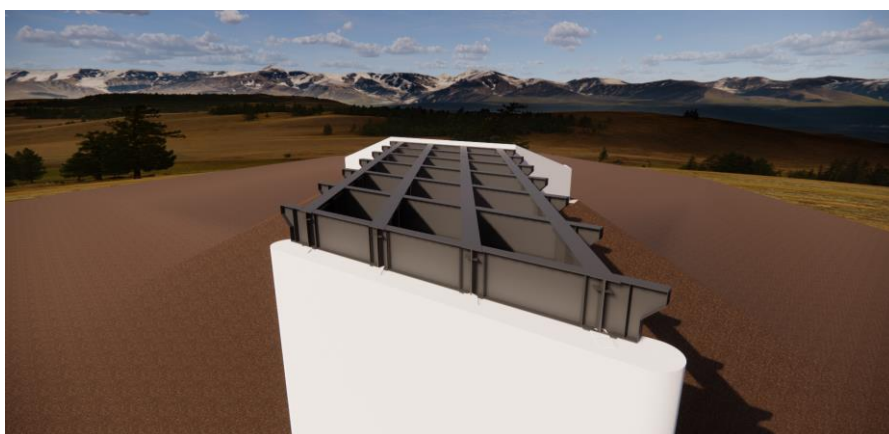


Figura 51 - Posa parte metallica

Questo permette di simulare graficamente la posa della parte metallica in opera. Nell'esportazione della parte metallica da Tekla verso Revit, però, sono stati riscontrati dei problemi. Ad esempio, le saldature e i pioli non vengono esportati in alcuna categoria IFC in Revit. Un altro problema è il formato di scambio. Il formato “.ifc2.3” non comporta particolari problemi, importa tutte le proprietà e le parti selezionate, inoltre permette di scegliere tra diverse funzionalità. Il formato “.ifc4”, invece, importa tutto l'assemblaggio, compresi i tagli delle parti a cui è stato asportato del materiale e non ha tutte le funzionalità del formato precedente.

2.6.3 Calcestruzzo armato

Dopo la posa della carpenteria metallica si posa la soletta in calcestruzzo armato. La posa in opera ha differenti fasi di realizzazione. Esse consistono in:

- Prima fase: Posa delle lastre autoportanti e delle velette
- Seconda fase: Posa e legatura delle armature
- Terza fase: Fase di getto

La prima parte consiste nella posa delle differenti lastre predalles autoportanti:

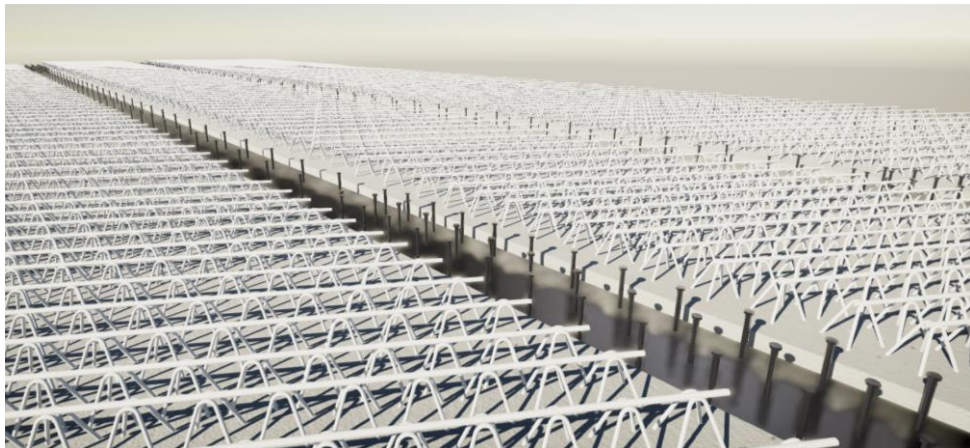


Figura 52 - Posa delle lastre autoportanti

La figura soprastante mostra le lastre autoportanti, marcate CE (EN15050), utilizzate per creare una soletta collaborante dello spessore di 30 cm. Si utilizza un calcestruzzo a prestazione garantita per impieghi strutturali durevoli (UNI EN 206), con classe di resistenza C35/45. L'armatura impiegata e i tralicci fanno riferimento alla classe di acciaio B450C.

Successivamente alla posa delle lastre segue la posa dell'armatura longitudinale e trasversale, superiore e inferiore, della soletta e dei cordoli dell'impalcato. Le seguenti figure mostrano dei dettagli dell'armatura:

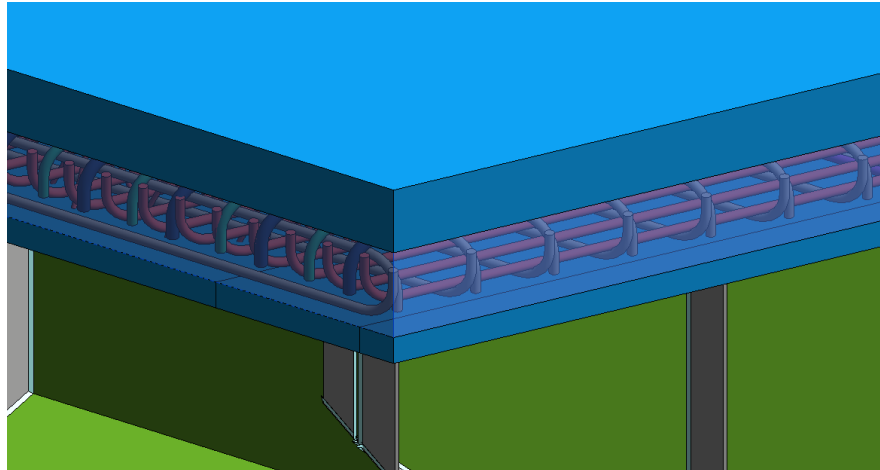


Figura 53 - Particolare armatura soletta 1

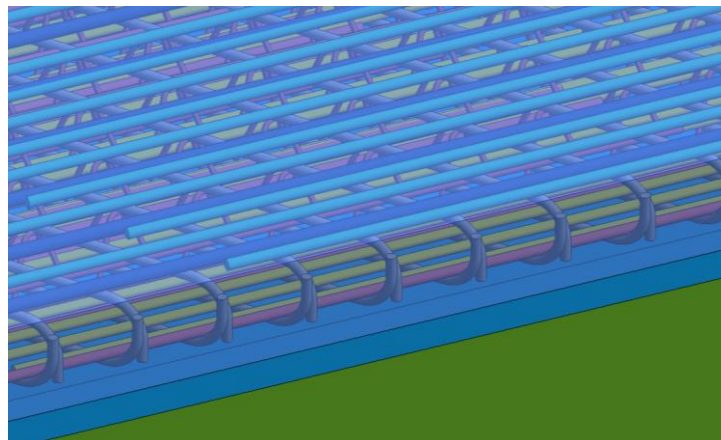


Figura 54 - Particolare armatura soletta 2

Ultimate le armature si procede alla fase di getto del calcestruzzo, come mostrato in figura:

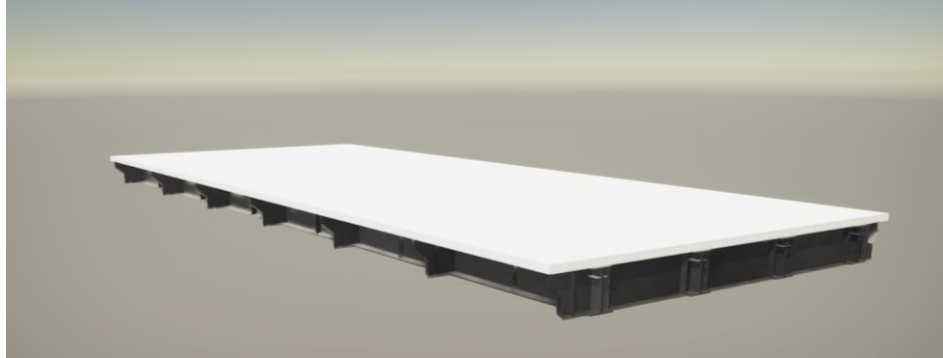


Figura 55 - Struttura composita (Tekla)

Si assegnano alle armature e alle parti in calcestruzzo i parametri di default offerti dal programma: si assegna il nome, la geometria dell'elemento, il materiale, la finitura, l'entità nell'esportazione IFC e il copriferro.

La struttura che si ottiene è mostrata dalle figure qui sotto:

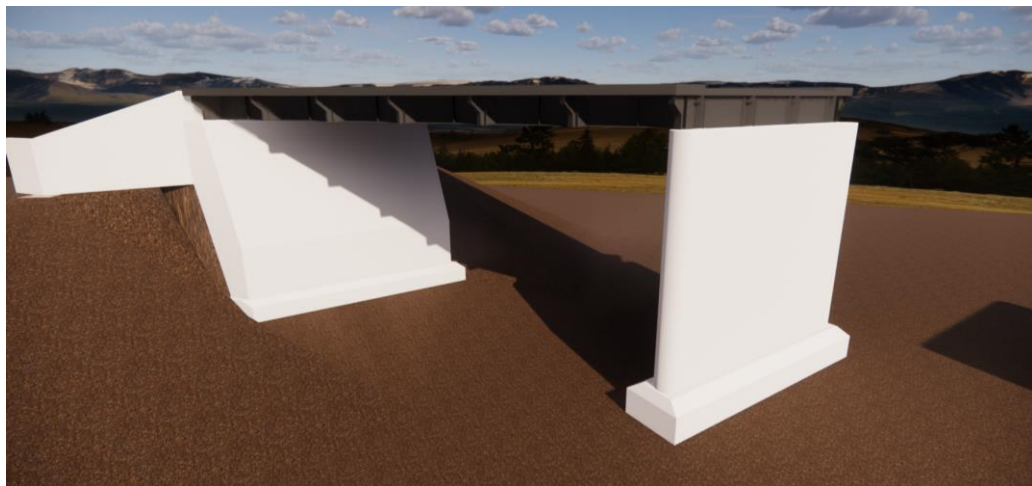


Figura 56 - Struttura composita (Revit)



Figura 57 - Soluzione finale

2.7 Interoperabilità

L'interoperabilità tra le persone e tra i software è l'elemento base dell'approccio BIM. Nel lavoro di tesi si è andata a testare l'interoperabilità tra i software utilizzati per la modellazione dell'esistente, Revit 2022, e del nuovo, Tekla Structures 2022. L'interoperabilità è un fattore cruciale, poiché permette di scambiare dati non solo fra diversi software, ma tra varie discipline, che prendono parte alla progettazione di un'opera. Il test dell'interoperabilità porta ad una matrice come quella indicata in figura:

Interoperabilità	Modello Parte esistente	Modello Parte nuova	
	 AUTODESK® REVIT® 2022	 Tekla. Structures	
 AUTODESK® REVIT® 2022			ARCH
 Tekla. Structures			STR

Figura 58 - Interoperabilità

Si testa l'interoperabilità nel passaggio da Revit a Tekla.

La prova dell'effettiva interoperabilità tra i programmi è stata effettuata utilizzando diverse versioni del formato “.ifc”. La prima prova è stata affrontata con la versione “.ifc4”, settando l'esportazione su Revit con le opzioni consigliate dalla “Linea guida di applicazione dell'IFC a ponti e viadotti” [2]:

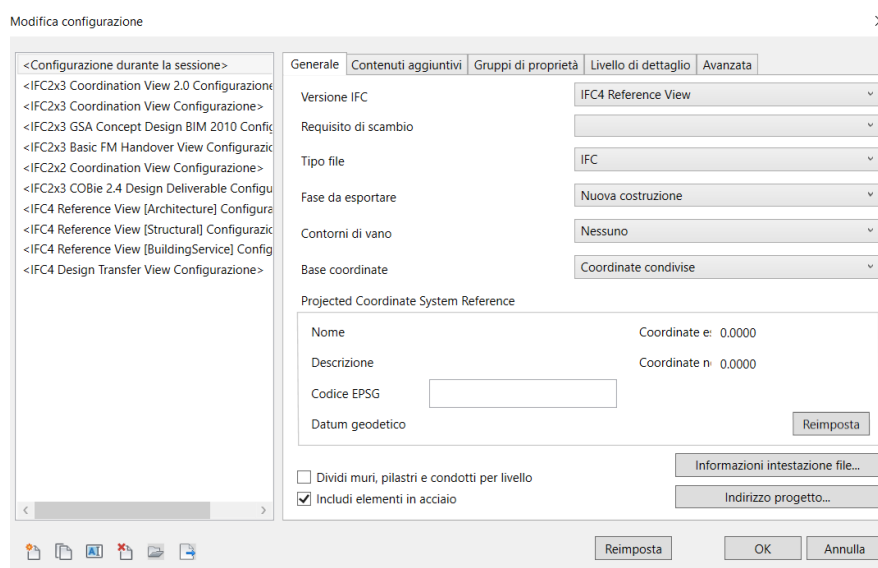


Figura 59 - Standard .ifc per l'esportazione

Si esportano solo gli elementi visibili nella vista corrente. Si esportano le proprietà comuni del formato IFC e le quantità di base, i gruppi di proprietà di Revit, impostando un livello di dettaglio alto. In questo modo effettuando il passaggio da Revit a Tekla, con un “.ifc4”:

- Importazione corretta dei parametri: WBS, Materiale, Difetti, Famiglia e Tipo.
- Le informazioni geometriche e quelle riguardanti il livello dell'elemento sono esportate in modo corretto.

