



La raccolta degli articoli dei contributor  
dell'edizione 2020 di Forward

---

## **USO DEL DATO INTEROPERABILE ED APPROCCIO OPEN NEI PROCESSI INFORMATIVI DELLE COSTRUZIONI**

---

a cura di Michele Carradori  
**BIS-lab® - Building Innovation and Skills-Lab**  
Gruppo Contec

**FOR  ARD**  
contec



**Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale.** Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> o spediisci una lettera a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Una sintesi dei contenuti della licenza è disponibile anche all'ultima pagina di questo documento.



## Uso del dato interoperabile ed approccio open nei processi informativi delle costruzioni

**Forward è lo spazio intellettuale di Gruppo Contec per la divulgazione e il confronto sull'innovazione nelle costruzioni.** Gruppo Contec ([www.gruppocontec.it](http://www.gruppocontec.it)) è un insieme di società interconnesse che si occupano di servizi specifici e complementari inerenti al fatto edilizio: progettazione integrata per l'architettura e l'ingegneria, sicurezza sui luoghi di lavoro, energia e impiantistica industriale, real estate development, IT e sviluppo software. Contec è un'unione di centri di competenza pensati per essere interlocutori unici e rispondere alle esigenze – spesso, problemi – che i clienti condividono.

Forward è un'idea di BIS-Lab® – Building Innovation & Skills-Lab ([www.bis-lab.eu](http://www.bis-lab.eu)), il laboratorio di ricerca e sviluppo del Gruppo Contec, powered by Pronext ([www.pronext.it](http://www.pronext.it)).



*Inquadra questo QR code per ottenere i link alle slide ed alle videoregistrazioni dei webinar di Forward.*

*I partner dell'edizione 2020 di Forward sono:*



*L'edizione 2020 di Forward è stata patrocinata da:*



*Forward aderisce a:*





- 7 | L'edizione 2020 di Forward  
M. Carradori

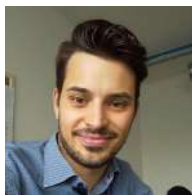
## CONSIDERAZIONI DEI PARTNER DI FORWARD

- 11 | openBIM: una scelta ponderata  
F. Andreatta
- 15 | Gap da colmare per la diffusione dell'openBIM nella filiera edile italiana  
G. A. Esposito
- 19 | Interoperabilità tramite format aperti: un percorso ineludibile  
P. Giordani
- 23 | Interoperabilità tra software e professionisti competenti: driver per la digitalizzazione  
P. Soma

## ARTICOLI DEI CONTRIBUTORI DI FORWARD

- 29 | La gestione di un progetto OpenBIM: la Nuova Scuola Politecnica di Genova  
A. Fronk
- 39 | openBIM per le Pubbliche Amministrazioni  
A. Barbini
- 49 | Modelli BIM e database come base decisionale sugli interventi in edifici storici  
A. Mason
- 59 | BIM per le infrastrutture: usi di IFC per ponti compositi in acciaio-calcestruzzo  
A. Basso, R. A. Bernardello
- 69 | Gestione geometrica ed informativa di facciate continue attraverso IFC e VPL  
G. Giudice
- 79 | Un Maintenance Management Model per la governance dei patrimoni immobiliari  
M. Laura, M. Azzalin, T. Melchini
- 87 | Un database spaziale BIM/GIS per la gestione e il miglioramento energetico di edifici esistenti  
C. Cecchini
- 97 | Interoperabilità tra modelli per l'ottimizzazione energetica di edifici  
C. Duranti
- 109 | openBIM per la progettazione integrata di un complesso sportivo: un progetto di tesi  
I. Martarelli
- 117 | Uso dell'openBIM per la navigazione robotica in cantiere  
C. Follini
- 125 | BIM e Realtà Virtuale: interoperabilità tra software nella progettazione illuminotecnica  
A. Santini





Michele Carradori

*BIM Manager e direttore di BIS-lab®, laboratorio R&D di Gruppo Contec*

## L'edizione 2020 di Forward

La prima edizione di Forward (*Trasferire informazioni attraverso IFC - Teoria e pratica sugli standard buildingSMART per l'interoperabilità*), culminata con l'evento di Milano del 4 ottobre 2019 nasceva con la volontà di trovare un luogo e un tempo per affrontare in maniera specifica il tema dell'interoperabilità attraverso lo standard IFC. La scelta di un panel di relatori precostituito rispondeva a questa esigenza e, con gli interventi definiti, si è cercato di coprire contemporaneamente gli aspetti teorico e tecnologico dell'argomento.

Con la seconda edizione, quella del 2020, si è cercato di portare l'iniziativa ad un livello superiore, puntando fortemente sul concetto di libera condivisione della conoscenza di cui Forward intende farsi promotore. Mantenendo fisso il focus sull'openBIM e sull'uso di protocolli aperti per lo scambio delle informazioni, si è scelto di lanciare una call for paper attraverso cui qualsiasi professionista, organizzazione privata o pubblica, potesse presentare un proprio contributo, in forma di abstract, inerente all'argomento oggetto dell'iniziativa.

Gli abstract ricevuti sono stati valutati da un Comitato Scientifico composto da Flavio Andreatta (Allplan Italia), Paolo Borin (Università degli Studi di Padova), Giovanni Alessandro Esposito (ACCA Software), Paola Giordani (TeamSystem Construction), Paola Soma (Edilclima), Carlo Zanchetta (Università degli Studi di Padova), oltre che da chi scrive.

I dieci contributi che hanno ricevuto le migliori valutazioni sono stati presentati dai rispettivi autori in occasione dei dieci webinar che, con scadenza settimanale, si sono tenuti a partire dall'8 ottobre 2020.

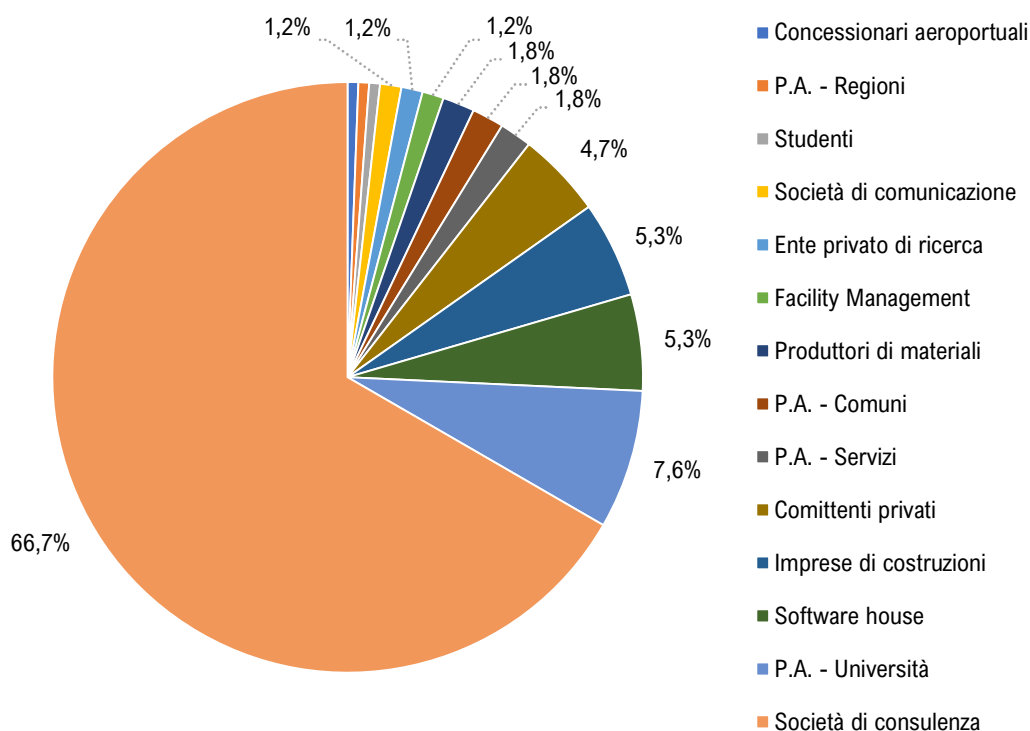
Agli autori i cui contributi sono stati selezionati è stato inoltre chiesto di sviluppare un articolo da pubblicare al termine del ciclo di webinar e si è scelto, stante la qualità dei contributi pervenuti, di estendere la facoltà di essere presenti nella pubblicazione conclusiva anche ai partecipanti alla call for paper purtroppo esclusi dalla possibilità di presentare la loro esperienza con i webinar.

Questo volume raccoglie quindi i dieci articoli dei contributor che hanno relazionato nei webinar di Forward 2020, riportati nello stesso ordine con cui i webinar si sono succeduti, più un ulteriore articolo di uno dei partecipanti alla call for paper.

L'iniziativa, dal mio personale punto di vista di curatore scientifico e sulla base dei positivi riscontri che abbiamo avuto il piacere di ricevere, è stata anche quest'anno di successo, sia dal punto di vista della qualità e dell'eterogeneità degli spunti proposti, sia da quello della partecipazione rilevata.

Vale la pena fare una riflessione sulla provenienza dei partecipanti, afferenti a circa 130 diverse organizzazioni (oltre ad una 50ina di utenti che si sono qualificati come liberi professionisti). Fra queste, le più rappresentate sono decisamente le società di consulenza, includendo in questo insieme studi di architettura, società di ingegneria, società specializzate nella fornitura di servizi BIM o di altri servizi tecnici relativi al processo edilizio. È anche questo un segno di come, ancora, i temi legati alla digitalizzazione dei processi informativi edilizi faticino a diffondersi presso tutti gli attori e le fasi del processo edilizio.

Guardando alle altre categorie rappresentate risulta comunque rilevante, anche se numericamente di molto inferiore, la partecipazione di esponenti del mondo delle imprese di costruzione.



Sotto il profilo contenutistico, quest'anno abbiamo cercato di rivolgerci ad un pubblico più ampio e più esperto, dando minore priorità all'aspetto didattico, se così può essere definito, e maggiore risalto agli usi concreti ed innovativi dell'openBIM nei processi informativi delle costruzioni.

Le esperienze che i partecipanti alla call for paper hanno portato ci hanno consentito di affrontare il tema proposto intersecando il *Building Information Modeling* - che spesso rischia ancora di essere da molti percepito come un esercizio di modellazione fine a sé stesso - con materie e aspetti diversi del processo edilizio: dal project al facility management, dagli interventi di restauro su beni tutelati all'ottimizzazione energetica del patrimonio esistente, dalla disciplina infrastrutturale al ruolo delle pubbliche amministrazioni, fino al *computational design*, alla realtà virtuale e alla robotica in cantiere.

Comune denominatore delle diverse esperienze presentate è stato l'utilizzo dei formati aperti, che si è dimostrata una soluzione efficace, talvolta l'unica percorribile, per il raggiungimento degli obiettivi.



## CONSIDERAZIONI DEI PARTNER DI FORWARD





Flavio Andreatta  
*Country manager - ALLPLAN Italia*

## openBIM: una scelta ponderata

Il processo di digitalizzazione in atto nelle costruzioni si focalizza sulla condivisione del dato e sul suo utilizzo lungo tutto il ciclo di vita dell'opera.

L'introduzione del BIM nel settore delle costruzioni risponde da un lato all'esigenza di aumentare la produttività, che rispetto ad altri settori presenta un gap molto elevato, e dall'altro all'esigenza di digitalizzare un'industria fortemente frammentata, dove ridondanza e duplicazione delle informazioni portano ad errori e rallentamenti lungo tutto il processo con impatto su tempi e costi delle opere.

Il modello informativo dell'opera rappresenta un valore, che richiede di adottare formati openBIM per garantire questo beneficio nel lungo periodo, indipendentemente dalle applicazioni utilizzate nella generazione del modello stesso.

Sempre più spesso parliamo di gemello digitale dell'opera sia nella fase di progettazione che di gestione, ed appare chiaro come il gemello digitale offra l'opportunità di simulare soluzioni e comportamenti, consentendo di ottimizzare sia le scelte progettuali che quelle manutentive, ma appare anche evidente come tutto si basi sulla disponibilità del dato e di modelli informativi.

Il coinvolgimento di diverse discipline e specializzazioni nella realizzazione di un'opera, al fine di rispondere ai requisiti funzionali e prestazionali richiesti, nonché l'adozione di diverse tecniche e tecnologie costruttive si traducono, dal punto di vista dei software, nell'utilizzo di una molteplicità di strumenti di diversi produttori, capaci di produrre modelli informativi sempre più avanzati e completi e suggerisce, se non richiede, di adottare nuovi processi di federazione e condivisione dei modelli basati su formato openBIM.

Oggi associamo istintivamente openBIM e formato IFC, ma dovremmo in realtà guardare all'openBIM come alla condivisione e all'utilizzabilità del dato in modo neutro da parte di diverse piattaforme software per i più diversi utilizzi nell'ambito dei processi di progettazione, costruzione e gestione.

Questo significa utilizzare un mix di formati aperti come IFC o BCF, ma significa anche disporre di API aperte che consentano di integrare i software e semplificare le modalità operative degli utilizzatori, proprio a partire da dati disponibili in formati aperti.

Un esempio concreto di questo approccio, che stiamo perseguendo nelle nostre soluzioni, lo ritroviamo nella piattaforma openBIM di condivisione e collaborazione Bimplus che da un lato crea un modello federato delle diverse discipline utilizzando il formato IFC e dall'altro grazie alle API integra software standard quali Microsoft Excel e Project con cui modificare e associare nuove proprietà al modello IFC.

Si tratta di un approccio di livello 3, in cui i dati di un modello IFC federato vengono utilizzati e aggiornati da diverse applicazioni senza scambio di file, con un accesso diretto ai dati del modello. La costruzione di un processo openBIM richiede attenzione per gli aspetti organizzativi del progetto e per le modalità di collaborazione digitale di tutto il team. Ci sono almeno due ambiti formativi che presentano spesso carenze e incidono sul successo del progetto.

Il primo tema riguarda tematiche di project management, che ritroviamo applicate anche in alcune esperienze di Forward 2020, in particolare per quanto riguarda la definizione dei processi di collaborazione e revisione, l'introduzione di una strutturazione dei dati e l'utilizzo di classificazioni. Il secondo tema riguarda i formati di scambio e gli strumenti software utilizzati. Possiamo certamente dire che non sia necessario conoscere tutta la struttura e la semantica del formato IFC, ma ci sono alcuni temi che devono essere noti: ad esempio le informazioni associate agli

oggetti (Proprietà) sono organizzate in gruppi (Property Set) e questo richiede la conoscenza di come i software di BIM Authoring gestiscono Proprietà e Property Set, in modo da avere un corretto scambio delle informazioni.

Se in un processo tradizionale abbiamo spesso effettuato revisioni e coordinamento all'interno del software CAD, oggi queste attività vengono sviluppate con software dedicati, volti a fornire a ciascuna professionalità gli strumenti e gli approcci più efficaci.

Anche in questo caso l'approccio openBIM rappresenta una valida risposta che consente di utilizzare in modo eterogeneo diversi strumenti di BIM Authoring e contemporaneamente adottare tool di CDE o verifica e validazione dei modelli indipendenti dai formati nativi dei software.

Ad una prima analisi tutto ciò sembra più complesso, ma in realtà questa diversa specializzazione dei software consente alle diverse figure professionali la definizione di un processo operativo che rimarrà unico in progetti diversi, a prescindere dai software di generazione dei modelli, con benefici di efficienza e affidabilità delle fasi di condivisione, revisione e validazione e tutto grazie all'openBIM.



# UNLOCK THE POWER OF PERFORMANCE ALLPLAN 2021

## LA SOLUZIONE BIM PIÙ POTENTE PER IL TUO SUCCESSO

Allplan 2021 offre al settore delle costruzioni una tecnologia innovativa, flussi di lavoro più rapidi e migliori prestazioni. Architetti, ingegneri strutturisti e civili ricevono supporto con criteri chiave per il successo: consegna puntuale, collaborazione e qualità del progetto. Tutto ciò indipendentemente dalle dimensioni, dalla complessità o dal livello di dettagli del progetto di costruzione.

### I VANTAGGI PER TE:

- > Massime prestazioni per progetti complessi e di grandi dimensioni
- > Tecnologia cloud potente per la collaborazione interdisciplinare
- > Flussi di lavoro openBIM integrati per ingegneri strutturisti

**SCOPRI DI PIÙ:**  
[allplan.com/it/performance](https://allplan.com/it/performance)





Giovanni Alessandro Esposito  
BIM Manager - ACCA Software

## Gap da colmare per la diffusione dell'openBIM nella filiera edile italiana

Lavorando in un contesto IT fortemente connesso all'applicazione dei canoni dell'Open BIM, ho l'opportunità di confrontarmi con il mercato nazionale ed internazionale sul tema.

In base alle esperienze condotte, diversi sono i gap da colmare a tutti i livelli: tecnologico, professionale, politico e formativo per consentire la diffusione di trasferimenti informativi basati su protocolli standard.

Dal punto di vista politico e normativo, in Italia sono stati fatti importanti passi in avanti rispetto all'introduzione della metodologia. Il lavoro svolto dal tavolo tecnico delle UNI e l'entrata in vigore del DM n° 560/2017, hanno portato, a partire dal 2015 ad oggi ad un notevole incremento del numero di bandi pubblici all'interno dei quali si richiede il BIM come metodologia (fonte: Rapporto sulle gare BIM 2019, OICE).

Dallo stesso rapporto si evince come l'oggetto della maggior parte dei bandi BIM pubblici verta sulle attività di progettazione. Probabilmente in questo è da ricercarsi uno dei motivi che ostano alla diffusione dell'openBIM. Guardando ad un piano implementativo a breve termine si è portati infatti a prediligere un workflow di tipo proprietario.

Inoltre, guardando alle scelte strategiche adottate da altre nazioni europee (tab. 1), si può notare come l'Italia ad oggi manchi di specifici standard (pur disponendo della serie normativa UNI 11337).

Regione	Promotore	Regolamentazione	Focus	Main Feature
Finlandia	Il Senato richiede modelli BIM conformi allo standard IFC dal 2007	Forti investimenti in ricerca IT applicata al settore delle costruzioni con l'aiuto di Università ed organizzazioni private	Infrastrutture pubbliche	Prima nazione a adottare BIM standard e a richiedere la compliance con l'IFC
Norvegia	Nel 2010 nasce lo Statsbygg, un ente con mandato pubblico per l'implementazione del BIM conforme all'IFC-IFD	Sviluppo di diversi standard nazionali, resi obbligatori all'interno del progetto	Infrastrutture pubbliche	Statsbygg ha contribuito a sviluppare standard, manuali e progetti di ricerca basati sull'IFC-IFD
Italia	BIM obbligatorio dal 2019	Nessuno standard nazionale	Per lavori complessi con importi progressivamente decrescenti	È stato finanziato un progetto per lo sviluppo di una libreria di oggetti BIM nazionale

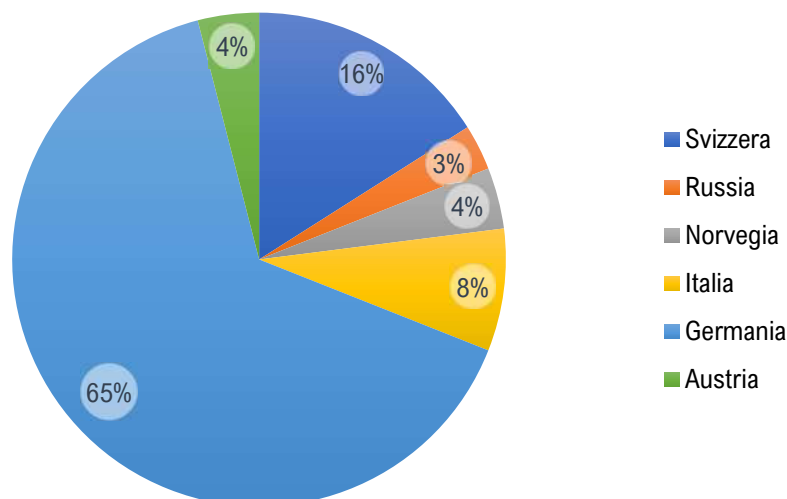
Tab. 1 - Comparazione sull'introduzione del BIM in Finlandia, Norvegia ed Italia.

Altro tema importante è rappresentato dall'erogazione della formazione sull'uso degli standard definiti da buildingSMART International. In quest'ambito da ormai un biennio circa è stata lanciata l'iniziativa buildingSMART Professional Certification.

Gli obiettivi di tale programma sono:

- standardizzare e promuovere i contenuti openBIM;
- supportare ed accreditare la formazione delle organizzazioni;
- certificare i singoli operatori.

Il numero dei professionisti certificati ad oggi viene riportato in fig. 1.



**Fig. 1** - Numero di professionisti certificati per nazione (fonte: buildingSMART International).

I numeri assoluti rispetto ai professionisti italiani certificati alla data odierna parlano di 207 individui certificati. Considerando che in Italia vi sono oltre 250mila architetti e ingegneri, 100mila geometri, 350mila professionisti che si occupano delle trasformazioni del territorio e che la formazione dovrebbe essere estesa anche a quelle figure non tecniche, sia in ambito pubblico che privato, che in qualche modo orbitano attorno al settore delle costruzioni, siamo solo all'inizio di un lungo percorso.

Da un punto di vista tecnologico, punto di riferimento per monitorare l'evoluzione tecnologica applicata agli Open Standard sono i buildingSMART International Award, ossia i riconoscimenti che buildingSMART annualmente assegna alle aziende che hanno sviluppato i migliori progetti con soluzioni openBIM per il design, la progettazione, la costruzione e la gestione delle risorse in campo *construction*.

È noto che i modelli IFC sono monolitici, difficili da gestire e aggiornare e ciò rappresenta uno dei gap da colmare per favorirne l'utilizzo. Il progetto vincitore della sezione Technology Leadership Award 2020 ha guardato all'IFC, invece, come ad una struttura dinamica abilitando la loro modifica con qualsiasi software client e/o dispositivo e senza bisogno di formati proprietari.

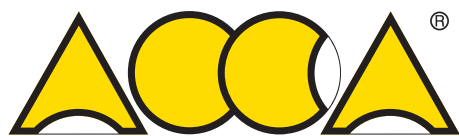
Questa tecnologia, interconnettibile tramite API REST, rappresenta un modo per collaborare con i software di BIM authoring di singoli produttori. Con questa tecnologia più operatori possono lavorare contemporaneamente sul modello BIM condiviso su cloud in formato aperto IFC e vedere in *real time* le modifiche che ciascuno sta apportando.

L'obiettivo dell'openBIM è agevolare lo scambio dei dati tra tutti gli attori coinvolti nel progetto e la creazione di un modello BIM coerente che copra tutti i possibili campi di applicazione: dalla progettazione alla costruzione, dal funzionamento dell'edificio fino alla sua demolizione e al riciclo di componenti e materiali, al termine del ciclo di vita dell'edificio.

La diffusione dell'openBIM sembrerebbe necessitare di:

- legislazione a livello nazionale che adotti gli standard di settore;
- una maggiore formazione della filiera sul metodo;
- disponibilità ed accessibilità a tecnologia che guardi al processo in maniera open.





ACCA SOFTWARE

l'esperto N°1

# IFC-Open BIM

La scelta BIM di chi vuole libertà di collaborazione  
e vera disponibilità dei dati



## IFC-Open BIM vuol dire libertà di comunicare, condividere, collaborare.

Solo lo standard IFC-Open BIM consente il dialogo tra tutti gli operatori che lavorano sul modello digitale della costruzione durante tutto il suo ciclo di vita, dalla progettazione all'esecuzione, dalla manutenzione alla dismissione dell'opera. Con IFC-Open BIM, inoltre, **puoi accedere per sempre liberamente ai tuoi dati**, indipendentemente dal software e dalla versione del software che li ha prodotti.

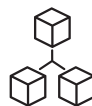
**Noi ci crediamo. Per questo vogliamo essere sempre di più i migliori specialisti dell'IFC-Open BIM in Italia e nel mondo.**



Il primo **freeware** per la **visualizzazione** e la modifica di modelli in formato IFC-Open BIM



Il maggior numero di **software certificati IFC** da **buildingSMART international** al mondo



La prima ed unica **piattaforma di BIM Management certificata IFC** da **buildingSMART international** al mondo



Il primo **editor** in grado di lavorare in modo avanzato su modelli in formato IFC-Open BIM







Paola Giordani  
*BIM Strategic Solution Manager – TeamSystem Construction*

## Interoperabilità tramite formati aperti: un percorso ineludibile

Il mercato AEC sconta da tempo una bassa marginalità e produttività: nel corso delle ultime due decadi la produttività del lavoro è cresciuta a livello europeo dell'1% nel settore delle costruzioni rispetto al 3.6% dell'industria manifatturiera. Si stima, a livello Europeo, che una completa digitalizzazione nel settore delle Costruzioni non residenziali porterebbe ad un risparmio percentualmente significativo (7-8%) sui costi sostenuti nella fase di progettazione, costruzione e gestione dell'opera.

La metodologia BIM, finalizzata ad una più efficace ed efficiente gestione dei processi e delle relazioni lungo la filiera, ricade perfettamente in questo contesto, in quanto ricorre ed incentiva il ricorso ad ambienti, piattaforme, strumenti digitali.

Nonostante i vantaggi attesi dal nuovo approccio metodologico, in Italia il trend di adozione del BIM seppur positivo, evidenzia ancora una diffusione non pervasiva.

