



CONVEGNO FABRE  
PONTI, VIADOTTI, E GALLERIE ESISTENTI:  
RICERCA, INNOVAZIONE E APPLICAZIONI  
LUCCA, 2-4 FEBBRAIO 2022



## UNA PROPOSTA BIM BASED PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEI PONTI ESISTENTI

Silvia Caprili<sup>a</sup>, Antonella Cosentino<sup>a</sup>, Adalgisa Zirpoli, Ph.D.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Largo Lucio Lazzarino, 56122 Pisa, Italy

<sup>b</sup> Divisione Calcolo Strutturale e Geotecnico Harpaceas s.r.l., Viale Giulio Richard 1, Milano

*Keywords: Open BIM, Digital Twin, Common Data Environment, WBS, Digitalized Terrain Model, IFC*

### ABSTRACT

Il patrimonio infrastrutturale esistente italiano, costituito da un elevatissimo numero di ponti e viadotti, è ad oggi caratterizzato dalla presenza di numerose strutture affette da condizioni di significativo degrado. Tale scenario è attribuibile a diverse cause, tra cui la vetustà delle opere, la maggior parte realizzate nel secondo dopoguerra, e la carenza di adeguata manutenzione nel tempo. L'insufficiente utilizzo di strumentazioni tecnologiche evolute ha inoltre portato ad una progressiva perdita di informazioni e all'impossibilità di avere un controllo continuo sullo stato di rischio delle infrastrutture. Le criticità relative alla gestione del patrimonio infrastrutturale esistente hanno spinto il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ad emettere apposite Linee guida per la "classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti", approvate il 6 maggio 2020 e recepite dal DM n. 578 del 17/12/2020. Le stesse Linee guida rimarcano l'importanza dell'impiego di strumentazioni tecnologiche nel processo di gestione dei ponti, in quanto consente una raccolta dati veloce ed affidabile, la loro condivisione in tempo reale con tutti i Professionisti coinvolti ed un accumulo di conoscenza continuo dell'opera.

In tal senso, un approccio digitale BIM (Building Informative Model) oriented è un valido strumento per assicurare la razionalizzazione delle informazioni, promuovendo una collaborazione ispettiva/manutentiva efficace, grazie all'ausilio di una banca dati documentale e cronologica unica; esso, inoltre, fornisce gli strumenti per comparare i dati di rilievo e costruire un modello 3D navigabile in real time in cantiere (con relativa estrazione dei modelli di calcolo), convogliando nell'ACDat del gestore dell'opera tutto il know how acquisito.

Nel presente lavoro si descrive un innovativo approccio BIM oriented e un nuovo ambiente di lavoro (denominato PontiSicuri), creato all'interno di una piattaforma di BIM Authoring Strutturale, al fine di espletare le diverse attività: esso rappresenta una sinergia di strumenti altamente tecnologici concepita per favorire lo scambio informativo e ottimizzare la cooperazione tra diverse figure professionali.

Questo ambiente, fortemente collaborativo, mette a disposizione attributi personalizzati destinati ad accogliere la classificazione degli elementi strutturali, consente di costruire filtri customizzati in accordo alle esigenze degli Utenti e permette di sfruttare nuove funzionalità a supporto della gerarchizzazione degli oggetti (WBS); sono state sviluppate istruzioni in formato IFC per il trasferimento della WBS e della classificazione, componenti dedicate ad accogliere le informazioni dei sondaggi in situ e nuove opzioni per l'esportazione verso le piattaforme di condivisione BIM infrastrutturali. Particolare attenzione è stata data al tema della WBS e della classificazione strutturale, poiché da esse derivano i vantaggi maggiori in termini di interpretazione della situazione esistente e pianificazione degli interventi. Per la costruzione della WBS è stato realizzato un applicativo stand alone, come anche per l'archiviazione di tutti i documenti afferenti all'opera ed alle verifiche in atto. I preziosi benefici che derivano da un processo condotto totalmente in digitale e caratterizzato da un'interoperabilità avanzata tra le diverse discipline sono evidenziati nel corso della trattazione.



CONVEGNO FABRE  
PONTI, VIADOTTI, E GALLERIE ESISTENTI:  
RICERCA, INNOVAZIONE E APPLICAZIONI  
LUCCA, 2-4 FEBBRAIO 2022



## 1 INTRODUZIONE

La gestione dei ponti esistenti è fondamentale per evitare il ripetersi di tragici crolli quali quelli che, recentemente, hanno interessato il territorio nazionale. La conservazione di un patrimonio infrastrutturale datato, esposto ad ambienti aggressivi e a carichi da traffico elevati, poco mantenuto a seguito di una politica che privilegia la gestione dell'emergenza e non la sua prevenzione, è indispensabile. A tal proposito, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato le "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti" (D.M.578/2020) per definire le procedure di gestione dei ponti esistenti, applicabili da tutti i Gestori.

