

Soluzioni per la digitalizzazione delle infrastrutture

Paolo Segala, CEO CSPFea; Lucia Soatto, Responsabile InfraBIM CSPFea

Vista l'esigenza stringente che coinvolge gestori e progettisti di attuare una digitalizzazione spinta delle infrastrutture, CSPFea presenta la sua riflessione sullo stato dell'arte dello sviluppo tecnologico per questa tipologia di opere nella quale vengono illustrati i quattro pilastri fondamentali della digitalizzazione delle infrastrutture. Vengono infine presentate le soluzioni software per migliorare la progettazione e la digitalizzazione di ponti, viadotti e tunnel.

1. Tra emergenza del fare ed efficacia delle soluzioni

Negli ultimi anni alcuni avvenimenti catastrofici accaduti ad opere infrastrutturali della rete viaria italiana hanno rafforzato la convinzione che la digitalizzazione, già promossa da numerose iniziative nazionali e alcune Leggi, potesse concorrere a risolvere molti gravi problemi.

Le iniziative di “boost” dell'economia, a seguito della crisi generata dalla pandemia, con ingentissimi fondi (PNRR) legati ad una Agenda europea che si basa su criteri quali la digitalizzazione e le politiche green, hanno creato quasi una aberrazione del mercato (ed una spinta inflazionistica) verso soluzioni così innovative che non dimostrano ancora la loro efficacia. Il riferimento va all'Ingegneria 4.0, come l'abbiamo battezzata in un evento oramai arrivato al suo secondo anno¹, con la spinta a portare concetti dell'Industria 4.0 verso il mondo delle Costruzioni, il digital twin, i processi digitali, i device IoT, l'Artificial Intelligence. Tutti temi di ricerca, che sono oggi prepotentemente spinti sul mercato da un poderoso flusso di investimenti a breve termine. Se da un lato appare una opportunità, dall'altro solleva enormi problematiche e domande.

È evidente, almeno a chi scrive, che le situazioni di emergenza non sono mai la condizione ideale per lanciare riforme e rivoluzioni del modus operandi, per una serie di motivi, tra i quali la inefficienza economica delle misure intraprese in sede emergenziale, la sperimentazione e l'innovazione tecnologica che vengono pressate dalla mancanza di tempo, l'insufficiente analisi di cosa è andato storto laddove si è manifestata una situazione di emergenza².

Ci si deve quindi interrogare, da ingegneri, se nella rivoluzione digitale sono contenuti i punti fermi della buona ingegneria, domandandosi quali sono tali punti fermi, chiedendosi quanto conosciamo i dettagli implementativi delle nuove tecnologie digitali, quanto sappiamo utilizzarle e se non sia necessario stilare piani di apprendimento e buone pratiche, così come si è fatto per tecnologie oramai consolidate come il

1 Il Forum Ingegneria 4.0 è un think tank ideato da CSPFea che coinvolge amministratori delegati e direttori generali di importanti engineering operanti nel mondo delle costruzioni. Per approfondire: www.forumingegneria.it

2 Chi scrive ha una esperienza legata alla gestione di emergenze nel settore degli eventi sismici che hanno investito il nostro Paese dal 2003, Terremoto molisano di San Giuliano di Puglia, e conseguenti cambiamenti del quadro normativo in materia di Norme sulle Costruzioni, oltre che numerose testimonianze dirette durante la gestione tecnica e normativa dei territori colpiti dai sismi, cosiddetti “crateri”.

calcolo numerico nell’ambito della simulazione dei fenomeni fisici di nostro interesse, quali ad esempio l’ingegneria strutturale, la wind engineering, il plant, le simulazioni energetiche, etc.

A molti ingegneri, come a chi scrive, appare indispensabile aprire le black box che la tecnologia ci fornisce per avere una totale trasparenza dei processi, degli algoritmi, dei dati e dei risultati derivanti, in una logica mutuata dall’Agenzia internazionale indipendente NAFEMS, che si occupa della qualità delle simulazioni numeriche³.

2. È il momento dell’InfraBIM: la digitalizzazione è “narrativa” o realmente “4.0”?

Facciamo chiarezza. La Tabella che segue⁴ definisce alcune parole chiave che sono continuamente utilizzate anche fuori contesto soprattutto dai marketing Teams delle Corporations e delle Big Tech.

Trovo di grande utilità il dialogo con aziende come Cognilytica, autrice di questa tabella, che profonde grandi risorse nel comprendere e divulgare concetti spesso mal compresi. Come CSPFea ci piace, nel nostro piccolo, seguirne l’esempio a vantaggio dei nostri Clienti.

DIGITIZATION	DIGITALIZATION	DIGITAL TRANSFORMATION
Trasformare contenuti non digitali in formato che i computer posano processare	Trasformare i processi “human based” e i processi descritti da procedure documentali in un sistema che possa essere operato da computer	Cambiare le prassi lavorative e le strategie al fine di fare leva sulle efficienze del digitale
“Digital first documents and content”	“Digital-first processes and systems”	“Digital-first organizations”
Obiettivo: prendere documenti cartacei e altri documenti non digitali e trasformare in un formato che i computer possano processare	Obiettivo: Estrarre più valore dalle informazioni in formato digitale mediante ulteriori elaborazioni, e al contempo trasformare i processi attuati da persone in processi operati da computer	Obiettivo: cambiare il metodo di lavoro avvantaggiandosi dai processi “digital-first” e dalle relative informazioni. Ottenere significative efficienze e un aumento del valore attraverso una modifica dell’operatività
“Digital capture”	“Digitalize these processes”	“Digitally transform this business”

³ NAFEMS è la più importante organizzazione indipendente che si occupa di elaborare Benchmarks circa le tecnologie di numerical simulation e Best Practices nei vari campi della simulazione. Per una brevissima descrizione sugli obiettivi di NAFEMS si consulti questa pagina <https://www.nafems.org/about/nafems-mission/>

⁴ Tabella tradotta da Cognilytica (documento CGIG087, www.cognilytica.com). Cognilytica è una Azienda di consulenti nel campo dell’AI, che ha il pregio di sfornare una quantità impressionante di utili documenti circa come utilizzare l’AI nell’industria (Best Practices, failure cases, lessons learned, automation roadmap, education, etc.). Pregevole il loro Podcast “AI Today”.

Ritengo di poter elencare una serie di problemi aperti che si presentano nell'utilizzo di tecnologie digitali mediante alcune domande.

Siamo veramente pronti per l'era "4.0" del settore AEC?

Gli stakeholders del settore delle Costruzioni (che riassumiamo nell'acronimo Architectural, Engineering and Construction, AEC) ovvero gli ingegneri, i geometri, i produttori, gli installatori, i manutentori, i proprietari (owners), hanno una adeguata conoscenza de processi alla base della digitalizzazione? Conoscono adeguatamente gli strumenti al punto di saper selezionare lo strumento più adatto? Sanno controllare i risultati del loro lavoro?

L'InfraBIM, ovvero il Building Information Modeling (modellazione informative dei modelli di costruzione) dei ponti e viadotti è una "scatola magica" già a disposizione dell'industria AEC?

Data la longevità delle opere infrastrutturali, l'InfraBIM è in grado di sopravvivere all'obsolescenza dei prodotti digitali? I dati che raccogliamo sono gestiti dai BIM Tools in una forma organizzata adeguata alle necessità di oggi e di domani?

Le procedure InfraBIM, oltre che i budget ad esse allocati, sono adeguati?

Stiamo cioè prevedendo adeguatamente il costo della produzione accurata di tali strutture di dati? È sufficiente l'obbligatorietà di Legge⁵ a innescare un percorso virtuoso che porti i modelli informativi ad essere sufficienti ai BIM uses di oggi e di domani e non solamente utili agli scopi immediati di coloro che li redigono?

Che ruolo ha la digitalizzazione e con essa l'InfraBIM nell'Economia Circolare e nella Sostenibilità?