A mio avviso, le motivazioni per la gradualità nell'introduzione della BIM vanno ricercate in molteplici fattori: da una parte, certamente, l'esigenza di rendere gli stessi committenti maggiormente consapevoli dei vantaggi ottenibili, dall'altra la necessità di acquisire nuove competenze metodologiche e digitali in un contesto in cui sono solo parzialmente consolidati standard semantici e di interoperabilità.

La metodologia BIM prevede una significativa interazione fra processi, strumenti tecnologici e persone che digitalmente producono e condividono documenti, dati e modelli. Gli elementi chiave sono pertanto la collaborazione, l'interdipendenza dei processi ed il ruolo assunto dal Dato Digitale. Uno dei vantaggi/obiettivi del BIM si riconduce alla costituzione progressiva di un modello informativo che non solo "rappresenta" l'asset, ma ne riporta le caratteristiche tecniche, prestazionali, le relazioni e le interdipendenze con gli altri elementi a livello di Sistema ed Opera. Questo consente di disporre di dati georeferenziati, *machine-readable* con i quali effettuare elaborazioni, analisi, interrogazioni, simulazioni e valutazioni predittive utili in tutte le fasi del ciclo di vita dell'asset stesso. Il modello informativo in oggetto viene a costituirsi grazie al contributo di molteplici soggetti ciascuno produttore e fruitore di dati e modelli.

Pertanto, il fattore abilitante per una maggiore produttività è rappresentato non dal semplice ricorso alla digitalizzazione delle varie fasi, ma alla capacità di valorizzare e metter a fattor comune i dati (e le connesse elaborazioni) prodotte da ciascun soggetto della filiera; da queste consegue il ruolo prioritario assunto dalla possibilità di accedere ai dati (ACDat) e di poterli utilizzare tramite formati aperti di interscambio. In altre parole condivisione, accessibilità regolamentate ed interoperabilità.

L'interoperabilità è la capacità di un sistema di cooperare e scambiare informazioni con altri, in maniera più o meno completa ed esente da errori così da ottenere una "comunicazione" affidabile, consistente, anche fra sistemi informativi non omogenei. Richiede, pertanto, di condividere le logiche sintattiche di scrittura dei dati (formati OpenBIM) ma anche necessariamente logiche semantiche, senza le quali sarebbe possibile la lettura degli stessi dati, ma non la loro interpretazione.

Questi due aspetti rappresentano ancora oggi due fattori critici nel raggiungimento dei benefici attesi dall'adozione del BIM e implicano l'acquisizione di significative competenze metodologiche e tecnico-digitali per poter utilizzare efficacemente gli attuali formati OpenBIM. L'efficacia, ad esempio del formato IFC, è infatti solo parzialmente demandata ad una impostazione dei dati concordata fra le parti (a partire da un Capitolato Informativo) e ai criteri di *export/import* degli

strumenti di authoring o software utilizzati. La stessa struttura IFC ancora non si presta alla memorizzazione di informazioni di tipo “matriciale” propria dei database relazionali.

Nonostante questo, nella mia esperienza professionale in Teamsystem degli ultimi anni ho constatato i significativi passi avanti compiuti anche grazie alle prime esperienze positive dei “pionieri” (*early adopters*). Esiste oggi un mercato ed ha portato le stesse Software House a migliorare la gestione del formato IFC in *import/export* incrementandone l’efficacia, la flessibilità, nonché la documentazione a supporto. I formati OpenBIM sono in costante evoluzione per superare i limiti attuali, fra i quali la capacità di supportare alcune discipline specialistiche (infrastrutture). L’evolversi delle soluzioni tecnologiche aprono nuovi scenari come la possibilità tramite API di consentire trasparenti scambi informativi fra piattaforme collaborative (ACDat).

La norma rappresenta certamente un driver importante in questo percorso, ma ne è al contempo un freno in quanto affronta il cambiamento necessariamente con minor reattività non potendo effettuare le scelte innovative con la stessa libertà di altri soggetti, in particolare in relazione ai bisogni formativi.

In questo scenario Teamsystem ha privilegiato fin dal 2014 un approccio OpenBIM garantendo nelle proprie soluzioni dedicate al mercato AEC l’utilizzo di formati aperti (IFC, esportazioni/importazioni in formati testuali, ecc.) e più recentemente rendendo disponibili API pubbliche e documentate per consentire interscambi dati fra le proprie soluzioni software (ad esempio fra il gestionale tecnico e ACDAT) e/o piattaforme di terze parti così da supportare processi più efficaci anche da e verso soluzioni specialistiche di terze parti.

Siamo pertanto lungo un percorso ancora articolato, ma delineato e a mio avviso ineludibile.

Fonti:

- BIM Report 2020 - ASSOBIM
- European BIM Summit 2019 – Barcellona (Conference proceedings)

# COSTRUIAMO INSIEME IL FUTURO

TeamSystem Construction ti affianca per  
progettare insieme un grande futuro!



## Progettazione

Computi metrici  
Sicurezza Cantiere  
Piani di Manutenzione  
Capitolati  
BIM - Quantity Take Off



## Costruzione

Gestione azienda e cantiere  
Pianificazione e controllo commessa  
4D/5D  
Gestione mezzi e personale



## Gestione

Property Management  
Facility Management  
Asset Management  
BIM 7D

Migliaia di clienti hanno già scelto le soluzioni  
software e i servizi di TeamSystem Construction

Imprese di Costruzione

EPC

Proprietari e gestori di Immobili

Ingegneri

Imprese Impiantistiche

Società di Architettura e Ingegneria

Architetti

Geometri

General Contractor

Pubblica Amministrazione

Utilities & Energy company







Paola Soma  
*Amministratore Delegato - Edilclima*

## Interoperabilità tra software e professionisti competenti: driver per la digitalizzazione

Ho seguito con grande interesse ogni contributo presentato nell'ambito di FORWARD 2020 e ne ho apprezzato l'elevato livello qualitativo. Da anni sono appassionata di BIM e, più in generale, di progettazione integrata e sostenibile: sono stata felice di conoscere ricerche, esperienze e progetti innovativi, basati sulla digitalizzazione e sull'interoperabilità, che riguardano le diverse fasi del processo edilizio, dalla progettazione preliminare fino alla gestione dell'edificio.

Venticinque anni fa ho iniziato a muovere i primi passi nel mondo del lavoro. Fresca di studi, la mia professione era fornire assistenza sull'uso di software per la progettazione del sistema edificio-impianto a professionisti molto più esperti e preparati di me, abituati a progettare gli impianti utilizzando grafici, tabelle e soprattutto la loro esperienza: rivendicavano il ruolo centrale del progettista ed erano un po' scettici sull'utilità dei software che in quegli anni si stavano diffondendo.

Oggi la mia professione è progettare strumenti di calcolo che devono essere evoluti, affidabili, robusti, interoperabili, caratterizzati dal miglior compromesso tra accuratezza e semplicità d'uso, in grado di gestire una grande quantità di dati e tenere sotto controllo tutti i parametri che caratterizzano le moderne costruzioni. Oggi il professionista non può fare a meno del software e, purtroppo, in alcuni casi lo utilizza senza interpretarne i risultati con spirito critico: anche il software non può fare a meno del professionista!

Negli ultimi anni il progresso culturale, tecnologico e normativo ha portato la committenza a richiedere prestazioni sempre più elevate e requisiti sempre più ambiziosi, obbligando i progettisti a evolvere verso una visione sistemica dell'organismo edilizio: requisiti funzionali, spaziali, ambientali, tecnologici, tecnici, operativi, di durabilità, di manutenibilità e di sostenibilità.

Lo studio dei moderni edifici caratterizzati da alte prestazioni energetiche e acustiche, da elevata qualità dell'ambiente indoor (benessere termoigrometrico, visivo, acustico...), sicuri nei confronti di ogni tipo di rischio (incendio, scoppio, evento sismico...), fruibili, salubri, sostenibili, confortevoli in ogni stagione e "intelligenti", richiede un processo di progettazione integrata e multidisciplinare, dove le diverse figure professionali coinvolte collaborino fin dalle fasi iniziali della progettazione dell'edificio.

Oggi, forse ancor più di venticinque anni fa, è centrale il ruolo della persona, la sua formazione e le sue abilità: il progettista deve possedere non solo competenze tecniche specialistiche, ma anche una conoscenza approfondita dei software e la capacità di interpretarne i risultati, competenze relazionali per interfacciarsi in modo efficace con gli altri professionisti che operano sul progetto, competenze di project management per pianificare le varie fasi nel rispetto dei tempi e dei costi, capacità previsionali per prevedere le conseguenze che ogni decisione possa avere sulle caratteristiche dell'opera e sulla sua gestione.

I software devono supportare le scelte del progettista nelle varie fasi della progettazione e della gestione dell'edificio: in altri termini il progettista deve pensare e il software deve consentire di rappresentare e elaborare i suoi pensieri, con un grado di dettaglio crescente, fino a tradurli in opere.

I software devono saper creare, organizzare, trasmettere e archiviare importanti quantità di dati; un approccio openBIM rende disponibile un unico modello digitale dell'edificio, aggiornabile e interrogabile dalle figure professionali coinvolte nel progetto e nella gestione dell'immobile, consentendo loro di effettuare valutazioni accurate con software caratterizzati da elevata qualità e specializzazione e di scambiare informazioni in modo standardizzato e organizzato.

Lavorando con un modello digitale è fondamentale progettare il flusso delle informazioni, standardizzare i dati che si utilizzano e definirne accuratamente le relazioni; è necessario poi interrogarsi sempre sull'utilità di questi ultimi evitando modelli troppo dettagliati ove ciò non sia necessario.

Nel settore delle costruzioni la digitalizzazione e l'openBIM offrono grandi opportunità e presentano nuove sfide che, a mio parere, richiedono nuove figure professionali, formazione e nuove competenze, in particolare: un approccio metodologico ordinato e sistematico, una maggior disponibilità alla condivisione delle informazioni, propensione al lavoro di gruppo, apertura mentale, attitudine al cambiamento e all'innovazione.

L'innovazione per il settore delle costruzioni non riguarda solo l'impiego di nuove tecnologie, ma rappresenta una vera e propria rivoluzione culturale che parte dalle persone. Le esperienze virtuose presentate nell'ambito di FORWARD 2020 sono la testimonianza che la strada verso la piena affermazione dell'openBIM sia stata intrapresa: ora è necessario procedere con un processo di innovazione incrementale che coinvolga l'intero settore delle costruzioni, mantenendo lo sguardo verso il futuro e crescendo, passo dopo passo, a livello tecnologico, professionale, personale e mentale, coltivando l'interoperabilità tra software ma anche quella tra le figure coinvolte.



# AMPLIA LA TUA VISIONE DEL BIM: SCEGLI TU IL PROGRAMMA DA CUI PARTIRE

## PLUG-IN EC770



AUTODESK® REVIT®



EC770

INTEGRATED TECHNICAL  
DESIGN FOR REVIT®



EC700

CALCOLO PRESTAZIONI  
ENERGETICHE DEGLI EDIFICI

## OPEN BIM CON IFC



PROGRAMMA

DI DISEGNO PARAMETRICO



IFC

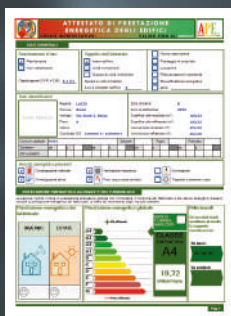
INDUSTRY FOUNDATION  
CLASSES



EC700

CALCOLO PRESTAZIONI  
ENERGETICHE DEGLI EDIFICI

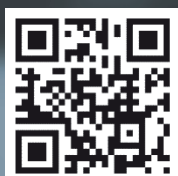
## SCEGLI COME REALIZZARE IL PROGETTO ENERGETICO CON EC700: IL RISULTATO NON CAMBIA!



Il software **EC700** è in grado di calcolare la prestazione energetica dell'edificio, in conformità alle norme **UNI/TS 11300** e **UNI EN ISO 52016-1** (calcolo dinamico orario), indipendentemente dalla modalità operativa di partenza.


Disegna il modello architettonico in Autodesk Revit® e, mediante il plug-in Edilclima EC770 Integrated Technical Design for Revit®, esporta in EC700 i dati per caratterizzare il tuo progetto energetico.

Disegna il modello architettonico utilizzando un qualsiasi software di disegno parametrico e, attraverso i file IFC, importa i dati necessari alla caratterizzazione dell'edificio con l'input grafico di EC700.



Vai al sito [www.edilclima.it](http://www.edilclima.it)

 **EDILCLIMA®**  
ENGINEERING & SOFTWARE

 **AUTODESK**  
Reseller  
Value Added Services  
Authorized Developer



## ARTICOLI DEI CONTRIBUTOR DI FORWARD



# La gestione di un progetto openBIM: la Nuova Scuola Politecnica di Genova

Andrea Fronk

Bimfactory Srl, Brescia, Italia

**ABSTRACT:** Il coordinamento di progetti estesi è un'attività molto delicata e decisiva nella buona riuscita di una commessa. Nel progetto della Nuova Scuola Politecnica di Genova, Bimfactory ha svolto attività di consulenza ai progettisti nella definizione della strategia operativa, nella stesura del piano di Gestione Informativa (pGI, UNI 11337-5:2017) e nell'individuazione dei flussi di lavoro ottimali.

Garantendo ai progettisti la possibilità di utilizzare il proprio software di authoring aziendale, si è stabilito di procedere con un flusso di lavoro basato sull'adozione di una filiera aperta. Al fine di coordinare al meglio il gruppo di lavoro, sono state identificate tre fasi in successione: la definizione degli *Information Requirements*, l'individuazione di una struttura di classificazione comune e una modalità inclusiva di condivisione dei commenti di progetto.

In particolare, come sistema di classificazione è stata adottata la PBS (*Product Breakdown Structure*) di progetto, mentre per quanto riguarda il coordinamento è stato introdotto l'utilizzo del formato BCF (BIM Collaboration Format).

**KEYWORDS:** IFC, BCF, modello federato, issue tracking, coordinamento, Model View Definition, Product Breakdown Structure.

## 1 Introduzione

L'industria delle costruzioni, rispetto ad altri target di riferimento come il settore manifatturiero, riporta ormai da decenni un indice di produttività molto basso (Teicholz 2014). Un miglioramento significativo delle performance passa attraverso vari ambiti distinti, tra cui l'ottimizzazione delle attività di progettazione e l'implementazione tecnologica all'interno della filiera (McKinsey Global Institute 2017).

Una delle maggiori criticità che sta affrontando il settore delle costruzioni in questa fase di transizione digitale è legata alla necessità di riuscire ad affiancare, nel modo più efficace possibile, le competenze "digitali" a quelle tecniche e consolidate dei professionisti "tradizionali". La digitalizzazione porta intrinsecamente con sé una forte connotazione all'integrazione di competenze ed alla collaborazione tra figure coinvolte all'interno della filiera. La trasmissione di dati e informazioni diventa quindi un elemento cardine del progetto e deve avvenire attraverso modalità inclusive, aperte e codificate. Si ritiene necessario portare avanti una logica di filiera aperta nell'utilizzo degli strumenti, investendo molto nella ricerca e nello sviluppo di flussi di lavoro contraddistinti da una chiara vocazione verso l'interoperabilità.

## 2 Il progetto della Nuova Scuola Politecnica di Genova

A Genova, sulla collina degli Erzelli, è prevista la realizzazione della Nuova Scuola Politecnica: sorgerà nell'area in cui la Genova High Tech (GHT), proprietaria del terreno e promotrice del progetto Great Campus, sta realizzando il più grande parco tecnologico d'Italia.

Nel 2017 l'Università ha acquistato da GHT l'area e il progetto prestazionale a firma dell'architetto Mario Bellini, in team con studi specializzati nell'immaginare edifici universitari. Il team di lavoro ha preso una forma molto estesa ed eterogenea. Il coordinamento generale del progetto è

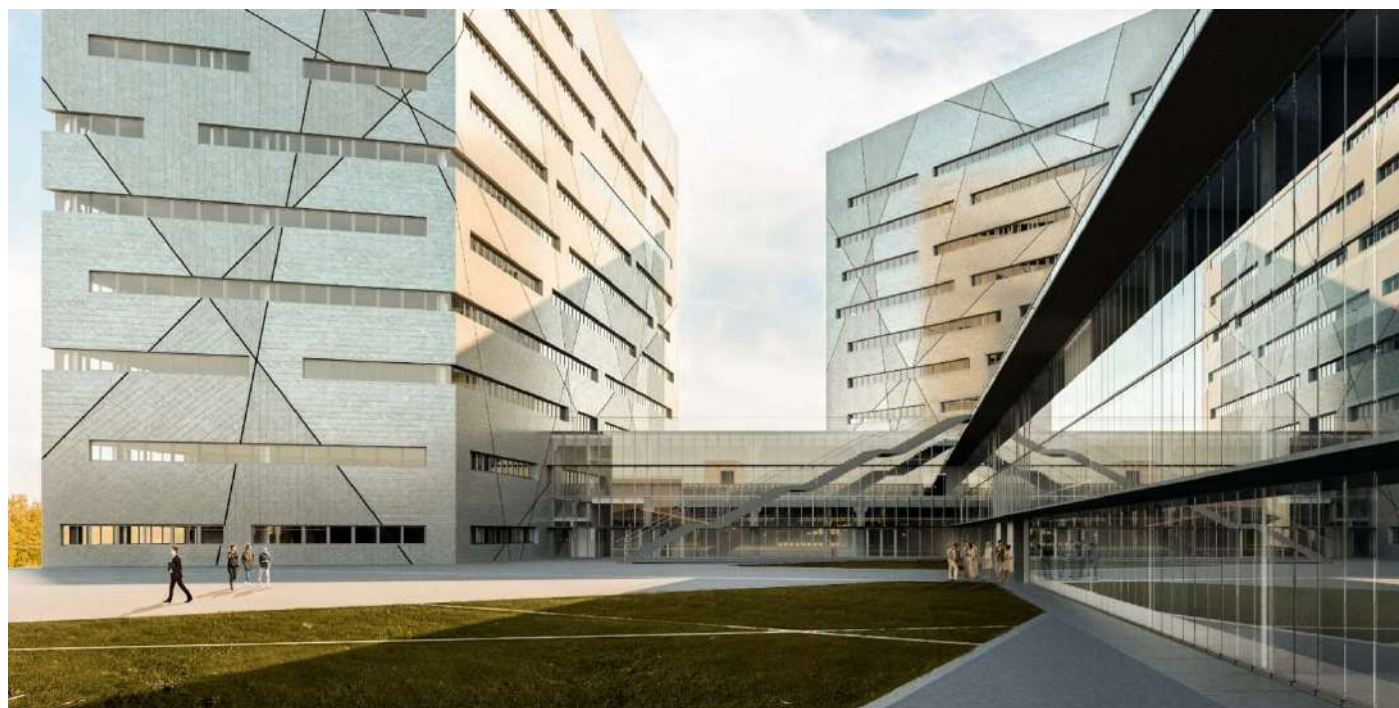
stato assegnato ad Euromilano, in quanto Project Manager di commessa, supportata dal Consorzio Progetto DVA, che comprende la milanese Progetto CMR e la bresciana DVision Architecture (DVA). Il progetto architettonico è stato suddiviso per lotti e portato avanti insieme da Progetto CMR e DVA; la componente impiantistica ha visto il coinvolgimento dello Studio Tecnico B&G e del Prof. Oliaro per quanto riguarda la disciplina elettrica, mentre la parte meccanica è stata curata da Team Pavia; la progettazione strutturale invece è stata assegnata allo studio Zanardi Ingegneria.

A seguire, il costituito raggruppamento temporaneo di professionisti (RTP) è stato chiamato a realizzare l'adeguamento normativo ai fini urbanistici ed edilizi, finalizzato alla redazione del progetto definitivo per l'ottenimento di titoli e autorizzazioni necessarie per la costruzione del Polo di Ingegneria. Un'attività che ha compreso l'identificazione delle nuove esigenze funzionali e tecnologiche emerse negli anni. Successivamente il RTP redigerà il progetto esecutivo, documento funzionale alla verifica e validazione dell'intervento, oltre che all'attivazione della procedura di gara per l'appalto dell'opera.

Il progetto complessivo prevede un lotto dedicato ad aule, dipartimenti ed uffici amministrativi ed un lotto dedicato ai laboratori tecnologici.

Gli edifici che ospiteranno la Facoltà di Ingegneria e, più in generale, quelli dedicati alla formazione universitaria, sono stati disegnati per offrire ai futuri utilizzatori non solo aule e uffici adatti alle esigenze di un polo d'eccellenza, ma ambienti in grado di restituire un'esperienza formativa completa. Luoghi dedicati all'incontro e allo scambio d'idee si alterneranno a sale dove fare ricerca, sperimentare e mettere in pratica le nozioni apprese.

Una visione progettuale diversa rispetto al passato che immagina i laboratori tecnologici come edifici flessibili, performanti e con dotazioni utili a mettere in pratica le teorie ingegneristiche studiate. Prevista la possibilità di affittare a start-up e imprese alcuni degli spazi. Tre le strutture principali che caratterizzano la Nuova Scuola Politecnica: 20mila mq di aule per complessivi 5mila posti, comprensivi di aula magna per oltre 400 sedute e aree studio per circa 300 posti, che rappresentano il fulcro dell'attività del campus, oltre a 25mila mq di spazi dipartimentali. A questi si agghieranno 15mila mq di laboratori tecnologici.



**Fig. 1** - Vista fotorealistica dal basso delle torri.

Tutti gli ambienti per la formazione verranno dotati di massimo comfort ambientale e dispositivi per il contenimento di consumi energetici, ma non solo. Il progetto prevede anche diversi punti



ristoro, una biblioteca/emeroteca e un parcheggio interrato a due piani per circa 900 posti auto e moto.

L'affidamento del progetto per la Nuova Scuola Politecnica di Genova è stato un test importante per la verifica dell'efficacia e dell'affidabilità della strategia digitale adottata, sia da un punto di vista delle tempistiche ristrette, sia per la portata del progetto.

Per quanto la commessa risponda, nella prima fase, a logiche di contratto privato, nella seconda fase, dove il Committente principale è sostanzialmente l'Università stessa, l'incarico dovrà perseguire le direttive del DM 560/2017. Strategicamente, in accordo con l'intero team di lavoro, si è stabilito di procedere da subito con l'implementazione di un flusso aperto di lavoro, permettendo da una parte massima libertà nell'adozione di software di *model authoring* ma anche una significativa mole di lavoro nella predisposizione e nel controllo della struttura informativa dei dati in formato IFC.

Bimfactory ha svolto il ruolo di consulente a supporto del team di lavoro (RTP) nella lettura delle richieste della Committenza, nella configurazione dei flussi di lavoro e nella scelta degli strumenti, nonché nella predisposizione della documentazione di riferimento per la gestione della commessa.

### 3 Obiettivi ed utilizzi dei modelli

Il primo step è stato quello di inquadrare nel dettaglio le aspettative del Committente, mettendo in fila gli obiettivi e delineando quelli che sarebbero potuti essere gli eventuali utilizzi del modello (Succar 2020). Vista la natura del progetto, maturato quasi un decennio prima con tecnologie e soluzioni progettuali superate sia in termini di prestazioni che di costo, la principale richiesta del Committente è stata quella di adottare un metodo idoneo per garantire un alto livello di monitoraggio e controllo delle migliori tecniche.

Altro obiettivo cruciale è ovviamente il coordinamento di un progetto così esteso (Baldwin 2019), dove gli attori coinvolti sono molteplici ed attivi in riferimento al proprio ambito specialistico; per quanto il concetto di coordinamento venga spesso ridotto all'ambito geometrico, una delle difficoltà maggiori quando si lavora in team numerosi è legata al semplice trasferimento di informazioni, soprattutto in quelle situazioni contraddistinte da tempistiche ridotte e da una continua sovrapposizione di aggiornamenti di progetto. Per dare un'idea dell'attività svolta, RTP ha prodotto quasi 400 elaborati per il solo progetto definitivo, grazie alla collaborazione tra 35 componenti del team di progettazione; a questi numeri bisogna aggiungere il coordinamento di 14 discipline specialistiche (interne ed esterne al RTP) ed il coinvolgimento nell'iter autorizzativo di 15 enti.

Il team di lavoro ha quindi deciso di adottare in pieno la metodologia BIM (*Building Information Modeling*), individuando nella digitalizzazione del progetto l'opportunità per veicolare la trasmissione delle informazioni e per strutturare un prototipo (Eastman et al. 2011) utile per il tracciamento delle modifiche apportate in sede di progettazione, nonché di una loro quantificazione numerica.

### 4 Stesura del piano di Gestione Informativa

La fase iniziale di allineamento e coordinamento delle diverse organizzazioni, che posseggono strumenti e metodi di lavoro diversi l'una dall'altra, è un momento molto delicato, in quanto bisogna individuare un percorso collettivo che permetta a tutti di finalizzare le proprie attività in funzione di un obiettivo comune. Per questo motivo, prima ancora di avviare la progettazione, sono state pianificate più riunioni al fine di individuare in modo congiunto le strategie operative migliori per garantire la massima operatività ed il miglior risultato finale. Il prodotto dei suddetti meeting è stato un Piano di Gestione Informativa (PGI), necessario per fissare ruoli, responsabilità, obiettivi e usi dei modelli, livelli di sviluppo informativo e flussi di lavoro.

#### 4.1 Definizione degli strumenti

In questa fase sono stati anche definiti gli strumenti di lavoro: i team architettura, impianti e opere di fondazione hanno stabilito di lavorare con Revit 2018 di Autodesk (nelle versioni *Architecture*, *MEP* e *Structure*), mentre le opere strutturali in elevazione sono state modellate con Tekla Structures di Trimble. Le opere invece di ri-modellazione del pendio montuoso, molto articolate e complesse sia da un punto di vista geometrico che di calcolo dei volumi di scavo, sono state prodotte in modalità *free-form* con Rhinoceros 6 ed importate poi in Revit.