Le Linee Guida propongono un approccio multi-livello basato sulla conoscenza che fornisce indicazioni sulla classificazione, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti.

L'applicazione delle Linee Guida porta ad una massiccia raccolta di informazioni di base, costituita da documentazione tecnica originale, rilievi dei difetti, indagini conoscitive su geometrie, dettagli costruttivi, materiali, ecc.

Le Linee Guida incentivano l'adozione di modelli di Building Information Modeling: il BIM è richiesto per i ponti con Classe di Attenzione Alta ma il messaggio che dovrebbe essere veicolato è che l'adozione di un approccio digitale costituisce un valido supporto nella gestione di opere esistenti, non solo per quelle più ammalorate.

L'attività di digitalizzare di un ponte esistente è un tema piuttosto vasto.

Può partire con riferimento all'uso di strumenti informatici in grado di digitalizzare l'operazione di compilazione delle schede ispettive previste dalle Linee Guida, certamente deve prevedere la modellazione 3D del ponte ai fini della definizione di un Digital Twin, può comprendere uno o più ambienti di archiviazione e condivisione delle informazioni acquisite nelle

diverse fasi di gestione dell'opera; dovrebbe anche includere la gestione di dati derivanti da monitoraggi o che consentono la descrizione di aspetti legati al contesto territoriale nel quale il ponte esistente è situato.

Sarebbe però utile riuscire a "condensare" la maggior parte di queste informazioni in ambienti fruibili da tutti i soggetti interessati: gli ispettori, i Gestori dell'opera, i Progettisti incaricati delle verifiche strutturali, i responsabili della fase manutentiva e gestionale.

L'archiviazione delle informazioni e l'aggiornamento dei dati a seguito di successivi approfondimenti conoscitivi, garantisce una gestione integrata e intelligente (e digitale) dell'opera, nel corso della sua intera vita utile.

Il presente articolo mostra lo sviluppo e l'applicazione pratica di una serie di strumenti informatici a supporto dei Progettisti nell'applicazione del BIM ai ponti esistenti. Il pacchetto software è denominato PontiSicuri ed è stato sviluppato da Harpaceas s.r.l. partendo da un'esperienza pratica affrontata in collaborazione con l'Università di Pisa.

Facendo riferimento ad un Ponte esistente tipico presente nel nostro territorio, in ottemperanza alle Linee Guida sopra descritte, il ponte sarà oggetto di una campagna preliminare di indagine per la definizione dei dettagli costruttivi, la caratterizzazione dei materiali e di tutte le altre informazioni previste da verificare in situ.

In Figura 1 è riportato uno schema complessivo del ponte.

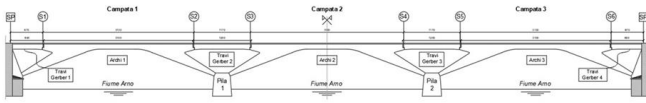


Figura 1: Ponte in esame

Sulla base dei risultati ottenuti si potrà svolgere un approfondimento conoscitivo mirato, ad esempio effettuando ulteriori prove sui materiali, organizzando ed installando specifici sistemi di monitoraggio dei carichi da traffico, applicando strumenti per l'esecuzione di rilievi laser scanner della geometria del ponte, eventuali analisi modali operative per la corretta definizione della risposta dinamica, ecc....

La piattaforma *PontiSicuri* si propone come un mix di strumenti informatici organizzati per seguire una specifica sequenza; La figura seguente illustra la procedura BIM e le relative piattaforme disponibili.

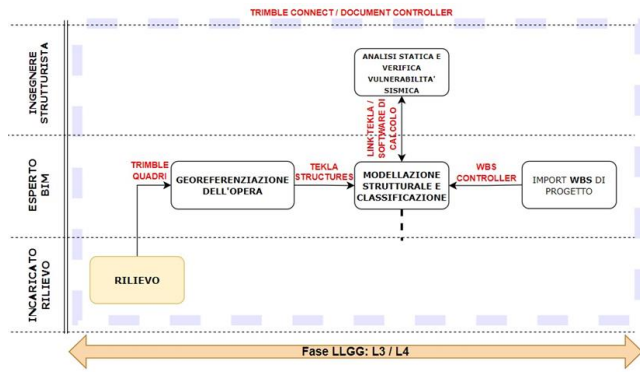


Figura 2: Il flusso di lavoro digitale BIM applicato ai ponti esistenti

## 2 IL MODELLO VIRTUALE DELL'OPERA

La procedura inizia a valle della fase di ispezione e determinazione della Classe di Attenzione del ponte esistente. Seguendo il flusso logico informativo, il primo passo consiste nella modellazione BIM strutturale.