Ovvero, possono dei processi digitali realmente migliorare il profilo di sostenibilità di un'opera infrastrutturale come i Ponti e i Viadotti, siano essi esistenti o di nuova concezione e progettazione? Quando il digitale passa da strumento di sostenibilità a strumento di "green washing"? Gli ingegneri hanno una qualche responsabilità in un uso strumentale dei processi digitali a fine ambientale o debbono sentirsi esentati da tale liability?

Il grande "hype" che i media ci stanno fornendo (complici il mondo dei Big Tech) sulla soluzione dei problemi da parte dei "big data" e dell'Intelligenza Artificiale⁶ e la grande aspettativa creata da tutto il mondo

⁵ Diamo per scontata la conoscenza dei disposti normativi intercorsi recentemente in Europa ed in particolare in Italia che hanno reso obbligatoria l'adozione di processi informativi digitali per le Costruzioni, tra i quali DL 18/4/2016, n°50, Codice Contratti Pubblici; DM 1/12/2017, n°560, Introduzione metodi e strumenti elettronici; DM 8/10/2019, n°830, Istitutivo dell'AINOP, Archivio Informatico Nazionale Opere Pubbliche. Molto si è pubblicato in merito. Sul tema Ponti e Viadotti si può consultare, ad esempio, A. Barocci, *La Sicurezza dei Ponti stradali esistenti*, settembre 2020, Maggioli Editore, ISBN 978-88-916-4504-3.

⁶ A mio parere la visione di questo video IBM <https://www.youtube.com/watch?v=dorlG0L2kX8> può essere utile per riflettere su come un Big Tech comunica l'Intelligenza Artificiale. Si tratta di 11 minuti di visione ben spesi se successivamente ci si interroga, come ingegneri, circa la accettabilità delle affermazioni che vengono fatte da IBM.

tecnologico che accompagna l'industria AEC (di cui chi scrive è parte, in quanto software vendor) devono probabilmente essere inquadrati dalla pratica ingegneristica nella quale l'ingegnere si è sempre assunto la responsabilità delle decisioni (a volte nel bene e a volte nel male)⁷.

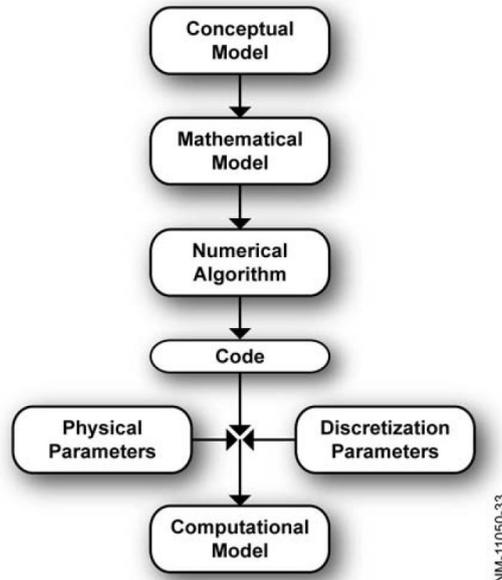


Fig. 1: NAFEMS, ASME, “What is Validation and Verification?” (cfr. nelle Note).

Al Congresso sui Ponti e Viadotti, EUROSTRUCT 2021 (European Association on Quality Control of Bridges and Structures), tenutosi presso l'Università di Padova, una vetrina brillante delle ricerche e delle tecnologie disponibili nella sicurezza e manutenzione di Ponti e Viadotti, mi hanno colpito due interventi sull'interpretazione dei dati di monitoraggio continuo (indubbiamente big data) di ponti e viadotti. Il primo, di Manzini et Al.⁸, ripone una fiducia elevata negli algoritmi di Machine Learning (ML) sviluppati dagli autori grazie ad una Rete Neurale basata su librerie di ML open source, l'altro, di Nocera et Al., che utilizza le basi teoriche della statistica stocastica per l'interpretazione dei dati avendo come riferimento, comunque, dei modelli semplificati derivati dalla Scienza delle Costruzioni (“stick model”) fondati sulle condizioni di equilibrio e le consolidate leggi fisiche della meccanica⁹. Poco infatti sappiamo, come ingegneri, circa l'affidabilità e la possibilità di Verification & Validation (torneremo su questo concetto in seguito) sia perché non vi sono buone pratiche in merito (a differenza del calcolo numerico mediante il Metodo agli Elementi

⁷ Si ricordi che tutt'oggi, le Norme Tecniche delle Costruzioni, in tema di tecnologie numeriche applicate alla sicurezza del calcolo strutturale, ritengono ancora supremo responsabile della sicurezza il Progettista, oltre che il Costruttore e altre figure, cfr. NTC 2018, Par. 10.1, Gazz.Uff. 20/2/2018.

⁸ *An automated machine learning-based approach for structural novelty detection based on SHM*, Nicolas Manzini, Ndeye Mar, Franziska Schmidt, Jean-François Bercher, André Orcesi, Pierre Marchand, Julien Gazeaux and Christian Thom. EUROSTRUCT, Acta, 2021

⁹ *Physics-based probabilistic models for the reliability analysis of bridges*, Fabrizio Nocera, Armin Tabandeh and Paolo Gardoni. EUROSTRUCT, Acta, 2021.

Finiti¹⁰), sia perché il mondo dell'AI è popolato da Ingegneri Informatici e raramente da Ingegneri Civili, sia perché la trasparenza degli algoritmi di AI (reti neurali, machine learning) è decisamente insufficiente a causa delle politiche di non disclosure dei Big e Small Tech¹¹.

In qualità di software vendor legati alle soluzioni per il calcolo strutturale di ponti e viadotti, noi di CSPFea abbiamo sempre creduto alle Buone Pratiche per la simulazione numerica¹² e riteniamo di dover lavorare altrettanto su Buone Pratiche di Modellazione InfraBIM, nonché di Artificial Intelligence in Civil Engineering. La proposta è quella di lanciare un working group, in un futuro prossimo, per definire delle Buone Pratiche nell'applicazione dell'IA al mondo dell'Ingegneria Civile che passino per la trasparenza di algoritmi e dati e della loro analisi anche da gruppi indipendenti, come d'altronde si opera con la figura del Collaudatore. Solo in questo modo si può parlare di Scienza, uscendo dalla narrazione e dal marketing dei Produttori e Sviluppatori. Dobbiamo sempre ricordare la differenza tra scienza e la tecnologia: in un recente libro sulle criticità dei big data, Jathan Sadowski ci ricorda quanto il cammino della Tecnologia sia ben diverso da quello della Scienza¹³.

3. I quattro pilastri fondamentali della digitalizzazione di Ponti e Viadotti

Allo stato attuale dell'arte vi sono 4 "discipline" che stanno sviluppando soluzioni digitali per il progetto, la costruzione e la manutenzione dei Ponti e Viadotti. Si tratta di un passaggio che va oltre la definizione generica di "digital twin" che deriva da altri campi dell'ingegneria dove meglio si addice a "macchine" che modificano rapidamente il loro stato in real time¹⁴. Il termine digital twin fu esteso dal mondo

¹⁰ Un documento breve e chiaro è stato redatto da NAFEMS ed è scaricabile qui: https://www.nafems.org/publications/resource_center/wt09/

¹¹ Melanie Mitchell, Professor of Computer Science a Portland (USA), nel suo bel libro *Artificial Intelligence A Guide for Thinking Humans*, Pelican Book, 2019, libro che consiglio agli ingegneri, nell'avvisare circa il livello di effettiva maturità dell'AI, sentenzia "Overpromising and under-delivering, are, of course, an all too common story in AI.". Chapt. 13 "Ask me anything".