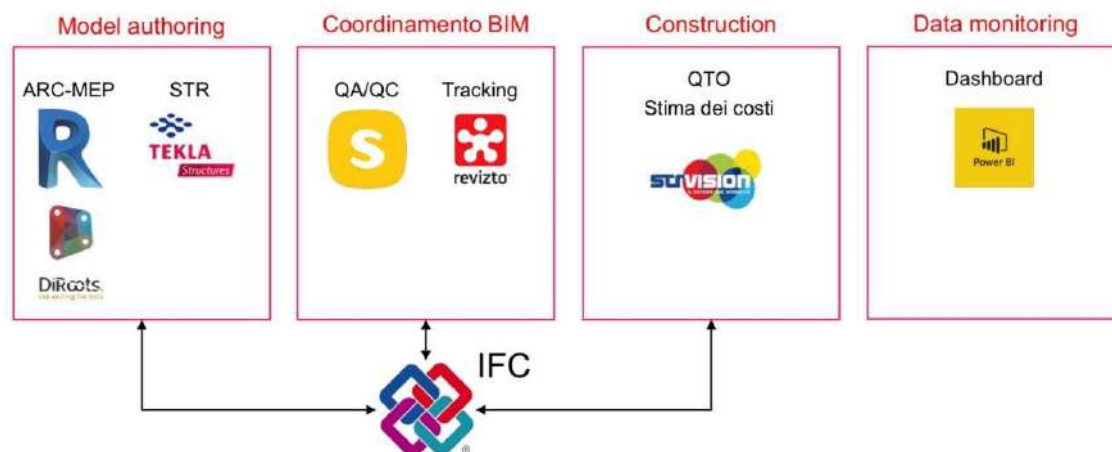


Fig. 2 - La filiera software adottata.

Il coordinamento di progetto è stato delineato con l'utilizzo di due strumenti distinti: in primis, Solibri Office per il controllo interferenze e *Information Take-Off* (ITO), al quale è stato associato l'utilizzo di Revizto, piattaforma intuitiva e potente di *issue tracking* per il tracciamento di criticità e commenti. Il computo metrico del progetto è stato invece valorizzato tramite Vision CPM di Teamsystem.

Una volta approvato internamente il pGI, il team di coordinamento BIM ha avviato la produzione dei template e impostato le coordinate di progetto da condividere, fondamentali per poter assemblare i diversi file in un unico modello aggregato. Un altro passaggio fondamentale è stata la scomposizione del progetto in *work packages* (WP), talvolta non assimilabili a corpi di fabbrica distinti: le regole di scomposizione sono state utilizzate per la suddivisione dei modelli, per la codifica degli elaborati e per l'organizzazione del computo metrico estimativo, in modo da mantenere un elevato livello di coordinamento tra tutti i *deliverables* di progetto.

#### 4.2 Individuazione del sistema di classificazione

La chiave di scomposizione è stata individuata nella *Product Breakdown Structure* (PBS) che, per la fase di pubblicazione del progetto urbanistico-edilizio, è stata approfondita fino al quinto livello (classe di unità tecnologica, rif. UNI 8290-1:1981 + A122:1983). In ottica di lettura dei dati e dei modelli, la PBS (PMI 2013) è stata considerata a tutti gli effetti come un sistema di classificazione e, per questo, implementata in un parametro denominato *ClassificationCode* (Hooper, 2019). L'introduzione di questo parametro (previsto comunque dallo standard di IFC) è necessaria non solo per la produzione di abachi, liste e viste nei software di *authoring*, ma anche e soprattutto per poter garantire una strutturazione ed una lettura corretta dei dati in IFC. Per arrivare al risultato atteso, sono stati adottati strumenti diversi in relazione ai software: il *Classification for Revit* in ambiente Autodesk e l'*Organizer* per quanto riguarda Tekla. Per la mappatura delle diverse classi è stato invece sufficiente mappare l'intera PBS all'interno di un foglio Excel, sulla scorta del modello proposto e condiviso con UniClass 2015. Unitamente alla scomposizione per prodotti (PBS) è stata collegata anche la scomposizione per spazi funzionali, che per comodità abbiamo definito *Space Breakdown Structure* (SBS).



TITLE	S01-NSP	
DESCRIPTION	WBS di progetto	
VERSION	nov-19	
FUNCTION	Element	
NUMBER PARAMETER	ClassificationCode	
DESCRIPTION PARAMETER		
Number	Description	Level
[Codice WBS]S01-NSP:WBS di progetto (43770)	WBS di progetto (43770)	1
[Codice WBS]S01-NSP:Nuova Scuola Politecnica	Nuova Scuola Politecnica	2
[Codice WBS]S01-NSP-AR:Architettonico	Architettonico	3
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA:Lotto A	Lotto A	4
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC:Opere comuni	Opere comuni	5
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-SR:Movimenti terra	Movimenti terra	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-CT:Chiusure orizzontali a terra	Chiusure orizzontali a terra	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-CC:Chiusure orizzontali di copertura	Chiusure orizzontali di copertura	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-PO:Partizioni orizzontali	Partizioni orizzontali	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-CV:Chiusure verticali	Chiusure verticali	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-PV:Partizioni verticali	Partizioni verticali	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-CI:Collegamento interni	Collegamento interni	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-CE:Collegamento esterni	Collegamento esterni	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-OV:Opere a verde	Opere a verde	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-OF:Opere da fabbro	Opere da fabbro	6
[Codice WBS]S01-NSP-AR-LA-OC-OL:Opere da lattoneria	Opere da lattoneria	6

Tab. 1 - Esempio di un ramo tipo di PBS.

### 4.3 Set-up delle Model View Definition

Definita la chiave di lettura dei modelli informativi, il passaggio successivo è stato quello di costruire il database utile e necessario all'adempimento delle finalità predefinite. Come indicato dalla stessa ISO 19650, gli *Information Requirements* si pongono su più livelli, a seconda, per esempio, della fase in cui vengono stabiliti (progetto piuttosto che gestione del cespite): in assenza di *Project Information Requirements* (PIR) definiti dalla Committenza, si è stabilito di introdurre diversi requisiti informativi in funzione delle finalità per le quali il modello sarebbe stato utilizzato. Talvolta, soprattutto in relazione alla disciplina strutturale, unitamente all'aspetto informativo è stata associata anche una semplificazione dell'aspetto geometrico, portando il team a produrre diverse *Model View Definition* (MVD) per la *clash detection*, per il coordinamento di progetto o per l'estrazione delle quantità. Come base è stata comunque mantenuta la Coordination View 2.0 di IFC 2x3.

Ad esempio, il modello strutturale IFC prodotto per la condivisione con il team architettonico è stato impostato con geometrie semplificate (non sono state esportate le armature) e un livello di contenuti informativi molto basso, in modo da generare un file molto leggero e pratico per essere "collegato" all'interno dei file Revit; lo stesso modello IFC prodotto per l'attività di validazione ha invece seguito logiche diverse, contemplando un livello di contenuti informativi più esteso e mantenendo invece elevata la definizione delle geometrie.

Il settaggio di diverse MVD è stato molto importante anche per permettere alle singole organizzazioni di poter operare in modo flessibile con proprietà diverse in relazione agli utilizzi interni (es: il popolamento di apposite proprietà in riferimento alla produzione di liste e/o abachi per la parte impiantistica) o agli utilizzi esterni (es: il popolamento di specifiche proprietà relative agli spazi per indicare la presenza al team impianti di particolari dotazioni tecnologiche), mantenendo una struttura geometrica e informativa costante durante lo svolgimento della commessa.

### 4.4 Mappatura degli Information Requirements

Nella stesura dei PIR è stata svolta un'attività di continuo confronto tra gli specialisti delle singole discipline al fine di individuare le proprietà minime necessarie per poter descrivere al meglio gli elementi tecnologici (e spaziali) di progetto. Analizzati nel dettaglio i *Pset Common* di IFC, si è

deciso di implementare una struttura dati personalizzata non tanto per l'insufficienza di proprietà a disposizione, quanto per allineare l'intero team su una struttura più vicina al linguaggio tecnico comune che viene utilizzato in Italia. Le proprietà "custom" sono state quindi elencate per ciascuna disciplina e accorpate in *Pset* personalizzati; costruito l'elenco delle proprietà, queste sono state inserite all'interno di una matrice avente sulle righe le proprietà stesse ed in colonna le classi di IFC (*IfcBeam*, *IfcWall*, ecc.), in modo da poter filtrare le proprietà necessarie in relazione alla singola classe. Da qui, il passaggio successivo è stato quello di produrre i file .txt dei parametri custom per il set-up sia in Revit che in Tekla.

Per la produzione del computo metrico estimativo (CME) delle discipline architettoniche e impiantistiche la procedura è stata diversa, in quanto si è stabilito di procedere tramite *quantity take-off* (QTO) con abachi e liste prodotti con il software di BIM *authoring*. Il team di computazione, che ha prodotto le rilevazioni con Vision CPM, si è affidato all'utilizzo di Solibri Anywhere per il controllo e la lettura dei dati riportati nei fogli Excel. Per facilitarne l'attività, il traduttore IFC è stato impostato in modo tale che il modello aggregato contenesse solamente le informazioni contenute negli abachi e nelle liste di progetto: per questo la MVD non ha previsto l'uso del file .txt per la mappatura dei parametri, ma ha contemplato l'opzione di Revit che permette di esportare le *schedule* come *Pset*.

Pset	Codice Parametro	Progetto/Famiglia	Tipo/Istanza	Tipo di dato	Raggruppamento	Porte (IfcDoor)
Specifiche	SPE01_Tipologia	Famiglia	Tipo	Testo	Testo	X
Specifiche	SPE02_Telaio e Mostre	Famiglia	Tipo	Testo	Testo	X
Specifiche	SPE03_Struttura Anta	Famiglia	Tipo	Testo	Testo	X
Specifiche	SPE04_Finitura Anta	Famiglia	Tipo	Testo	Testo	X
Specifiche	SPE05_Apertura Ante	Famiglia	Tipo	Testo	Testo	X
Specifiche	SPE06_Chiedi Porta	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X
Specifiche	SPE07_Maniglia Interna	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X
Specifiche	SPE08_Maniglia Interna_Tipologia	Famiglia	Tipo	Testo	Dati	X
Specifiche	SPE09_Maniglia Esterna	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X
Specifiche	SPE10_Maniglia Esterna_Tipologia	Famiglia	Tipo	Testo	Dati	X
Specifiche	SPE11_Elettromagnete	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X
Specifiche	SPE12_Serratura	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X
Specifiche	SPE13_Serratura_Tipologia	Famiglia	Tipo	Testo	Dati	X
Specifiche	SPE14_Fermaporta	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X
Specifiche	SPE15_Badge	Famiglia	Tipo	Si/No	Testo	X

Tab. 2 - Esempio di *Information Requirements* relativi alla classe *IfcDoor*.

## 5 Monitoraggio del modello ed estrazione delle quantità

Il flusso di lavoro adottato ricalca abbastanza fedelmente lo schema proposto dalla UNI 11337-5:2017: i singoli BIM Specialist sono stati coinvolti nello svolgimento del primo livello di coordinamento (LC1) sui propri modelli informativi, oltre che nella verifica sostanziale dei contenuti informativi prodotti e della coerenza tra modelli informativi ed elaborati come previsto nel terzo livello di coordinamento (LC3). Il secondo livello di coordinamento interdisciplinare (LC2), nonché la verifica formale del modello aggregato, è stato svolto dal team di BIM Management sfruttando il potenziale garantito da Solibri Office.

Il primo step per poter considerare affidabile l'attività di LC2 è stata la realizzazione di una matrice di *code checking*: sulla base degli *Information Requirements* previsti per ciascuna classe IFC sono stati costruiti i vari *ruleset*, mirati alla validazione dei contenuti informativi. In seconda battuta, invece, è stata costruita la matrice di ricerca interferenze, non utilizzando le classi IFC bensì il quinto livello di PBS (ovvero, la classe di unità tecnologica). Il motivo di questa scelta è dovuto ad una migliore mappatura delle priorità: ad esempio, l'interferenza tra tubazioni e solaio strutturale ha una valenza diversa nel caso in cui si tratti di una chiusura orizzontale a terra piuttosto che di una partizione orizzontale intermedia.

Il monitoraggio della qualità dei modelli è stato inoltre supportato da strumenti di *Business Intelligence* (BI), molto utili per poter comunicare dati numerici, ad esempio, sul livello di coerenza dei contenuti informativi o sulla percentuale di popolamento delle proprietà. Il procedimento adottato è molto semplice ed immediato: nella sezione *Information Take-Off* (ITO) di Solibri sono state costruite una serie di liste, suddivise per codice di PBS e contenenti le proprietà IFC dei vari elementi (es: *IfcType*, *BaseQuantities*, proprietà “custom”, ecc.), che sono poi state esportate in Excel e successivamente collegate all’interno di un file di Microsoft Power BI, dove sono stati poi generati una serie di grafici e cruscotti in grado di rappresentare i dati in modo estremamente chiaro ed immediato.

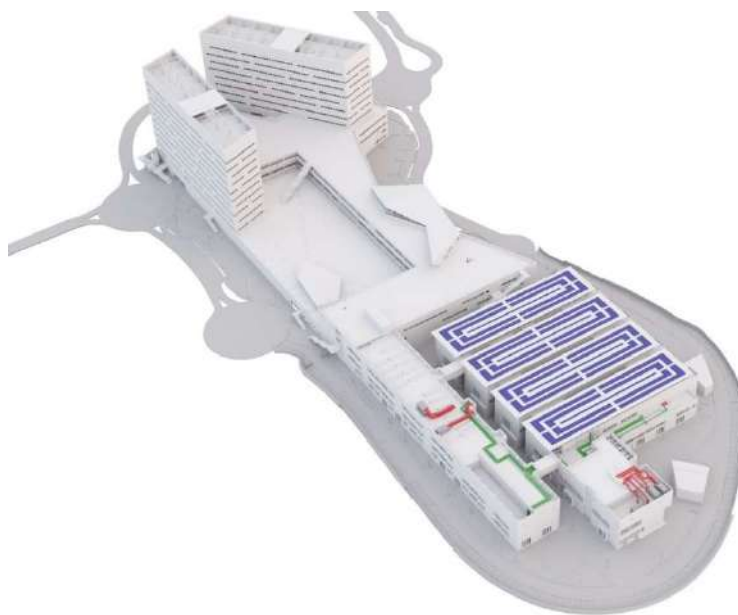


Fig. 3 - Vista renderizzata del modello federato.

### 5.1 Coordinamento di progetto

Come anticipato nei paragrafi precedenti, uno dei temi più critici nell’attività di coordinamento tra team multidisciplinari è legato alla trasmissione di informazioni tra le figure coinvolte. Per questo motivo, si è stabilito di trasferire tutte le annotazioni, le criticità e le interferenze di progetto attraverso la piattaforma Revizto, uno strumento molto efficace di *issue tracking* basato sull’utilizzo del modello. Il *workflow* è piuttosto snello: i modelli vengono pubblicati dal file di *authoring* direttamente su uno spazio cloud, il quale invia i dati ricevuti all’applicazione desktop o mobile presente sui diversi terminali del team di lavoro. Ad ogni pubblicazione del file originale corrisponde un aggiornamento del database in cloud e, quindi, dei file in remoto, garantendo di fatto un continuo aggiornamento degli stati di avanzamento del progetto. Utilizzando questa piattaforma è possibile generare e condividere *issues* sia da software di *authoring* che da Revizto, permettendo quindi una geolocalizzazione delle *issues*.

Non solo note tra progettisti, ma anche le interferenze riscontrate tramite attività di *clash detection*. Infatti, nonostante Solibri garantisca un sistema di reportistica molto completo ed efficace (per ogni attività di ricerca interferenze sono stati condivisi report in formato *.pdf* e *.xlsx* personalizzati per ciascun team disciplinare), la possibilità di sincronizzare le *issues* in uno spazio modello accessibile e visualizzabile dal team intero ha portato sicuramente un notevole valore aggiunto. I report prodotti nella sezione *Communication* di Solibri sono stati quindi esportati anche in formato *.bcfzip* e caricati direttamente all’interno di Revizto, dove di fatto è stata svolta l’attività di risoluzione delle interferenze grazie al sistema di chat, di *tracking*, di gestione allegati e di comunicazione grafica.

Il flusso di lavoro ha previsto quindi l’utilizzo del *BIM Collaboration Format* (BCF), che permette di trasferire note, commenti e informazioni relativamente allo status di progetto su diverse

piattaforme, secondo una logica di filiera aperta (Van Berlo et al. 2014). La trasmissione delle interferenze direttamente sui modelli disciplinari ha abbattuto notevolmente il rischio di fraintendimenti tra progettisti, in particolare tra architetti ed ingegneri strutturisti. I file BCF inoltre sono stati fondamentali per poter comunicare puntualmente anche le incoerenze informative, permettendo al BIM Management di risparmiare tempo in sede di validazione interna del modello, propedeutica all'avvio delle attività di *Quantity Take-Off* (QTO) e stima economica del progetto.

#### Indici di coerenza degli *IfcSlab*

La dashboard sintetizza i dati contenuti negli elementi *IfcSlab*, evidenziando in rosso gli elementi non definiti (Type vuoto) e riportando la suddivisione, in metri quadri, per ciascun Building. Tali elementi non sono associabili a voci definite di elenco prezzi.

Inoltre, per ogni stratigrafia è riportata la percentuale di coerenza rispetto alla funzione tecnologica, segnalando con colori diversi (blu scuro e blu chiaro) la metratura superficiale in corrispondenza di Chiusure Orizzontali (Involucro) e Partizioni Orizzontali (Layout interni). In caso di compresenza di colori diversi sulla singola colonna, è necessaria apposita verifica progettuale.



Fig. 4 - Esempio di dashboard di controllo per la validazione degli elementi *IfcSlab*.

## 5.2 Quantificazione dei sistemi di facciata

Rispetto alla procedura di estrazione quantità vista sopra, un discorso a parte meritano i sistemi di facciata, la cui quantificazione ha seguito un processo distinto. Un grande supporto è stato dato dalla struttura di relazioni tipico di IFC che, per determinate classi come *IfcCurtainWall* o *IfcStair*, mantiene le gerarchie tra elementi "parte" ed elementi "insieme". Questo sistema ha permesso non solo la costruzione di un abaco completo delle singole facciate e di tutti gli elementi che le componevano, ma anche l'individuazione di alcuni errori nella codifica delle pannellature.

Il processo di costruzione degli abachi è stato relativamente semplice: in Solibri sono state create due liste, una relativa agli *IfcCurtainWall* e una relativa a tutte le parti che rientrano nel "container" *Curtain Wall* (*IfcPlate*, *IfcDoor* e *IfcWindow* - *IfcMember* è stato omesso in quanto non significativo per l'attività in oggetto). Nella prima lista è stato sufficiente esplicitare il codice ID di ciascun *Curtain Wall* mentre, nella seconda, è stato sufficiente costruire una lista filtrata di tutte le parti aventi una relazione di appartenenza alla classe *IfcCurtainWall* (di cui viene esplicitato il codice ID come sopra). Tramite una semplice ricerca del Codice ID tra le due liste Excel è stato possibile quindi produrre un'unica tabella in grado di indicizzare i singoli sistemi di facciata e, per ciascuno di essi, indicizzare le singole parti che li compongono, esplicitando informazioni fondamentali come dimensioni reali dei pannelli, codici di tipo e proprietà descrittive (es: lista dei pannelli opachi rispetto ai pannelli trasparenti).

Lo stesso risultato era ovviamente percorribile lavorando nel file nativo, introducendo parametri d'istanza che esplicassero il codice dell'elemento "host" oppure implementando uno script

apposito per la creazione della lista. Tuttavia, i vantaggi derivati dal processo adottato sono sensibili: da una parte, le tempistiche per il raggiungimento dell'output finale sono state molto ridotte (si è lavorato direttamente sul modello aggregato, non sono state create nuove proprietà e non è stato necessario investire ore in programmazione), dall'altra, il fatto che l'azione venisse svolta a valle della produzione dei modelli ha introdotto di fatto un ulteriore check che ha evidenziato una serie di errori generati in fase di modellazione non evidenti ai progettisti.

Component	BATID	Curtain-Wall Type	ID Door	Door Type	Area (mq)	Panel Type	Bounding Box Length (mm)	Bounding Box Height (mm)
Curtain Wall	2178421	V10		#N/D		#N/D		
				#N/D		System Panel: V10_Pannello vetrato	180	2200
			(A-AR-2) Door.0.241.1	GEPAD_CW_Pe2B-US: 180x210 Porta esterna vetrata US	5,25	#N/D		
			(A-AR-2) Door.0.241.3	GEPAD_CW_Pe2B-US: 180x210 Porta esterna vetrata US	5,25	#N/D		
			(A-AR-2) Door.0.241.5	GEPAD_CW_Pe2B-US: 180x210 Porta esterna vetrata US	5,25	#N/D		
			(A-AR-2) Door.0.241.2	GEPAD_CW_Pe2B-US: 180x210 Porta esterna vetrata US	5,25	#N/D		
			(A-AR-2) Door.0.241.4	GEPAD_CW_Pe2B-US: 180x210 Porta esterna vetrata US	5,25	#N/D		

**Tab. 3** - Esempio di QTO per la facciata V10.

## 6 Conclusioni

Lo sviluppo di un'attività di coordinamento BIM, perseguendo una logica di filiera aperta, è senza dubbio un compito complesso e porta in dote una buona dose di ricerca, in quanto l'aggiornamento dei software e l'eterogeneità delle strutture logiche dei software stessi non permette la definizione di un metodo univoco duplicabile a prescindere dalla commessa e dallo strumento adottato. A questo va sommato il naturale compito di allineamento dei progettisti sulle regole di modellazione, sugli stili grafici e sui flussi di lavoro. Tuttavia, nel momento in cui il progettista recepisce il valore del dato e l'importanza del suo trasferimento al resto del team, un flusso OpenBIM permette a tutti di poter lavorare esprimendo al meglio le proprie competenze a prescindere dagli strumenti adottati, garantendo un livello estremamente efficace di accessibilità al dato stesso.

La struttura informativa dei modelli è esattamente il cardine per il successo (o l'insuccesso) di una filiera aperta: non è sufficiente eseguire l'esportazione di un file in IFC, ma è necessario anteporre un processo di condivisione e collaborazione in relazione agli obiettivi finali della commessa. L'individuazione degli *Information Requirements* effettivamente strategici, la relativa mappatura e modalità di popolamento, l'individuazione di un livello di sviluppo geometrico coerente con gli utilizzi del modello e la definizione di un protocollo di scambio e condivisione delle informazioni: tutti aspetti già previsti in un contesto di logica digitale, ma amplificati nel momento in cui si adotta una filiera aperta, con un evidente rischio di dispersione di tempi e risorse nel trasferimento e nella ricezione dei dati.

Rimane quindi auspicabile il proliferarsi di *best practices* ed esempi di successo nell'adozione di filiere aperte, in modo da uniformare la generazione della domanda da parte delle committenze, sia pubbliche che private, e stabilire un livello minimo comune in termini di qualità del prodotto fornito.



## 7 Bibliografia

- Baldwin M. 2019. *The BIM-Manager: A Practical Guide for BIM Project Management*. Berlino: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Mensch und Maschine Schweiz AG.
- Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Hooper E. 2019. *IFC (Industry Foundation Classes) – Layers and Classifications in Autodesk Revit*. In [www.bimblog.bondbryan.co.uk](http://www.bimblog.bondbryan.co.uk).
- McKinsey Global Institute 2017. *Reinventing Construction: a Route to Higher Productivity*. In [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)
- Project Management Institute 2013. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide)*. Newtown Square: Project Management Institute.
- Succar B. 2020. *Model Uses Table*. In [www.bimexcellence.org](http://www.bimexcellence.org).
- Teicholz P. 2014. Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies. In *AEC-bytes Viewpoint* (n.4).
- Van Berlo L., Krijnen T. 2014. Using the BIM Collaboration Format in a server based workflow. In *12<sup>th</sup> International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Procedia Environmental Sciences, 22, 325–332.

# openBIM per le Pubbliche Amministrazioni

*Ambra Barbini, Giada Malacarne*

Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l., Bolzano, Italia

*Dominik Matt*

Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l.; Libera Università di Bolzano, Bolzano, Italia

**ABSTRACT:** L'implementazione digitale, promossa a livello nazionale dal Nuovo Codice degli Appalti, coinvolge in maniera diretta le pubbliche amministrazioni. In seguito all'analisi di diverse modalità di adozione del BIM da parte di enti pubblici a livello internazionale, gli aspetti legati allo scambio di dati sono risultati cruciali per garantire una collaborazione efficace tra i soggetti coinvolti. L'attenzione è stata quindi rivolta a degli enti pubblici in Alto Adige, ai loro collaboratori e alle attività per le quali prevedono l'uso della metodologia BIM, con l'obiettivo di indagare quali opportunità offre l'uso dei formati aperti, nel corso del ciclo di vita di un'opera pubblica. Facendo riferimento ad un caso studio in Alto Adige, sono stati ipotizzati e testati specifici flussi di lavoro, basati sull'utilizzo dei formati aperti per lo scambio dei dati, in modo da dimostrare che un ente pubblico può gestire dati BIM, senza essere vincolato all'uso di uno specifico software BIM.