Si fa riferimento alla possibilità di realizzare un modello 3D parametrico di un manufatto esistente (un Digital Twin).

Molti Professionisti sono ormai abituati a generare modelli BIM di nuove strutture, concepiti nell'ottica di un contenuto informativo atto a rappresentare ciò che nella realtà viene effettivamente costruito.

E' essenziale che questo passaggio inizi ad essere svolto con continuità anche nei confronti di opere esistenti, dove ancora non esiste una produzione massiva di questo tipo di modelli.

All'interno della piattaforma *PontiSicuri* questa fase di lavoro può essere risolta tramite il software Tekla Structures, un modellatore BIM strutturale sviluppato dalla software house Trimble che consente di modellare fino al massimo dettaglio qualunque tipologia di struttura.

Prendendo come esempio il ponte di Figura 1, la modellazione della struttura principale può essere comprensiva di travi longitudinali, delle sottostrutture per l'appoggio in fondazione e dei relativi pali; può anche comprendere la definizione degli elementi secondari quali travi trasversali, cigli, giunti, dettagli.

Questo tipo di manufatto si può modellare sfruttando plug in specializzati nella generazione rapida di impalcati a partire dalla descrizione delle sezioni trasversali.

E' interessante segnalare come l'asse di generazione del ponte potrebbe essere importato da ambienti di modellazione BIM dedicati alla progettazione delle opere viarie, in modo che la conformazione dell'asse (l'*alignment*) rispetti le indicazioni normative delle opere lineari.

Il plug in permette di estrarre delle sezioni lungo l'asse del ponte, sezioni che possono avere altezza anche differente lungo l'asse.

Gli *alignment* possono essere importati secondo diversi formati (file in formato LandXml, IFC, file testuali).

Le sezioni trasversali di partenza possono essere ricavate da una libreria (anche condivisa con gli altri Utenti) o anche creando la sezione ex novo all'interno dell'ambiente di modellazione BIM.

Per ultimare il Digital Twin si potranno inserire oggetti come le pile, le solette e gli elementi in acciaio caratterizzanti i traversi longitudinali e trasversali.

Il modello BIM strutturale può essere realizzato anche sfruttando tecnologie di condivisione del modello quale quella denominata Tekla Model Sharing che permette a tutte le figure di BIM Specialist coinvolte (nonché al/ai BIM Coordinator) di poter lavorare sullo stesso modello condividendo in tempo reale gli aggiornamenti.

In Figura 3 si può osservare un modello abbastanza dettagliato del ponte in esame.

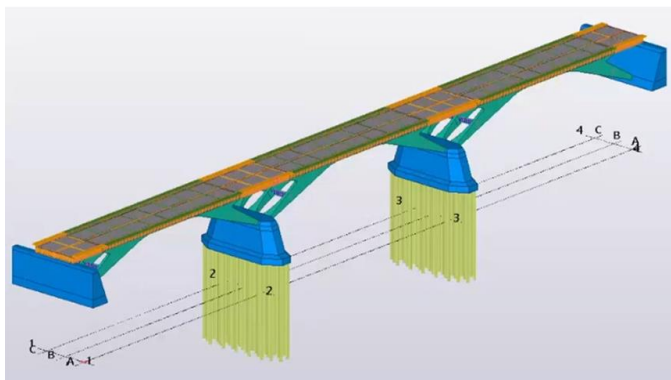


Figura 3: Modello strutturale del ponte in esame

### 3 LA CLASSIFICAZIONE STRUTTURALE E L'ORGANIZZAZIONE DELLE INFORMAZIONI

Il modello BIM strutturale fin qui realizzato è solo un primo passo, il Digital Twin va arricchito con altre tipologie di informazioni.

A partire dalle informazioni più di carattere grafico, il contenuto informativo viene man mano arricchito con altre tipologie di informazioni. È essenziale, sin dai primi passi, attivare un'operazione di "classificazione strutturale" dei dati presenti nel modello digitale, con l'obiettivo di supportare l'Utente nella gestione più efficiente dei dati presenti nel Digital Twin. La struttura viene suddivisa negli elementi/sottostrutture che la compongono. La classificazione si può implementare a differenti livelli; ad esempio si può considerare un Livello 1 - identificazione del tipo di struttura, un Livello 2 - individuazione di assemblaggi di oggetti ed un Livello 3 - individuazione singoli oggetti, con possibilità di export secondo lo standard IFC (Industry Foundation Classes, in accordo alla UNI EN ISO 16739).

Per garantire una efficace gestione del progetto, possiamo aggiungere una classificazione delle informazioni che segua la

definizione di una WBS (Work Breakdown Structure), una 'decomposizione' dei dati della struttura, a scelta del Progettista, strettamente correlata alla classificazione strutturale sopra citata.