¹² Consiglio almeno quattro documenti di Best Practice pubblicati da CSPFea in numerosi anni di ricerca e sviluppo affiancando Università ed Associazioni di settore tra le quali ISI-Ingegneria Sismica Italiana e NAFEMS. https://www.cspfea.net/documenti-e-tutorial/cspfea_391_affidabilita_calcoli_procedura_vv_manifestoisi
https://www.cspfea.net/documenti-e-tutorial/cspfea_392_linee_indirizzo_calcolo_analisi_lineari_non_lineari/
https://www.cspfea.net/documenti-e-tutorial/cspfea_393_bibliografia_linee_indirizzo_calcolo_analisi_lineari_non_lineari/
https://www.cspfea.net/documenti-e-tutorial/cspfea_394_checklist_analisi_eseguite_con_programmi_calcolo/

¹³ Con riferimento alla narrativa diffusa che la tecnologia rappresenta l'inarrestabile marcia del progresso, secondo una linea di pensiero che Sadowski definisce "retorica deterministica", mi piace sottolineare come egli (in buona compagnia di Melanie Mitchell, vedi nota precedente) metta in guardia circa l'ottimismo circa la tecnologia profuso dai marketing Teams, dai giornalisti "tech" e dai biografi agiografi. "Tech determinism makes intuitive sense because technology – and the future – feels like a thing that just happen to us. The vast majority of us are disconnected from the design and development of the new technologies. We don't see the various decisions disagreements, detours that are part of every technology". Dal libro *Too smart*, The MIT Press, 2020.

¹⁴ La definizione originaria di Digital Twin ("A digital twin is a virtual representation that serves as the real-time digital counterpart of a physical object or process") ad opera di Michael Grieves, 2002, utilizzata nel 2010 da NASA per migliorare il modello della simulazione fisica di una navicella spaziale. Grieves mirava a meglio definire il "modello concettuale" del paradigma del mondo manufacturing, ossia il Product Lifecycle Management (PLM). Non bastano BIM

del manufacturing al mondo del built environment in un documento dal Centre For Digital Built Britain (“The Gemini Principles”) una guida di principi per istituire il National Digital Twin.

The Gemini Principles



Fig. 2: Centre for Digital Built Britain, Principi istitutivi del National Digital Twin.

Nell’esaminare la Fig. 2, si comprende come il digital twin possa essere un termine alquanto vago.

Lo scopo della successiva Fig. 3 è invece quella di portare la digitalizzazione delle infrastrutture nel concreto a concetti che trovano riscontro negli strumenti operativi nella pratica professionale, costruttiva e operativa di Ponti e Viadotti.

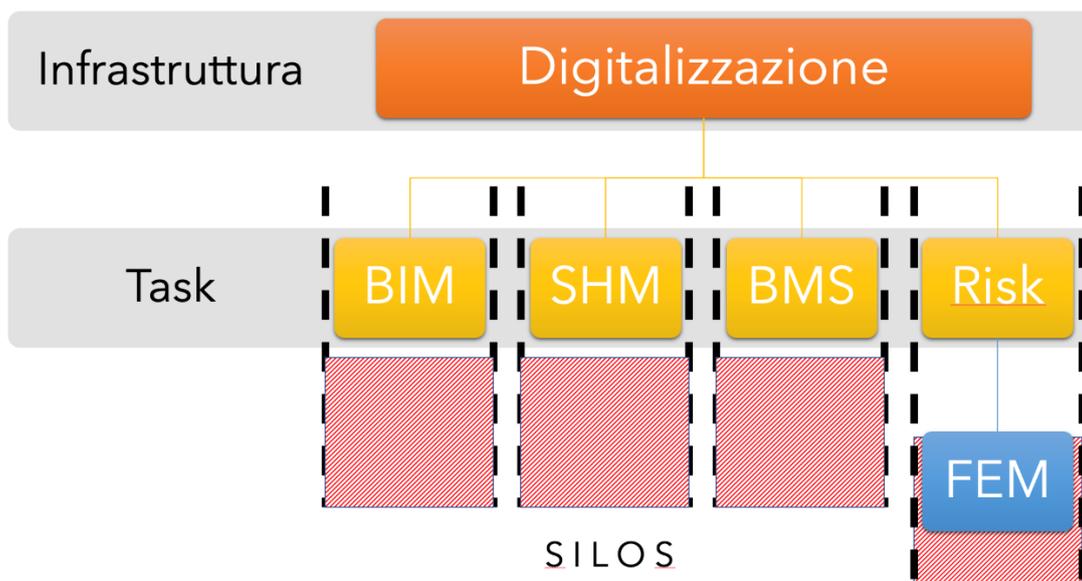


Fig. 3: I quattro Pilastri della digitalizzazione di Ponti e Viadotti.

e monitoraggio a creare un Digital Twin, o meglio le tecnologie Digital Twin ottimizzate nell’industria del manufacturing non sono facilmente reimpiegabili nel mondo delle Costruzioni di per sé.

3.1 Building Information Modeling (BIM)

In generale il BIM sta riuscendo discretamente a includere in un modello digitale del fabbricato le esigenze di Progettazione, Costruzione e Manutenzione soprattutto nell'edilizia. Il BIM si propone di includere nello stesso modello varie discipline ("BIM uses") tra le quali quella architettonica, strutturale, impiantistica, costruttiva, etc. definendo Livelli di Dettaglio (LOD) e fasi produttive (3D, 4D, 5D, etc.). Nel mondo dei Ponti e Viadotti queste esigenze stanno incontrando ancora dei limiti dovuti alla prassi applicativa, al tentativo di mutuare dal mondo edilizio le buone pratiche, alla mancanza di software adeguati.

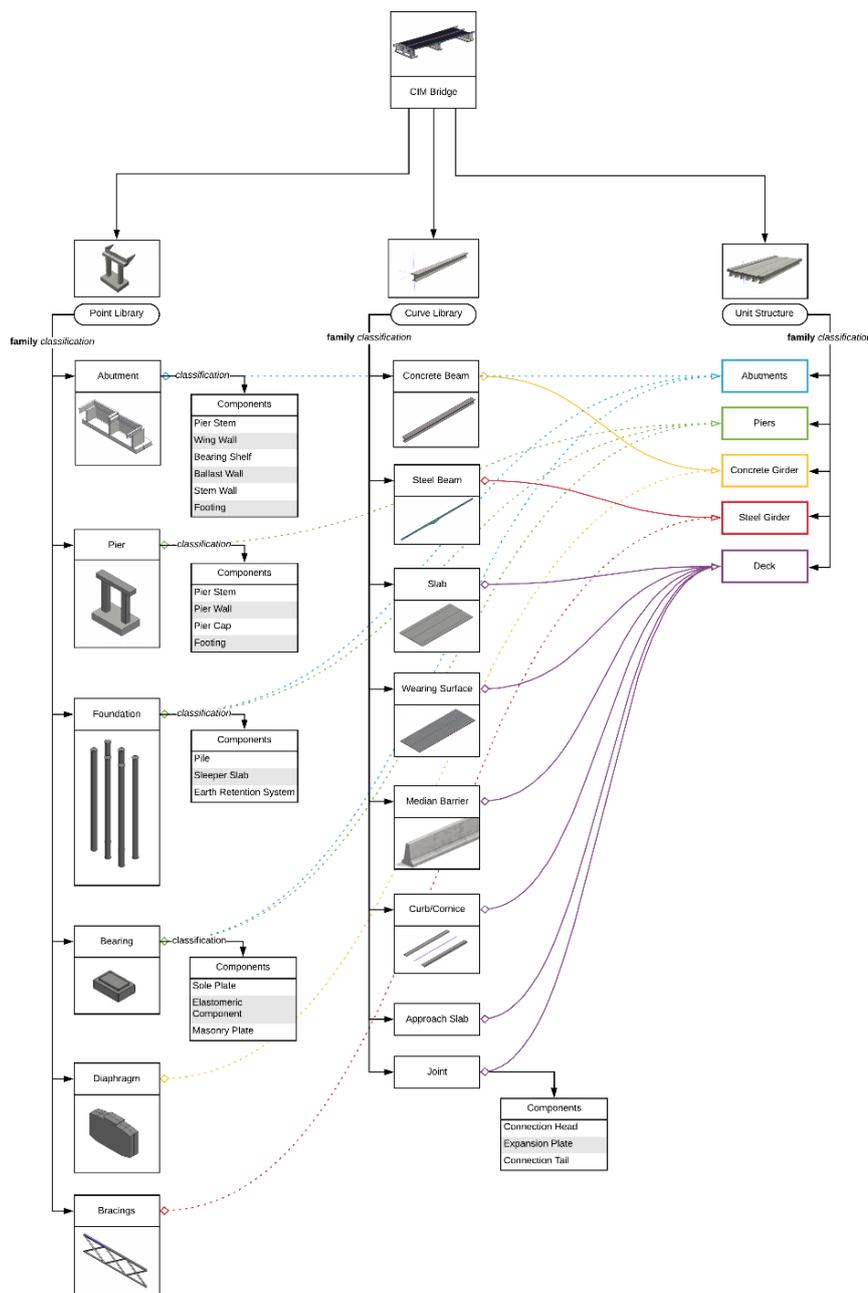


Fig. 4: Mappatura dei componenti di un ponte modellato tramite Midas CIM secondo lo schema IFC 4.3.