**KEYWORDS:** pubblica amministrazione, formato aperto, IFC, interoperabilità, openBIM.

## 1 Introduzione

A livello globale, il settore pubblico ricopre un ruolo fondamentale nel guidare il mercato nell'adozione del BIM. Molti Paesi hanno manifestato fin da subito curiosità e interesse, tuttavia ogni Paese presenta diverse configurazioni e si è evoluto secondo percorsi differenti (Harun, 2016). Anche la situazione europea è abbastanza varia (fig. 1): in alcuni Paesi l'implementazione del BIM è ancora inesistente, mentre altri Paesi utilizzano il BIM da oltre un decennio (Charef, 2019).

Nei Paesi che per primi hanno avviato l'implementazione digitale del settore delle costruzioni a livello nazionale, il governo ha supportato più o meno direttamente diverse iniziative (Kassem, 2017), quali ad esempio:

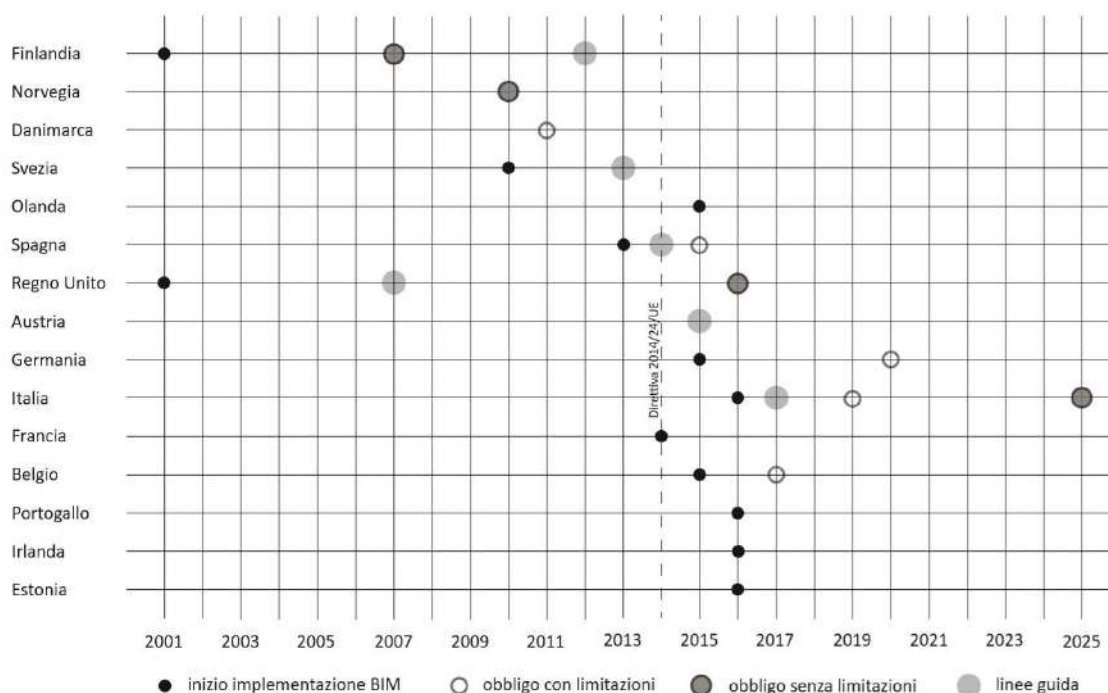
- l'avvio di prime sperimentazioni, tramite ricerche, progetti pilota e analisi;
- la pubblicazione di linee guida e standard per uniformare e agevolare l'utilizzo dei nuovi strumenti;
- la definizione di soglie relative ad aspetti economici e/o dimensionali.

### 1.1 L'impiego di formati aperti da parte di pubbliche amministrazioni

Su recepimento della direttiva europea in materia di appalti pubblici (CE 24/2014), che promuove procedure più efficaci e trasparenti, favorendo la sostenibilità e l'innovazione nel settore delle costruzioni, il Nuovo Codice degli Appalti (D. Lgs. 50/2016) ha introdotto la possibilità di richiedere l'uso di strumenti digitali, quali ad esempio il BIM, per la progettazione, la realizzazione e la gestione di opere pubbliche, promuovendo l'adozione di piattaforme interoperabili attraverso file in formato aperto, per garantire la condivisione e lo scambio di informazioni tra i partner del progetto.

Dovendo tutelare la libera concorrenza e garantire i principi di economicità, trasparenza ed efficacia, le pubbliche amministrazioni possono trarre importanti vantaggi dall'impiego di formati aperti. La pubblica amministrazione, trovandosi spesso a dover scambiare un gran numero di dati

con collaboratori interni ed esterni, necessita di standard adeguati, in grado di rispettare i principi previsti dal codice degli appalti e di rendere il flusso di dati funzionale alle attività edilizie. Inoltre, il formato aperto supporta lo scambio di dati tra diverse discipline anche al di fuori dell'ambiente BIM (Porwal, 2013).



**Fig. 1** - Modalità e tempistiche di introduzione del BIM nelle pubbliche amministrazioni di alcuni Paesi europei

## 2 Stato dell'arte

### 2.1 Il BIM e la pubblica amministrazione

Negli ultimi anni sono stati condotti svariati studi per comprendere il ruolo della pubblica amministrazione rispetto all'adozione e all'implementazione del BIM, considerandone i vantaggi, le potenzialità e i fattori di influenza (Malacarne, 2018). È opinione diffusa che, tramite il BIM, un ente pubblico possa ottenere una maggiore qualità degli edifici a costi ridotti (Cerovsek, 2011). Sono state evidenziate le potenzialità del BIM per una gestione dei progetti pubblici più trasparente (Pita, 2017) e le pubbliche amministrazioni, in qualità di committenti, possono promuovere miglioramenti significativi nella riduzione dei costi e delle emissioni di gas nocivi (National BIM Report, 2012). In seguito all'analisi dell'adozione del BIM in 14 paesi a livello globale, è stato rilevato che la pubblica amministrazione può assumere diversi ruoli nell'adozione del BIM: promotore e attuatore, coordinatore, educatore, dimostratore, ricercatore, finanziatore. Inoltre, nei paesi analizzati l'implementazione è stata supportata dalla definizione di obiettivi, dall'istituzione di comitati e dall'organizzazione di specifiche attività per lo sviluppo di standard e linee guida (Cheng, 2015). Uno dei fattori dominanti che influenza l'adozione del BIM nelle organizzazioni del settore pubblico è legata all'impossibilità di imporre l'uso di standard o software proprietari (Porwal, 2013).

### 2.2 Tipologie di dati

Secondo la prima parte della norma UNI 11337, i dati creati in ambiente BIM sono prevalentemente di natura:

- grafica, ovvero segni geometrici, costituiti prevalentemente da un modello tridimensionale a cui possono essere associati dettagli bidimensionali;



- alfanumerica/documentale, ovvero simboli, come ad esempio parametri e valori ad essi associati, dove i parametri sono costituiti da stringhe di testo generalmente sintetiche, mentre i valori possono assumere diversi formati, ma generalmente sono costituiti da stringhe di testo e/o numeri interi o reali.

La norma suggerisce inoltre che, ai fini della compiuta digitalizzazione del processo, vengano preferiti dati scritti in formato aperto, anche perché i contenuti informativi dei processi legati al settore delle costruzioni possono riguardare più ambiti disciplinari (UNI 11337-1:2017).

Per poter lavorare con dati in formato aperto sono necessari standard e protocolli con linguaggi comuni, tramite i quali i software sono in grado di comunicare tra loro. Lo standard IFC (*Industry Foundation Classes*) è stato sviluppato proprio per soddisfare le esigenze di interoperabilità nel settore delle costruzioni, tramite l'associazione di 12 società statunitensi, che nel 1995 fondarono l'*Industry Alliance for Interoperability* (IAI, denominata buildingsSMART a partire dal 2006), con l'obiettivo di sviluppare uno standard aperto per lo scambio di dati tra i software BIM emergenti (Laakso, 2016). In seguito alla prima uscita dello standard IFC1.0 nel 1997, diverse organizzazioni governative si sono subito mostrate interessate all'impiego di questo standard. La Finlandia è stata tra i primi Paesi a fornire un supporto ufficiale, quando l'organizzazione che gestisce le proprietà pubbliche, decise di richiedere modelli che rispettassero lo standard IFC a partire dall'ottobre 2007 (COBIM, 2012). Lo standard IFC consiste in una descrizione digitale standardizzata dell'ambiente costruito ed è il principale strumento di promozione dell'openBIM da parte di buildingsSMART.

### 2.3 Comunicazione in formato aperto

La trasmissione dei dati BIM in formato aperto è legata alle esigenze e agli obiettivi della comunicazione. Ad esempio, sviluppando un modello BIM con il software Autodesk Revit, è possibile:

- esportare delle viste tridimensionali (prospettive, assonometrie) o bidimensionali (piante, sezioni, prospetti) in PDF, nel caso in cui sia sufficiente trasmettere dati geometrici,
- esportare uno o più abachi in formato TXT, ottenendo quindi un documento di testo con dati ordinati che possono essere aperti e rielaborati all'interno di fogli elettronici, nel caso in cui si vogliono trasmettere solo dati alfanumerici,
- esportare il modello in formato IFC, che potrà poi essere letto da qualsiasi IFC viewer e/o software BIM, nel caso si desideri trasmettere dati sia geometrici che alfanumerici.

L'impiego del formato aperto risulta fondamentale per garantire la condivisione e lo scambio di dati. Dal punto di vista di una pubblica amministrazione è sicuramente importante comprendere quali formati aperti utilizzare per garantire la condivisione di dati in base ai diversi contesti ed obiettivi. Risulta quindi interessante comprendere come percepiscano questi aspetti sia le pubbliche amministrazioni che i professionisti con i quali collaborano e valutare lo scambio dei dati considerando un caso studio.

## 3 Metodo

Per verificare l'effettiva esigenza degli enti pubblici di migliorare i flussi di lavoro legati alla comunicazione e allo scambio dei dati è stata svolta una campagna di interviste con i collaboratori interni di un ente pubblico in Alto Adige e con i rappresentanti di alcune categorie professionali che collaborano con regolarità con la pubblica amministrazione. Le interviste si sono focalizzate su aspetti tecnici e organizzativi con l'obiettivo di acquisire maggiore consapevolezza rispetto alle criticità esistenti attraverso un confronto diretto con gli attori chiave del processo edilizio.

Inoltre, per comprendere in che modo una pubblica amministrazione possa trarre vantaggio dall'utilizzo dei formati aperti, è stato analizzato il caso studio di un ente pubblico che intende introdurre le procedure BIM per ottimizzare e implementare progettazione, realizzazione e gestione delle infrastrutture di cui è responsabile. Dopo aver analizzato gli scambi di dati tra collaboratori interni ed esterni, sono stati identificati i formati che meglio supportano la comunicazione. Sono state selezionate tre fasi principali: progettazione, gara di fornitura, gestione e manutenzione, in

cui l'implementazione BIM può essere particolarmente utile. Per ognuna di queste fasi sono stati studiati gli interlocutori principali e i dati da scambiare, ipotizzando e testando dei possibili flussi di lavoro.

### 3.1 Interviste

L'indagine si è svolta sottoforma di colloquio individuale della durata di 90-120 minuti e ha coinvolto da una parte collaboratori dell'ente pubblico impegnati nella digitalizzazione delle attività pubbliche, negli appalti e nella gestione di edifici, infrastrutture, strade e trasporti e nella custodia del patrimonio edilizio esistente, dall'altra rappresentanti professionali di Architetti, Ingegneri, Geometri, Periti Industriali, Costruttori e Artigiani. In totale hanno partecipato 17 collaboratori dell'ente pubblico e 12 professionisti. Per ogni categoria gli intervistati sono stati selezionati rispettando i seguenti requisiti:

- conoscenza dei procedimenti tecnici ed amministrativi per la progettazione, costruzione e gestione di un'opera pubblica,
- minima esperienza con tecnologie digitali di progettazione, costruzione e gestione di un'opera pubblica,
- minima conoscenza del BIM.

Per ogni aspetto affrontato durante l'intervista, ai partecipanti è stato richiesto di presentare le proprie esperienze e opinioni e di esprimere un giudizio numerico da 1 a 5, dove 5 corrisponde ad un livello di criticità elevato, 1 corrisponde all'assenza di criticità.

#### 3.1.1 Aspetti organizzativi

Gli aspetti organizzativi approfonditi durante le interviste riguardano quattro aspetti principali: la comunicazione, la collaborazione, il coordinamento ed il personale.

Relativamente alla comunicazione, agli intervistati è stato chiesto se le esigenze vengono comunicate in modo appropriato e se vengono seguiti specifici protocolli per le comunicazioni.

Per quanto riguarda la collaborazione, si è cercato di capire se le riunioni di coordinamento sono ben pianificate e se sono state adottate specifiche procedure che regolano la collaborazione tra le parti.

Le domande legate al coordinamento si sono focalizzate sulle modalità di scambio delle informazioni e di controllo delle interferenze e in generale sulla soddisfazione per la gestione delle attività.

In merito agli aspetti riguardanti il personale è stato analizzato il livello di criticità percepito dagli intervistati rispetto alla struttura organizzativa dell'ente di appartenenza, considerando anche le qualifiche e attitudini dei collaboratori.

#### 3.1.2 Aspetti tecnici

Gli aspetti tecnici approfonditi durante l'indagine riguardano le tecnologie impiegate e le modalità di gestione di dati e informazioni lungo il processo edilizio.

Relativamente alle tecnologie si è cercato di capire il livello di soddisfazione rispetto alla strumentazione tecnologica disponibile e alle modalità di scambio dei dati adottate.

Per quanto riguarda la gestione delle informazioni è stato indagato il livello di criticità percepito rispetto alla reperibilità delle informazioni, agli aspetti burocratici e alla sovrapposizione tra procedimenti tecnici e amministrativi.

### 3.2 Caso studio

L'ente pubblico coinvolto nel caso studio oggetto di analisi gestisce i progetti e la gara di fornitura delle nuove opere tramite bandi pubblici, collaborando di volta in volta con i progettisti e i fornitori che si aggiudicano l'appalto, mentre la manutenzione delle opere realizzate è gestita internamente. Gli scambi di dati con collaboratori esterni riguardano quindi sia la comunicazione di

requisiti di progetto e di fornitura, sia le proposte di soluzioni progettuali e di offerte di fornitura. Per quanto riguarda la gestione e manutenzione, il responsabile, interno all'ente pubblico, ha la necessità di disporre del modello dello stato di fatto dell'opera, completo delle informazioni con le caratteristiche dei prodotti impiegati per realizzarla e con la possibilità di integrare e aggiornare i dati relativi alle attività di manutenzione.

Nel caso studio considerato, la stazione appaltante richiede ai progettisti di utilizzare specifici elementi di arredo urbano, con caratteristiche geometriche standardizzate, per i quali è stata sviluppata una libreria di oggetti BIM, da impiegare come strumento di comunicazione in fase di progettazione, realizzazione e manutenzione. Gli oggetti BIM sono stati inizialmente creati come famiglie Revit e successivamente esportati in formato IFC. Per la creazione della libreria è stato scelto il software BIM Autodesk Revit, perché offre ampie possibilità di personalizzazione dei modelli e di automatizzazione dei processi, rispettivamente tramite l'editor di famiglie e il plug-in Dynamo. Inoltre, l'ente pubblico coinvolto ha scelto di acquistare alcune licenze Revit per i suoi collaboratori interni e avrà quindi la possibilità di replicare il flusso di lavoro testato tramite il caso studio.

La libreria di oggetti è stata strutturata in modo tale da includere oltre ai dati geometrici, costituiti da modelli tridimensionali e dettagli bidimensionali, anche dati alfanumerici sotto forma di parametri, pensati per comunicare:

- i requisiti imposti dalla stazione appaltante con valori precompilati,
- specifiche informazioni legate al progetto, per le quali è richiesto ai progettisti di inserire i valori,
- informazioni relative ai prodotti e ai materiali impiegati, i cui valori devono essere compilati dai fornitori,
- informazioni relative alla gestione e manutenzione, che possono essere inizialmente pre-compilate da progettisti e fornitori e successivamente completate e aggiornate dal responsabile della manutenzione durante la gestione dell'opera.

### 3.2.1 Fase di progettazione

Per la fase di progettazione è stato simulato il flusso di lavoro tramite due test, uno semplificato per verificare il funzionamento dello scambio dei dati in formato aperto ed uno più completo, grazie alla collaborazione con uno studio di progettazione, per verificare l'efficacia del flusso di lavoro dal punto di vista dei progettisti.

Il flusso di lavoro ipotizzato per la fase di progetto prevede che la stazione appaltante metta a disposizione la libreria di oggetti BIM in formato aperto in modo da non vincolare i progettisti all'utilizzo di un software BIM specifico. Dovendo comunicare informazioni sia geometriche che alfanumeriche si è optato per il formato IFC, che consente di visualizzare sia i modelli tridimensionali, che i parametri e i valori ad essi associati. Per consentire ai progettisti di distinguere i parametri degli oggetti BIM da tenere in considerazione o da compilare, questi ultimi sono stati contraddistinti dalla lettera "p", posta tra parentesi alla fine del nome del parametro.

È stata testata la possibilità di modificare i valori dei parametri inserendo gli oggetti BIM in formato IFC all'interno di un file di progetto con tre software BIM diversi: Autodesk Revit, Nemetschek Allplan e Graphisoft Archicad, per verificare l'effettiva interoperabilità del flusso di lavoro. Contestualmente è stata fornita la libreria sia in formato aperto che in formato proprietario ad un team di progettisti che collabora con l'ente pubblico ed è stato chiesto loro di rispondere ad un questionario.

Fase	Soggetti coinvolti	Dati da scambiare	Modalità	Test
Progettazione	Stazione Appaltante	Requisiti di progetto	Libreria di oggetti BIM in formato IFC	Impiego della libreria di oggetti in formato IFC all'interno di tre diversi software BIM
	Progettisti	Elaborati di progetto	Modello BIM del progetto in formato IFC	

Tab. 1 - Analisi e flusso di lavoro per la fase di progettazione.

### 3.2.2 Fase di gara di fornitura

Per gestire la compilazione delle offerte tramite la libreria di oggetti BIM, i requisiti richiesti dall'ente pubblico sono stati organizzati in parametri contraddistinti dalla lettera "f", posta tra parentesi alla fine del nome del parametro. Nei valori da compilare con dei numeri è stata inserita la cifra "0", mentre nei valori da compilare con un testo è stata inserita la dicitura "da compilare", con eventuali suggerimenti o esempi posti tra parentesi.

Il flusso di lavoro ipotizzato per la fase di gara di fornitura prevede la condivisione, da parte della stazione appaltante con i potenziali fornitori, del modello di progetto in formato IFC, che può essere visualizzato tramite un IFC viewer e di un abaco contenente i parametri da compilare in formato TXT, che può essere rielaborato tramite programmi dedicati alla produzione e gestione dei fogli di calcolo, come ad esempio Excel. Una volta selezionata l'offerta, la stazione appaltante inserisce i dati relativi ai prodotti all'interno del modello BIM, aprendo il file di progetto in formato IFC con Revit e sovrascrivendo i valori dei parametri tramite Dynamo.

La simulazione effettuata per la fase di gara di fornitura ha riguardato l'esportazione di abachi in formato TXT, la visualizzazione e la modifica dei dati tramite tre strumenti per la gestione di dati attraverso fogli elettronici: Microsoft Excel, Calc, il tool open source di LibreOffice e Google Fogli, disponibile gratuitamente registrando un account di Google. Successivamente è stato verificato il reinserimento dei dati aggiornati nel modello Revit, tramite Dynamo.

Fase	Soggetti coinvolti	Dati da scambiare	Modalità	Test
Gara di fornitura	Stazione Appaltante	Requisiti di fornitura	Abachi in formato TXT	Esportazione di abachi in formato TXT e rielaborazione con tre diversi fogli elettronici
	Fornitori	Offerta di fornitura	Abachi in formato XLSX	

**Tab. 2** - Analisi e flusso di lavoro per la fase di gara di fornitura.

### 3.2.3 Fase di gestione e manutenzione

Per comunicare ai manutentori le informazioni utili per gli interventi di manutenzione si è ipotizzato di esportare specifiche viste geometriche del modello (es: piante, sezioni, prospetti) ed eventuali documenti grafico-scritti (es: libretto istruzioni) ad esso collegati in formato PDF. Per comunicare i dati alfanumerici associati al modello si è ipotizzato l'uso di abachi in formato TXT nel caso in cui sia necessaria una rielaborazione o un feedback da parte dell'operatore o in formato PDF nel caso in cui sia sufficiente che l'operatore visualizzi le informazioni.

Per gestire l'archiviazione e l'aggiornamento del modello dello stato di fatto da parte del responsabile della manutenzione è stato previsto l'uso di file IFC, da modificare tramite Revit, dal momento che l'ente pubblico non si è ancora dotato di un software dedicato alla manutenzione. Inoltre, si è ipotizzato che, per tenere traccia delle manutenzioni straordinarie, venga esportato ogni volta un nuovo file IFC con le informazioni aggiornate.

Fase	Soggetti coinvolti	Dati da scambiare	Modalità	Test
Gestione e manutenzione	Responsabile manutenzione	Dati da archiviare	As-built aggiornato in formato IFC	Esportazione in formato IFC del modello as-built aggiornato per archiviazione e verifica del contenuto con IFC viewer
	Manutentori	Dati interventi manutenzione	Elaborati grafici e abachi in formato PDF o in formato TXT	

**Tab. 3** - Analisi e flusso di lavoro per la fase di gestione e manutenzione.

Per la fase di gestione e manutenzione è stata verificata la possibilità di modificare ed esportare tramite Revit, un IFC, di un file di progetto Revit, che contiene al suo interno oggetti BIM precedentemente salvati in formato IFC, per archivarlo senza perdere dati geometrici o alfanumerici. La trasmissione completa dei dati è stata verificata tramite l'IFC viewer BIMvision.

## 4 Risultati

Gli esiti della ricerca mostrano da una parte la percezione, le aspettative e le preoccupazioni rilevate rispetto alla digitalizzazione del settore delle costruzioni del BIM da parte dei soggetti coinvolti nelle interviste, dall'altra i punti di forza e di debolezza dei flussi di lavoro ipotizzati e sperimentati per l'implementazione digitale nelle fasi di progettazione, gara di fornitura e manutenzione considerate nel caso studio.

### 4.1 Interviste

Dalla campagna di interviste è emerso l'interesse per l'introduzione di nuovi metodi e strumenti digitali sia da parte dei dipendenti pubblici che dei loro collaboratori. Il BIM è percepito come una metodologia di lavoro partecipativa, che consente di anticipare difficoltà che potrebbero emergere nel coordinamento tra i soggetti coinvolti nelle varie fasi del ciclo di vita di un'opera. In generale gli intervistati ritengono che il BIM possa evitare la frammentazione e la ridondanza dei dati e favorire uno scambio di informazioni più efficiente. Le preoccupazioni riguardano principalmente la gestione, la trasmissione e l'aggiornamento dei dati in ottica BIM, così come la definizione di regole univoche nella gestione digitale dei progetti. Nella seguente tabella sono sintetizzati i risultati di ogni aspetto affrontato durante le interviste.

Come si può notare dai risultati (tab. 4), per quasi tutti gli aspetti considerati le risposte variano in base al punto di vista, mentre la gestione dei dati e delle informazioni è ritenuta critica sia dalla pubblica amministrazione che dai professionisti. Le problematiche comuni maggiormente evidenziate riguardano:

- la difficoltà di reperire informazioni aggiornate;
- la scarsa uniformità nei criteri di valutazione delle offerte;
- l'eccessiva quantità di documenti richiesti durante le procedure di gara;
- l'assenza di tracciabilità e controllo nelle procedure tecniche.

	Pubblica amministrazione	Architetti	Ingegneri	Geometri	Periti industriali	Collegio Costruttori	Artigiani
Aspetti organizzativi							
Comunicazione	2,49	4,50	3,50	1,00	3,00	3,63	5,00
Collaborazione	2,06	5,00	3,00	3,00	1,50	2,50	3,50
Coordinamento delle attività	2,69	5,00	3,00	3,00	2,00	4,50	3,00
Persone	2,80	1,00	4,00	2,00	2,67	2,33	1,00
Aspetti tecnici							
Tecnologie	3,69	2,67	1,00	2,00	1,00	1,67	1,50
Gestione dei dati e delle informazioni	3,68	3,50	3,50	4,50	2,33	3,67	3,75

Tab. 4 - Risultati sintetici delle interviste.

#### 4.1.1 Fase di progettazione

Il test effettuato nella simulazione della fase di progettazione ha consentito di verificare l'impiego ipotizzato per la libreria in formato aperto, infatti inserendo gli oggetti BIM in formato IFC all'interno di un file di progetto, è stato possibile compilare i valori dei parametri relativi alla fase di progetto con tre diversi software BIM: Autodesk Revit (fig. 2A), Nemetschek Allplan (Fig. 2B) e Graphisoft Archicad (fig. 2C). Maggiori dettagli in merito alla creazione e all'uso della libreria di



Per quanto riguarda il questionario, il team di progettazione consultato ha valutato positivamente l'uso della libreria di oggetti BIM, dichiarando che raramente utilizza oggetti BIM forniti dalla committenza sia in formato aperto che in formato proprietario, mentre spesso esporta i progetti BIM in formato IFC, ma solo qualche volta per condividerli con la committenza. Inoltre, i progettisti hanno evidenziato che la libreria offre un contributo positivo al progetto e non hanno rilevato particolari criticità legate al formato aperto.