A ciascun livello di WBS si associa una codifica esclusiva ed omogenea che consenta di ottenere uno schema analitico ad 'albero'.

Il tutto è volto a semplificare significativamente la gestione del progetto. Gli attributi assegnabili alle differenti parti della WBS sono gestibili all'interno del pacchetto PontiSicuri e consentono di meglio caratterizzare i diversi elementi in fase di modellazione, con indubbi vantaggi ai fini delle visualizzazioni, dei disegni, dei report, ecc.

La Figura 4 mostra un tipico esempio di WBS di alcune parti di un ponte esistente, in cui si può notare una corrispondenza tra i colori impiegati per i nodi della WBS e i componenti strutturali.

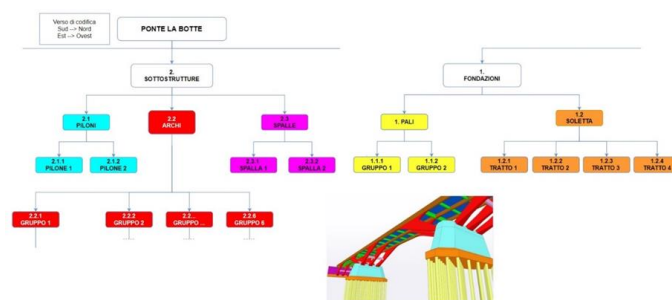


Figura 4: Esempio di scomposizione WBS per la struttura in esame

Quanto descritto è la base per consentire ulteriori scambi di informazioni.

Un altro tipo di dato che si può raccogliere sono i dati del Ponte derivanti dalle campagne di ispezione e poi riportati nelle schede identificate e descritte nelle Linee Guida di cui al D.M.578/2020.

Questi dati diverranno sempre più disponibili in formato digitale. La piattaforma *PontiSicuri* è in grado di dialogare con piattaforme di terze parti, l'importante è che tali dati siano accessibili attraverso espliciti protocolli di scambio dati.

Avendo a disposizione le informazioni del rilievo è essenziale poter effettuare un confronto tra la modellazione basata sui dati ricavati dagli elaborati bidimensionali e quanto rilevato in sito; in questo modo il modello BIM può essere corretto in base a quanto rilevato.

Nel caso di manufatti in cemento armato o cemento armato precompresso si può pensare di modellare anche le armature che saranno identificate in base ai saggi effettuati in sito; anche in questo caso si potranno verificare eventuali differenze tra il modello digitale e le risultanze delle ispezioni.

Il livello di dettaglio di rappresentazione del ponte esistente (il contenuto informativo del modello digitale) dipenderà in ultima analisi dalle esigenze della Committenza.

#### 4 L'INTEROPERABILITÀ DEL CONTENUTO INFORMATIVO DEL DIGITAL TWIN

Terminata la fase di modellazione, il *Digital Twin* può essere esportato verso altri tipi di piattaforme.

Molteplici sono le opzioni di scambio dati che si possono pensare di attuare.

E' opportuno spendere alcune considerazioni sul tema e importanza dell'interoperabilità.

Nella logica della metodologia BIM, al Professionista, è richiesto sempre più di condividere il frutto del proprio lavoro pur mantenendo il diritto a preservare la proprietà intellettuale di ciò che ha creato.

Nella logica di gestione in digitale di opere esistenti, ci si trova di fronte ad una potenziale moltitudine di modalità di scambio dati.

La via maestra è senz'altro quella di svolgere scambi dati in formato *IFC* soprattutto pensando a flussi informativi che prevedano il trasferimento dati ad ambienti di *collaboration* dei modelli.

In questo ambito, operando con sintassi e formati chiusi, le parti in causa trasferirebbero tra loro più del necessario con possibilità di riutilizzo, lesivo degli interessi del Progettista stesso.

Progetti BIM in formato nativo proprietario non sono compatibili tra loro al 100% e potrebbero non esserlo più nel futuro. E' a rischio il riutilizzo delle informazioni nel tempo. Un formato neutro e indipendente e l'apertura a soluzioni concorrenti tra loro sono garanzie nel breve e nel lungo periodo.

Le Stazioni Appaltanti, quindi i Gestori delle opere esistenti, non possono che avere la necessità di mantenere i dati accessibili a lungo senza i rischi derivanti dall'inevitabile evoluzione

dei formati proprietari. Non possono rischiare di limitare nel futuro il riutilizzo dei propri dati solo ai team attrezzati con tecnologie specifiche; solo un formato neutro mantiene le sue caratteristiche nel tempo.