CSPFea ha lavorato con Dipartimenti Universitari (DICEA UniPD, DIST UniNA) e Istituzioni (buildingSMART Italia IBIMI) per definire le Buone Pratiche di realizzazione di modelli digitali BIM di Ponti e Viadotti, mutuando la prassi dalla struttura dati proposta dallo standard IFC, in particolare esaminando con un apposito Gruppo di Lavoro il sub-standard IFC-BRIDGE. La strutturazione del dato su Ponti e Viadotti è rappresentata in Fig. 4. Si tratta del concetto di ontologia, derivato da altre branche dell'Information Technology come la stessa Intelligenza Artificiale, ovvero la necessità di considerare i dati e le relazioni che li connettono, similmente al vecchio concetto di database relazionale. In questo senso anche la rappresentazione dei dati del metodo agli elementi finiti rispetta una gerarchizzazione, nodo, asta, piastra, vincolo, etc., ispirando gli strutturisti a generare una ontologia affine nel creare un modello BIM di ponte: il tema è aperto ed è uno degli aspetti che necessita uno studio e un dibattito completo anche perché la "affinità" della struttura di dati BIM di un ponte è direttamente legata alla possibilità di un collegamento con la disciplina del calcolo strutturale scambiando dati con i software FEM senza soluzione di continuità. Questo al momento è impedito, come vedremo più avanti.

Uno dei problemi legati al BIM è quello del livello di dettaglio, soprattutto considerando le differenze tra un elaborato progettuale, un costruttivo ed un "as built". L'approccio al LOD nell'InfraBIM non trova facile mutazione con il BIM tradizionale per almeno due motivi: la tecnologia costruttiva (una prefabbricazione più spinta della tradizionale edilizia), e la presenza di elementi costruttivi macroscopicamente più grandi rispetto all'edilizia e dunque un diverso approccio all'astrazione (si pensi alla differenza concettuale tra il nodo trave-colonna e il nodo pila-pulvino-impalcato)¹⁵. Anche le distorsioni longitudinali e trasversali delle travi di impalcato non sono trascurabili in alcune fasi della produzione e potrebbero essere invece trascurabili in modelli destinati ad altri BIM uses.

3.2 Structural Health Monitoring (SHM)

Come definito dal Prof. Carmelo Gentile, il SHM, in particolare dei ponti e viadotti, coniuga il monitoraggio con mezzi strumentali, permanente e ripetuto nel tempo, assieme alle strategie di interpretazione dei dati strumentali. Non parliamo del consolidato metodo per il quale mediante centraline e strumenti di misura si raccolgono i dati per un tempo limitato, al fine di raccogliere sufficienti informazioni per esprimere una diagnosi, generalmente su ponti che presentavano problematicità. Il SHM deve il suo sviluppo all'impulso dato dalla tecnologia e dalle recenti Linee Guida ministeriali sulla Classificazione dei Ponti, della parte del testo che presenta i maggiori segni di innovazione e di gioventù.

¹⁵ Si veda la presentazione di Carlo Beltrami all'evento http://www.associazioneaicap.com/wp-content/uploads/2019/10/seminario_ponti_infrastrutture_cspfea_milano06112019.pdf Presentazione reperibile su richiesta a cspfea.net

La raccolta di dati “in continuo”, realizzata con strumentazione permanentemente installata sul ponte, deve affrontare una serie di problemi.

1. la quantità di dati campionati (tra i 100 e i 200 Hz) che rende il modello un vero e proprio “big data”¹⁶. È necessario saper filtrare i dati per aumentarne il valore, problema più generale che si presenta in tutti i contesti dell’ingegneria come sottolineato dal documento di cui si riporta in Fig. 5 (decreasing data volume = Increasing data value”). Il dato può essere filtrato mediante algoritmi stocastici o di Intelligenza Artificiale (adeguatamente addestrati), ma rimane un allontanamento della procedura dall’engineering judgement che riporta alla domanda circa la responsabilità sull’interpretazione delle misure.

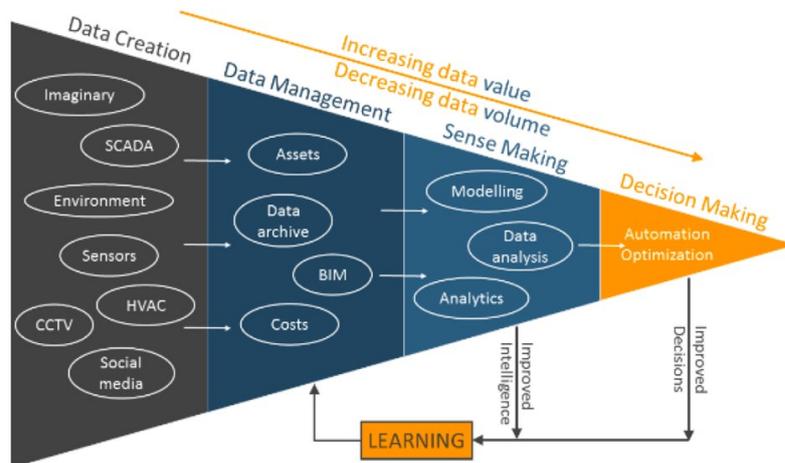


Fig. 5: Il valore dei dati. European Joint Research Centre: BIM Standardization.

2. l’aleatorietà della raccolta dati per sensoristica sensibile a parametri ambientali (termici ed igroscopici). Una soluzione è ancora quella di ripulire il dato con delle procedure stocastiche o di intelligenza artificiale.
3. l’interpretazione del dato mediante modelli di simulazione numerica FEM di back analysis o mediante procedure di FEM *model updating* continuo.
4. decisione delle soglie di warning anche per evitare un certo effetto di reiterazione di falsi allarmi, immaginando cosa possa accadere se il monitoraggio venisse applicato sistematicamente ad ogni ponte.

¹⁶ Ad un anno dalla messa in esercizio del sistema di monitoraggio del Ponte San Giorgio a Genova, la quantità di dati prodotti ammonta a 10 GB di dati statistici e 400 GB di serie temporali complete per sette mesi di funzionamento raccolti da 240 sensori di cui: 55 accelerometri, 52 sensori di spostamento, 72 inclinometri alle pile, 44 estensimetri delle strutture metalliche, 31 sensori di temperatura, oltre a rilevazioni con stazioni meteo. Il backup dei dati avviene settimanalmente. *Strade e Autostrade, Ottobre 2021.*

5. si tratta comunque di raccogliere big data difficilmente allocabili in un modello BIM, che pertanto vanno a costituire un “silos”, una informazione scarsamente interoperabile con gli altri tre “pilastri” della digitalizzazione.

Allo stato dell’arte gli SHM dinamici sono uno sviluppo digitale autonomo e solo il tempo potrà dire come e quando vi potrà essere una reale interazione con gli altri ambiti del digitale.