La simulazione effettuata per la fase di gara di fornitura ha confermato il corretto funzionamento del flusso di lavoro ipotizzato. Nell'esportazione dell'abaco si ha la possibilità di scegliere nel dettaglio quali caratteristiche dell'abaco esportare e tra più opzioni di output. L'abaco viene quindi salvato in un file in formato aperto TXT, i dati contenuti nel file possono essere copiati e incollati sia all'interno di Microsoft Excel (fig. 3A), sia all'interno di fogli di calcolo open source come Calc (fig. 3B), che può essere installato gratuitamente sul proprio PC o i Fogli di Google (fig. 3C), che non richiedono installazioni in quanto fruibili direttamente dal browser. Una volta compilati i campi richiesti è stato salvato un file in formato XLSX, automaticamente utilizzando Excel, salvando con nome e selezionando l'estensione .xlsx nel caso di Calc e scaricando un file Excel da Google Fogli, così da consentire alla stazione appaltante di confrontare le offerte tramite Excel e di inserire i dati dell'offerta vincitrice all'interno del modello Revit. È stato inoltre testato il corretto funzionamento dello script di Dynamo sviluppato per l'importazione dei dati raccolti nel foglio Excel, all'interno del file di progetto Revit.

**A**

**B**

**C**

Fig. 3 - Esempio di abaco aperto con tre diversi fogli di calcolo

### 4.1.3 Fase di gestione e manutenzione

Nel testare la procedura di aggiornamento ed esportazione di un file IFC da un Progetto di Revit, aggiornato con le informazioni relative agli interventi di manutenzione, è stata verificata la corretta trasmissione dei dati geometrici ed alfanumerici tramite l'IFC viewer BIMvision. Inoltre, sono stati rilevati alcuni aspetti da tenere in considerazione, sviluppando gli oggetti BIM tramite il software Autodesk Revit:

- famiglie contenenti solo elementi 2D non vengono esportate neanche selezionando “Esporta gli elementi della vista di pianta 2D” della scheda “Contenuti aggiuntivi” presente nella finestra di dialogo per modificare le configurazioni di esportazione,
- nella vista in pianta, in caso di oggetti con famiglie nidificate vengono visualizzate solo le famiglie nidificate, mentre nella vista 3D viene visualizzata anche la geometria degli elementi modellati nella famiglia ospite,
- nel file IFC gli oggetti BIM non risultano più editabili come famiglie, ma solo tramite modifiche locali, che nel caso di oggetti costituiti da famiglie nidificate, non consentono alcuna modifica di forme e dimensioni.

## 5 Conclusioni

Tramite la campagna di interviste condotta è stato possibile osservare che i soggetti coinvolti nell'implementazione BIM percepiscono lo scambio dei dati come un aspetto fondamentale della metodologia BIM, da organizzare e gestire con maggiore attenzione. L'analisi del caso studio ha consentito di verificare la possibilità di utilizzare il formato aperto nello scambio dei dati tra pubblica amministrazione e collaboratori esterni per le varie fasi del ciclo di vita. Un ulteriore sviluppo del caso studio potrebbe riguardare la verifica dell'utilizzo del formato IFC con un software BIM dedicato alla gestione e manutenzione, mentre per le fasi di progettazione e gara di fornitura è stato verificato lo scambio di dati, impiegando diversi formati e software, secondo specifici flussi di lavoro.

## 6 Bibliografia

- Barbini A., Malacarne G., Massari, G., Monizza, G. P., Matt, D. T. 2019. BIM objects library for information exchange in public works: the use of proprietary and open formats. *WIT Transactions on The Built Environment*, 192: 269-280.
- Cerovsek T. 2011 A review and outlook for a “Building Information Modelling” (BIM): a multistandpoint framework for technological development. *Advanced Engineering Informatics*, 25 (2): 224-244.
- BuildingsSMART Italia: <https://www.buildingsmartitalia.org/> (accesso: 24.06.2020).



- Charef R., Emmitt S., Alaka H., Fouchal F. 2019. Building information modelling adoption in the European Union: An overview. *Journal of Building Engineering*, 25.
- Cheng, J. C., Lu, Q. 2015. A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption world-wide. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 20(27): 442-478.
- COBIM requirements, 2012, <https://buildingsmart.fi/en/common-bim-requirements-2012/> (accesso: 24.06.2020).
- Gazzetta Ufficiale della repubblica italiana. Decreto legislativo n. 50 del 18 aprile 2016, Art.23, Comma 13, Lettera h, [https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie\\_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.data-PubblicazioneGazzetta=2016-04-19&atto.codiceRedazionale=16G00062](https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.data-PubblicazioneGazzetta=2016-04-19&atto.codiceRedazionale=16G00062) (Accesso: 24.06.2020).
- Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, Direttiva 2014/24/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014 sugli appalti pubblici e che abroga la direttiva 2004/18/CE, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024&from=LV> (Accesso: 24.06.2020).
- Ente nazionale italiano di unificazione, UNI EN ISO 11337-1: 2017 Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi.
- Harun A. N., Samad S. A., Nawi M. M., Haron, N. A. 2016. Existing practices of building information modeling (BIM) implementation in the public sector. *International Journal of Supply Chain Management*, 5(4): 166-177.
- Kassem, M., Succar, B. 2017. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*, 81: 286-299.
- Laakso, M., & Nyman, L. 2016. Exploring the relationship between research and BIM standardization: a systematic mapping of early studies on the IFC standard (1997–2007). *Buildings*, 6(1), 7. <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=NBS&DocID=311639> (accesso: 24.06.2020)
- Malacarne, G. 2018. BIM: obbligo o opportunità? *CasaClima Due Gradi*. BuildingsSMART Italia, <https://www.buildingsmartitalia.org/> (accesso: 24.06.2020)
- Pita J., Tramontano M. 2017. BIM and public administration, The Brazilian Case. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, Hong Kong (CAADRIA), 189-199.
- Porwal A., Hewage K. N. 2013. Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects, In *Automation in Construction*, 31: 204-214.

# Modelli BIM e database come base decisionale sugli interventi in edifici storici

A. Mason

Venezia, Italia

**ABSTRACT:** Questo studio riguarda l'implementazione della metodologia BIM in un progetto di restauro e si occupa della creazione di una base conoscitiva e decisionale per un intervento in un complesso storico, attraverso un ambiente digitale che integri un modello BIM con la sua organizzazione gerarchica spaziale, un sistema di gestione della documentazione eterogenea elaborata e raccolta, e un database relazionale contenente i dati risultati dalle indagini diagnostiche, maggiormente standardizzabili e associabili ad oggetti del modello.

L'implementazione del progetto ha portato alla realizzazione di una piattaforma web, sincronizzata al modello BIM mediante il formato IFC, rispondente ai principali requisiti di un ACDat (UNI 11337-1) e flessibile per potersi adattare a diversi progetti, utenti e supporti.

Per il caso studio considerato, il Palazzo del Podestà di Mantova, è stata infine simulata una gestione informativa secondo uno standard operativo di strutturazione delle informazioni integrato e progressivo, per la gestione di future commesse con approccio BIM.

**KEYWORDS:** HBIM, database, DMS.

## 1 Introduzione

Nella progettazione di un intervento di restauro di un complesso storico, i criteri fondamentali da ottemperare sono un compromesso tra sicurezza del fabbricato e minimo intervento; per arrivare a questo risultato è fondamentale acquisire innanzitutto una conoscenza approfondita del manufatto, all'interno di un gruppo di lavoro tipicamente multidisciplinare e che porta alla raccolta e confronto di dati e documentazione ingenti ed estremamente eterogenei. Il progetto della conoscenza deve inoltre partire dal considerare l'unicità di ogni manufatto e delle sue esigenze, e che le interpretazioni che possono nascere dal suo studio sono in continua evoluzione.

Tutti questi bisogni si traducono nella necessità per uno studio di progettazione, oppure allo stesso modo per una soprintendenza, di uno strumento di raccolta, gestione, visualizzazione e ricerca che privilegi la visione d'insieme e che sia allo stesso tempo flessibile, intuitivo, conveniente, implementabile e accessibile.

Nella pratica professionale un riferimento a questo tipo di organizzazione è il Raumbuch, un approccio che organizza le informazioni rispetto ai locali di un complesso architettonico, ma ha molti limiti dati dalla sua impostazione analogica (Del Curto et al. 2016); per questo studio ci si è quindi orientati verso approcci e strumenti digitali di cui si faccia già uso nell'ambito dell'edilizia cercando di collegarli alla strutturazione gerarchica spaziale di un modello BIM e di adattarli alle esigenze di edifici storici e del restauro.

## 2 Integrazione tra modelli BIM e database per l'edilizia storica

La maggior parte delle ricerche accademiche inerenti all'ambito dell'integrazione di informazioni specifiche dei beni culturali nei modelli BIM si concentrano nel costruire o raffinare ontologie da associare ai modelli (Acierno et al. 2017). Questo approccio è però troppo dispendioso e

facilmente le ontologie costruite restano troppo generiche, nel tentativo di adattarsi all'eterogenea casistica di edifici storici, o al contrario troppo specifiche.

Ci si è quindi rivolti verso un approccio più versatile che sfrutti i vantaggi del Raumbuch, la cui fattibilità è già stata verificata per grandi complessi storici, cercando quindi di ipotizzare uno strumento che faciliti la procedura di ordinamento delle informazioni secondo una loro referenziazione topografica, restituendo i diversi apporti conoscitivi ordinatamente e in maniera comparata senza dover attuare operazioni selettive (Del Curto 2016).

Per implementare lo strumento, superando però l'impostazione analogica del Raumbuch, ci si è orientati verso delle tecnologie già in uso nell'ambito dell'edilizia, anche se non necessariamente storica, quali i sistemi di gestione documentale, o DMS, per la gestione della documentazione, e i database relazionali, per la gestione delle indagini diagnostiche. Oltre a cercare di adattare questi strumenti alle esigenze specifiche dei beni culturali, si sono cercati degli studi che li collegassero ai modelli BIM, in maniera da poter attuare la referenziazione topografica delle informazioni.

A tal proposito è stato innanzitutto preso in considerazione uno studio elaborato nell'ambito del project management per l'integrazione di informazioni basate su documentazione non strutturata e su modelli BIM, in formato IFC (Opitz et al. 2014). Lo studio ipotizza il collegamento di uno o più documenti ad uno o più elementi fisici di un modello già costruito, oppure, eccezionalmente, direttamente ad un elemento spaziale. Nell'ipotesi però di una strutturazione progressiva delle informazioni e di un graduale raffinamento dei collegamenti, è più importante approfondire innanzitutto i collegamenti con la struttura gerarchica spaziale del modello, e prevedere solo eccezionalmente il collegamento con i suoi elementi fisici.

Continuando questo allineamento con le piattaforme BIM, la soluzione ricercata potrebbe confondersi con un *Common Data Environment* (CDE) o ACDat in ambiente italiano (UNI 11337), per cui si sono infine cercati studi su soluzioni *web-based*; uno, in particolare, si proponeva di integrare dati di varia natura con i dati di un modello BIM, contribuendo allo sviluppo di applicazioni web basate sullo standard IFC, per centralizzare le fonti informative e favorirne l'accesso anche da parte di utenti non esperti nell'ambito BIM (Dankers et al. 2014).

### 3 Metodologia

#### 3.1 Progettazione ed implementazione della piattaforma

L'implementazione del progetto è stata sperimentata con software sia proprietari che *open source*; nel secondo caso in particolare è stato realizzato il prototipo di una piattaforma web, sincronizzata con un modello BIM mediante un formato IFC e rispondente ai principali requisiti di un ACDat.

##### 3.1.1 Obiettivi

Il flusso informativo inerente alla metodologia BIM è oggetto di numerose norme che cercano di definirne criteri e linee guida, stabilendo in particolare la necessità, per un progetto gestito con un approccio BIM, della creazione di un ambiente di condivisione dei dati. Questa piattaforma, che in Italia si chiama ACDat ed è definita dalle norme della serie UNI 11337, è stata proposta per la prima volta, in maniera organica e definita, nelle norme tecniche britanniche, dove assume il nome di *Common Data Environment* (CDE). Questo strumento, che integra dati geometrici, non geometrici e documenti, dovrebbe diventare l'unica fonte di informazioni a servizio dei gruppi multidisciplinari coinvolti nella progettazione, esecuzione dei lavori e manutenzione. A tal proposito la piattaforma viene usata per raccogliere, gestire e distribuire informazioni e documentazione ed è quindi spesso supportata da un DMS.

Le UNI non specificano esplicitamente come debba funzionare ed essere organizzato l'ACDat, ma solo i requisiti che deve soddisfare: accessibilità, secondo prestabilite regole, da parte di tutti gli attori coinvolti nel processo; supporto di una vasta gamma di tipologie e di formati e di loro elaborazioni; alti flussi di interrogazione e facilità di accesso, ricovero ed estrapolazione di dati

(protocolli aperti di scambio dati); conservazione e aggiornamento nel tempo; garanzia di riservatezza e sicurezza. Il soddisfacimento di questi requisiti può porre delle solide basi anche per il buon funzionamento di una piattaforma studiata per la gestione della documentazione e delle informazioni conoscitive di un edificio storico, che tipicamente coinvolgono un team multidisciplinare di professionisti. Proprio grazie ai requisiti comuni una piattaforma simile si potrebbe quindi poi facilmente integrare con altre eventualmente studiate per gli ambiti della progettazione ed esecuzione dei lavori, espandendo il dominio di interesse dell'ACDat.

L'utilizzo di una piattaforma web per la strutturazione e condivisione dei dati è il modo migliore per rispondere a molti dei requisiti richiesti per l'ACDat, tra i quali l'accessibilità da parte di tutti gli attori anche su supporti differenti e il controllo degli accessi. È quindi possibile creare liste di utenti, liste di autorizzazione e differenti interfacce a seconda delle mansioni richieste a una categoria di utenti. L'integrazione inoltre tra questa piattaforma e un modello BIM potrebbe consentire anche ai non esperti di modellazione, di accedere e interagire con le informazioni contenute nel modello.

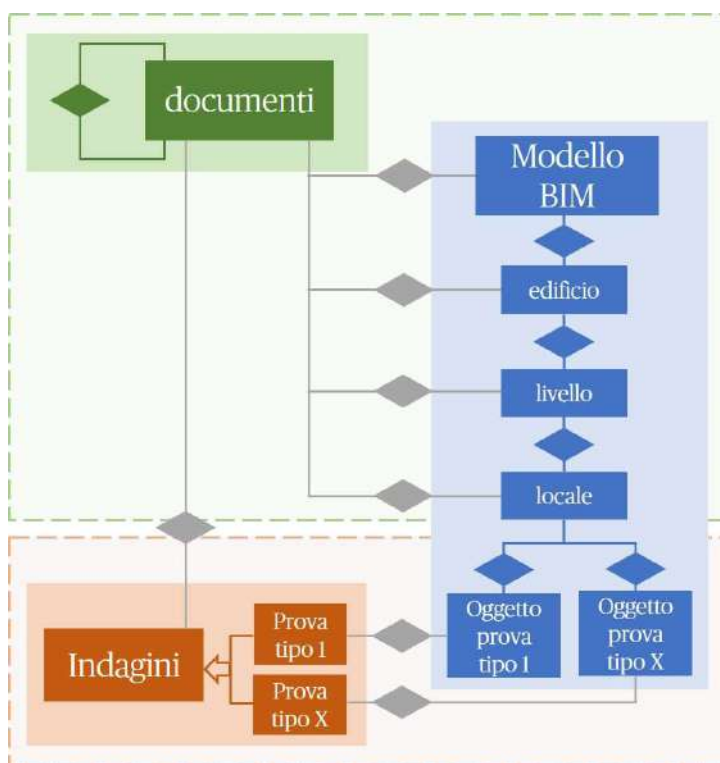
Per implementare la piattaforma web si è deciso di utilizzare Drupal, un CMS gratuito e *open source* (un CMS, *Content Management System*, è uno strumento software, installato su un server web, il cui compito è facilitare la gestione dei contenuti di siti web, svincolando da conoscenze specifiche di programmazione), strutturandolo per funzionare come un *Building Management System*, sulla base della struttura dati IFC, come già proposto da Dankers, Geel e Segers (2014). In quello studio viene esposta la struttura del modello IFC su Drupal, lasciando aperta la possibilità di mettere e strutturare nella piattaforma qualunque altro contenuto debba essere referenziato agli elementi del modello.

L'obiettivo sarebbe quindi di creare in Drupal il DMS e il database per la gestione delle prove, da referenziale al modello caricato in formato IFC su BIMserver (una piattaforma gratuita e *open source* in grado di interpretare i file IFC e di memorizzarne i dati come oggetti in un database sottostante; è pensato per essere integrato in altre applicazioni *web-based* e supportare processi di collaborazione dinamica nel settore AEC), o su una piattaforma openBIM analoga. Il modello Revit, o creato con un altro software proprietario, verrebbe quindi relegato ad essere client del modello caricato sulla piattaforma openBIM e il fulcro del sistema diventerebbe quindi il CMS, mentre il modello, ad esso collegato, verrebbe usato per la visualizzazione spaziale e le sue associazioni spaziali. Una volta implementata questa piattaforma, le ricerche potrebbero diventare multi-progetto, e potrebbe venire facilmente ampliata per rispondere ai requisiti gestionali dello studio o società che ne facessero uso.

Per questo studio iniziale si è deciso di integrare il BIMserver all'interno di Drupal, mappando entità e campi di interesse del modello per referenziarci documenti e prove diagnostiche. Strutturati le entità e i campi di interesse in Drupal, vengono collegati al file IFCxml esportato dal modello, in maniera che l'immissione o l'eventuale aggiornamento dei valori sia poi automatizzato. Sono stati mappati in particolare la struttura gerarchica spaziale e gli oggetti del modello inerenti alle indagini.

### 3.1.2 Progettazione

La fase di progettazione logica è consistita nel mappare tutte le entità, i campi, le relazioni di interesse e la tassonomia di classificazione inerenti al modello, alla documentazione e alle indagini. Lo schema generale, definito in maniera "scheletrica" in fase di progettazione concettuale (fig. 1), è quindi composto da tre schemi progettati separatamente, poi integrati. Sulla base di questa struttura di dati sono state poi progettate delle applicazioni: la documentazione in particolare si relaziona alla struttura spaziale del modello, all'interno di un DMS, mentre le indagini diagnostiche strumentali si relazionano a degli oggetti specifici del modello, all'interno di una applicazione di basi di dati.



**Fig. 1** - Schema concettuale della struttura dei dati alla base dell'applicazione che integra DMS, indagini e modello.

Le entità relative al modello BIM sono inerenti a quelle della struttura gerarchica spaziale di un modello IFC, prevedendo inoltre un'entità per ogni tipologia di prova inserita nel modello, la cui famiglia viene creata a partire da un modello generico; per questo studio ne è stata inserita solo una a titolo esemplificativo, che si legherà alla struttura spaziale con un riferimento al locale di appartenenza:

- *IfcProject* (progetto)
  - *IfcBuilding* (edificio)
    - *IfcBuildingStorey* (livello)
      - *IfcSpace* (locale)
        - *IfcBuildingElementProxy* (famiglia da modello generico)

Per quanto riguarda il DMS è stata invece individuata un'unica entità corrispondente al "documento", a cui appartengono gli attributi: *nome file*, che a seconda del progetto o dell'azienda avrà una sua codifica, *titolo*, *formato* (.dwg, .pdf, ecc.), *data creazione*, *data ultima modifica*, *autore*, *scala di rappresentazione*, *note*.

Questa entità può essere sottoposta a quattro possibili classificazioni, attraverso le rispettive tassonomie:

- spaziale, variabile a seconda del progetto.
- rispetto al contenuto, variabile da progetto a progetto; tendenzialmente dividerà i documenti in quelli appartenenti alle fasi metodologiche "stato di fatto" e "indagini", e al loro interno negli ambiti più specifici individuati.
- per tipologia: scheda, tavola, relazione, etc.
- per livello di elaborazione; viene prevista la classificazione in fonte o elaborazione.

La classificazione relativa al livello di elaborazione è utile a distinguere, ad esempio, i documenti d'archivio dalle conseguenti relazioni storiche che ne sono una rielaborazione. A tal proposito, grazie a una relazione ad anello, che quindi mette in relazione tra loro le istanze della stessa entità "documento", sarà possibile mantenere il riferimento tra fonti ed elaborazioni. Ogni istanza di documento può essere quindi classificata come fonte, elaborazione o entrambi e possono venirvi associate istanze di documento "padre" (fonte) o "figlio" (elaborazione). La classificazione avrà

quindi lo scopo di facilitare la ricerca delle fonti quando devono essere assegnate ad una loro rielaborazione, o viceversa.

Una volta impostate le tassonomie di classificazione, i rispettivi dizionari e i codici associati ad ogni termine, è possibile impostare la codifica dei documenti, in maniera che il campo *nome file* venga automaticamente compilato sulla base delle classificazioni del documento. Una possibile codifica potrebbe essere ad esempio composta dalla sequenza dei codici associati ai termini appartenenti ai dizionari spaziale, contenuto, tipologia, con a seguire un codice univoco di identificazione del singolo documento.

Infine, la sezione dello schema relativa alle indagini contiene una entità "indagini" che raccoglie gli attributi comuni a tutte le sue tipologie: *cantiere (IfcProject)*, *impresa esecutrice*, *committente*, *tecnici*, *data*. Contiene infine un attributo selettore che rimanda alle singole tipologie di prove e quindi alle corrispondenti entità specifiche.

La fase di progettazione, dopo aver individuato quali dati usare e come strutturali, si è conclusa con la definizione delle interfacce di visualizzazione e manipolazione dei dati stessi.

L'interfaccia di visualizzazione del DMS, ad esempio, prevede una raccolta di tutti i documenti, dove per ognuno è presente un'anteprima, i valori dei suoi attributi e le sue classificazioni. Cliccando su queste ultime è possibile selezionare i documenti per vedere un elenco di quelli aventi la medesima classificazione; l'indirizzo in questo caso riproporrà il percorso gerarchico della classificazione selezionata. In cima all'elenco è inoltre possibile, mediante menu a tendina, o *select box*, relativi alle varie classificazioni, filtrare i risultati facendo quindi delle ricerche incrociate (fig. 2).

Il DMS e le indagini prevedono anche interfacce di inserimento e modifica dei dati, poiché, diversamente dalle istanze relative al modello il cui popolamento è automatizzato, la loro compilazione è manuale. Per quanto riguarda le indagini, è previsto che possano facilmente essere compilate attraverso supporti mobili come tablet o cellulari, per facilitare l'inserimento dei dati in cantiere.

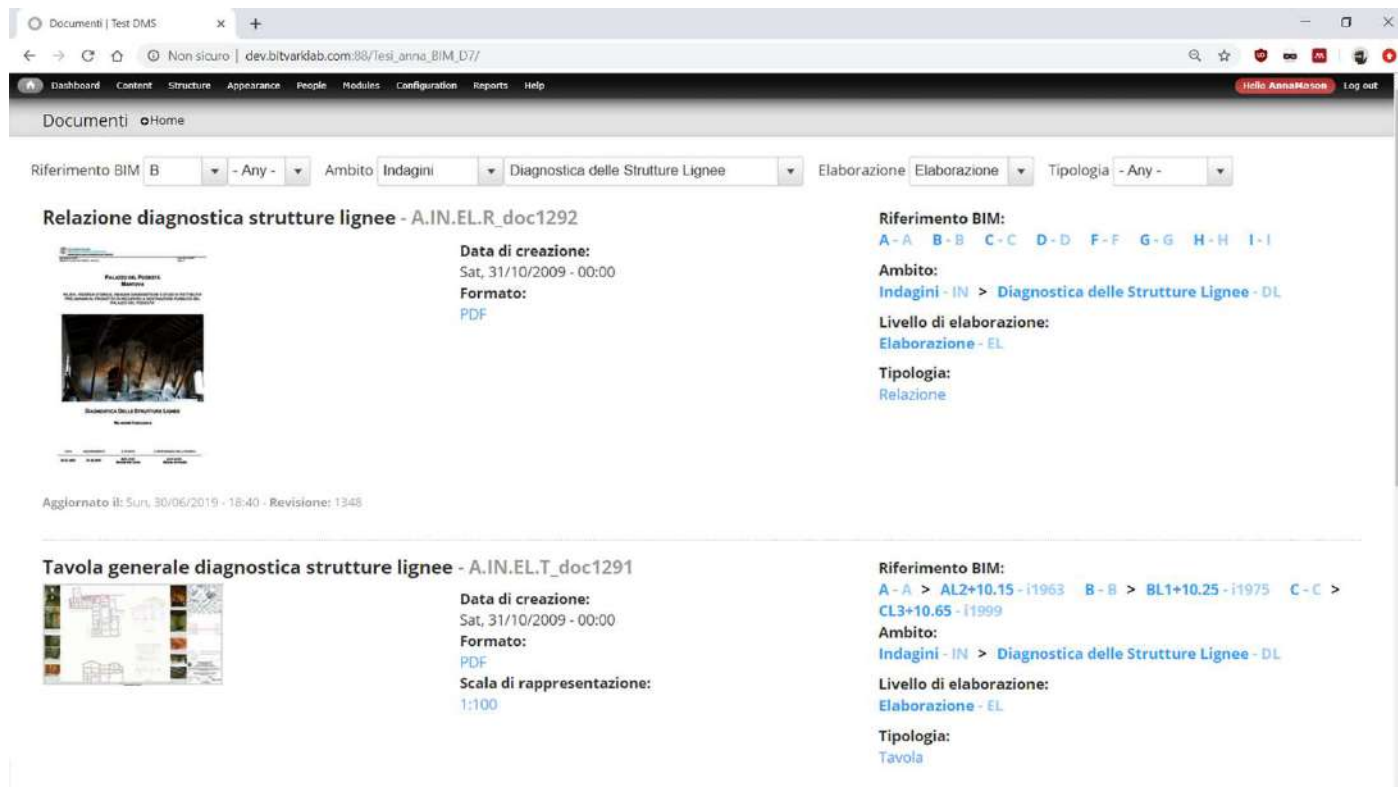


Fig. 2 - Interfaccia del DMS creato in Drupal, risultato di una ricerca incrociata sui documenti; nella fascia superiore si possono individuare i criteri usati per filtrare i documenti da visualizzare. La codifica dei documenti è composta dai codici dei tag secondo cui il documento è stato classificato, visibili sulla destra.