Processi BIM basati su soluzioni proprietarie, imporrebbero ai Progettisti, per garantirsi la compatibilità con tutte le Stazioni Appaltanti, di effettuare investimenti in ciascuna delle tecnologie oggi (e domani) disponibili sul mercato. Ciò costituirebbe una ridondanza di skill professionali, un aggravio dei costi della progettazione per acquisto, mantenimento e aggiornamento delle diverse tecnologie e per la formazione del personale.

Le Stazioni Appaltanti possono contribuire a ridurre questi costi chiedendo un linguaggio unico, neutro e "in chiaro".

Ogni Progettista deve poter scegliere liberamente i propri strumenti informatici e riporre fiducia nelle soluzioni che ha testato, vagliato e controllato senza dover utilizzare strumenti che non sono ritenuti all'altezza per i suoi scopi.

Le Stazioni Appaltanti, in particolare quelle pubbliche, per esplicite richieste di legge, devono/dovranno proporsi in maniera tale da rendere accessibili le proprie gare ad un numero quanto più ampio possibile di offerenti.

I modelli in formato *IFC*, in quanto basati su dati espressi in formato aperto, potranno essere sempre interpretati da terze parti in qualsiasi momento.

Il formato neutro *IFC* è facilmente controllabile con strumenti studiati allo scopo e meno soggetto a costituire motivo di diaframma tra Committenza e Appaltatore.

Nell'ambito del tema della digitalizzazione delle opere d'arte esistenti esistono però alcuni casi dove l'utilizzo di altri particolari formati di scambio può essere un'utile strategia a garantire un efficace scambio dati.

Possiamo citare la possibilità di generare un modello di calcolo strutturale a partire dal modello BIM oppure il caso in cui si voglia instaurare un collegamento tra una base dati presente in una piattaforma di *asset management*.

In questo senso piattaforme come *PontiSicuri* devono porsi come sufficientemente flessibili per adattarsi a differenti scenari; da un lato devono

quindi offrire formati di scambio aperti, dall'altro devono poter essere "programmate" per risolvere un collegamento secondo un formato specifico.

## 5 L'INTEROPERABILITÀ CON I SOFTWARE DI CALCOLO STRUTTURALE

Tornando al flusso di lavoro garantito dalla piattaforma *PontiSicuri* una modalità di scambio dati molto sentita e critica da svolgere è la generazione di un modello utile alla esecuzione della fase di calcolo strutturale.

Si tratta del cosiddetto Modello Analitico, che dovrebbe potersi generare a partire dal modello BIM Strutturale.

Il trasferimento dati per ottenere questo obiettivo può avvenire secondo differenti modalità. Se ne citano le principali: utilizzo di un formato interoperabile quale l'*IFC*, utilizzo di un link cosiddetto "diretto".

Nel caso del collegamento tramite file *IFC*, si possono gestire due tipologie di sintassi:

- *IFC Analysis Domain*: assicura il rispetto automatico della congruenza tra i nodi degli elementi strutturali in ambiente di calcolo; si possono trasferire sezioni e relativi materiali, oltre alle caratteristiche proprie dell'analisi quali vincoli, svincoli e carichi (se già inseriti in ambiente BIM).
- *IFC Coordination View*: si possono gestire i dati delle sezioni trasversali degli elementi strutturali ed i relativi materiali; la congruenza va ripristinata manualmente nel software di calcolo. Questo approccio può essere utile come schema di base.

Nel caso del collegamento diretto si fa riferimento ad un dialogo secondo la «lingua madre» dei software in gioco. E' possibile gestire anche il recupero delle informazioni in ambiente BIM. E' in genere la modalità più completa e che minimizza la probabilità di errore; è l'unica che permette un dialogo bidirezionale.

Il modellatore Tekla Structures da diversi anni dispone di diverse tipologie di link, in particolare quelli di tipo diretto.

Due tra i più diffusi ed apprezzati collegamenti (entrambi sviluppati da Harpaceas) consentono di collegare Tekla Structures con i software di

calcolo strutturale Midas GEN/Civil e con il programma di calcolo strutturale ModeSt. Un'esperienza ormai più che decennale ci consente di classificare questo tipo di dialogo come efficace nel minimizzare gli errori nella fase di generazione del Modello Analitico ed anche in grado di ottimizzare la fase di scambio dati. Pensando ad una semplice struttura composta da aste: in andata dal BIM Strutturale al Software di Calcolo Strutturale; in ritorno, recuperando in ambiente BIM sezioni strutturali di elementi monodimensionali eventualmente modificate a seguito delle risultanze delle verifiche.

Al di là del formato di interscambio ciò che serve in definitiva è poter trasferire una "efficace" base topologica del modello.

Diversi elementi possono essere esclusi dal collegamento. Ad esempio, gli elementi di fondazione potrebbero essere più efficacemente gestiti nel software di calcolo; tra l'altro in questo ambiente è probabile che l'Analista simuli la fondazione semplicemente come un vincolo.

