



## IL FUTURO DEL BIM NEL CALCOLO STRUTTURALE DI EDIFICI E PONTI

*La rivoluzione digitale nel calcolo strutturale*

**Ing. Enrico Prativiera**

## Sommario

Introduzione .....	2
Il BIM e il calcolo strutturale: un connubio innovativo .....	2
La rivoluzione digitale nel calcolo strutturale .....	2
Miglioramento della collaborazione e della comunicazione .....	2
Tecnologie emergenti e il futuro del BIM .....	3
Difficoltà nell'importazione di modelli IFC da software di BIM authoring a software di calcolo strutturale.....	3
L'Interfacciamento BIM nel software MasterSap di AMV .....	4
Difficoltà nel trasferimento di Oggetti definiti graficamente con primitive geometriche .....	5
Necessità di un Ampliamento del Formato IFC per l'Uso nei Modelli di Calcolo Strutturale .....	6
Il Superamento delle Difficoltà tramite l'Utilizzo dell'Intelligenza Artificiale .....	6
Obblighi normativi .....	7
BIM e Sostenibilità nel Calcolo Strutturale .....	7
Ottimizzazione dei Materiali e Riduzione degli Sprechi.....	7
L'Impatto del BIM sul Ciclo di Vita delle Strutture .....	8
Progettazione e Pianificazione.....	8
Costruzione e Implementazione.....	8
Manutenzione e Gestione .....	8
Sfide e Opportunità del BIM nel Calcolo Strutturale .....	9
Standardizzazione e Interoperabilità .....	9
Formazione e Competenze .....	9
Conclusioni .....	9

## Introduzione

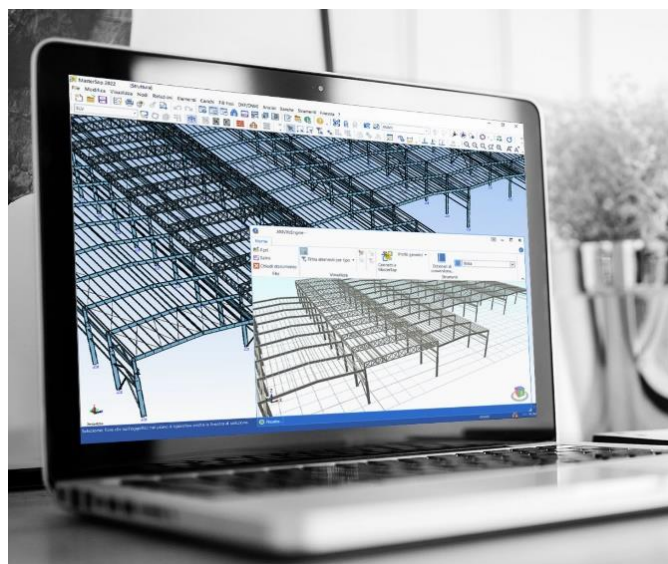
Negli ultimi anni, il **Building Information Modeling** (BIM) ha rivoluzionato l'industria delle costruzioni, trasformando il modo in cui gli edifici e le infrastrutture sono progettati, costruiti e gestiti. Questo approccio digitale ha permesso una maggiore collaborazione tra architetti, ingegneri, costruttori e altri professionisti, migliorando la qualità dei progetti e riducendo i tempi e i costi associati alle costruzioni. Il futuro del BIM, in particolare nel calcolo strutturale di edifici e ponti, appare promettente, con numerose evoluzioni tecnologiche all'orizzonte che promettono di rendere ancora più efficace e innovativa la pratica ingegneristica.

## Il BIM e il calcolo strutturale: un connubio innovativo

### La rivoluzione digitale nel calcolo strutturale

Il BIM rappresenta una svolta fondamentale nel calcolo strutturale, offrendo agli ingegneri strumenti avanzati per la modellazione tridimensionale, l'analisi e la simulazione delle strutture. Attraverso il BIM, è possibile integrare dati complessi come materiali, carichi, vincoli direttamente nel modello digitale, permettendo un'analisi più accurata e dettagliata delle prestazioni strutturali di edifici e ponti.