### 3.1.3 Implementazione

L'implementazione su Drupal del sistema implica innanzitutto la creazione di un oggetto, o *content type*, per ogni entità individuata in fase di progettazione. Una volta completata l'implementazione stabilendo anche le relazioni che intercorrono tra i vari *content type*, i valori degli attributi delle istanze dei *content type*, chiamate nodi, potranno essere compilati, manualmente nel caso del DMS e delle prove, e in maniera automatizzata nel caso degli elementi del modello IFC.

Perché la compilazione dei valori degli attributi dei nodi inerenti al modello possa essere automatizzata, serve attuare una corretta mappatura in Drupal dei *content type* e delle relazioni di interesse inerenti al modello, e un loro collegamento ai corrispondenti elementi presenti nel file IFCxml, correttamente esportato dal software di modellazione.

Quando si parla di file XML (eXtensible Markup Language) ci si riferisce a un linguaggio che utilizza dei marcatori, chiamati tag o etichette, per assegnare una semantica al testo e che consente di definire e controllare il significato degli elementi contenuti in un documento o in un testo. Lo standard IFC prevede il formato XML, che rispetto al formato STEP, ha una maggiore portabilità, ma comporta una dimensione del file più grande.

In Drupal vengono quindi associati alle entità del modello gli attributi contenenti le espressioni XPath (linguaggio che permette di individuare i nodi di un documento XML) per la loro individuazione all'interno del file IFCxml.

Ad esempio, per la creazione del *content type IfcSpace*, bisognerà innanzitutto creare gli attributi *Nome* corrispondente al nome del locale e *GUID IFC* corrispondente al codice identificatore assegnato da IFC al locale. Dopo aver stabilito l'espressione XPath assoluta, che individui l'etichetta di interesse all'interno del file IFCxml utilizzando come riferimento la radice del documento, per ogni attributo viene specificata l'espressione relativa, che individui i valori degli attributi utilizzando come riferimento l'etichetta appena indicata.

Lo stesso procedimento è stato seguito anche per gli altri *content type*, riferiti alle classi *IfcBuildingstorey* e *IfcBuildingElementProxy*. Per questi ultimi col percorso assoluto non basterà identificarne la classe, ma ne andrà specificato anche il nome per poter distinguere le eventuali differenti tipologie di prove, che nell'esportazione diventerebbero tutte *IfcBuildingElementProxy*.

Per dare un valore agli attributi dei nodi appena creati che stabiliscono le relazioni reciproche è necessario ripetere il procedimento attuato per i nodi, ma riferendosi alle classi di relazione *IfcRelAggregates* e *IfcRelContainedInSpatialStructure*. Queste associano a un'istanza di entità "padre" l'elenco delle istanze di entità "figlie", ma questo implica un'organizzazione dei dati non normalizzata, quindi in Drupal sarà fondamentale invertire la referenziazione in maniera da normalizzare i dati e fare in modo che ogni istanza di entità "figlia" punti alla sua istanza di entità "padre". Quindi, per esempio, dopo aver creato e popolato i nodi dei livelli e dei locali, potrà essere popolato l'attributo dei nodi locali che ne identifica i rispettivi livelli di appartenenza.

Una volta terminata la mappatura del modello in Drupal, questo può essere reimportato a piacimento e in caso di una sua modifica verranno aggiornati anche i valori corrispondenti, se appartenenti a classi mappate.

### 3.1.4 Riscrittura dei valori nel modello BIM

La piattaforma implementata su Drupal prevede l'integrazione del DMS e del database sulle prove con alcune entità del modello per poter consentire una migliore organizzazione e ricerca dei dati e dei documenti immessi. Nell'ipotesi di immettere alcuni dei dati presenti del CMS nel modello BIM, un possibile sviluppo potrebbe essere quello di modificare direttamente i valori dei parametri presenti nel file IFC attraverso la riscrittura dei valori nei file di testo IFC o IFCxml, a seconda che venga fatto uso o meno di una piattaforma openBIM. In ogni caso la riscrittura dei valori interesserebbe solo dei parametri specifici; questi dovrebbero venire identificati, creati ed aggiunti già in fase di modellazione e successivamente esportati nel modello IFC, dove saranno raccolti in un *IfcPropertySet*, un contenitore di parametri associato ad un oggetto.



### 3.2 Applicazione al caso studio

Per la sua validazione, lo strumento implementato è stato infine applicato al caso studio del complesso del Palazzo del Podestà di Mantova, attualmente in fase di restauro, la cui costruzione ha avuto inizio in epoca comunale e che nei secoli ha accorpato edifici distinti, accumulando complesse stratificazioni di corpi di fabbrica, livelli, interventi, apparati e decorazioni, estese tanto nello spazio quanto nel tempo.

Per poter modellare in ambiente BIM l'edificio è stata quindi indispensabile una propedeutica fase di studio e comprensione del complesso edilizio, in modo da arrivare a un sufficiente livello di conoscenza della sua conformazione. Sono stati dunque individuati innanzitutto gli edifici o unità, sulla base dell'evoluzione storica e della conformazione geometrico-strutturale, e definiti poi i livelli di ciascuna di queste zone, relativi alle quote dei piani di calpestio; questi ultimi costituiscono il riferimento principale per la modellazione degli elementi del modello, compresi i locali (fig. 3). Per ognuna delle entità spaziali sono state utilizzate codifiche prestabilite e, considerata la scelta di utilizzare come software di modellazione Autodesk Revit, la codifica dei livelli ha compreso il nome dell'edificio di appartenenza. Nella piattaforma infatti, i valori di *IfcBuilding*, diversamente dalle altre entità spaziali, vengono compilati a partire dalla prima lettera del nome dei livelli. È necessario prevedere questa operazione perché in Revit non esiste il livello gerarchico degli edifici e quindi, una volta esportato il modello, la corrispondente classe IFC non avrebbe istanze associate.



Fig. 3 - Da sinistra a destra, individuazione di edifici, livelli e locali del Palazzo del Podestà di Mantova, vista aerea del modello concluso e ricostruzione del browser di progetto del modello sulla piattaforma web, per una veloce referenziazione topografica dei documenti e dati al momento del loro caricamento.

A modellazione conclusa, dopo la creazione delle famiglie inerenti alle indagini e la collocazione delle istanze, viene esportato il modello secondo lo standard IFC in formato xml, impostando una Model View Definition (MDV) che riduca l'esportazione ai soli elementi necessari, ed è così possibile popolare il browser di progetto della piattaforma con le istanze delle entità spaziali e delle indagini contenute nei rispettivi locali.

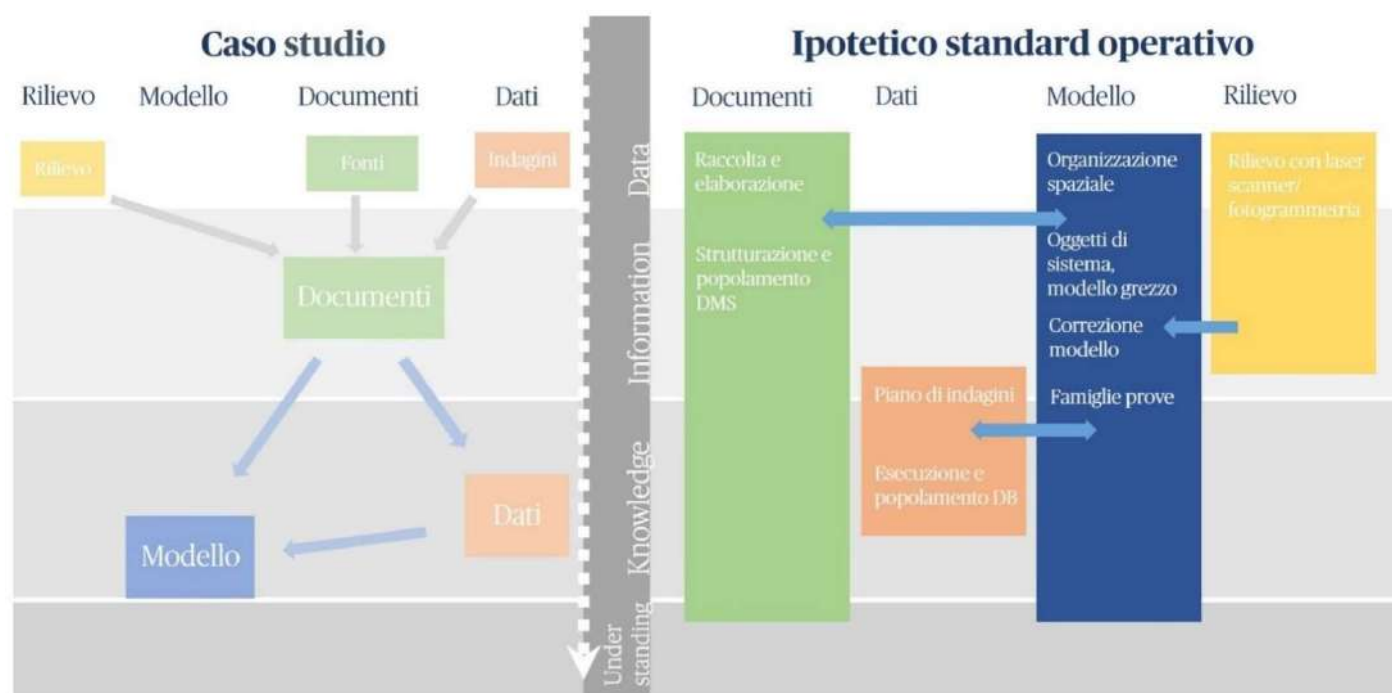
Per concludere la predisposizione della piattaforma, dopo aver caricato il file IFCxml dell'ultima versione del modello BIM disponibile, sono stati compilati i dizionari delle tassonomie inerenti alla classificazione "contenuto", basandosi innanzitutto sulla documentazione a base di gara allegata al bando indetto nel 2009 dal Comune di Mantova per i lavori di restauro del complesso. Questi dizionari sono poi stati arricchiti per poter includere materiale proveniente anche dai sopralluoghi e dalla ricerca bibliografica ed archivistica. Quest'ultimo ambito è particolarmente interessante poiché tipicamente comprende del materiale classificabile come fonte e consente di simulare uno

studio in cui la strutturazione e l'interpretazione della documentazione e delle informazioni sia stata progressiva.

### 3.3 Standard operativo di strutturazione dei dati

Per la modellazione e lo studio del Palazzo del Podestà di Mantova, i dati, le informazioni e il rilievo sono stati estratti, strutturati e messi reciprocamente in relazione a partire da documentazione di impostazione analogica, formattata esclusivamente in funzione della sua leggibilità da parte degli operatori coinvolti. Questo metodo di veicolare le informazioni, che è ancora il più diffuso soprattutto nell'ambito del restauro, è il responsabile di un notevole dispendio di tempo e risorse e porta ad un maggiore rischio di incoerenza; i professionisti del settore delle costruzioni e del facility management usano infatti il 46% del loro tempo a cercare informazioni (Tuuli et al. 2015).

Alla luce della simulata gestione informativa del caso studio e degli strumenti progettati e implementati, è stato dunque ipotizzato uno standard di strutturazione dei dati, delle informazioni e della documentazione integrato e progressivo, che possa procedere di pari passo al loro reperimento, per la gestione di future commesse di recupero o di restauro in cui un approccio BIM venisse da subito adottato (fig. 4). A partire dalla raccolta iniziale di fonti ed elaborazione dei documenti necessaria ad ogni commessa di questo tipo, è possibile, dopo una iniziale strutturazione spaziale propria del modello BIM, impostare e popolare il DMS. La modellazione può quindi procedere contemporaneamente e un'eventuale integrazione con un rilievo laser scanner permette poi di aggiornarne la geometria e abilitare altre indagini. D'altronde il completamento del database prevede l'inserimento delle informazioni del piano di indagini nel modello e nel database correlato e successivamente delle informazioni contenute in esse in modo da avere un unico strumento informativo per la decisione degli interventi sul bene storico.



**Fig. 4** - Confronto tra la strutturazione dei dati del caso studio e l'ipotetico standard operativo di strutturazione progressiva dei dati.

## 4 Conclusioni

Con questo studio si è cercato di rispondere all'esigenza nell'ambito del restauro di gestire documentazione e prove eterogenee con la creazione di due database da collegare a un modello

BIM; la definizione dei requisiti, e lo sviluppo di alcune applicazioni basate su di essi, hanno dimostrato la fattibilità tecnica di uno strumento per una gestione completa di una commessa di restauro.

## 5 Riconoscimenti

Questo studio nasce come lavoro di tesi in collaborazione tra l'Università degli studi di Padova e la società Contec Ingegneria. Ringrazio il mio relatore Andrea Giordano e il mio correlatore Paolo Borin per la guida paziente e competente, Michele Carradori e Solidea Faedo per la preziosa opportunità e BitVark per il supporto nell'implementazione web.

## 6 Bibliografia

- Acierno M., Cursi S., Simeone D., Fiorani D. 2017. Architectural heritage knowledge modelling. An ontology-based framework for conservation process. In *Journal of Cultural Heritage* 24: 124–33.
- Dankers M., Van Geel F., M Segers N. 2014. A web-platform for linking IFC to external information during the entire lifecycle of a building. In *Procedia Environmental Sciences* 22: 138–47.
- Del Curto D. 2016. Dalla Trostburg a Mantova. Applicazione del Raumbuch per lo studio di complessi architettonici. In *Naturwissenschaft & Denkmalpflege*, 79–90. Innsbruck university press.
- Del Curto D., Grimondi A. 2016. Modelli informativi “predigitali” e loro recenti sviluppi. Dal Raumbuch al BIM. In *Built Heritage Information Modeling/Managment BHIMM*.
- Opitz F., Windisch R., Scherer R. J. 2014. Integration of Document- and Model-based Building Information for Project Management Support. In *Procedia Engineering* 85: 403–11.
- Tuuli J., Suvanto M. E. 2015 Impacts of poor quality of information in the facility management field. In *Facilities* 33, n. 5/6: 302–19.



# BIM per le infrastrutture: usi di IFC per ponti compositi in acciaio-calcestruzzo

Andrea Basso, Rachele Angela Bernardello  
Università degli Studi di Padova, Padova, Italia

**ABSTRACT:** *Industry Foundation Classes* (IFC), codificato dalla norma ISO 16739-1:2018, è uno schema di dati che si pone l'obiettivo di descrivere in maniera esaustiva le componenti geometriche e la semantica caratteristica di tutto il settore delle costruzioni. Fino alla versione IFC4, tale standard era principalmente votato alla descrizione di edifici, tuttavia, anche grazie al crescente interesse degli operatori del settore, si è registrato una progressiva apertura dello standard anche al campo delle infrastrutture. Da qui nascono i progetti di *IFC Road*, *IFC Rail*, *IFC Tunnel* e *IFC Bridge*, quest'ultimo tra primi a concludere la sua prima fase con la pubblicazione di una versione 4.2 di IFC pensata per i ponti. Dallo studio di questa nuova release ha preso avvio il lavoro qui presentato, il cui scopo era quello di cercare di validare le scelte fatte a livello internazionale, evidenziandone eventuali mancanze o incongruenze attraverso la scomposizione spaziale, la mappatura degli elementi e la modellazione di un caso studio di ponte in acciaio-calcestruzzo.

**KEYWORDS:** BIM, infrastrutture, IFC, OpenBIM, IfcBridge, ponti.

## 1 Introduzione

La metodologia del Building Information Modeling (BIM) è da tempo diventata una realtà nel settore delle costruzioni per facilitare i processi, lo scambio delle informazioni e la riduzione dei costi. Inizialmente pensata solamente per gli edifici, il suo impiego si è progressivamente ampliato fino ad interessare anche il settore delle infrastrutture. La categorizzazione degli oggetti rappresenta uno degli aspetti fondamentali che distingue la metodologia BIM dalla modellazione tridimensionale CAD; ne risulta quindi che una imprecisa o errata implementazione di questa categorizzazione, senza strutturare un ordinamento gerarchico, possa portare a un sottoutilizzo delle potenzialità dei modelli digitali sviluppati secondo questo flusso di lavoro. I veloci cambiamenti del settore delle costruzioni richiedono che le infrastrutture, vecchie e nuove, entrino in una nuova fase fatta di modelli digitali informativi (Jeong et al. 2015). Solo in questo modo infatti è possibile monitorare e gestire al meglio il ciclo di vita del manufatto e visualizzare l'infrastruttura esistente per simulare progetti di espansione e l'interazione con l'ambiente circostante (Floros et al. 2019). Visti gli innumerevoli strumenti disponibili, è necessario prevedere una standardizzazione delle informazioni che ne garantisca l'interoperabilità minimizzando la perdita di informazioni. Lo standard IFC nasce per perseguire tale obiettivo e per rispondere ai requisiti specifici delle infrastrutture sono stati avviati da buildingSMART International diversi gruppi di lavoro attinenti ai domini infrastrutturali, con il progetto IFC Bridge tra i primi a concludersi.

Nei successivi paragrafi sarà indagato come le modifiche proposte nella vecchia *Candidate Standard* di IFC 4.2 (ora ritirata e sostituita dalla proposta di IFC 4.3) possano adempiere alle necessità della disciplina infrastrutturale delle costruzioni, nello specifico declinandola agli usi specifici e alle peculiarità della realtà italiana. Il documento descrive inoltre l'applicazione di tale classificazione ad un caso studio di un ponte in acciaio-calcestruzzo, tipologia maggiormente diffusa sul territorio italiano, strutturandola per l'utilizzo in un possibile bando di gara. A partire dalla scomposizione spaziale e dalla mappatura degli elementi, tale procedimento ha permesso di individuare mancanze o incongruenze all'interno dell'attuale standard, in particolare come alcune definizioni risultino essere ancora troppo legate al settore dell'edilizia e di come la classificazione

influenzi direttamente gli utilizzi e gli sviluppi futuri del modello. Parte delle riflessioni e dei risultati presentati in questo lavoro sono nate e condivise all'interno del gruppo di lavoro IfcBridge di buildingSMART Italia, dove è stato possibile sviluppare un'applicazione pratica.

## 2 Stato dell'arte

In letteratura sono descritti alcuni esempi di applicazione del processo BIM al settore delle infrastrutture. Sono riportate applicazioni che riguardano studi sulla fase di progettazione e gestione di un ponte attraverso la sua simulazione di fasi costruttive e stima dei costi in ambiente digitale (Shim et al. 2011), o l'analisi degli impatti e dei benefici associati all'utilizzo del BIM, come nel caso della costruzione di ponte nell'area metropolitana di Denver (Fanning et al. 2014). Ancora, la simulazione virtuale del processo di costruzione per la sostituzione di porzioni di un ponte esistente come nel caso del viadotto di San Francisco-Oakland bay a seguito del terremoto di Loma Prieta (Hira 2013). Altri esempi riguardano invece le fasi di gestione dell'asset, dove tale processo può in maniera efficace essere implementato per l'ispezione e la valutazione dello stato dei ponti (McGuire et al. 2016). Questo, nell'ottica di permettere agli enti gestori di avere a disposizione database informativi per gestire i manufatti sotto il loro controllo e gettando le basi per una pratica di automatizzazione precisa degli interventi (Ashton et al. 2017, Shim et al. 2017).

Gli esempi riportati evidenziano come le applicazioni del BIM al settore delle infrastrutture siano molteplici, tuttavia per esprimere al meglio le potenzialità di questi metodi operativi, è necessario garantire l'interoperabilità tra tutte le fasi e tra i vari attori del processo, in modo da minimizzare la perdita di informazioni.

I criteri fondamentali di uno schema di dati per descrivere il modello informativo di un ponte riguardano la sua capacità di essere (Park et al. 2019):

- interoperabile ed accessibile, per essere leggibile e indipendente dal tipo di software specifico con cui è stato creato il modello ed in maniera da essere fruibile in qualsiasi momento a prescindere dagli aggiornamenti e dai nuovi formati di dati;
- tridimensionale, cioè capace di descrivere in maniera esaustiva attraverso regole geometriche gli elementi fisici del ponte;
- semanticamente corretto, per permettere di descrivere in maniera univoca e comprensibile quali sono le componenti di un ponte e la loro gerarchia, sia a livello fisico che spaziale;
- gestibile dai software, cioè implementabile all'interno di un programma di BIM authoring.

Fin dagli anni Novanta del secolo scorso si è cercato di individuare uno schema di dati rispondente a tali caratteristiche e funzionale a descrivere le infrastrutture, facendo uso principalmente dei linguaggi EXPRESS e XML. Esempi della prima categoria sono i formati STEP AP 203 e IFC mentre per la seconda si annoverano CityGML e Trans XML. Pubblicazioni scientifiche a riguardo evidenziano come, nonostante siano presenti delle lacune sotto diversi aspetti (Halfway et al. 2005, Lee et al. 2006, Kolbe et al. 2009), IFC grazie alla sua struttura modulare e facilmente espandibile sembra soddisfare al meglio i requisiti elencati. Fondamentale per l'argomento in esame risulta comprendere quali sono le reali necessità per descrivere le strutture orizzontali come strade, ponti, tunnel e ferrovie che non possono essere soddisfatte dallo schema attualmente più implementato di IFC 4.0. Per questo motivo nel 2013 buildingSMART promuove la creazione di una Infra Room, che come prima cosa lavora sul progetto *IFC Alignment*, che ha definito le classi basilari per la descrizione del sistema di riferimento per le infrastrutture lineari. A seguire, è stato avviato il progetto *IFC Infra Overall Architecture*, in maniera da individuare quali fossero i principi generali da condividere per lo sviluppo dello standard verso le infrastrutture, in modo da armonizzare tra loro aspetti in comune ed evitare sovrapposizioni. La creazione di *room ad hoc* ha permesso di individuare requisiti specifici per ciascuna disciplina tra questi progetti: *IFC Bridge*, *IFC Rail*, *IFC Road* e *IFC Tunnel*.

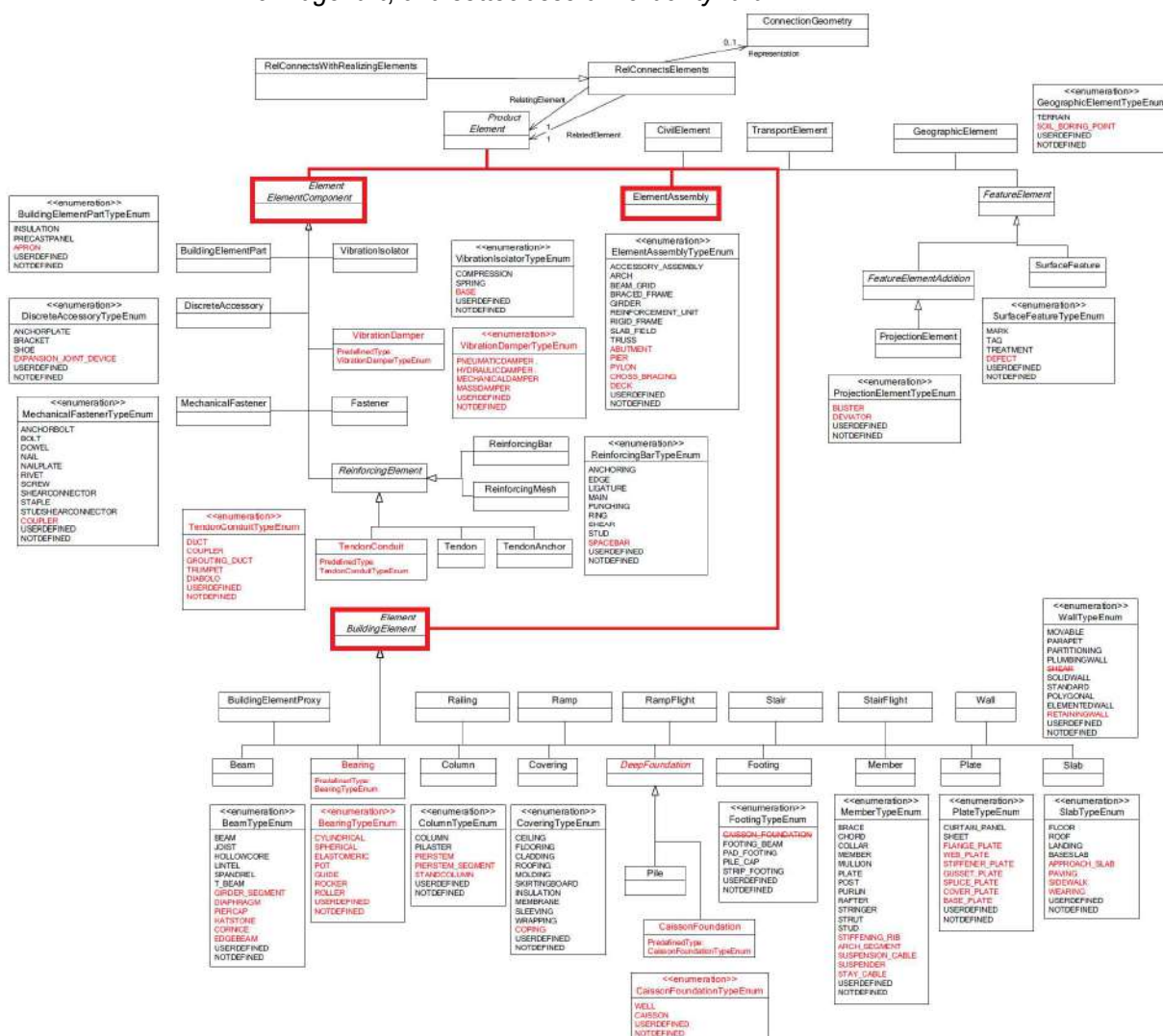
Conclusosi nell'aprile del 2019, il progetto *IFC Bridge* ha prodotto come risultato il *Candidate Standard* di IFC 4.2, il cui percorso di approvazione non è stato portato a compimento ma è stata incorporata all'interno della successiva versione di IFC 4.3 attualmente *candidate* in fase di *testing*



per la validazione software che integra il formato con le estensioni per strade, ferrovie e porti. Una prima fase del lavoro si è concentrata sull'analisi del panorama esistente dei ponti, individuando le tipologie più diffuse al fine di concentrare i maggiori sforzi proprio su quei modelli che avrebbero avuto un maggiore ritorno in termini di utilizzo pratico. Stesso approccio è stato riservato anche per la definizione dei casi d'uso che sono stati scrupolosamente confrontati con le reali esigenze del settore (Borrmann et al. 2019). Le tipologie trattate dalla prima fase di *IFC Bridge* sono: ponti a travata, ponti compositi in acciaio-calcestruzzo, ponti a cassone, ponti a telaio, mentre era previsto un minor livello di dettaglio per tipologie come ponti a traliccio, ad arco, a sbalzo, strallati o sospesi. Nonostante vengano definite le classi per descrivere la quasi totalità delle componenti delle tipologie di ponti, in fase di *testing* è stato scelto di applicare lo standard principalmente su modelli di ponti a travata, partendo dall'assunzione che, vista la presenza di classi specifiche anche per altre tipologie, *IFC Bridge* potesse in egual modo soddisfare i requisiti anche per gli altri ponti previsti e non direttamente testati (Castaing et al. 2017).