3.3 Bridge Management System (BMS)

I BMS sono sistemi utilizzati da tempo nell’ambito dell’inventario di opere d’arte, nella gestione della loro ispezione e nella manutenzione dell’asset infrastrutturale. Spesso il problema risiede in una certa obsolescenza delle procedure software utilizzate, spesso sviluppate in house, non sufficientemente sviluppate per restare al passo con l’evoluzione informatica, anche a causa dei database che costringono, una volta definiti, una certa rigidità nell’espansione a nuove features.

Allo stato dell’arte, il BMS è una procedura in Cloud, che permetta di creare database con una struttura adatta alla tipologia dell’opera, si faccia ancora riferimento alla Fig. 4. Descrivendo adeguatamente la struttura concettuale del ponte (ad esempio: fondazioni, sottostruttura, sovrastruttura, approcci, impianti), anche ripetendo gli elementi (esempio: campata#1, campata#2, etc.) sarà possibile creare delle procedure automatiche per l’ispezione dell’intero ponte effettuabili con Tablet sul campo, oltre a caricare per ciascun ponte ogni atto documentale fotografico o grafico disponibile e a georeferenziare l’opera. In generale il BMS, non ha la necessità di generare un modello 3D geometrico/informativo, anche per non appesantire la procedura di ispezione finalizzata al controllo periodico dell’opera. Pertanto, il collegamento al modello InfraBIM per ora non trova particolari vantaggi, mentre rischia di costringere l’ispettore a verifiche troppo analitiche a causa dei LOD elevati.

I BMS sono il tool digitale più diffuso nella gestione di ponti e viadotti, e forse quelli che necessitano di un ammodernamento maggiore sia come infrastruttura IT, che come interfaccia GUI (Graphical User Interface). La nostra esperienza ci ha portato a lavorare con la piattaforma GENIA, potente tool BMS per le ispezioni sviluppato da Tecnia, grazie alla sua caratteristica fondamentale di gestire ponti ferroviari, stradali, gallerie, opere d’arte, fabbricati, e qualsiasi tipo di infrastruttura la cui strutturazione del dato possa essere specificata dall’utente.



DAMAGE LIBRARY of more than 300 damages classified by materials and bridge components.

Fig. 6: Genia, piattaforma sviluppata da Technalia per la gestione di ponti, viadotti, tunnel, edifici e dighe.

Un altro strumento fondamentale è quello di ispezione virtuale di modelli 3D dell'asset infrastrutturale costruiti in maniera semi-automatica da foto e video rilevati con drone. In questo caso utilizziamo la piattaforma gNext che permette di visualizzare il modello rilevato in un ambiente tridimensionale con switch tra rilievi effettuati in epoche diverse. gNextLab sta implementando algoritmi di riconoscimento della defettologia a partire dalle immagini basati su Machine Learning. L'evoluzione del BMS vedrà in futuro una integrazione con modelli virtuali 3D, ma, al momento questa fase non può essere considerata uno standard di mercato.



Fig. 7: Modello digitale creato in modo automatico nella piattaforma gNext a partire da fotografie geolocalizzate, video e rilievi laser scanner.

Infine, il BMS dovrà andare verso l'integrazione con il quarto pilastro, la procedura di Risk Assessment come guida alla catalogazione dei danni della struttura.

3.4 Safety assesment (Risk)

Si tratta dell'ultimo pilastro digitale dei Ponti e Viadotti che trova vigore nelle nuove "Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" deliberate dal MIMS (ex MIT) nel 2020. Essendo ancora formalmente in "fase sperimentale" le procedure informatiche ad esse legate sono naturalmente in fase di sviluppo, tuttavia qualche software è già disponibile. La nostra esperienza è quella di lavorare con la piattaforma IIM, sviluppata da Gruppo Sismica, spin-off dell'Università di Catania, che permette di affrontare con grande efficacia (drastica riduzione dei tempi) l'ispezione dei ponti e la compilazione delle Schede richieste dalle Linee Guida, e la elaborazione delle Classi di Attenzione per ciascun tipo di Rischio.

Infrastructure Information Management - IIM 1.0 *Ispezioni di infrastrutture viarie ai sensi delle Linee Guida Ponti*

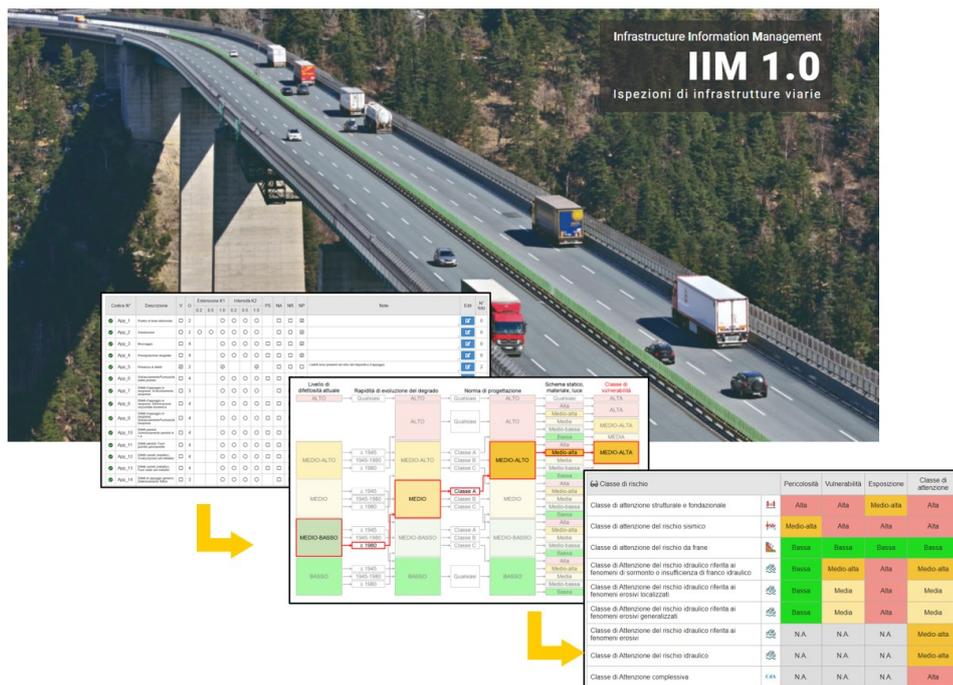


Fig. 8: IIM (Infrastructure Information Management), piattaforma per la valutazione dei ponti stradali secondo le Linee Guida.

Infrastructure Information Management (IIM), la piattaforma per la valutazione della sicurezza dei ponti stradali secondo le Linee Guida

IIM (Infrastructure Information Management) è una piattaforma informatica sviluppata da Gruppo Sismica, uno spin-off dell'Università di Catania, per la gestione automatizzata e centralizzata delle ispezioni e il management dello stato di salute di ponti e viadotti.

Questo strumento è stato concepito come supporto alle attività di censimento, ispezione e monitoraggio dei ponti esistenti e consente inoltre la valutazione della Classe di Attenzione (CdA) in applicazione dei livelli 0, 1 e 2 delle "Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti" allegate al parere del C.S.LL.PP. n.88/2019 del 17.04.2020, di cui all'ordinanza n. 578 del 17/12/2020.

La piattaforma IIM garantisce l'accesso da qualsiasi dispositivo in tempo reale, consentendo la consultazione, l'ispezione e la generazione di schede report e statistiche.

Oltre a ciò, è possibile effettuare il censimento georeferenziato delle reti stradali e delle infrastrutture ad esse afferenti: ogni struttura è censita non solo considerando le informazioni di base (anno di costruzione, tipologia costruttiva, ecc.), ma anche indicando gli elementi (pila, spalle, appoggi, ecc.) e organizzando per categorie gli elaborati progettuali e gli approfondimenti successivi.

È prevista l'esportazione dei dati relativi al censimento dell'infrastruttura per l'alimentazione dell'archivio AINOP e dei dati richiesti dal Consorzio FABRE.

L'ispezione avviene mediante la compilazione di schede, dette schede di difettosità, che possono essere corredate da immagini di inquadramento dell'elemento strutturale e dello specifico difetto.