**L'adozione del BIM nel calcolo strutturale** ha semplificato processi che in passato erano estremamente laboriosi, come la verifica della resistenza, la simulazione degli effetti del vento e dei terremoti, e la valutazione delle deformazioni strutturali. Grazie alla visualizzazione tridimensionale, gli ingegneri possono identificare e risolvere i potenziali problemi prima che si verifichino, migliorando la sicurezza e l'affidabilità delle strutture.



### Miglioramento della collaborazione e della comunicazione

Come detto, uno degli aspetti più rivoluzionari del BIM è la sua capacità di migliorare la collaborazione tra diversi professionisti del settore edile. Tradizionalmente, il processo di progettazione e costruzione coinvolgeva una serie di passaggi separati e compartimentati, con scarsa comunicazione tra le diverse discipline. Il BIM, invece, favorisce una condivisione continua delle informazioni, permettendo a ingegneri strutturali, architetti e costruttori di lavorare simultaneamente sullo stesso modello. Questo approccio collaborativo riduce gli errori e le discrepanze nei progetti, garantendo che tutte le parti coinvolte siano allineate e informate durante l'intero ciclo di vita del progetto.

## Tecnologie emergenti e il futuro del BIM

Nel futuro del BIM, **l'intelligenza artificiale (IA) e il machine learning (ML)** giocheranno un ruolo sempre più centrale. Queste tecnologie possono essere utilizzate per automatizzare e ottimizzare il calcolo strutturale, analizzando grandi quantità di dati e identificando problematiche che potrebbero sfuggire all'occhio umano. Ad esempio, l'IA potrebbe essere utilizzata per prevedere il comportamento strutturale sotto diverse condizioni di carico, migliorando la precisione delle analisi e riducendo il tempo necessario per completare le simulazioni.

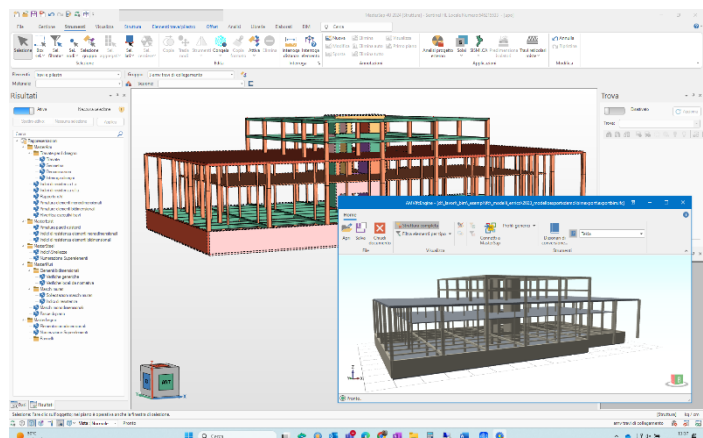
Il machine learning, in particolare, può essere impiegato per migliorare i modelli predittivi utilizzati nel calcolo strutturale. Utilizzando dati storici e real-time, gli algoritmi di ML possono essere addestrati per identificare possibili punti di cedimento o debolezze nelle strutture, offrendo raccomandazioni su come migliorare il progetto o la manutenzione. Questo livello di automazione avanzata non solo riduce i rischi associati alla vita delle costruzioni, ma permette anche di progettare strutture più sicure e durature.

**L'Internet delle Cose (IoT)** sta iniziando a influenzare significativamente il BIM, in particolare nel calcolo strutturale e nella gestione delle infrastrutture. Attraverso l'uso di sensori IoT integrati nelle strutture, è possibile raccogliere dati in tempo reale sulle condizioni ambientali, sulle vibrazioni, sulle deformazioni e su altri parametri critici. Questi dati possono essere direttamente integrati nel modello BIM, permettendo agli ingegneri di monitorare continuamente le prestazioni della struttura e di intervenire prontamente in caso di anomalie.

L'uso dell'IoT in combinazione con il BIM rappresenta una delle direzioni più promettenti per il futuro del calcolo strutturale, poiché consente una gestione proattiva delle infrastrutture. Ad esempio, in un ponte, i sensori potrebbero rilevare variazioni anomale nei carichi o nelle deformazioni, inviando avvisi immediati agli ingegneri e permettendo interventi tempestivi prima che si verifichi un problema strutturale significativo.