L'estensione proposta da *IFC Bridge* introduce delle novità riguardanti principalmente l'organizzazione spaziale del progetto in modo da garantire una corretta gerarchia di progetto e la classificazione delle componenti fisiche del ponte. Le nuove *spatial entities* introdotte sono (Castaing et al. 2018):

- *IfcFacility*, una sottoclasse di *IfcSpatialStructureElement*
- *IfcFacilityPart*, una sottoclasse di *IfcSpatialStructureElement*
- *IfcBridge*, una sottoclasse di *IfcFacility*
- *IfcBridgePart*, una sottoclasse di *IfcFacilityPart*



**Fig. 1** – Schema riassuntivo dei *Physical Elements* e i rispettivi *predefined type*. In rosso le aggiunte di IFC 4.2 (Castaing et al. 2018).



Per quanto riguarda le componenti fisiche dei ponti, queste possono essere mappate in gran parte già utilizzando classi preesistenti, con l'aggiunta di nuovi *predefined type*. Ad esempio, il pulvino di una pila da ponte viene mappato tramite *IfcBeam* andando a utilizzare ora il nuovo *predefined type* denominato *PIERCAP*. Tuttavia, per alcuni casi specifici si è rivelato necessario inserire nuove classi, quali (Castaing et al. 2018):

- *IfcBearing*, sottoclasse di *IfcBuildingElement* per individuare il baggiolo
- *IfcDeepFoundation*, sottoclasse di *IfcBuildingElement* per le fondazioni profonde
- *IfcCaissonFoundation*, sottoclasse di *IfcDeepFoundation* per rappresentare le fondazioni a cassone
- *IfcVibrationDamper*, sottoclasse di *IfcElementComponent* per gli isolatori sismici
- *IfcTendonConduit*, sottoclasse di *IfcReinforcingElement* per le componenti dei trefoli di armatura

A ciascuna di queste nuove classi sono stati associati i relativi *predefined type* per differenziare ulteriormente gli oggetti senza aggiungere ulteriori sottotipi. Le componenti principali aggiunte del modello concettuale sono evidenziate in rosso e riportate in fig. 1.

### 3 Metodologia

L'obiettivo del lavoro esposto in questo articolo è stato quello di determinare se le attuali proposte di ampliamento dello standard di IFC potesse essere adatto a rispondere ai requisiti di un ponte reale, evidenziandone lacune e proponendo al contempo possibili soluzioni. I risultati ottenuti sono stati anche presentati ai gruppi di lavoro internazionali di buildingSMART. Al fine di raggiungere tale scopo si è applicata una metodologia di lavoro basata su tre fasi, che prevedevano una fase preliminare di conoscenza e comprensione dello standard IFC 4.2 e della tassonomia utilizzata in materia di progettazione dei ponti, una seconda fase di definizione del caso studio e della sua concettualizzazione attraverso l'uso diagrammi e tabelle, proponendo al tempo stesso eventuali modifiche e integrazioni allo standard IFC previsto. Infine, una terza fase ha visto l'applicazione delle considerazioni fatte e delle competenze acquisite attraverso la creazione di un modello tridimensionale, attraverso l'uso di diversi software di BIM authoring.

L'obiettivo della fase preliminare era quello di creare una base comune di conoscenza per le componenti di ponti, riconoscendo un significato condiviso dei termini utilizzati sia in ambito nazionale sia internazionale, considerando anche le differenze di interpretazione nella traduzione. L'analisi ha prodotto una tabella riassuntiva divisa gerarchicamente in livelli, scendendo maggiormente del dettaglio fino al singolo componente, riferendosi non solo alle comuni pratiche di scomposizione del progetto utilizzate nei manuali di progettazione e costruzione dei ponti (Pietrangeli 1996, Paolacci 2019), ma interpretando le stesse in un'ottica di classificazione BIM *based* studiando le relazioni e le dipendenze tra gli oggetti. Nell'elaborazione effettuata, una prima scomposizione del progetto è di tipo spaziale, a seconda dell'appartenenza degli elementi alla sottostruttura, sovrastruttura o agli elementi di servizio, che raggruppano al loro interno elementi come pile e spalle che a loro volta risultano composte dai singoli componenti quali la fondazione, il para-gliaia, l'orecchio e via dicendo. A ciascuno di questi elementi viene poi associato il codice definito dai sistemi di classificazione internazionali, quali Omniclass (CSI) e Uniformat (NBS).

Fondamentale per comprendere al meglio l'applicabilità di IFC è stato quindi capire come gli elementi vengano classificati nella realtà. Nella seconda fase quindi si è proceduto a declinare lo standard su un modello di ponte reale. La scelta è ricaduta su un ponte a travata in acciaio e calcestruzzo, considerata la diffusione di tale tipologia su tutto il territorio italiano, soprattutto per i ponti di nuova costruzione. La mappatura di tale manufatto secondo lo standard è stata subordinata al caso d'uso prescelto, selezionato tra quelli previsti dal progetto *IFC Bridge* riguardante la creazione di un modello da utilizzare per un bando di gara (*design to construction*). Tale decisione è stata fatta in seguito ad un confronto diretto sia con le committenze sia con società di progettazione ed ha influenzato direttamente la mappatura del manufatto e le tecniche di modellazione, visto l'elevato livello di dettaglio richiesto per la descrizione degli elementi, La creazione di

diagrammi funzionali ha messo poi in evidenza sia l'organizzazione spaziale del progetto, sia le relazioni tra le singole componenti.

Infine, nella terza fase, si è deciso di ottenere diversi modelli del ponte, adottando tre software differenti (Autodesk Revit, Trimble Tekla e Midas CIM) per confrontare l'applicazione dello standard e la fattibilità della gerarchizzazione e dell'export su piattaforme differenti. Questa modellazione comparativa non è stata pensata con l'intento di individuare il migliore tra i software disponibili, ma per ricercare come a partire da un medesimo obiettivo finale di *export*, le scelte e i metodi consueti adottati fossero influenzati e se vi fossero delle problematiche condivise. Importante è stato tenere traccia quindi dei problemi riscontrati, prediligendo un corretto output IFC rispetto a eventuali scorciatoie di modellazione per la creazione delle componenti. Inoltre è stato testato fino a che punto fosse possibile replicare lo schema di IFC 4.2 nel modello pur non essendo ancora supportato ufficialmente da alcun software. Questo ha portato alla stesura di una tabella delle problematiche riscontrate durante la classificazione, la modellazione e l'*export*, descrivendo l'esatta o la migliore ipotesi di soluzione.

#### 4 Applicazione al caso studio

In questa sezione verranno trattati gli argomenti relativi alla scomposizione spaziale del caso studio, alla loro classificazione secondo IFC 4.2 e alla modellazione del manufatto con i software di BIM authoring, riportando le problematiche riscontrate e le soluzioni adottate. Gli aspetti chiave di modifica dello standard sono: minimizzare il numero di nuove entità, utilizzare *predefined type* per estendere le classi esistenti, mantenere la nuova struttura spaziale snella e comprensibile.

Nonostante le descrizioni dei *predefined type* delle classi relative alla struttura spaziale siano mancanti, è stato possibile organizzare ugualmente il progetto del ponte basandosi su scelte e interpretazioni confrontandosi con esperti del settore. È stata organizzata una struttura spaziale su più livelli, l'asset ponte appartiene alla classe *IfcBridge* (sottoclasse di *IfcFacility*), il suo enumerativo che lo descrive più dettagliatamente è *GIRDER*. L'*IfcFacility* è costituita da *IfcBridgePart* che determinano così una struttura aggregata, in cui il primo livello è costituito da *substructure*, *superstructure* e *surfacestructure*, ciascuna di esse è poi scomposta a un livello inferiore in ulteriori *IfcBridgePart*. La sottostruttura sarà quindi organizzata ulteriormente in spalle (e in caso fossero presenti pile). Lo stesso approccio viene utilizzato per la *superstructure* e la *surfacestructure*, per la quale viene proposto un nuovo enumerativo *SPAN* per individuare la campata del ponte.

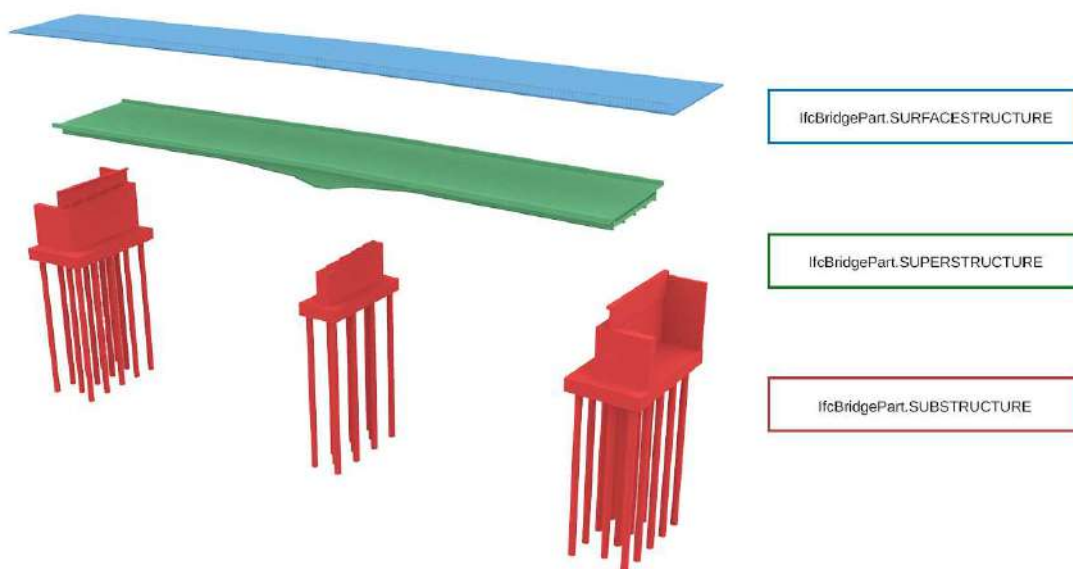


Fig. 2 – Scomposizione spaziale tipo di primo livello di un ponte stradale misto acciaio-calcestruzzo.

Per quanto riguarda la parte di classificazione degli elementi è stato applicato un approccio analitico che permettesse di individuare tutte le componenti del ponte, riconoscendone la loro

funzione e le relazioni che intercorrono con gli elementi circostanti. I singoli elementi sono stati mappati secondo le classi IFC, a partire dagli schemi HTML presenti sulla pagina buildingSMART (buildingSMART 2019) e dalle documentazioni messe a disposizione dal gruppo internazionale *IFC Bridge* (Castaing et al. 2018). Tale processo è il risultato di un'analisi su due differenti livelli: prima di tutto è stata considerata la definizione della classe e, solo successivamente, la rispondenza all'enumerativo della suddetta classe, in modo da rispettare la funzione e la definizione espletata dal singolo componente e dalle proprietà da associare ad esso a seconda del caso d'uso prescelto. Questo non solo è risultato in un diagramma ordinato comprensivo di tutte le componenti in esame, ma ha permesso di studiarne anche le relazioni che intercorrono tra gli elementi e di come questo rappresenti un aspetto di primaria importanza a seconda dell'uso finale del modello. Ecco quindi che per la spalla identificata nella struttura spaziale come *IfcBridgePart.ABUTMENT*, la sua ulteriore scomposizione per oggetti è in due ulteriori livelli che individuano due *IfcGroup*: l'uno gli elementi di interfaccia tra impalcato e spalla e il secondo i pali di fondazione; viene utilizzato l'assemblaggio *IfcElementAssembly* con enumerativo *ABUTMENT* per indicare gli elementi in calcestruzzo armato quali fondazioni, muri di contenimento e pulvino, a cui si aggiungono gli elementi di contorno quali orecchie e pavimentazione.

La strutturazione di questo lavoro è stata un processo complesso dal momento che la scelta di una classe rispetto ad un'altra non sempre risultava univoca a seconda delle definizioni fornite da buildingSMART, oltre al fatto che per lo specifico caso d'uso applicato era richiesto un alto livello di approfondimento nella semantizzazione. Un diagramma esplicativo di una porzione del modello è presentato in fig. 3.

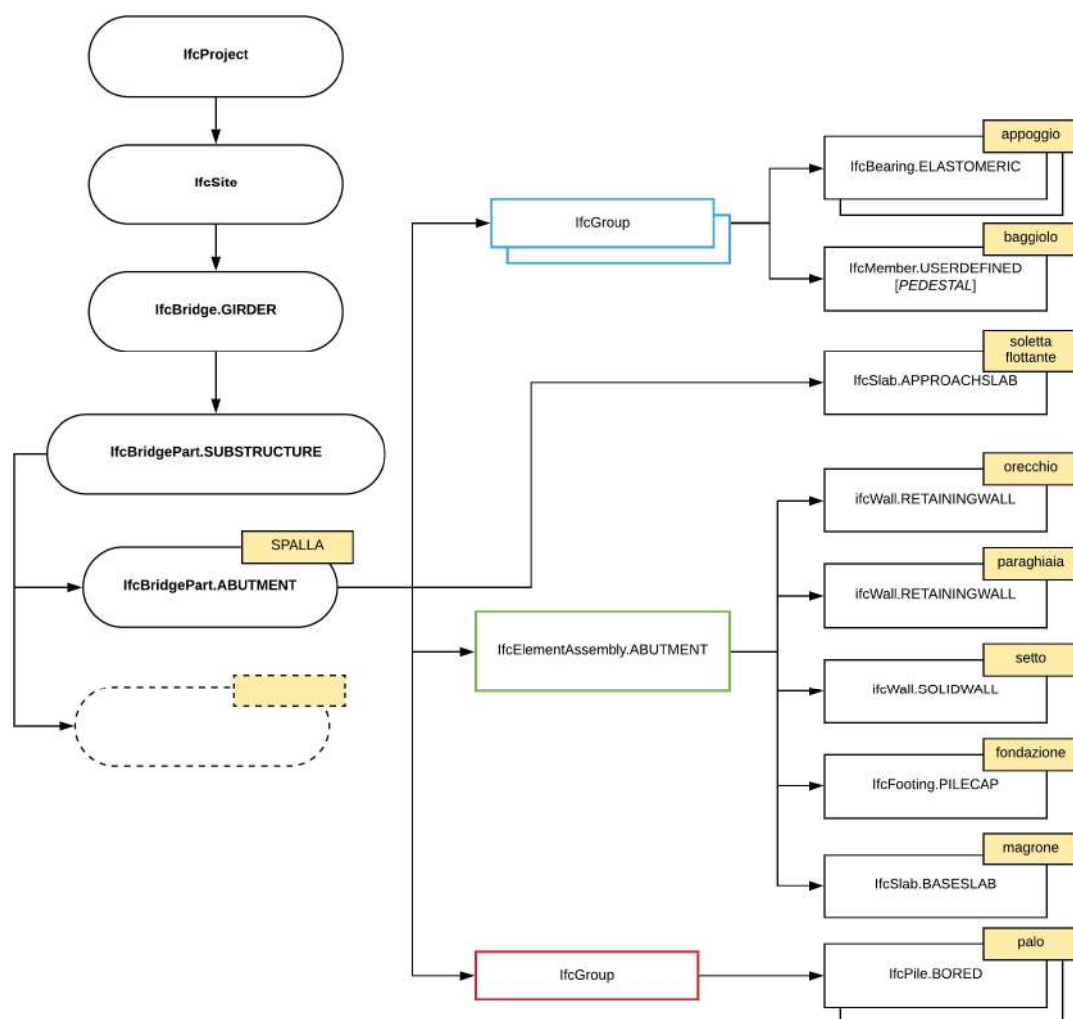


Fig. 3 – Diagramma rappresentativo della mappatura di una spalla del ponte.

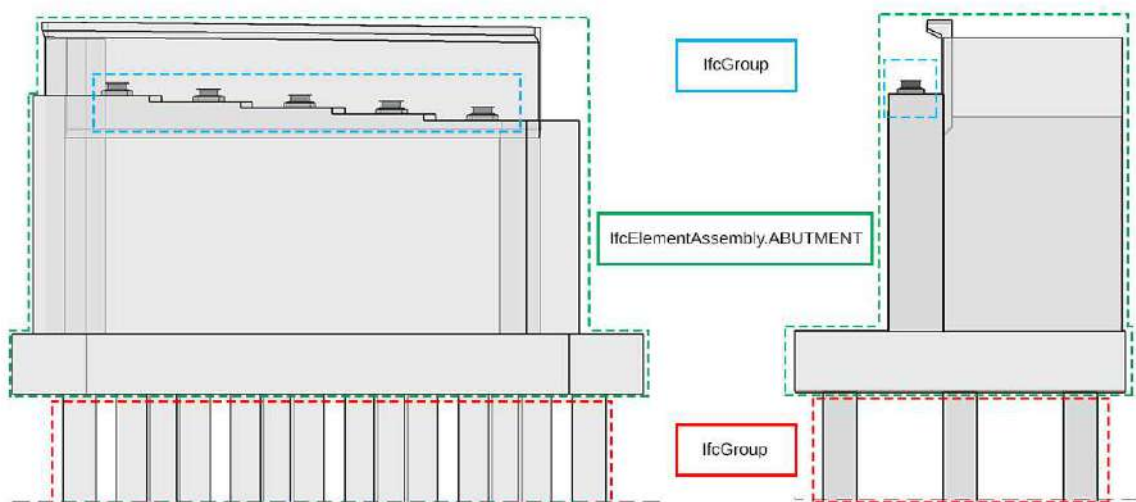


Fig. 4 – Esempificazione dell'aggregazione degli elementi della spalla del ponte.

Dalla classificazione sono stati esclusi gli elementi relativi alla gestione delle acque meteoriche presenti nel ponte, in quanto non erano stati aggiunte nuove classi o enumerativi su questa disciplina, e gli elementi appartenenti alla struttura lineare della strada in quanto descrivibili secondo lo schema IFC in un'altra *IfcFacility*, ovvero *IfcRoad*. Inoltre, in contemporanea ai tavoli internazionali relativi a *IFC Bridge*, erano in fase di conclusione i progetti relativi ai domini di *IfcRoad* e *IfcRail*. Per questo motivo si è ritenuto opportuno posticipare queste considerazioni dopo la pubblicazione della documentazione relativa ufficiale.

I software utilizzati non supportano la *release candidate* di IFC 4.2 ma, essendo state introdotte pochissime nuove entità, è stato ritenuto comunque significativo affrontare la modellazione e l'esportazione, dal momento che il maggior numero di cambiamenti ha interessato la definizione dei *predefined type* delle classi, descrivibili con dei *work-around*. Si è voluto in questo modo sia verificare la corretta mappatura delle relazioni tra gli elementi da parte dei singoli software, sia analizzare le problematiche relative alla descrizione delle geometrie. Le considerazioni fatte permettono di intervenire per guidare gli utenti verso un flusso di lavoro per ottenere una corretta mappatura di IFC tramite gli strumenti a disposizione. L'attuale versione supportata di IFC 4 può essere considerata matura dal punto di vista concettuale ed esistono esempi del suo utilizzo in ambito infrastrutturale (Zanardi 2019), tuttavia risulta utilizzabile operativamente in fase di *import* ed *export* senza eccessive elaborazioni solo una volta che questa sia stata implementata correttamente dai software.

I problemi relativi alla classificazione ricadono principalmente in due categorie: da una parte abbiamo la mancanza della classe o del *predefined type* per descrivere l'elemento indagato, dall'altro abbiamo la loro codifica ma la definizione risulta essere troppo vincolante o inadatta per rappresentare l'oggetto in esame. Esempi di queste due possibili situazioni sono:

- nel primo caso, la mancanza di un enumerativo specifico per definire l'organizzazione spaziale del ponte in campate, ovviata proponendo un nuovo *predefined type* denominato *SPAN* per *IfcBridgePart*; nella discussione con i professionisti è emerso come l'appartenenza ad una campata è il metodo principale per segnalare la posizione di un componente in un ponte;
- nel secondo caso rientra il problema della mappatura del baggiolo in maniera univoca, dal momento che, a seconda dei casi può presentarsi come un elemento verticale, mentre altre volte assume una connotazione prettamente orizzontale.

Allo stesso modo, viene proposto di aggiungere un nuovo enumerativo *PEDESTAL* da associare alla classe di *IfcMember*.

Per quanto riguarda la modellazione è emerso come molti dei problemi riscontrati fossero in realtà comuni tra i software. Questi riguardano soprattutto la corretta definizione di elementi complessi dotati di parti come gli isolatori sismici e la gestione di geometrie variabili o di elementi di dettaglio della struttura in acciaio del ponte. La maggior parte è risolta attraverso una modellazione oculata, tuttavia può risultare necessario anche una semplificazione delle geometrie.

Infine, le criticità riscontrate nella fase di *export* riguardano soprattutto la corretta mappatura delle relazioni che intercorrono tra gli elementi all'interno del file IFC e il diverso significato e funzione che essi assumono singolarmente e congiuntamente agli altri elementi. Questo aspetto richiede una particolare attenzione in quanto, come già detto in precedenza, l'approccio di aumentare il numero di enumerativi rispetto a quello delle classi fa sì che per descrivere correttamente alcuni componenti, come ad esempio controventi in acciaio o la stessa spalla, si debba ricorrere al concetto di assemblaggio, ovvero la classe *IfcElementAssembly*. Lo standard permette infatti di mappare correttamente il tutto, le parti da cui è composto e relazioni di dipendenza e aggregazione. Nei passaggi che conducono al modello finale IFC si assiste però ad una discrepanza tra il comune intendere le parti di un ponte descritto dalla mappatura IFC e l'*export* effettivo dal modello. In quanto la modalità con cui le parti vengono trattate in fase di modellazione per una corretta descrizione della geometria, delle proprietà e della gestione delle stesse nel software proprietario, in fase di *export* forniscono ottimi risultati per elementi costituiti da un singolo componente, mentre non è sempre possibile descriverli se hanno un nuovo significato in quanto aggregazione di parti. In fase quindi di interrogazione del modello IFC da parte ad esempio delle stazioni pubbliche appaltanti, che devono ovviamente affidarsi a formati aperti, una mappatura errata di elementi composti come una pila o una trave in acciaio costituita da conci crea dei problemi se non gestita correttamente fin dalle prime fasi di strutturazione del modello BIM.

## 5 Conclusioni

Il presente lavoro ha dimostrato la possibilità effettiva di applicare lo standard *IFC Bridge* ad un caso reale. Nello specifico si è scelto di applicare la release di IFC 4.2 a un ponte rispondente ad una tipologia molto diffusa sul territorio italiano e che ha permesso di evidenziare le discrepanze tra modello concettuale e quello reale nonché come poterle affrontare. Secondo la logica di espansione di IFC, buildingSMART ha scelto di minimizzare le modifiche in modo di non introdurre nuove classi, concentrandosi sulla modifica delle definizioni di enumerativi già esistenti per essere più inclusivi anche delle entità tipiche dei ponti o sulla proposta di nuovi *predefined type* ritenuti fondamentali per la mappatura di un'infrastruttura di questo tipo. È importante sottolineare come, durante la stesura di questo articolo sia stata rilasciata per la validazione una versione più recente di IFC 4.3, pensata per estendere lo schema anche ai domini di strade, ferrovie e strutture marittime e che ha previsto un ulteriore lavoro di armonizzazione dei nuovi domini con quelli esistenti, tra i quali quello dei ponti. Parte delle problematiche discusse vengono affrontate da questa nuova versione, per questo motivo sviluppi futuri di questa ricerca prevedono l'adeguamento della mappatura e dei modelli alla nuova release oltre che l'implementazione di essa a nuovi casi studio e a nuovi casi d'uso. I risultati raggiunti hanno permesso di evidenziare problematiche riscontrate in fase di mappatura, di modellazione ed esportazione e di come queste possano essere risolte in termini pratici al fine di raggiungere un modello BIM coerente e capace di essere condiviso con i soggetti coinvolti nel processo. Seppur non ancora completamente maturo, viene dimostrato come IFC si stia evolvendo per poter essere impiegato anche nel campo delle infrastrutture in maniera coerente ed efficace, al fine di implementare un processo digitale completo che faccia uso di una rappresentazione digitale informatizzata del progetto in tutte le sue parti anche per le infrastrutture. Ulteriori sviluppi previsti dall'attività riguardano poi l'uso dello standard IFC anche per gli aspetti strutturali e di gestione dei manufatti esistenti.