- Gli elementi sono riconosciuti come oggetti IFC “Surface Geometry”.
- Gli elementi non si possono convertire in oggetti IFC, né con la modalità conversione, né con la modalità conversione come estrusione, né con la modalità conversione come elemento. L’errore che il programma riferisce è: *“Oggetti con errori per tipo IFC non supportato”*.

Quindi, il programma Tekla visualizza correttamente la struttura del ponte, ma non permette la conversione dei suoi elementi in oggetti. Questo comporta che gli elementi non siano in alcun modo modificabili: ad esempio, se si desidera disegnare l’armatura all’interno di un elemento, questa operazione non è possibile a causa della mancata conversione.

Il secondo tentativo è stato affrontato esportando il modello in formato “.ifc2.3”. la configurazione delle opzioni rimane uguale, ma cambia la versione del formato: (vedi figura sottostante)

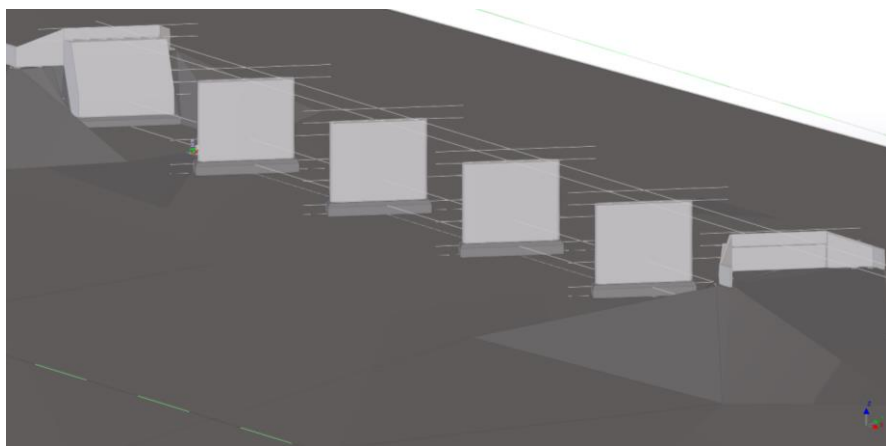


Figura 60 - Fase nuova costruzione in Tekla

In questo modo effettuando il passaggio da Revit a Tekla, con un “.ifc2.3”:

- Importazione corretta dei parametri: WBS, Materiale, Difetti, Famiglia e Tipo.
- Le informazioni geometriche e quelle riguardanti il livello dell'elemento sono esportate in modo corretto.
- Gli elementi sono riconosciuti come oggetti IFC “Surface Geometry”.
- Gli elementi possono essere convertiti in oggetti IFC, sia con la modalità conversione come estrusione, sia con la modalità conversione come elemento.

La possibilità di trasformare gli elementi del ponte in oggetti IFC su Tekla è molto importante. Ad esempio, nel caso specifico di questo ponte, le cui pile verranno mantenute, si potrebbe disegnare le armature presenti nei disegni originali e fare una verifica strutturale delle parti rimanenti. Questo è possibile poiché gli elementi del ponte sono riconosciuti come oggetti. Si testa anche l'interoperabilità nel passaggio da Tekla structures a Revit. Si utilizza il formato “.ifc” per effettuare il passaggio, potendo scegliere tra il formato “.ifc 2.3” e “.ifc4”. Si verifica inizialmente l'interoperabilità esportando da Tekla, tramite il formato “.ifc 2.3”, sia la parte metallica, sia la parte in calcestruzzo armato. Si decide di esportare le parti riportate nella figura sottostante:

Parametri Avanzato

Tipi di oggetti

☒ Assemblaggi	☐ Griglia
☒ Bulloni	☒ Barre d'armatura
☒ Saldature	☒ Rivestimenti e superfici
☐ Oggetti getto	

Insiemi di proprietà

☒ Quantità base

Insiemi di proprietà: Default Vista

Altro

☒ Nomi layer come nomi delle parti	☐ Escludi assemblaggi di parti singole
☒ Esporta travi larghe e piatte come piatti	☐ Usa colori vista corrente
☒ Gerarchia spaziale da Organizzazione	

Visualizza file di log

Esporta Annulla

Figura 61 - Elementi esportati

Si collega il file sul modello dell'esistente su Revit e si verifica la correttezza dei parametri impostati su Tekla. Se si considera, ad esempio, la soletta collaborante in calcestruzzo armato, si hanno i parametri riportati nella figura che segue:

Parametri IFC	
IfcGUID	20mz3wDz11VeaWA7qRNP...
IfcName	SLAB
IfcDescription	
IfcExportAs	IfcElementAssembly.Reinfor...
IfcSpatialContainer	Undefined
IfcTag	S/0(?)
IfcPropertySetList	"Tekla Assembly";"BaseQua...
Width(BaseQuantities)	230.0 mm
IfcPredefinedType	Reinforcement_Unit
IfcAssemblyPlace	NotDefined
Assembly/Cast unit weight(Tekla Assembly)	215266.400 kg
Assembly/Cast unit bottom elevation(Tekla Asse...	+0.070
Assembly/Cast unit top elevation(Tekla Assembly)	+0.300
Assembly/Cast unit position code(Tekla Assembl...	<1-4>/<B-A
Assembly/Cast unit Mark(Tekla Assembly)	S/0(?)
Cast unit type(Tekla Assembly)	Gettato in opera
Cast unit rebar weight(Tekla Assembly)	37929.900 kg

Figura 62 - Parametri IFC soletta

I parametri visualizzati sono corretti. Essi riportano le informazioni corrette riguardo alla soletta gettata in opera. Tra gli altri parametri figurano correttamente il materiale, la geometria e il valore del copriferro. Il valore del copriferro sarà un parametro rilevante nella gestione della manutenzione del nuovo ponte. Anche per le armature i parametri sono esportati correttamente, come mostrato nella figura:

Parametri IFC	
IfcGUID	1Eo2nWlhDAtOxB\$b...
IfcName	REBAR
IfcDescription	
IfcExportAs	IfcReinforcingBar
IfcPresentationLayer	REBAR
IfcTag	ID4ec82c60-4ab3-4a...
IfcPropertySetList	"Tekla Reinforcemen...
IfcMaterial	B450C
IfcElementAssembly	SLAB
IfcElementAssemblyGUID	2omz3wDz11VeaW...
Name(Tekla Reinforcement - Gener...	REBAR
Layer(Tekla Reinforcement - General)	
Group type(Tekla Reinforcement - ...	0
Spacing target(Tekla Reinforcemen...	200.0 mm
Spacing exact(Tekla Reinforcement...	77*198
Cast unit mark(Tekla Reinforcement...	S/0(?)
Phase(Tekla Reinforcement - Gener...	1
Group position number(Tekla Reinf...	0(?)
Number of bars in group(Tekla Rei...	78

Figura 63 - Parametri IFC armatura

Inoltre, permette di avere anche il diametro delle barre e la loro lunghezza. Quindi, con il formato “.ifc 2.3” i parametri e la geometria sono importati correttamente in Revit. La struttura è importata correttamente anche a livello grafico.