## Difficoltà nell'importazione di modelli IFC da software di BIM authoring a software di calcolo strutturale

Uno dei principali ostacoli nell'integrazione del BIM con il calcolo strutturale è la complessità dell'importazione dei modelli IFC (Industry Foundation Classes) da un software di BIM authoring, come Revit, Archicad, Allplan, etc. a un software di calcolo strutturale. Sebbene l'IFC sia un formato standard aperto progettato per facilitare lo scambio di dati tra diverse applicazioni BIM, la traduzione di un modello complesso da un ambiente di progettazione architettonica a uno di analisi strutturale può presentare numerose difficoltà.



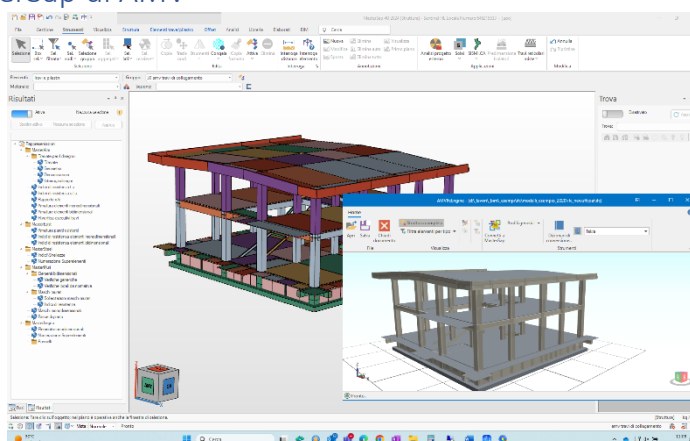
Queste difficoltà includono l'incompatibilità delle entità geometriche e degli attributi specifici di ciascun software. Ad esempio, durante l'importazione, elementi come pareti, colonne o travi possono non essere correttamente riconosciuti o rappresentati, poiché il modello IFC potrebbe contenere informazioni non necessarie per l'analisi strutturale o interpretate in modo diverso rispetto al software di authoring. Inoltre, la discretizzazione delle geometrie e l'assegnazione delle proprietà dei materiali possono risultare imprecise o incomplete, richiedendo ulteriori interventi manuali da parte dell'ingegnere strutturista per correggere le discrepanze e garantire che il modello sia utilizzabile per il calcolo strutturale.



Queste problematiche rallentano il processo di progettazione e aumentano il rischio di errori, rendendo essenziale lo sviluppo di flussi di lavoro ottimizzati e l'uso di plugin o strumenti di conversione che facilitino l'integrazione tra i diversi software, mantenendo la coerenza dei dati e la precisione necessaria per le analisi strutturali.

## L'Interfacciamento BIM nel software MasterSap di AMV

MasterSap, rappresenta un esempio di come l'interfacciamento BIM possa essere integrato in un software di calcolo strutturale per migliorare l'efficienza e la precisione nel processo di progettazione. MasterSap è stato progettato per supportare l'importazione e l'esportazione di modelli BIM attraverso formati standard come IFC, facilitando l'interoperabilità con i software di BIM authoring. Questo interfacciamento permette ai progettisti di importare i modelli architettonici e strutturali creati in ambiente BIM direttamente in MasterSap, dove vengono automaticamente convertiti in un modello adatto per il calcolo FEM (Finite Element Method) utilizzabile per l'analisi strutturale.