Stesso discorso si può fare per quanto riguarda i carichi, i vincoli esterni, gli svincoli negli elementi monodimensionali o bidimensionali.

Questi ed altri dati più squisitamente di ambito strutturale è logico rimangano più di competenza dell'ambiente di calcolo.

Ovviamente rimane responsabilità dello Strutturista la configurazione completa del modello di calcolo. L'idealizzazione del modello matematico alla base del calcolo è una disciplina fine a se stessa e va mantenuta e valorizzata. L'utilizzo dell'interoperabilità va inteso come uno strumento utile a velocizzare un processo.

In Figura 5 si mostra un possibile modello di calcolo del ponte finora rappresentato.

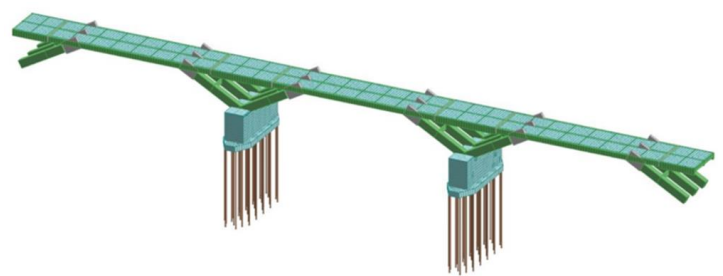


Figura 5: Modello di calcolo del ponte in esame

## 6 GLI AMBIENTI DI CONDIVISIONE ED AGGREGAZIONE DEL MODELLO BIM ED IL CONTESTO TERRITORIALE

Altro collegamento da instaurare è quello con piattaforme *CDE* o *Acdat* per la condivisione finale con tutto il gruppo di lavoro.

L'evoluzione digitale non può di certo fermarsi al solo aspetto della modellazione informativa.

L'efficientamento dei processi attraverso il digitale non può non passare da una digitalizzazione della modalità di comunicazione e dei processi decisionali, che nel settore della gestione delle opere esistenti, in larga parte, vengono condotti attraverso metodi ancora fortemente analogici.

In questo senso, l'utilizzo di strumenti quali i *Common Data Environment (CDE)* o Ambienti di Condivisione dei Dati (*ACDat*, UNI 11337) riveste un ruolo fondamentale nel percorso di trasformazione.

Peraltro, è significativo riscontrare come il DM 312/2021, pur nella generalità che inevitabilmente lo contraddistingue, menzioni in maniera esplicita l'Ambiente di Condivisione dei Dati, includendolo fra gli obblighi posti progressivamente in capo alle Stazioni Appaltanti.

Il *CDE* rappresenta un ambiente comune di lavoro per la gestione e lo scambio di file di commessa, disponibile sempre più in modalità *cloud*, da non confondersi con le più note e comuni librerie di Oggetti BIM.

Lo schema originario prevede che il *CDE* (*ACDat*) sia suddiviso in 4 differenti aree o fasi:

- lavorazione (produzione e variazione dei file di commessa);
- condivisione (comunione dei file per il loro controllo e coordinamento);
- pubblicazione (esposizione dei file completati e coordinati, eventualmente autorizzati dal Committente);
- archivio (conservazione dei file nel tempo a commessa ultimata).

Ogni passaggio da una fase all'altra prevede un processo di verifica e approvazione/autorizzazione interna (team di lavoro) o esterna (Committente).

Nonostante il nome (*data*) i *CDE* in commercio possono essere specializzati più in alcune delle attività sopra elencate, spingendosi da un lato a prediligere la parte di condivisione di modelli, dall'altro puntando più alla gestione documentale con relativi flussi approvativi.

Prerogativa dei *CDE* è comunque la raccolta e gestione (parziale secondo singole specificità di prodotto) sia di file documentali di scrittura, calcolo, ecc. e file di disegno 2D (in formato proprietario e aperto, PDF), sia di modelli BIM (soprattutto nel formato aperto *IFC*).

Più correttamente un *CDE* dovrebbe essere considerato come l'insieme di più piattaforme (un ecosistema) che sommando le loro funzionalità soddisfano i requisiti originari.

E' da segnalare come esportazioni intermedie potrebbero essere svolte per poter condividere lo stato di avanzamento di modellazione.

Nel caso della piattaforma *PontiSicuri* il contenuto informativo presente nel *Digital Twin* può essere trasferito a due differenti (e integrati tra loro) ambienti di collaborazione.

Un primo ambiente denominato Trimble Quadri permette una contestualizzazione a livello territoriale delle informazioni. La parola territoriale fa riferimento al fatto che oltre al modello BIM dell'opera puntuale si possono aggiungere altri tipi di informazioni, tutte georeferenziate caratterizzanti l'area di progetto, ottenibili attingendo ai geoportali della regione in cui è situata l'opera.