Successivamente, si effettua la prova di interoperabilità anche con il formato “.ifc4”. Questo formato, più recente, contiene alcune limitazioni, infatti:

- L'esportazione IFC4 contiene sempre l'assemblaggio completo
- L'interfaccia utente non fornisce tutte le funzionalità incluse in quella di esportazione “.ifc 2.3”

Considerando questi limiti, si imposta l'esportazione come da figura:

Nome file	Nuova soluzione
Cartella	.\IFC\
Posizione per	Origine modello
Selezione	Tutti gli oggetti
Colore oggetto	Per classe oggetto
Nomi layer come	Name
Formato	Ifc
Tipo di esportazione	Reference view
Insiemi di proprietà aggiuntivi	<nuovo>
☒ Esporta travi larghe piatte come piatti	
☐ Gerarchia spaziale da Organizzazione	
☒ Getti	
Tipi di oggetti	
☒ Assemblaggi	
☒ Bulloni	
☒ Saldature	
☐ Griglie	
☒ Barre d'armatura	
☒ Rivestimenti e superfici	
Esporta	

Figura 64 - Esportazione in IFC4

L'esportazione in questo formato porta alla perdita di diversi parametri e di diversi elementi strutturali, come ad esempio le barre di armature dei cordoli della soletta, modellate tramite forme predefinite di Tekla.

I parametri rimanenti:

Parametri IFC	
IfcGUID	1Mac_i6P15_B2...
IfcName	PourObject
IfcDescription	
IfcMaterial	C35/45
IfcExportAs	IfcBuildingEle...
IfcSpatialContainer	Undefined
IfcTag	PourObject
Status(Pset_BuildingEleme...	NEW

Figura 65 - Parametri esportazione IFC4

La figura mostra come i parametri non siano importati in modo corretto.

2.8 La Realtà Virtuale al supporto dell'InfraBIM

Il modello dell'esistente e quello della nuova soluzione strutturale sono, a questo punto, ultimati. Si è partiti dai disegni originali rinvenuti in archivio, proseguendo verso l'ispezione e l'analisi della struttura, che ha portato alla creazione del digital twin dell'infrastruttura esistente.

Una volta finito il percorso di conoscenza dell'esistente, si passa alla progettazione della nuova soluzione strutturale. La struttura composita si modella e si parametrizza all'interno del nuovo modello, che verrà continuamente aggiornato, in base ai futuri cambiamenti.

Il processo BIM definito segue le finalità che sono state dichiarate sin dalle fasi iniziali del progetto: conoscenza dell'opera, gestione e programmazione della sua manutenzione.

Su queste basi, per completare il modello si inserisce la tecnologia della Realtà Virtuale. Quest'ultima [16] immerge l'utente in un ambiente completamente digitale generato dal computer, permettendogli di vivere

un'esperienza sintetica in cui non c'è alcuna connessione con il mondo reale.

Pertanto, si sceglie di arricchire il modello con questo strumento per:

- Permettere una rapida e più approfondita conoscenza visiva dell'opera
- Inserire l'opera nel contesto ambientale e costruttivo
- Offrire un potente strumento grafico per la progettazione di dettagli costruttivi e della loro analisi, evidenziando eventuali errori di disposizione degli elementi
- Consentire di ispezionare l'opera e di analizzare i suoi parametri, facilitando il processo decisionale su di essa

Si fa riferimento a questa tecnologia mediante l'utilizzo del software Prospect, sviluppato da IrisVR.

Si inizia dal file di Revit per la parte esistente, mentre per la nuova soluzione strutturale dal file di Tekla, come si può vedere nell'immagine sottostante.

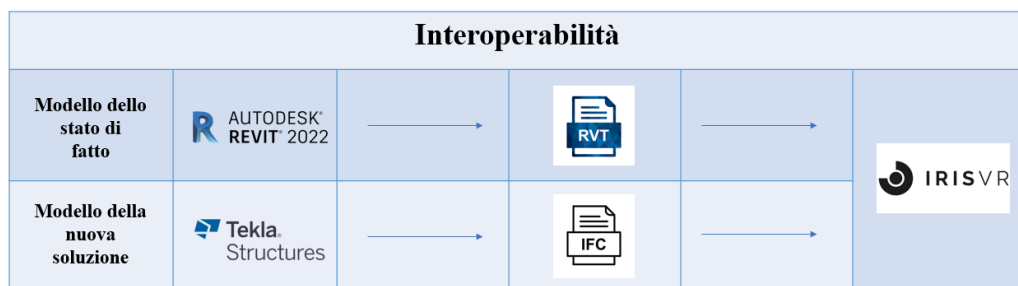


Figura 66 - Interoperabilità nella realtà virtuale

Il software è accompagnato dall'utilizzo del visore oculus HTC vive pro che permette di visualizzare graficamente l'opera, alla quale si affiancano due controller che consentono di:

- Ispezionare il singolo elemento e visualizzare tutte le sue proprietà
- Effettuare delle misure e delle annotazioni
- Fotografare i componenti

Viene così realizzata la Realtà Virtuale dello stato di fatto, cioè del ponte esistente.

Si parte dal modello Revit e lo si esporta all'interno di Prospect mediante il formato di scambio “.rvt”, poiché il programma permette di leggere direttamente i file creati in Revit, tramite plug - in. Si importa poi il file in Prospect e si avvia la visione. La realtà virtuale permette di ispezionare la struttura nel dettaglio. Attraverso il menu a comparsa si può selezionare tramite i controller i singoli elementi del ponte, leggendo i relativi parametri (vedi immagine sottostante):



Figura 67 - Codice WBS dell'elemento

La realtà virtuale permette anche di visualizzare i difetti assegnati nel modello di Revit ai singoli elementi, in seguito al rapporto di ispezione.