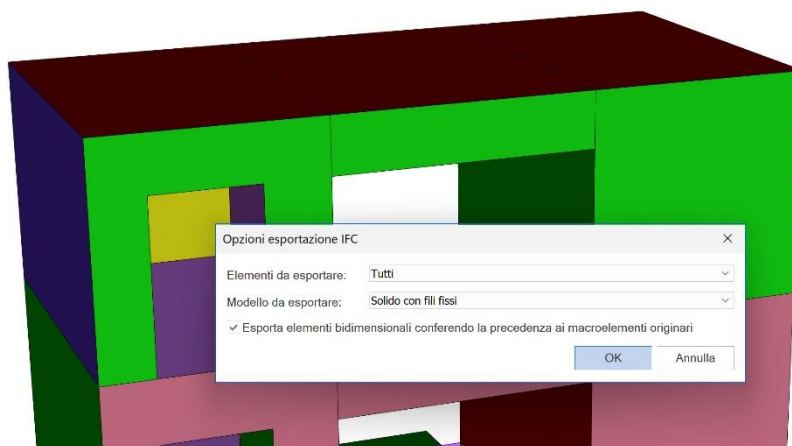


MasterSap sfrutta il modello generato dal file IFC per interpretare correttamente le geometrie, i materiali, e le connessioni strutturali, consentendo una transizione fluida tra la fase di modellazione BIM e l'analisi strutturale. Inoltre, il software offre strumenti per la verifica e la correzione delle discrepanze che possono sorgere durante l'importazione, garantendo che il modello generato sia accurato e pronto per l'analisi. Questa capacità di interfacciamento rende MasterSap un potente strumento per ingegneri strutturisti che operano in contesti BIM, migliorando la coerenza dei dati e riducendo significativamente il rischio di errori progettuali.

A seguito dell'importazione del modello in MasterSap, è possibile procedere con l'analisi strutturale. Il software offre un'ampia gamma di opzioni per definire carichi, condizioni di vincolo e altri parametri rilevanti per la valutazione della stabilità e della resistenza dell'edificio. Grazie alla connessione con il modello BIM, tutte le modifiche apportate al modello di analisi strutturale vengono automaticamente riportate nel modello IFC. Questa sincronizzazione bidirezionale garantisce la coerenza tra le informazioni presenti nei due modelli, consentendo a tutti i membri del team di avere sempre accesso alle ultime versioni del progetto.

Il processo di **analisi strutturale** in MasterSap è estremamente preciso e dettagliato. Il software utilizza diversi solutori proprietari avanzati per calcolare le sollecitazioni e le deformazioni degli elementi strutturali, consentendo di valutare l'integrità e la sicurezza dell'edificio in diverse condizioni di carico. I risultati dell'analisi strutturale sono visualizzati in modo chiaro e intuitivo, sia attraverso tabelle dettagliate che attraverso diagrammi e grafici. Questa rappresentazione visiva facilita la comprensione dei dati e aiuta gli ingegneri a prendere decisioni informate per ottimizzare la struttura e garantire il rispetto delle normative di sicurezza.

**L'esportazione del modello** in formato IFC è stata recentemente arricchita con l'esportazione delle pareti (IfcWall) e delle solette (IfcSlab) nel loro formato completo e non solo come sottoprodotti della fase di meshatura in singoli elementi finiti. Ovvero gli elementi possono essere generati in IFC sia come singolo elemento guscio, derivante dalla meshatura analitica, sia come



macroelemento originario, ovvero quello che definisce l'intera parete o l'intera soletta. Inoltre sono state aggiunte alle opzioni di esportazione la possibilità di esportare solo gli elementi visibili o quelli selezionati, nella loro configurazione strutturale architettonica o in quella di calcolo.

Per configurazione strutturale architettonica si intende quella derivante da un tipico modello BIM, nella quale gli elementi strutturali sono allineati rispetto alle superfici esterne o interne di altri elementi. Per configurazione di calcolo si intende invece quella in cui gli elementi sono sempre allineati fra loro utilizzando linee o piani baricentrici, questo è il tipico caso che si utilizza per scambiare modelli BIM fra software di calcolo strutturale differenti.

Questa **integrazione** tra il BIM e il calcolo strutturale migliora la collaborazione tra i diversi professionisti coinvolti nel progetto, permettendo di realizzare edifici sicuri, efficienti e conformi agli standard di qualità richiesti. MasterSap rappresenta, quindi, uno strumento per progettisti e ingegneri che vogliono raggiungere i massimi livelli di precisione e affidabilità nelle loro analisi strutturali.

### Difficoltà nel trasferimento di Oggetti definiti graficamente con primitive geometriche

Ritornando al discorso generale, uno dei principali problemi nel trasferimento di modelli da un software di BIM authoring a un software di calcolo strutturale è la differenza fondamentale nel modo in cui gli oggetti vengono rappresentati. Nei software di BIM authoring, gli oggetti architettonici e strutturali sono spesso definiti graficamente utilizzando primitive geometriche, come superfici, poligoni o linee. Queste primitive forniscono una rappresentazione dettagliata dell'aspetto e della forma degli elementi, ma non sempre corrispondono direttamente alle esigenze di modellazione dei software di calcolo strutturale, che richiedono solidi estrusi con una definizione volumetrica precisa.