I geoportali possono anche fornire informazioni quali le Ortofoto RGB, eventuali rilievi Lidar, *Shapefile* relativi al grafo stradale della zona, alle strade provinciali presenti, ecc....

Si possono anche inserire i file *DTM* (*Digitalized Terrain Model*), ad esempio nel formato ASCII-GRID, ripartito in tagli rettangolari basati sul rettangolo di ingombro delle province.

In Trimble Quadri i dati di terreno anche di un'intera provincia possono essere ulteriormente triangolati, limitatamente a una particolare area di interesse, generando così un *DTM* più specifico.

Tutte le informazioni sopra descritte sono georeferenziate tramite coordinate cartografiche piane e permettono di realizzare un ecosistema collaborativo.

In Figura 6 si può osservare l'immagine di un ponte esistente inserita in un contesto più esteso.



Figura 6: Modello del ponte in esame inserito nel suo contesto territoriale

Anche la piattaforma *Ponti Sicuri* è pensata secondo la logica di unire le funzionalità di diversi ambienti di collaborazione al fine di fornire un ecosistema virtuoso.

Trimble Quadri permette di sviluppare una interoperabilità basata sull'utilizzo di formati aperti al fine di scambiare le modellazioni sia con altri ambienti di modellazione BIM (mantenendo la georeferenziazione dei dati) sia dialogando con l'altra piattaforma di *CDE* disponibile e denominata Trimble Connect. In questo caso, tra l'altro si può anche sfruttare un link diretto tra questi due ambienti di condivisione dati.

Al progetto negli ambienti Trimble Quadri e Connect vengono invitati tutti gli Utenti necessari, suddivisi in base all'Azienda di appartenenza o secondo altri criteri.

Trimble Connect è uno strumento di aggregazione e gestione documentale; si basa sia su piattaforma web sia *desktop* sia *mobile*, tutte collegate allo stesso progetto.

A tutti i partecipanti può essere assegnato il ruolo di Utente mantenendo un solo Amministratore del progetto.

Ad alcuni Utenti si possono poi assegnare delle restrizioni per l'accesso ad alcune cartelle per poter garantire un corretto livello di privacy.

Trimble Connect funziona secondo la logica ad invito; esiste un Amministratore del modello che decide quali siano gli Utenti ammessi e le cartelle accessibili; tutti i dati sono sempre tracciati e tracciabili.

All'interno del Trimble Connect è possibile svolgere ulteriori operazioni.

Sfruttando dei *connector* che consentono di collegarsi direttamente con il software di modellazione BIM Tekla Structures è possibile importare il *Digital Twin* dell'opera esistente. Sfruttando formati quali l'*IFC* la stessa operazione può essere svolta nei confronti di altri tipi di modellatori BIM strutturali.

Molto utile nel caso dei ponti esistenti è poi la possibilità di poter importare nuvole di punti derivanti da campagna di rilievo. Le nuvole di punti possono essere facilmente sovrapposte al modello virtuale dell'opera.

In Figura 7 si può osservare il caso per il ponte finora discusso.

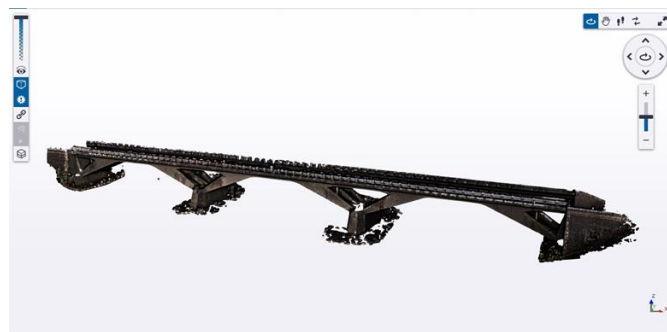


Figura 7: Rappresentazione tramite nuvola di punti del ponte in esame

In Figura 8 si evidenzia una prima verifica di compatibilità tra i due contenuti informativi.

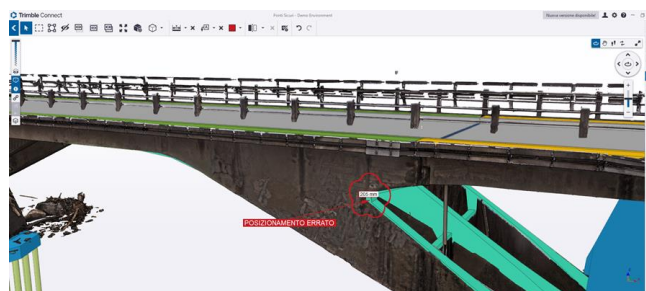






Figura 8: Verifica di compatibilità mediante sovrapposizione del modello BIM strutturale con la nuvola di punti

La visualizzazione in Trimble Connect permette di verificare i dati provenienti dalle varie discipline e le eventuali interferenze.