Di seguito due immagini illustrative:

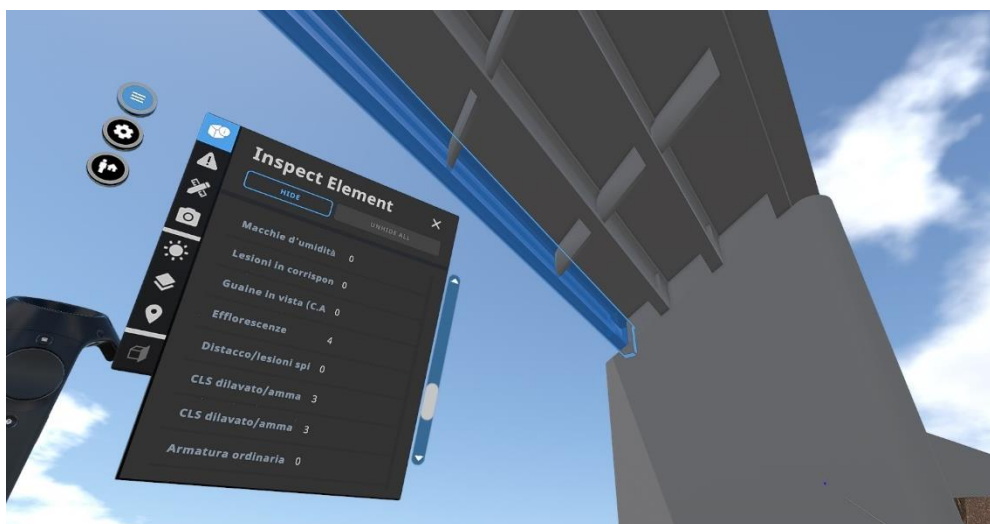


Figura 68 - Difetti dell'elemento (parte 1)

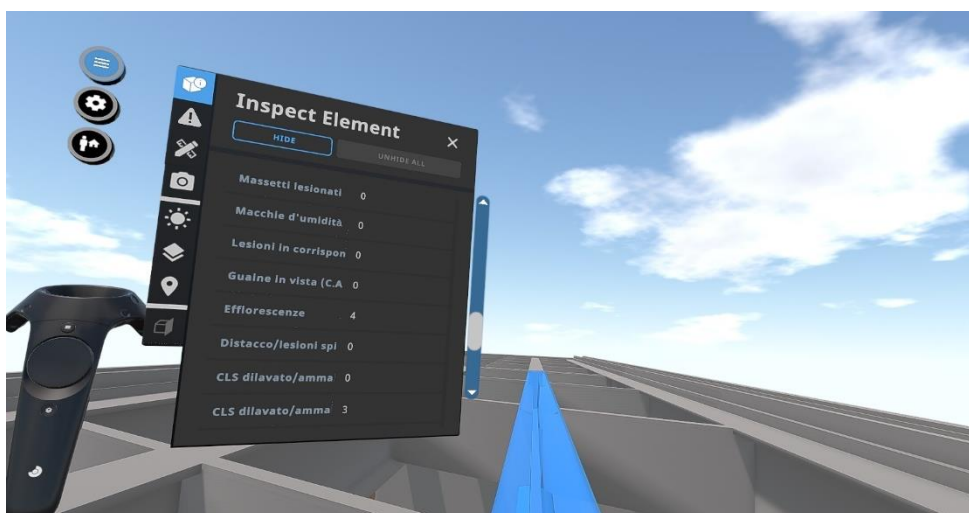


Figura 69 - Difetti dell'elemento (parte 2)

Il modello virtuale diventa uno strumento per analizzare graficamente e con accuratezza gli elementi dell'opera esistente.

Successivamente, si realizza il modello virtuale per la nuova soluzione strutturale. Le finalità per la nuova parte saranno diverse rispetto al modello dell'esistente. Si parte, quindi, esportando da Revit la struttura esistente, verso il software Tekla structures, applicando il filtro “Nuova costruzione”, così da considerare solo la parte rimanente del ponte.

A questo punto il file viene esportato in formato “.ifc2.3” e si inizia su Tekla il processo di conversione degli elementi disegnati su Revit, così da trasformarli in oggetti IFC modificabili e riconoscibili come tali dal software. Tramite l’opzione “*converti oggetti IFC*” (vedi immagine sottostante):

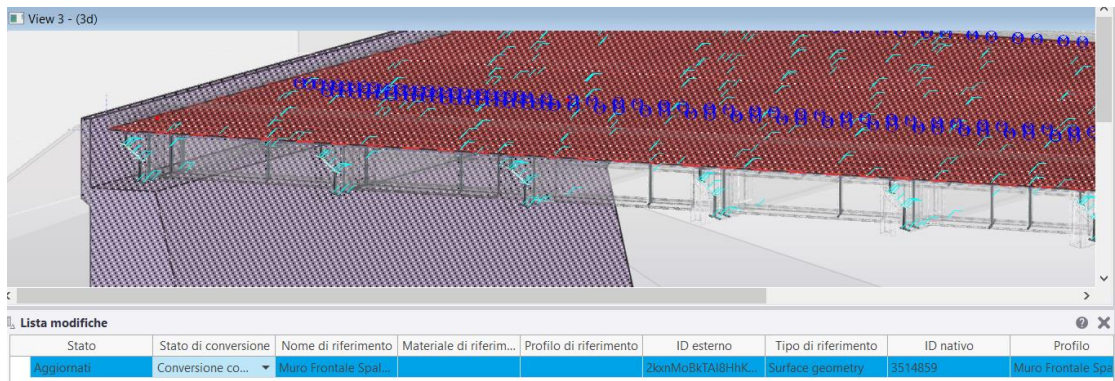


Figura 70 - Conversione in oggetti IFC

Secondo questa procedura si convertono tutti gli elementi del ponte. Al termine della conversione, si può esportare il file di riferimento che contiene la parte esistente e la nuova soluzione strutturale. A fianco dei parametri standard del software, si creano e si assegnano dei nuovi parametri riguardanti la manutenzione della nuova fase dell’opera:

- Data della manutenzione da effettuare
- Tipo della manutenzione da effettuare

I parametri di manutenzione vengono assegnati agli elementi del modello. Ora, il modello di riferimento è pronto per essere esportato in formato IFC verso il software Prospect. È importante definire le proprietà di esportazione su Tekla, per evitare la perdita dei parametri creati dall’utente:

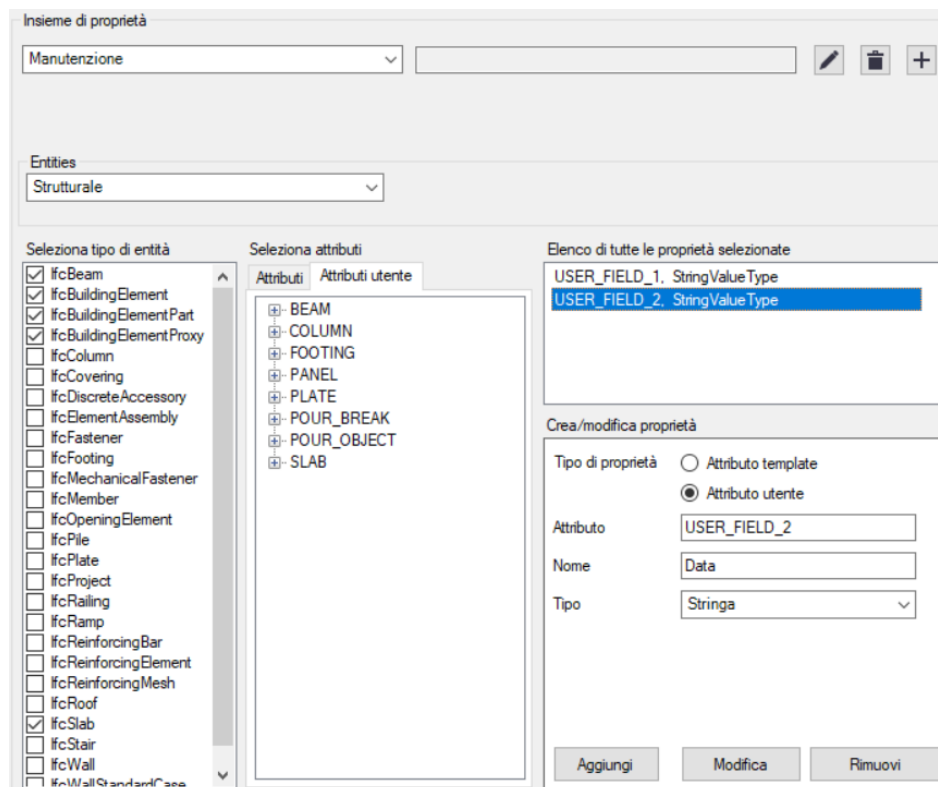


Figura 71 - Proprietà dei parametri da esportare

Viene scelto il formato di scambio “.ifc2.3”, poiché permette di selezionare le proprietà da esportare. Il formato “.ifc4”, invece, non permette questa selezione. A questo punto si importa e si apre il file all’interno di Prospect, per visualizzare la nuova struttura.

La realtà virtuale diventa in questo caso un’occasione per inserire la nuova struttura nel contesto ambientale e verificarne le caratteristiche, come si vede nell’immagine sottostante.

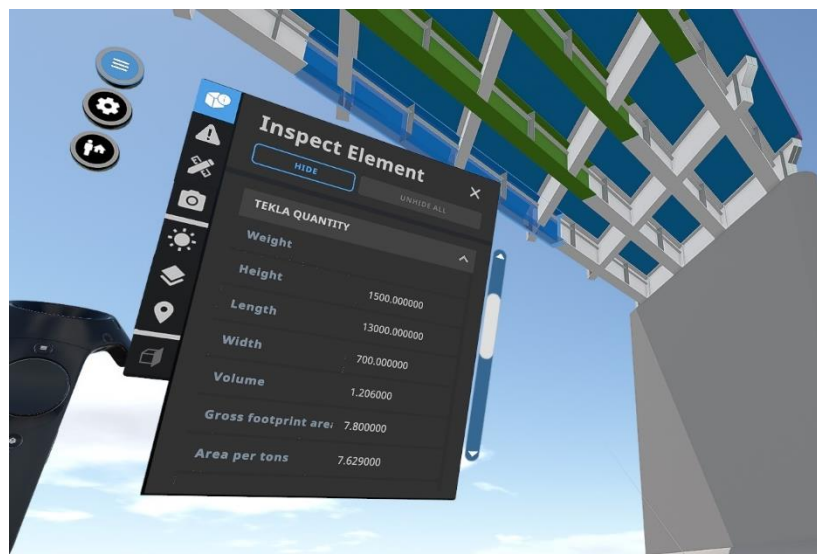


Figura 72 - Proprietà geometriche di una trave

Il modello virtuale permette di visualizzare i dati relativi alla manutenzione dell'opera, come si può vedere nell'immagine sottostante:

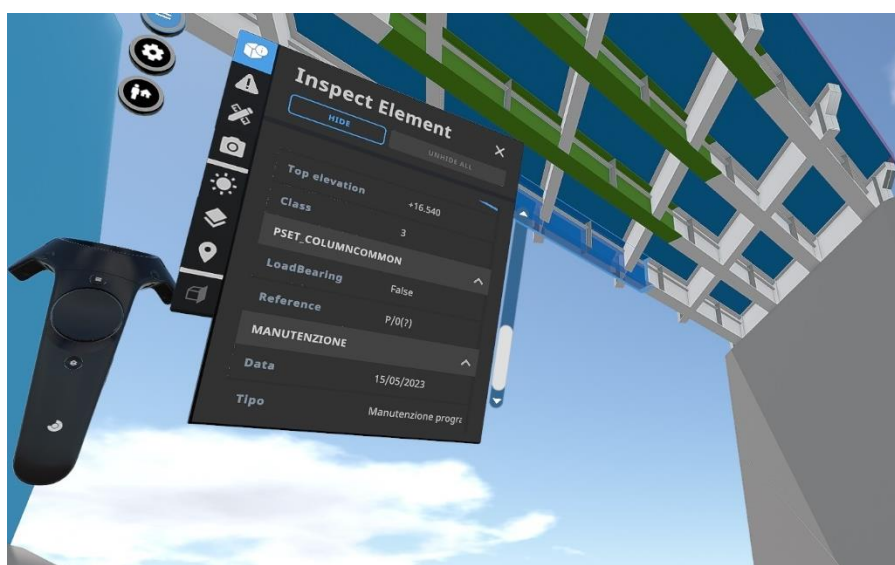


Figura 73 – Dati sulla manutenzione

Questa particolare caratteristica risponde alle finalità del modello di gestione della manutenzione dell'opera.

Inoltre, la realtà virtuale si configura come un potente strumento che assiste l'utente nella fase di progettazione dei dettagli costruttivi, come si può osservare nelle immagini di seguito:

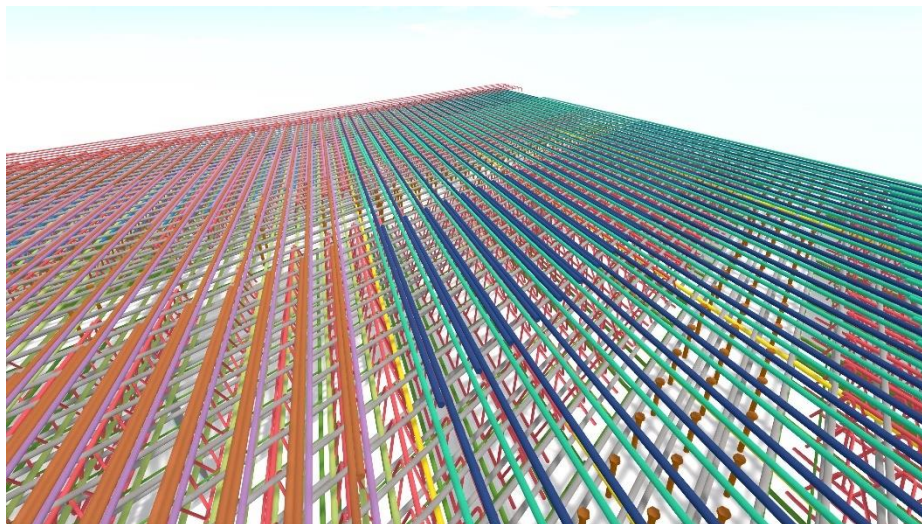


Figura 74 – Particolare 1 armatura soletta

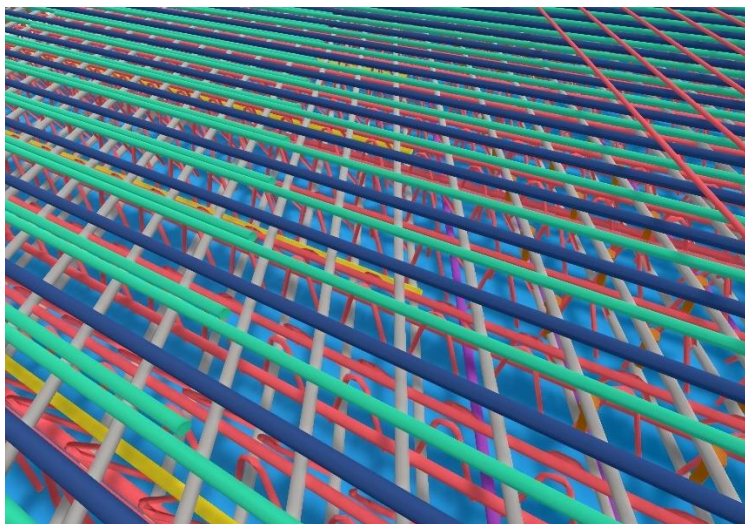


Figura 75 - Particolare 2 armatura soletta

e nell'individuazione di eventuali errori:

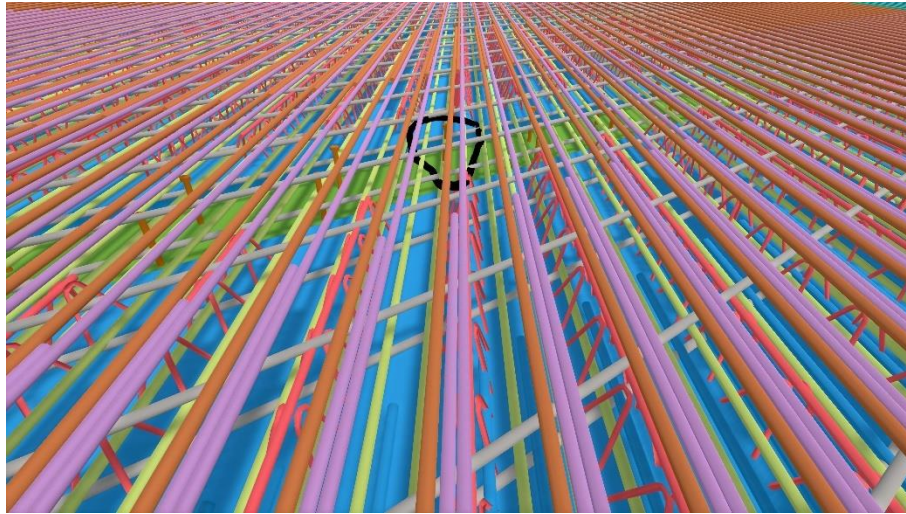


Figura 76 - Verifica di eventuali sovrapposizioni

Nell'esempio visibile nell'immagine precedente, si può facilmente osservare come una barra dell'armatura longitudinale inferiore si intersechi con un piolo ancorato sulle travi principali.

La fase di verifica degli errori assume così un ruolo essenziale.

In questo senso, la realtà virtuale consente all'utente di risparmiare tempo nel processo di gestione dell'opera; correggere eventuali errori in sede di progettazione consente di avere in mano un progetto privo di incongruenze, che potrà essere correttamente interpretato in fase di cantiere, durante la costruzione della nuova soluzione strutturale.

Tutto questo evita quei rallentamenti in cantiere, generalmente dovuti ad errori nei dettagli costruttivi oppure legati a difficoltà d'interpretazione dei disegni, portando ad un risparmio in termini temporali ed economici.

Infine, la Realtà Virtuale ha una grande potenzialità grafica e di visualizzazione. Essa trasmette in modo immediato all'utente finale le caratteristiche funzionali ed estetiche che avrà il manufatto. Pertanto, diventa uno strumento per verificare la qualità e l'estetica del proprio progetto.

Capitolo 3: Conclusioni

Il processo BIM delineato è finalizzato ad aiutare la Stazione Appaltante (SA) nella gestione del suo patrimonio infrastrutturale esistente.

È un approccio metodologico che parte dalla conoscenza profonda del manufatto e porta alla capacità di prendere decisioni su di esso.

Per l'elaborazione del processo, è stato scelto un caso studio che può essere considerato un valido campione statistico: un ponte a travata, con travi in cemento armato precompresso, costruito negli anni '60. Sono tanti i ponti [17] di questo tipo gestiti dalla SA, che deve decidere se fare manutenzione oppure demolire interamente o in parte queste opere.

Il lavoro di tesi si inserisce esattamente in questo scenario, dove il processo BIM può accelerare l'iter decisionale con un certo livello di conoscenza e sicurezza. I software BIM utilizzati secondo le finalità del modello, come ad esempio Revit, Tekla e la Realtà Virtuale, non sono altro che strumenti al servizio della SA.

Questo metodo aiuta concretamente la SA a creare un archivio digitale delle opere esistenti.

La modellazione dello stato di fatto offre l'opportunità di creare un gemello digitale dell'opera esistente, che aiuta la SA a visualizzarla graficamente, ad analizzare i parametri come la geometria e i materiali e a creare un catalogo digitale con i difetti strutturali che essa presenta. L'analogo digitale dell'opera consente un'analisi veloce e più semplice. Dal modello dello stato di fatto parte così il processo decisionale per la scelta del percorso di manutenzione o di demolizione della struttura.

Esportando la parte esistente, si può iniziare a creare il modello della nuova soluzione strutturale. Questa parte permette alla SA di creare un design strutturale parametrico, che può essere variato fino ad arrivare alla soluzione ultima. Nel processo di creazione del nuovo la SA può decidere quali parametri, come ad esempio quelli manutentivi, saranno affidati alla

struttura. Tale modello è uno strumento utile alla SA per visualizzare l'opera, affidare parametri ed evidenziare eventuali errori in sede di progettazione, soprattutto con l'ausilio della Realtà Virtuale.

Quindi, tutto ciò porta alla digitalizzazione del percorso di conoscenza dell'esistente e della scelta della corretta strategia di manutenzione, permettendo alla SA di gestire più agevolmente la moltitudine di opere.