Questa differenza di rappresentazione crea difficoltà durante l'importazione dei modelli, poiché molti degli oggetti definiti attraverso primitive geometriche non possono essere



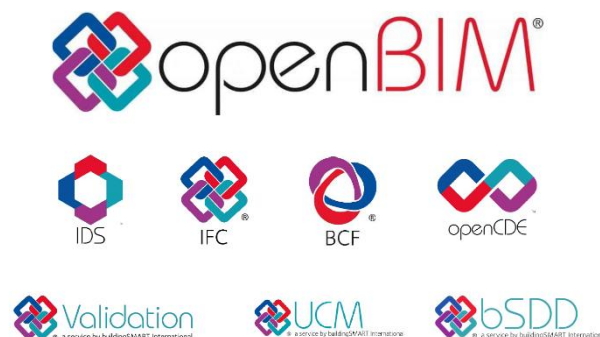
automaticamente tradotti in solidi strutturali utilizzabili per l'analisi. Ad esempio, una parete rappresentata come una superficie bidimensionale in un modello BIM potrebbe non essere riconosciuta come un solido tridimensionale con proprietà meccaniche definite all'interno di un software di calcolo. Questa mancanza di corrispondenza richiede spesso interventi manuali per ricostruire gli oggetti nel formato corretto, aumentando il tempo e gli sforzi necessari per preparare il modello per l'analisi strutturale.

Inoltre, il rischio di errori aumenta, poiché la conversione manuale può introdurre imprecisioni o omissioni che influenzano negativamente l'affidabilità dei risultati dell'analisi. Per affrontare questa sfida, è necessario sviluppare strumenti e protocolli che migliorino l'automazione del processo di conversione, garantendo che gli oggetti definiti graficamente possano essere tradotti accuratamente in solidi estrusi pronti per il calcolo strutturale.

## Necessità di un Ampliamento del Formato IFC per l'Uso nei Modelli di Calcolo Strutturale

Per migliorare l'integrazione tra i software di BIM authoring e quelli di calcolo strutturale, è sempre più evidente la necessità di un ampliamento del formato IFC, affinché possa supportare in modo più efficiente le esigenze specifiche dell'analisi strutturale. Attualmente, il formato IFC è principalmente orientato alla rappresentazione delle geometrie e delle informazioni architettoniche, ma manca di alcune funzionalità critiche necessarie per la modellazione strutturale, come la gestione dettagliata dei vincoli, delle connessioni, e delle proprietà avanzate dei materiali.

Un'estensione del formato IFC dovrebbe includere nuove entità e attributi specifici per l'ingegneria strutturale, come la definizione precisa dei nodi e delle connessioni tra elementi, le condizioni al contorno dettagliate, e le proprietà non lineari dei materiali. Inoltre, sarebbe utile introdurre una migliore standardizzazione per la rappresentazione delle mesh e delle geometrie complesse, che sono fondamentali per l'accuratezza delle analisi strutturali. Questo ampliamento renderebbe il formato IFC più completo e versatile, facilitando l'interoperabilità tra i diversi software utilizzati nel ciclo di vita di un progetto, riducendo le ambiguità e minimizzando la necessità di interventi manuali durante il processo di importazione ed esportazione dei modelli. Oltre allo standard IFC, altri standard di supporto sono al momento disponibili o in fase di sviluppo, quali BCF, IDS, bSDD ecc.



## Il Superamento delle Difficoltà tramite l'Utilizzo dell'Intelligenza Artificiale

In futuro, molte delle difficoltà legate al trasferimento di modelli BIM tra software di authoring e software di calcolo strutturale potrebbero essere superate grazie all'uso dell'intelligenza artificiale (IA). L'IA ha il potenziale di automatizzare e ottimizzare la conversione di oggetti definiti con primitive geometriche in solidi estrusi utilizzabili per l'analisi strutturale. Attraverso algoritmi avanzati di machine learning, l'IA potrebbe essere addestrata a riconoscere e interpretare automaticamente le diverse geometrie e a mappare le loro proprietà in modo coerente con i requisiti dei software di calcolo.

Ad esempio, l'IA potrebbe identificare e convertire superfici e linee in solidi tridimensionali, correggendo automaticamente eventuali discrepanze e ottimizzando la geometria per le analisi strutturali. Questo processo ridurrebbe significativamente la necessità di interventi manuali, minimizzando gli errori e accelerando l'intero flusso di lavoro.