Il software non si limita solo all'archiviazione dei dati di censimento ed ispezione, ma li elabora per calcolare la classe di attenzione secondo la metodologia multilivello delineata dalle Linee Guida.

La piattaforma IIM consente l'esportazione in formato word delle schede compilate in fase di censimento ed ispezione dei ponti secondo i template forniti dal MIMS (Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili).

IIM permette quindi la generazione assistita di un report dettagliato che riporta per ciascuna ispezione i flussi logici che hanno portato alla determinazione della classe di attenzione, corredato da opportuna documentazione fotografica catalogata per elemento, sotto-elemento e per tipologia del difetto.

Con quale strumento software InfraBIM professionisti, società d'ingegneria e gestori potranno efficientare e migliorare la digitalizzazione di ponti, viadotti e tunnel? Per rispondere a questa domanda presentiamo il software Midas CIM.

4. Midas CIM (Civil Information Modelling), il software InfraBIM per ponti, viadotti e tunnel

Midas CIM è il software BIM per ponti creato da Midas IT, azienda leader nello sviluppo di software FEM per l'ingegneria, come ad esempio Midas Gen e Civil.

Si tratta di uno strumento sviluppato con l'obiettivo di dare una risposta alle esigenze degli ingegneri pontisti, per questo è stata data particolare attenzione alla possibilità di realizzare uno scambio informativo efficiente tra il software BIM e il software FEM Midas Civil, ma anche garantire l'interoperabilità e la collaborazione tra i vari progettisti coinvolti attraverso il formato IFC.

Non si tratta, quindi, di un software BIM nato per l'edilizia e riadattato affinché potesse modellare infrastrutture, ma è stato invece fin dall'inizio concepito per la modellazione BIM di infrastrutture quali ponti, viadotti, e tunnel.

Per questo motivo, a differenza di altri software di BIM authoring, l'approccio alla modellazione è improntata in modo tale da permettere una modellazione e gestione efficace dei componenti di queste tipologie di infrastrutture attraverso delle specifiche librerie.

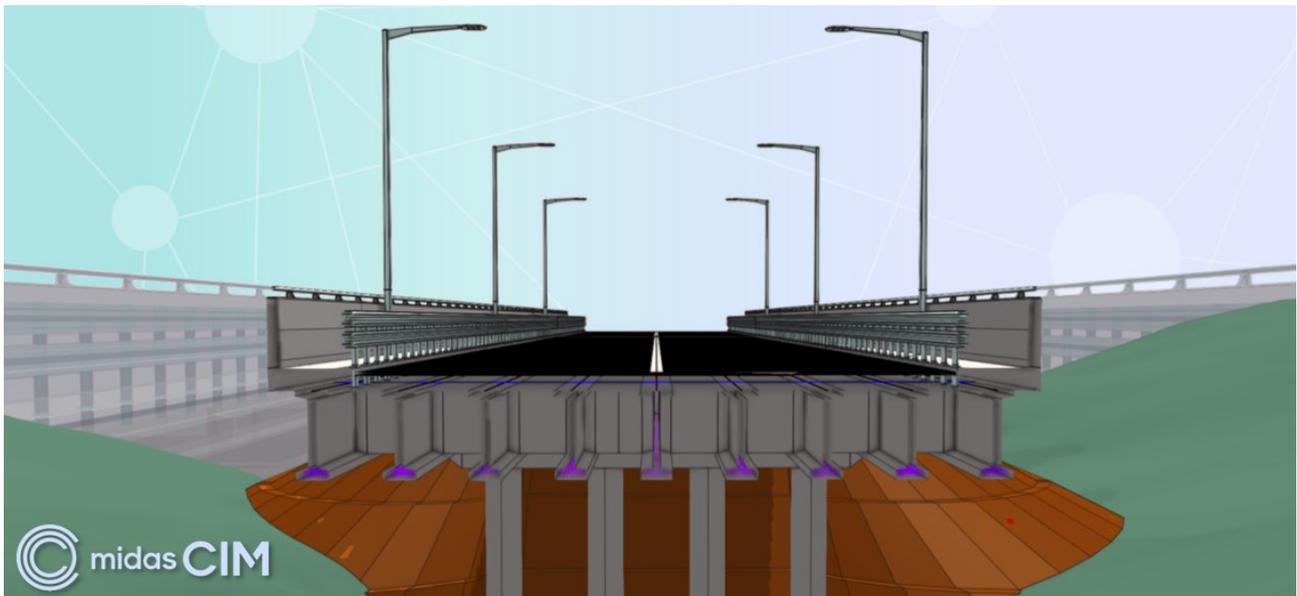


Fig. 9: Ponte a travata in c.a.p. realizzato con il software InfraBIM Midas CIM.

Midas CIM è un software per la progettazione infrastrutturale composto da più moduli, sia interni che esterni, come Midas Drafter, inoltre si relaziona con il software di calcolo FEM Midas Civil realizzando uno scambio informativo senza soluzione di continuità.

I moduli nello specifico sono:

- *Modeler*

Modulo per la modellazione informativa parametrica BIM di infrastrutture; è possibile, infatti, tramite esso modellare il tracciato, le componenti del ponte, i dettagli costruttivi come armature, cavi, irrigidimenti, bullonature etc. Consente anche la modellazione delle superfici topografiche, la georeferenziazione del modello, il collegamento di questo con eventuali nuvole di punti e altro ancora.

- *Construction*

Modulo per la gestione delle fasi costruttive tramite la creazione di un calendario delle attività, il controllo delle interferenze, la realizzazione dei computi metrici e l'impostazione della struttura spaziale dell'opera.

- *Drafter*

Modulo esterno di Midas CIM utilizzabile come un software CAD autonomo, oppure in correlazione al modulo *Modeler*. È possibile l'importazione di viste, prospetti e sezioni da CIM in Drafter, nel quale successivamente si possono arricchire le tavole di informazioni provenienti da CIM, come ad esempio creando in modo automatico le annotazioni e la distinta ferri, per poi procedere all'impaginazione finale di tutti gli elaborati grafici.

- *Analysis*

Questo modulo permette di trasformare il modello geometrico informativo nel corrispettivo modello analitico-strutturale e di predisporlo all'analisi tramite la discretizzazione degli elementi, l'inserimento di link e vincoli esterni, oltre che impostare un caso di carico statico considerando il peso proprio degli elementi. Grazie a questo modulo, è possibile realizzare un perfetto scambio informativo con Midas Civil, il software FEM specifico per il calcolo di ponti.

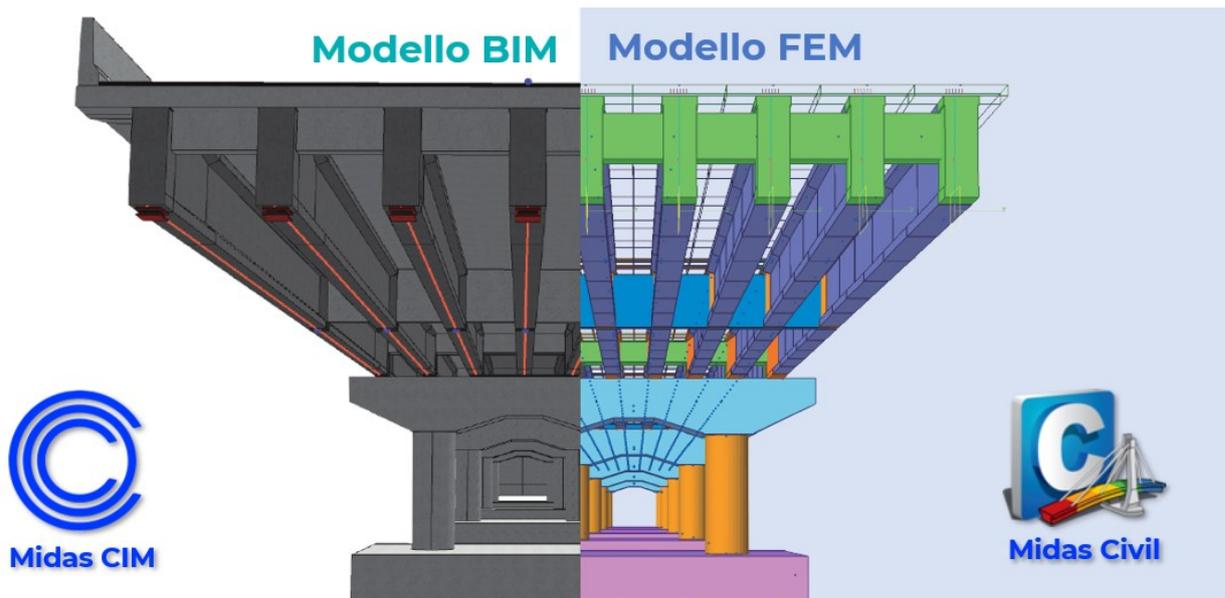


Fig. 10: Schema che illustra la possibilità di trasformare un modello geometrico informativo creato in Midas CIM nel corrispettivo modello analitico esportabile in Civil.