Il processo definito è ad oggi molto utile. Sarebbe, però, interessante in futuro implementare altri strumenti, che rispondono ad altre necessità di gestione di un'infrastruttura.

Un esempio di sviluppo futuro è rappresentato dall'utilizzo dell'LCA, per predire il ciclo di vita della nuova soluzione strutturale. Il *“Life Cycle Assessment”* consiste in *“una metodologia che permette di quantificare e valutare gli impatti che un prodotto o un servizio ha sull'ambiente considerando il suo intero ciclo di vita, dall'estrazione e acquisizione delle materie prime fino alla dismissione finale”* [18]. Sarebbe utile avere a priori, in fase di progettazione, un modello in grado di definire la vita utile della nuova struttura, così da prendere decisioni sostenibili nella quantità e tipologia di materiale. L'LCA trova una forte sinergia con gli obiettivi dell'Agenda 2030: *“consumo e produzione responsabili”* [19] e *“città e comunità sostenibili”* [19] .

Un altro sviluppo futuro potrebbe essere l'utilizzo di tecnologie che consentano di monitorare lo stato della nuova struttura nelle fasi costruttive e nella fase delle prove di carico. La supervisione dell'opera durante la fase costruttiva è essenziale, poiché è necessario controllare passo dopo passo l'intero processo, cercando di capire come evolvono nel tempo gli stati deformativi e tensionali negli elementi.

Si potrebbero posizionare dei sensori che tengano sotto controllo il livellamento topografico oppure sensori posti all'interno della soletta per verificare la fessurazione del calcestruzzo dovuta a possibili trazioni, o addirittura ancora, dei sensori sugli appoggi che controllino la presenza di

eventuali trazioni e quindi di possibili allungamenti. Scelta la posizione dei sensori, questi saranno in grado di acquisire dati che verranno successivamente elaborati.

L'inserimento di questi sensori potrebbe andare a completare il digital twin della nuova soluzione strutturale, assicurando alla SA un'ottima gestione dell'infrastruttura.

Questo approccio metodologico, accompagnato da determinati strumenti, risponde all'esigenza odierna di nuove strategie, nuove tecnologie e nuove tecniche costruttive per la realizzazione di “*Smart Infrastructures*”, cioè entità in cui “*la caratteristica fondamentale che sta alla base della maggior parte di questi componenti è che sono connessi e che generano dati che possono essere utilizzati in maniera intelligente per garantire l'uso ottimale delle risorse e migliorarne le prestazioni*” [20] . Anche questo si fa garante degli obiettivi dell'agenda 2030 “*Industria, Innovazione e Infrastrutture*” [19] , con uno sguardo verso la tecnologia, la sostenibilità e il futuro.

Bibliografia

- [1] C. Fabio e A. Dari, «Ingenio - Web,» 2021. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/840-000-km-di-strade-2-179-gallerie-21-072-ponti-e-viadotti-che-conoscenza-abbiamo-del-livello-di-sicurezza/>. [Consultato il giorno Ottobre 2022].
- [2] B. Paolo, X. Fiorentini, E. Alfieri, R. A. Bernerdello, G. Scafetti, A. Basso e A. Ciccone, «Building Smart Italy,» 2020. [Online]. Available: <https://www.buildingsmartitalia.org/utenti/pubblicazioni/guida-ifc-per-i-ponti/>. [Consultato il giorno 4 Aprile 2022].
- [3] IBM, «Come funziona un gemello digitale?,» [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>. [Consultato il giorno 10 ottobre 2022].
- [4] F. Oliveti, G. Potenza, L. Gasperoni e M. Petrangeli , «Strade & Autostrade,» 2022. [Online]. Available: <https://www.stradeeautostrade.it/ponti-e-viadotti/la-riabilitazione-dei-ponti-stradali-a-travata/>. [Consultato il giorno 4 Aprile 2022].
- [5] E. Cleland , «Nature Education Knowledge,» 2011. [Online]. Available: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/biodiversity-and-ecosystem-stability-17059965/>. [Consultato il giorno 10 Ottobre 2022].
- [6] Adhox, «Adhox,» 2021. [Online]. Available: <https://adhox.it/capitolato-informativo/>. [Consultato il giorno 10 Ottobre 2022].

- [7] A.N.A.S. S.p.A., Capitolato Informativo per realizzazione modelli BIM per servizi di progettazione, Italia, 2021.
- [8] Consiglio Superiore del Ministero dei lavori pubblici, Norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali (Circolare n.384), Roma, Italia, 1962.
- [9] G. M. Verderame, P. Ricci, M. Esposito e F. C. Sansiviero, Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in C.A. realizzate dal 1950 al 1980, Napoli: Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- [10] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, «Riparazione o intervento locale,» in *Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018) (Capitolo 8, Paragrafo 4.1)*, Roma, Italia, 2018.
- [11] A.N.A.S. S.p.A., «Capitolato Informativo per realizzazione modelli BIM per servizi di progettazione,» in *Contenuto informativo non contemplato dal modello dati (Capitolo 3, Paragrafo 7.3)*, 2021.
- [12] Building Smart International, «Building Smart International,» [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>. [Consultato il giorno 10 Ottobre 2022].
- [13] A.N.A.S. S.p.A., «Capitolato Informativo per realizzazione modelli BIM per servizi di progettazione,» in *Acronimi, glossario e definizioni (Capitolo 1, Paragrafo 3)*, 2021.
- [14] F. Venezia, «Design Parametrico e Progettazione Algoritmica,» [Online]. Available: <https://www.fablabvenezias.org/design-parametrico-e-progettazione-algoritmica/>. [Consultato il giorno 10 Ottobre 2022].

- [15] Autodesk, «Informazioni sui filtri delle fasi,» 2020. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ITA/Revit-Documents/Files/GUID-DB104358-4D5A-494E-ACAE-BB8B4E72E572-htm.html>. [Consultato il giorno 10 Aprile 2022].
- [16] M. Del Giudice , Il disegno e l'ingegnere. BIM handbook for building and civil engineering students, Torino: Levrotto e Bella, 2019.
- [17] F. Braga, «Ingenio - Web: Ponti e viadotti: da cosa deriva il decadimento delle prestazioni strutturali?,» 11 Gennaio 2022. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/articoli/ponti-e-viadotti-da-cosa-deriva-il-decadimento-delle-prestazioni-strutturali-2/>. [Consultato il giorno 10 Novembre 2022].
- [18] N. Mezzadri, G. Olivieri, F. Falconi e V. D'Amico, «LCA per environmental product declaration applicata al ponte stradale sul fiume Po,» *Ingegneria dell'ambiente*, vol. 3, n. 2, 2016.
- [19] Organizzazione delle Nazioni Unite, Assemblea Generale, «Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile,» 2015.
- [20] United Nations, Economic and Social Council, «Smart cities and infrastructure,» Ginevra, 2016.