Inoltre, l'IA potrebbe apprendere dai dati storici dei progetti e dai feedback degli ingegneri, migliorando continuamente la precisione delle conversioni e adattandosi a nuove tipologie di geometrie e materiali. L'IA potrebbe anche essere utilizzata per prevedere e risolvere problemi di interoperabilità tra diversi software, facilitando una comunicazione più fluida tra le varie piattaforme e riducendo al minimo le perdite di informazioni durante il trasferimento dei modelli. In questo modo, l'adozione dell'IA potrebbe portare a una maggiore efficienza e affidabilità nel processo di progettazione e calcolo strutturale, aprendo la strada a un'integrazione più stretta e automatizzata tra BIM e ingegneria strutturale.

## Obblighi normativi

Si ricorda che il Nuovo Codice dei Contratti Pubblici individua per l'introduzione obbligatoria del BIM un termine unico e generale: il 1° gennaio 2025. A decorrere dal **1° gennaio 2025**, le Stazioni Appaltanti e gli Enti Concedenti adotteranno il BIM per le opere di nuova costruzione e per gli interventi su costruzioni esistenti per un importo a base di gara superiore a 1 milione di Euro. ([LINK all'articolo: https://www.ingenio-web.it/articoli/mastersap-e-bim-alla-luce-del-dm-312-2021/](https://www.ingenio-web.it/articoli/mastersap-e-bim-alla-luce-del-dm-312-2021/))

## BIM e Sostenibilità nel Calcolo Strutturale

### Ottimizzazione dei Materiali e Riduzione degli Sprechi

Il BIM ha il potenziale di rivoluzionare non solo il calcolo strutturale, ma anche l'approccio alla sostenibilità nelle costruzioni. Grazie alla sua capacità di simulare e analizzare diversi scenari, il BIM permette agli ingegneri di ottimizzare l'uso dei materiali, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza delle risorse. Ad esempio, attraverso il BIM è possibile calcolare con precisione la quantità di acciaio e cemento necessaria per un progetto, minimizzando l'eccesso di materiali e riducendo l'impatto ambientale.

Inoltre, il BIM può essere utilizzato per valutare l'impatto ambientale di diverse soluzioni progettuali, permettendo di scegliere l'opzione più sostenibile. Questa capacità di integrare considerazioni ambientali nel processo di progettazione è sempre più importante, data la crescente attenzione alla sostenibilità nel settore delle costruzioni.

Il BIM può anche contribuire a migliorare l'efficienza energetica delle strutture. Durante la fase di progettazione, gli ingegneri possono utilizzare il BIM per analizzare le prestazioni energetiche di un edificio o di un ponte, valutando come la disposizione delle aperture, l'isolamento e altri fattori influiscano sul consumo energetico. Questa analisi permette di ottimizzare il progetto per ridurre il consumo energetico e migliorare le prestazioni ambientali della struttura.



## L'Impatto del BIM sul Ciclo di Vita delle Strutture

### Progettazione e Pianificazione

La fase di progettazione è uno degli aspetti più critici nel ciclo di vita di una struttura, e il BIM sta trasformando radicalmente questo processo. Grazie alla modellazione 3D e alla capacità di simulare vari scenari, gli ingegneri possono esplorare diverse opzioni di progetto, valutando in anticipo le implicazioni strutturali di ciascuna scelta. Il BIM permette anche di integrare normative e standard di costruzione direttamente nel modello, garantendo che il progetto finale sia conforme a tutte le regolamentazioni vigenti.

Inoltre, il BIM facilita la pianificazione delle fasi di costruzione, permettendo di ottimizzare l'uso delle risorse e ridurre al minimo i tempi di inattività. L'integrazione di strumenti di pianificazione nel modello BIM consente di prevedere potenziali ritardi e di sviluppare piani di contingenza, migliorando la gestione complessiva del progetto.

### Costruzione e Implementazione

Durante la fase di costruzione, il BIM continua a svolgere un ruolo centrale, fornendo un quadro chiaro e dettagliato di ogni fase del processo. Gli ingegneri possono utilizzare i modelli BIM per guidare la costruzione, assicurandosi che tutte le parti della struttura siano costruite secondo le specifiche progettuali. Inoltre, il BIM può essere utilizzato per coordinare i vari gruppi di lavoro, garantendo che tutti siano allineati e che i compiti siano eseguiti nel giusto ordine.