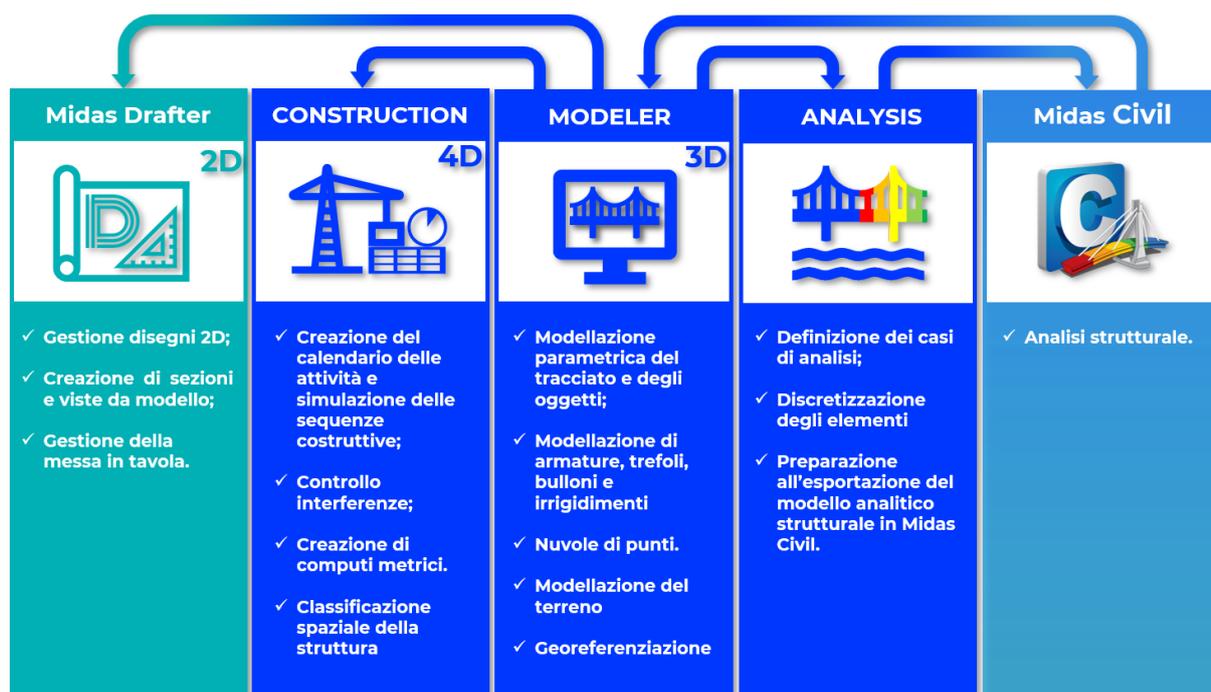


Fig. 11: Descrizione sintetica delle funzionalità dei moduli appartenenti al software infraBIM Midas CIM; un particolare risalto viene dato alla possibilità di realizzare uno scambio informativo senza soluzione di continuità tra i vari moduli e con gli altri software Midas Civil e Drafter.

4.1 IFC Bridge

Un'importante novità che riguarda Midas CIM dei prossimi mesi consiste nell'implementazione nel software del formato IFC 4.3.

IFC (Industrial Foundation Classes) è uno standard internazionale aperto per lo scambio di modelli BIM, prodotto e sviluppato da buildingSMART International.

Si tratta di un formato neutrale e per questo utilizzabile da una vasta quantità di software consentendo la gestione interoperabile dei modelli.

La possibilità di disporre di un software che permetta lo scambio di modelli in questo formato è di fondamentale importanza per poter garantire un'interoperabilità a livello di filiera, beneficiando quindi di tutti i molteplici vantaggi che questo comporta.

Lo schema IFC 4.3 che è stato reso ufficiale recentemente nel marzo 2022, rispetto alla precedente versione ufficiale IFC4, che era ancora pensata per l'edilizia, estende l'uso di questo formato ad altre tipologie di opere, tra cui i ponti, introducendo delle novità che permettono di ampliare e adattare lo schema IFC in modo da assecondare le esigenze di queste tipologie di infrastrutture.

4.2 Midas Open API per l'automatizzazione della progettazione delle infrastrutture

La tradizionale progettazione di infrastrutture tramite i software Midas entro la fine del 2022 verrà affiancata da una grande novità, sarà infatti introdotto l'uso delle API (Application Programming Interface) per la progettazione di ponti e viadotti.

Si tratta di un tipo di programma che permette di collegare più software che consentirà di migliorare l'interfaccia del software InfraBIM per la progettazione di ponti Midas CIM e del software FEM Midas Civil.

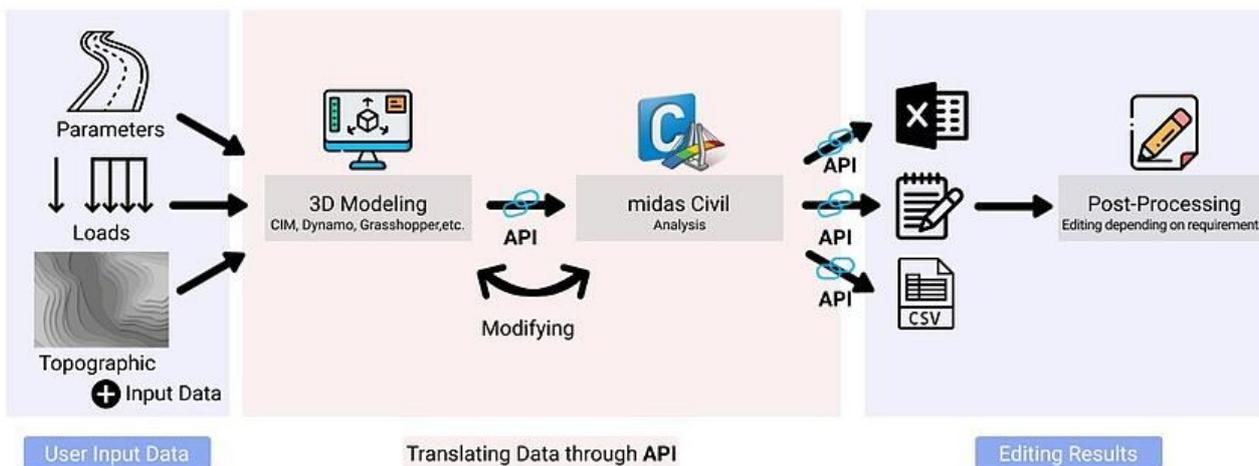


Fig. 12: Processo di automatizzazione della progettazione tramite l'introduzione delle API in Midas.

L'introduzione delle [API](#) porterà ad ogni progettista numerosi vantaggi consentendogli di programmare modelli di calcolo personalizzati, ad esempio a partire da un foglio di calcolo in Excel, permettendo di ottimizzare l'automatizzazione della progettazione.