Per quanto riguarda la parte documentale, nell'ottica della gestione dei ponti esistenti, Harpaceas ha sviluppato un ulteriore tool denominato Document Controller. Le attività che si possono svolgere sono:

- caricamento di documenti anche in modo massivo;
- gestione di allegati
- importazione di dati derivanti da altri *database* (*asset management*, *BMS*)

È poi disponibile una gestione delle notifiche ogni qual volta si compie un'azione. Nel modello virtuale del ponte sarà possibile visualizzare dei simboli grafici relativi ai dati non geometrici associati alla parte dell'opera esistente.

Trimble Connect è ovviamente collegato con Trimble Quadri al fine di preservare l'allineamento tra i due ambienti di collaborazione pensati per gestire informazioni a differente scala territoriale.

In questo senso un modello di ponte esistente georeferenziato importato in Trimble Connect da Tekla Structures insieme al contesto geografico-territoriale, può essere a sua volta importato dalla piattaforma collaborativa infrastrutturale Trimble Quadri.

L'interazione tra i vari partecipanti avviene tramite dei *ToDo* che permettono la generazione di notifiche automatiche indirizzate all'interessato.

Questi *ToDo*, essendo collegati agli oggetti, sono esportabili in formato *Open BCF* in modo da poterli visualizzare in altri ambienti BIM.

In Trimble Connect e Trimble Quadri è quindi possibile convogliare tutti i dati disponibili dell'opera esistente e grazie alle modalità di funzionamento di queste due piattaforme di condivisione dati e modelli gli Stakeholders coinvolti nel progetto ed autorizzati a connettersi alla piattaforma possono fare affidamento a *database* attendibili, unici dei processi di ispezione conoscitiva, rilievo, controllo strutturale, gestione, manutenzione, ecc.

## 7 CONCLUSIONI

Il presente articolo mostra una procedura interoperabile innovativa per l'impiego del BIM ai ponti esistenti, in accordo alle Linee Guida. Si è mostrato come la procedura aiuti operativamente i Professionisti a soddisfare le richieste delle Linee Guida, operando attraverso uno strumento informatico innovativo (il pacchetto PontiSicuri sviluppato da Harpaceas s.r.l.) che favorisce e semplifica lo scambio di dati tra i vari soggetti coinvolti, garantendo una gestione unica, univoca ed efficiente dei ponti considerati.

## REFERENCES

1. Nuti, C., Briseghella, B., Chen, A., Lavorato, D., Iori, T., & Vanzi, I. (2020). Relevant outcomes from the history of Polcevera Viaduct in Genova, from design to nowadays failure. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 10(1), 87–107.
2. Tan, J. S., Elbaz, K., Wang, Z. F., Shen, J. S., & Chen, J. (2020). Lessons learnt from bridge collapse: A view of sustainable management. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3), 1–16.
3. Wardhana, K., & Hadipriono, F. C. (2003). Analysis of Recent Bridge Failures in the United States. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 17(3), 151–158.
4. American Road & Transportation Builders Association. (2021). *Bridge Conditions Report 2021*.
5. Dai, L. (2019). Prestress and bearing capacity loss of pre-tensioned concrete beams due to corrosion cracks.

Université de Lorraine; Changsha University of Science and Technology (Chine).

6. Kamaitis, Z. (2002). Damage to concrete bridges due to reinforcement corrosion: Part II-design considerations. *Transport*, 17(5), 163–170.
7. ANAS Gruppo Ferrovie Italiane. (2018). Relazione di sintesi sulle attività di vigilanza di ponti e viadotti.
8. Mirzaei, Z., Adey, B. T., Klatter, L., & Thompson, P. D. (2014). Overview of existing Bridge Management Systems-Report by the IABMAS Bridge Management Committee. In 7th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2014) (Issue June 2014).
9. Transportation Research Board Executive Committee. (1987). BRIDGE MANAGEMENT SYSTEMS.
10. Ministerial Decree 578 on 17.12.2020. Adoption of Guidelines for the classification and management of risk, the safety assessment and the monitoring of existing bridges, 1 (2020).
11. Shim, C., Yun, N., & Song, H. (2011). Application of 3D bridge information modeling to design and construction of bridges. Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 14, 95–99.
12. McGuire, B., Atadero, R., Clevenger, C., & Ozbek, M. (2016). Bridge Information Modeling for Inspection and Evaluation. *Journal of Bridge Engineering*, 21(4), 04015076.
13. Motawa, I., & Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in Construction*, 29, 173–182.
14. Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.
15. UNI EN ISO 16739-1:2020 “Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management - Parte 1: Schema di dati”.
16. UNI 11337:2017 “Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni”.