L'uso di tecnologie come la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR) in combinazione con il BIM permette ai costruttori di visualizzare il progetto in modo immersivo, facilitando la comprensione delle complessità strutturali e migliorando la precisione delle operazioni sul campo. Queste tecnologie possono ridurre significativamente gli errori durante la costruzione, migliorando la qualità complessiva della struttura.

### Manutenzione e Gestione

Una volta completata la costruzione, il BIM continua a essere uno strumento prezioso per la gestione e la manutenzione della struttura. I modelli BIM possono essere utilizzati per monitorare le condizioni della struttura nel tempo, programmare interventi di manutenzione e prevedere la necessità di riparazioni. Questa capacità di gestire il ciclo di vita della struttura in modo proattivo riduce i costi a lungo termine e aumenta la longevità delle infrastrutture.

Per i ponti, in particolare, il monitoraggio continuo delle condizioni strutturali è fondamentale per garantire la sicurezza. Il BIM, combinato con i sensori IoT, permette di rilevare precocemente i segni di usura o danni, permettendo interventi tempestivi e prevenendo potenziali catastrofi. Inoltre, i dati raccolti possono essere utilizzati per aggiornare il modello BIM, creando un ciclo continuo di miglioramento e aggiornamento del progetto.

## Sfide e Opportunità del BIM nel Calcolo Strutturale

### Standardizzazione e Interoperabilità

Una delle principali sfide per il futuro del BIM nel calcolo strutturale è la standardizzazione dei formati e l'interoperabilità tra diversi software e piattaforme. Attualmente, esistono numerosi strumenti BIM sul mercato, ognuno con le proprie peculiarità e formati di file. Questa diversità può creare problemi di compatibilità, rendendo difficile la condivisione dei dati tra i diversi attori coinvolti nel progetto.

Per superare questa sfida, è essenziale sviluppare standard comuni che garantiscano l'interoperabilità tra le diverse piattaforme BIM. Organizzazioni internazionali ed enti normativi stanno già lavorando in questa direzione, ma c'è ancora molto lavoro da fare per garantire che i dati BIM possano essere facilmente scambiati e utilizzati da tutti i soggetti coinvolti in un progetto.

Già da diversi anni AMV è membro di **BuildingSMART**, l'ente mondiale che guida la trasformazione digitale del settore delle costruzioni. Possiamo vantare la **partecipazione attiva** ai tavoli di standardizzazione di BuildingSMART Italia (**iBIMI**), in particolare per quel che riguarda il formato IFC e il suo utilizzo in ambito strutturale.



### Formazione e Competenze

Un'altra sfida significativa è la necessità di formare una nuova generazione di ingegneri e professionisti capaci di sfruttare appieno le potenzialità del BIM. L'adozione del BIM **richiede competenze tecniche avanzate**, non solo nell'uso del software, ma anche nella comprensione dei principi di modellazione e delle tecniche di analisi strutturale.

**Le università** e i centri di formazione professionale dovrebbero adattare i loro programmi per includere corsi specifici sul BIM e sulle tecnologie correlate. Inoltre, è fondamentale offrire opportunità di formazione continua per i professionisti già attivi nel settore, permettendo loro di aggiornare le proprie competenze e rimanere competitivi in un mercato in rapida evoluzione.

## Conclusioni

Il futuro del BIM nel calcolo strutturale di edifici e ponti appare estremamente promettente, con un potenziale enorme per migliorare la precisione, l'efficienza e la sostenibilità delle costruzioni. L'integrazione di tecnologie emergenti come l'intelligenza artificiale, l'Internet delle Cose e la realtà aumentata promette di trasformare ulteriormente il settore, offrendo strumenti sempre più avanzati per la progettazione, la costruzione e la gestione delle infrastrutture.

Tuttavia, per sfruttare appieno il potenziale del BIM, sarà necessario affrontare alcune sfide importanti, tra cui la standardizzazione dei formati, la formazione dei professionisti e l'adozione di nuovi approcci sostenibili. Con il giusto supporto e investimento, il BIM potrebbe diventare il processo standard da utilizzare per le progettazioni e la gestione delle costruzioni future, rivoluzionando il modo di intendere le città e le infrastrutture nel loro complesso.