Midas IT renderà inoltre disponibile la piattaforma Design Center, la quale conterrà una grande varietà di prototipi di modelli di calcolo già pronti all'uso con la possibilità di riadattarli in base alle proprie esigenze tramite parametri preimpostati.

Queste schede, scaricabili dalla piattaforma Midas Design Center, renderanno disponibili agli utenti dei modelli che copriranno le tipologie strutturali più comuni di ponti, viadotti e tunnel e permetteranno di interagire direttamente con il software Midas CIM e con il software Midas Civil, consentendo quindi al professionista di ottenere il modello FEM e il corrispettivo modello BIM in brevissimo tempo.

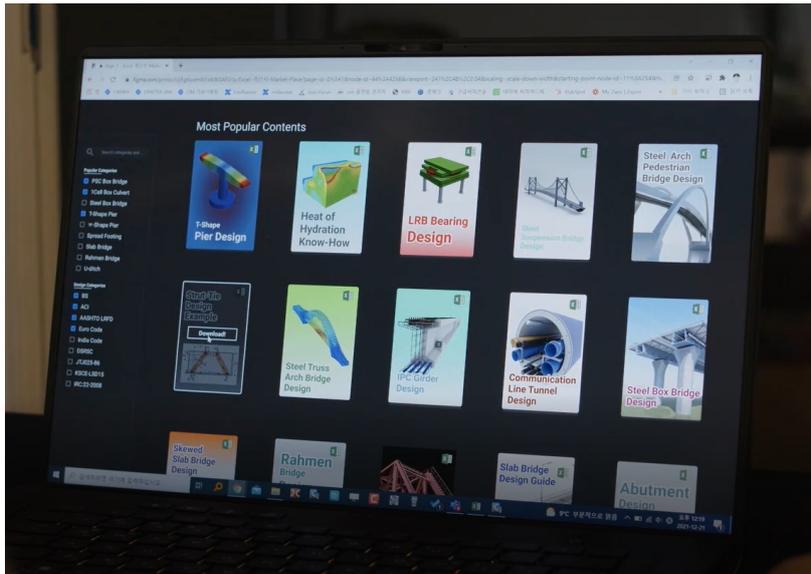


Fig. 13: Schede disponibili all'interno del Midas Design Center.

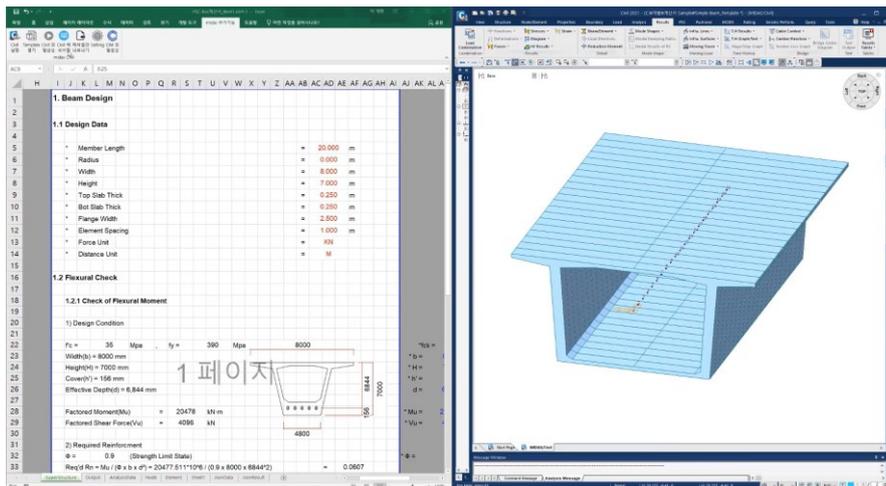


Fig. 14: Esempio di modellazione in Civil con Excel tramite API.

Dopo aver scaricato le schede disponibili nella piattaforma, è possibile compilare da Excel i parametri riguardanti le caratteristiche dell'infrastruttura: in modo automatico il modello si genererà sia in Civil che in CIM.

In caso di successive modifiche dei valori dal foglio di calcolo, anche i rispettivi modelli BIM e FEM si aggiorneranno di conseguenza.

C'è in aggiunta la possibilità di avviare un'analisi remota in Civil, in questo modo Civil manderà i risultati dell'analisi in un ulteriore file Excel.

Il vantaggio di questo nuovo metodo sta nella possibilità di modificare velocemente i valori interessati, come ad esempio quelli riguardanti le armature, affinché l'analisi sia verificata.

Si può quindi instaurare un processo iterativo che comunemente viene già adottato dagli utenti di Civil, ma migliorandolo e rendendolo più veloce.

Dal medesimo foglio Excel è possibile ricavare, non solo il modello agli elementi finiti in Civil, come abbiamo visto, ma anche un modello informativo in CIM dal quale è possibile a sua volta estrarre le quantità dei materiali in un foglio Excel, ma anche le tavole di progetto con annotazioni e distinta ferri in modo automatico grazie al modulo Drafter.

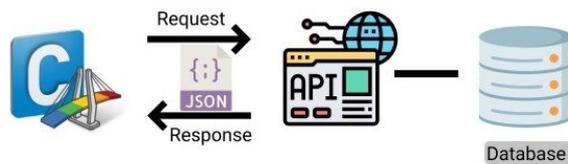


Fig. 15: Interoperabilità tra Midas Civil e API tramite il formato JSON.

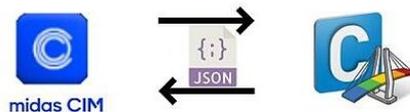


Fig. 16: Interoperabilità tra Midas CIM e Civil tramite il formato JSON.

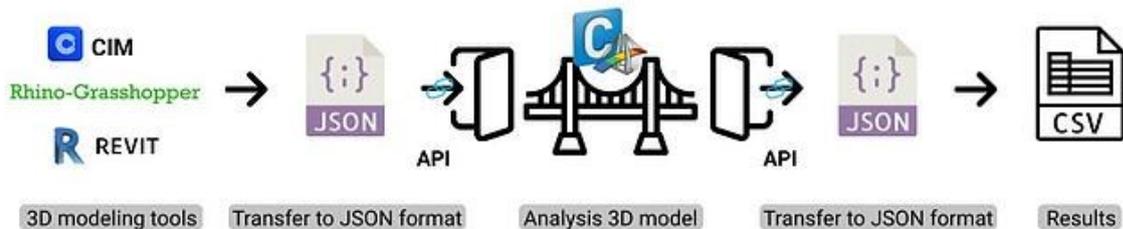


Fig. 17: Processo di modellazione e analisi di ponti tramite API.

Midas IT ha scelto il formato JSON per l'utilizzo e la programmazione principale delle API, come pure per lo scambio di dati, instaurando un processo interoperabile tra Midas CIM e Civil.

Il formato JSON oltre a trasferire informazioni riguardanti la modellazione e l'analisi potrà anche essere modificato dall'utente prima dell'importazione dello stesso nel software prescelto.

4.3 Connessione tra MIDAS Civil e monitoraggio

Richiamando ancora una volta il Prof. Carmelo Gentile, l'oggetto dello SHM sono prevalentemente le frequenze e i modi di vibrare della struttura, e solo secondariamente accelerazioni e velocità.

Il flusso di lavoro deve automatizzare le seguenti fasi:

- estrazione delle caratteristiche dinamiche a determinati intervalli, con pronta attivazione della sensoristica in caso di eventi anomali;
- rimozione degli effetti ambientali (le misure vanno sempre correlate con T e HR oltre che ad azioni di esercizio)
- individuazione di anomalie e aggiornamento del modello FEM, calibrazione.

Le API sono un potente strumento per far dialogare il monitoraggio dinamico con i modelli FEM richiamando il modello FEM creato con MIDAS Civil per aggiornamenti dei parametri (vincoli, supporti, caratteristiche meccaniche dei modelli costitutivi dei materiali e di appoggi ed isolatori, parametri del comportamento dinamico degli elementi strutturali, ecc.).

[Richiedi una DEMO del software Midas CIM](#)