## 6 Riconoscimenti

Il presente lavoro ha previsto la partecipazione degli autori al gruppo di lavoro di *IFC Bridge* promosso da buildingSMART Italia, tra i cui componenti si possono annoverare società di ingegneria, distributori software, enti gestori e università. Ringrazio in particolare la Società CSPFea S.C. per aver contribuito al finanziamento di una borsa di ricerca che ha previsto anche la partecipazione a tali attività.

## 7 Bibliografia

- Ashton H., Hou L. 2017. Bridge Asset Management: A digital approach to modelling asset information, in Thomas Kang (ed.) *Proceedings of the 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (ICCCBE 2018), Tampere, Finland, 5-7 June 2018, 1-8. Borrmann A., Amann J., Chipman T., Hyvärinen J., Liebich T., Muhič S., Mol L., Plume J., Scarponcini P. 2017. *IFC Infra Overall Architecture Project Documentation and Guideline*.
- Borrmann A., Muhic S., Hyvärinen J., Chipman T., Jaud S., Castaing C., Dumoulin C., Liebich T., Mol L. 2019. The *IFC-Bridge project – Extending the IFC standard to enable high-quality exchange of bridge information models*, 2019 European Conference on Computing in Construction, 377-386.
- buildingSMART International 2019 Version 4.2 bSI Draft Standard IFC Bridge proposed extension, [https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML](https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML)
- Castaing C., Borrmann A., Benning P., Dumoulin C., Chipman T., Hyvärinen J., Liebich T., Markič S., Mol L., Muhič S., Moon H., Myllymaki H., Suo N., Song S., Shanding A., Siming L., Zhang Y., Yabuki N., Zhao F. 2017. *IFC-Bridge Fast Track Project - Report WP1: Requirements analysis*.
- Castaing C., Borrmann A., Benning P., Dumoulin C., Chipman T., Hyvärinen J., Liebich T., Markič S., Mol L., Muhič S., Song S., Siming L., 2018. *IFC-Bridge Fast Track Project - Report WP2: Conceptual Model*.
- Construction Specifications Institute - CSI, *OmniClass Table 23*, 2012.
- Fanning B., Clevenger C. M., Ozbek M. E., Mahmoud H. 2014. Implementing BIM on Infrastructure: Comparison of two bridge construction projects. In *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Vol. 20, Issue 4.
- Floros G. S., Boyes G., Owens D., Elull C. 2019. Developing IFC for Infrastructure: a case study of three highway entities. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. IV-4/W8.
- Halfaway M.R., Hadipriono F.C., Duane J., Larew R. 2005. Development of model-based systems for integrated design of highway bridges, In *Proceedings of the International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Rome, Italy, 30 August–2 September 2005.
- Hira S. Bay 2013. *Bay Bridge Construction*, in [www.beyonddesign.typepad.com](http://www.beyonddesign.typepad.com)
- Jeong D. H., Le T. 2015. Interlinking life-cycle data spaces to support decision making in highway asset management, In *Automation in Construction*, Vol. 64: 54-64. Elsevier Science.
- Kolbe T.H. 2009. Representing and exchanging 3D city models with CityGML. In *3D Geo-Information Sciences*. Berlin/Heidelberg, Springer.
- Lee S.H., Jeong Y.S. 2006. A system integration framework through development of ISO 10303-based product model for steel bridges. In *Automation in Construction*, Vol. 15 (2): 212-228, Elsevier Science.
- McGuire B., Atadero R., Clevenger C., Ozbek M. Bridge 2016. Information Modeling for Inspection and Evaluation, In *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 21 (4).
- NBS, *UniClass II*, 2015.
- Paolacci F. 2019. *Corso di teoria e progetto di ponti*, Università Roma Tre.
- Park S.I., Park J., Kim B. G., Lee S. H. 2018. Improving Applicability for Information Model of an IFC-Based Steel Bridge in the Design Phase Using Functional Meanings of Bridge Components, In *Applied Sciences*, Vol. 8(12).
- Pietrangeli M.P. 1996. *Progettazione e costruzione di ponti. Con cenni di patologia e diagnostica delle opere esistenti*, Milano, Casa Editrice Ambrosiana.
- Shim C. S., Yun N. R., Song H.H. 2011. Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and construction of Bridges, In *Procedia Engineering*, Vol. 14: 95-99.
- Shim. C.S., Kang H., Dang N. S., Lee D. 2017. Development of BIM based bridge maintenance system for cable stayed bridges. In *Smart Structures Systems*, Vol. 20 (6): 697-708.





# Gestione geometrica ed informativa di facciate continue attraverso IFC e VPL

Giovanni Giudice

Università degli Studi di Padova, Padova, Italia

**ABSTRACT:** L'attività di ricerca qui proposta ha indagato ed individuato possibili scenari nella strutturazione delle classi IFC per lo scambio di modelli informativi di una facciata continua su misura del tipo a montanti e traversi. La produzione e l'installazione di questi sistemi sono legate a processi anche molto digitalizzati, ma che non possono vedere in IFC l'unico formato di scambio per tutte le informazioni necessarie alla produzione. L'indagine effettuata ha analizzato la fase precedente, ovvero quella del design di una facciata continua.

Il risultato è coinciso con la scrittura di un modello IFC di una facciata continua dove sono gestite in modo coordinato le informazioni riguardanti la geometria, l'identità e le proprietà dei vari elementi. Il tema dell'interoperabilità viene indagato rispetto alla capacità dei software di BIM authoring di importare e leggere correttamente le informazioni definite in un file IFC.

**KEYWORDS:** IFC, Interoperabilità, Curtain Wall, OpenBIM, GeometryGym.

## 1 Introduzione

Negli ultimi anni il tema dell'interoperabilità sta acquistando un ruolo sempre più importante nel mondo BIM (*Building Information Modeling*) e, più in generale, nell'industria AEC (*Architecture, Engineering and Construction*). Sempre più spesso nasce l'esigenza di scambiare le informazioni contenute all'interno di modelli informativi edilizi tra i vari attori che partecipano al processo di progettazione e realizzazione di un edificio. Oggigiorno, una proposta di interoperabilità è stata definita da buildingSMART che ha creato un modello di dati standardizzato per permettere lo scambio di informazioni tra i vari software. Questo standard prende il nome di *Industry Foundation Classes* (IFC) e rappresenta un formato di dati completo e standardizzato per lo scambio neutro tra i diversi software di BIM authoring all'interno dell'industria AEC (Borrmann et al. 2018).

Il tema dell'interoperabilità coinvolge tutti i settori dell'edilizia, compreso il settore delle facciate continue. I sistemi di facciata continua sono sistemi di rivestimento non strutturali per le pareti esterne degli edifici e la loro funzione principale è quella di separare e delimitare gli ambienti interni da quelli esterni (Opici 1990). Le facciate continue rappresentano dei sistemi complessi sia per la geometria, sia per il numero e la relazione dei loro sottocomponenti e, spesso, la loro definizione è banalizzata all'interno dei software di modellazione BIM. La progettazione esecutiva e costruttiva di facciate continue riguarda numerosi componenti tra loro interconnessi per funzioni e sono richiesti elevati requisiti di precisione in vista di una loro realizzazione ed installazione. A causa di questa complessità risulta difficile trattare questi aspetti in un unico software di BIM authoring.

L'obiettivo che ci si è posti con questa ricerca è l'individuazione del modo più efficiente possibile per integrare le informazioni della produzione all'interno di un modello BIM, in maniera tale da poter essere trasferite agli altri attori del processo. In quest'ottica la volontà di connettere il progetto definitivo con il progetto esecutivo in un unico elemento significa lavorare in VPL (*Visual Programming Language*) per controllare le informazioni geometriche e semantiche.

In particolare, è stata affrontata la modellazione geometrica ed informativa di una generica facciata continua a montanti e traversi. Il programma utilizzato per la modellazione tridimensionale è stato Grasshopper, un VPL all'interno di Rhinoceros; mentre il file IFC è stato scritto tramite il

plug-in GeometryGym in ambiente Grasshopper. Dal punto di vista geometrico ci si è occupati della definizione di uno script per la modellazione tridimensionale che vada bene per qualsiasi *wireframe* che rappresenti una facciata continua delle medesime caratteristiche costruttive all'interno di un dominio tecnologico-costruttivo. Dal punto di vista semantico, sempre attraverso uno script, ci si è occupati di strutturare un file IFC (entità, proprietà, relazioni) contenente alcune informazioni di una facciata continua. Nel concreto, lo scopo è stato quello di verificare la produzione di un modello BIM all'interno di un unico ambiente di sviluppo basato su un modellatore CAD ed associato ad una personalizzazione nella definizione semantica delle istanze prodotte.

Infine, è stata indagata l'interoperabilità con uno dei principali software di BIM authoring (Autodesk Revit), verificandone la capacità di importare e leggere correttamente le informazioni definite nel file IFC in uscita da Grasshopper-Rhinoceros: viene ipotizzato un sistema di valutazione di diverse soluzioni, sia in fase di esportazione da GeometryGym, che in fase di importazione in Revit, per creare geometrie ed elementi nativi di Revit attraverso GeometryGym in ambiente Grasshopper. Il flusso di lavoro utilizzato adottato in questa ricerca garantirebbe una maggiore efficienza nel processo di produzione aziendale, che risulterebbe più fluido grazie alla gestione geometrica di superfici NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*), garantendo un output valido internazionalmente. È stato scelto inoltre di indagare l'import del file IFC in Revit a causa dell'attuale situazione di mercato, che vede in Revit è uno dei software BIM authoring più utilizzati, spesso proposto come una sorta di *standard de facto*. Nonostante l'intento di mantenere un approccio OpenBIM, il diffuso utilizzo di Revit spesso obbliga ad individuare e proporre un processo che permetta da un lato la produzione di un file IFC più rispondente possibile all'organizzazione del prodotto facciata continua, dall'altro ad una sua corretta riproposizione in ambiente Revit.

## 2 Modellazione geometrica

La modellazione tridimensionale è stata svolta in Grasshopper a partire dalla definizione di una geometria di partenza rappresentante il *wireframe* della facciata continua, ovvero l'ossatura attraverso cui è definita la suddivisione della superficie in pannelli bidimensionali planari. Grazie ai comandi di Grasshopper è stato possibile scrivere uno script che produce automaticamente la geometria tridimensionale dei singoli elementi della facciata continua. Si tratta di avere la possibilità di duplicare il prodotto finale attraverso una serie di regole assegnate al *wireframe* di partenza, per poi creare i singoli elementi, stabilendo i valori dimensionali di progetto. Per valori dimensionali di progetto si intendono la definizione dei profili bidimensionali degli elementi, la distanza tra i vari elementi e, più in generale, tutte le informazioni geometriche riguardanti i singoli elementi relazionati tra loro che costituiscono il sistema facciata continua a montanti e traversi. Lo scopo di questo approccio è quello di ottenere una modellazione parametrica, attraverso la definizione di uno script attraverso cui è possibile:

- utilizzare come *input* di modellazione qualsiasi *wireframe* avente le medesime caratteristiche costruttive all'interno di un dominio tecnologico-costruttivo;
- modificare i valori dimensionali di progetto dei singoli elementi.

Questa ricerca, prescindendo dallo specifico strumento VPL utilizzato, ha permesso di descrivere le procedure logiche necessarie a generare una facciata continua a montanti e traversi, per poi valutarne l'attendibilità e coinvolgere diversi utenti nella sua correzione e miglioramento.

Gli elementi della facciata continua che sono stati modellati possono essere suddivisi tra elementi principali ed elementi secondari. Degli elementi principali fanno parte: montanti, traversi, pannelli vetrati, pannelli *spandrel* (aree opache), uncini di ancoraggio, sistemi di copertura dei traversi e sistemi isolanti. Degli elementi secondari fanno parte: guarnizioni dei pannelli, telaio dei pannelli, pressori e tutto il sistema di staffe presente nei solai che permette l'ancoraggio della facciata continua alla struttura portante dell'edificio.

I principali metodi utilizzati per la modellazione di questi elementi sono le operazioni di estrusione di un profilo lungo un asse e le operazioni booleane di intersezione, sottrazione ed unione

tra vari solidi. Invece, per quanto riguarda la definizione dei profili, in base alla complessità della geometria sono state scelte due strategie di modellazione diverse:

1. se la geometria è semplice, la strategia consiste nella definizione del profilo direttamente con i comandi di Grasshopper, come nel caso dei montanti e dei traversi;
2. quando la geometria diventa più complessa, la strategia consiste nella definizione del profilo in Rhinoceros, con sua conseguente importazione in ambiente Grasshopper.

Ovviamente nel primo caso si ha una totale parametrizzazione del profilo, mentre nel secondo caso il profilo viene referenziato manualmente ed ogni cambiamento progettuale implica una modifica manuale dello stesso. Tuttavia, la scelta di disegnare il profilo con i classici metodi CAD 2D è giustificata dal fatto che non ha senso appesantire lo *script* per il disegno di un profilo 2D più complesso. L'importazione del profilo complesso, rispetto al disegno del profilo con gli strumenti di Grasshopper, riduce notevolmente la complessità e la pesantezza dello script. Questo rende possibile la creazione di un abaco, esterno a Grasshopper, in cui vengono definiti vari profili 2D.

Un'altra differenza tra i due metodi è il modo in cui i profili sono stati posizionati ed orientati nello spazio. Per quanto riguarda i profili generati in Grasshopper, essi sono stati disegnati direttamente nella loro posizione di progetto ed orientati secondo il loro piano. Invece, i profili disegnati in Rhinoceros sono stati disegnati in un generico piano xy; Quindi, attraverso il comando Orient Direction di Grasshopper, sono stati rototraslati nello spazio per orientarne correttamente la geometria.

Nei software di BIM authoring, e più in generale in tutti i CAD 3D, sono utilizzati diversi metodi per rappresentare la geometria tridimensionale di un solido. Il metodo utilizzato da Grasshopper è la *Boundary Representation*. In particolare, l'output di modellazione tridimensionale corrisponde ad una *ClosedBrep*, in cui ogni elemento è rappresentato da almeno 6 superfici di chiusura. Lo script utilizzato per l'intera modellazione, come mostrato in fig. 1, è molto ampio e complesso. Il *canvas* (fig. 1) è organizzato nel seguente modo:

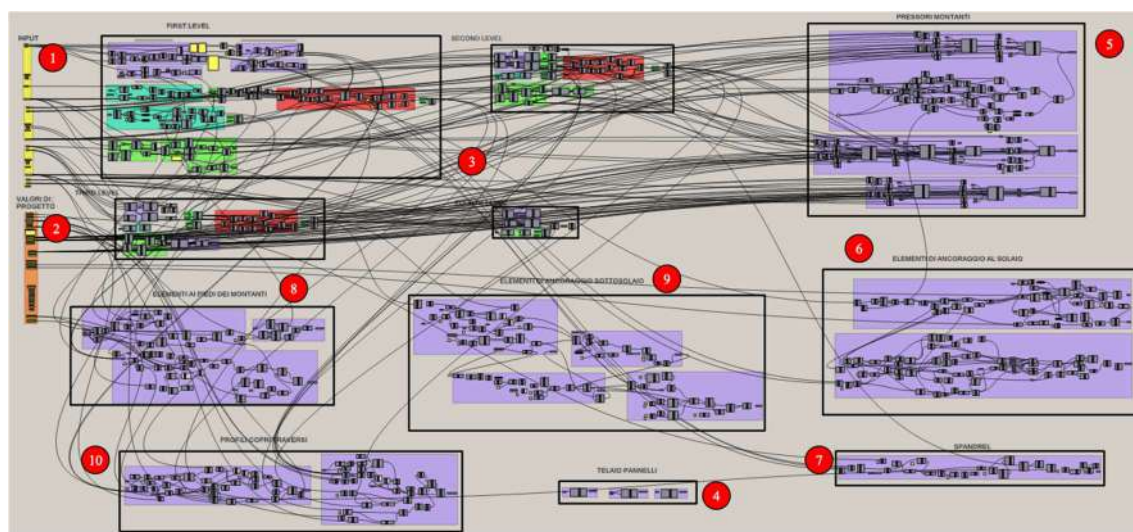


Fig. 1 - Script utilizzato per la modellazione tridimensionale della facciata continua.

1. input di modellazione;
2. valori di progetto;
3. comandi per la modellazione di montanti, traversi, pannelli e giunti di silicone di ogni livello;
4. comandi per la modellazione del telaio dei pannelli;
5. comandi per la modellazione del gruppo dei pressori dei montanti;
6. comandi per la modellazione degli uncini e delle staffe per l'ancoraggio al solaio intermedio;
7. comandi per la modellazione dei pannelli spandrelli;
8. comandi per la modellazione di sistemi di isolamento e staffe per ancoraggio al solaio al suolo;
9. comandi per la modellazione delle staffe e della trave per l'ancoraggio al solaio superiore;
10. comandi per la modellazione dei profili che coprono i traversi.

### 3 Gestione informativa del modello geometrico

L'IFC rappresenta uno *standard* internazionale di scambio di dati per l'industria AEC. Sviluppato da buildingSMART, l'IFC è un modello di dati aperto ed indipendente dal fornitore dello strumento software in uso, con il quale è possibile rappresentare le informazioni semantiche degli oggetti da costruzione, tra cui la geometria, le proprietà associate all'oggetto e le relazioni in essere con altri oggetti. Lo schema di dati IFC, definito nella norma ISO 16739-1:2018, si basa sul linguaggio e sui concetti di EXPRESS e di XML *Schema Definition Language*. Nel seguente lavoro è stata presa come riferimento la versione IFC4 ADD2 TC1.

#### 3.1 Classificazione IFC

Il modello di dati IFC permette di assegnare a ciascun componente della facciata continua, che si è deciso di modellare nell'ambiente di authoring, la corrispondente classe del sistema edilizio disponibile all'interno del dominio IFC. La classe IFC che descrive una facciata continua è *IfcCurtainWall*, per la quale lo standard riporta la seguente definizione: *"A curtain wall is an exterior wall of a building which is an assembly of components, hung from the edge of the floor/roof structure rather than bearing on a floor. Curtain wall is represented as a building element assembly and implemented as a subtype of IfcBuildingElement that uses an IfcRelAggregates relationship"*.

Inoltre, attraverso l'attributo *Predefined Type* di ciascuna classe è possibile specializzare ulteriormente una classe IFC già definita all'interno dello *standard*. Si tratta di uno strumento molto interessante in quanto permette di tipizzare ulteriormente le classi IFC e, nella fattispecie, i diversi componenti della facciata continua. Ad esempio la classe che descrive i pannelli di riempimento della facciata continua è *IfcPlate* ed, attraverso gli enumerativi *CURTAIN\_PANEL* e *SHEET*, è stato possibile differenziare rispettivamente i pannelli vetrati da quelli opachi. In questo caso si tratta di due valori dei cosiddetti "tipi enumerativi" (Enumeration Types) già definiti da buildingSMART: nel caso in cui non dovesse essere presente un tipo enumerativo idoneo definito dalla norma stessa, è possibile specificare un tipo enumerativo definito dall'utente, compilando l'attributo *PredefinedType* attraverso il tipo *USERDEFINED* e specificando il tipo specifico all'attributo *ObjectType/ElementType*.

In questa attività di ricerca si è scelto di optare per una tecnica semplificata di definizione del tipo *USERDEFINED*, compilando l'attributo *PredefinedType* riportando il tipo definito dall'utente preceduto dal suffisso "USERDEFINED." Ad esempio, fra gli elementi mappati attraverso la classe *IfcMember* è stato possibile differenziare gli elementi verticali (montanti) da quelli orizzontali (traversi): gli enumerativi utilizzati sono stati rispettivamente *MULLION* e *USERDEFINED.TRANSOM*. Viene riportata in tab. 1 la classificazione IFC utilizzata per i vari componenti della facciata continua a montanti e traversi oggetto del presente caso studio. Da qui in avanti, la definizione della classe IFC e del tipo predefinito IFC associato ad un oggetto verrà dichiarata nella forma "ClasseIFC.TipoPredefinitoIFC".

Elemento	Classe IFC	Tipo predefinito IFC
Facciata Continua	<i>IfcCurtainWall</i>	
Montanti	<i>IfcMember</i>	<i>MULLION</i>
Traversi	<i>IfcMember</i>	<i>USERDEFINED.TRANSOM</i>
Pannelli Vetrati	<i>IfcPlate</i>	<i>CURTAIN_PANEL</i>
Pannelli Opachi	<i>IfcPlate</i>	<i>SHEET</i>
Sistemi Isolanti	<i>IfcBuildingElementPart</i>	<i>INSULATION</i>
Pressori	<i>IfcBuildingElementPart</i>	<i>USERDEFINED.GASKETS</i>
Uncini	<i>IfcDiscreteAccessory</i>	<i>BRACKET</i>
Giunti di Silicone	<i>IfcBuildingElementPart</i>	<i>USERDEFINED.GASKETS</i>
Telaio dei Pannelli	<i>IfcBuildingElementPart</i>	<i>USERDEFINED.FRAME</i>
Profili di Copertura dei Traversi	<i>IfcCovering</i>	<i>USERDEFINED.technical_closure</i>
Staffe	<i>IfcDiscreteAccessory</i>	<i>ANCHOR_PLATE</i>
Lamiera Forata	<i>IfcDiscreteAccessory</i>	<i>USERDEFINED.SHEET</i>
Trave sotto-solaio	<i>IfcBeam</i>	

Tab. 1 - Classificazione IFC di una facciata continua.



### 3.2 Strutturazione del modello IFC

Un aspetto fondamentale del modello di dati IFC è il modo in cui le varie classi si relazionano tra di loro. Affinché le informazioni siano collegate correttamente tra loro, è necessario definire la struttura spaziale di riferimento del file IFC. Con questo lavoro è stato possibile verificare come strutturare nel miglior modo possibile l'informazione spaziale di una facciata continua attraverso un elemento *IfcBuilding.PARTIAL* a cui è collegato *IfcCurtainWall* attraverso la classe di relazione *IfcRelContainedInSpatialStructure*. Con questa relazione è stato scelto di far corrispondere ogni facciata continua ad una porzione di edificio. L'elemento *IfcBuilding.PARTIAL*, attraverso la classe di relazione *IfcRelAggregates*, si relaziona con l'elemento *IfcBuilding.COMPLEX* che a sua volta si relaziona con *IfcSite*, che infine si relaziona con *IfcProject*. In questo caso la dicitura “.PARTIAL” e “.COMPLEX” indicano due valori del tipo di enumerativo disponibile per l'attributo *CompositionType* della classe *IfcBuilding*, attraverso cui è possibile definire l'edificio come un'aggregazione delle sue parti verticali.

Come riportato nella definizione di buildingSMART, una facciata continua è rappresentata dall'aggregazione, tramite la classe di relazione *IfcRelAggregates*, dei suoi componenti e la sua rappresentazione geometrica è data dalla rappresentazione geometrica degli elementi che la compongono. La nidificazione degli elementi in un *IfcCurtainWall* è stata fatta distinguendo gli elementi principali da quelli secondari e tenendo in considerazione come essi si relazionano tra di loro nella costruzione di una facciata continua.

Gli elementi relazionati in *IfcCurtainWall* sono:

- *IfcBuildingElementPart.INSULATION*;
- *IfcCurtainWall*: in questo caso è stato scelto di utilizzare un altro *IfcCurtainWall* che, non avendo una propria rappresentazione geometrica, rappresenta un contenitore vuoto per ospitare tutto il sistema che costituisce i pannelli. La sua funzione è quella di essere un *placeholder* per gli elementi che costituiscono il sistema di pannellatura, definito a sua volta dagli elementi *IfcPlate*, *IfcBuildingElementPart.USERDEFINED.GASKETS* e *IfcBuildingElementPart.USERDEFINED.FRAME*;
- *IfcCovering.USERDEFINED.technical\_CLOSURE*;
- *IfcMember.USERDEFINED.TRANSOM*;
- *IfcMember.MULLION*: ai montanti, invece, è stato scelto di associare il gruppo dei pressori e gli uncini. Questa scelta è dettata anche da motivi geometrici: trattandosi appunto di una geometria molto complessa, ogni elemento è diverso dagli altri e la superficie dell'uncino che si innesta sul montante, ad esempio, è diversa da montante a montante. Quindi, strutturando le classi in questo modo, ad ogni montante corrisponde il proprio pressore ed il proprio uncino, definiti rispettivamente dalle classi *IfcBuildingElementPart.USERDEFINED.GASKETS* e *IfcDiscreteAccessory.BRACKET*.

Gli elementi di ancoraggio, come i canali di ancoraggio annegati nei solai, non fanno parte della composizione di una facciata continua, ma, appunto, sono elementi che vengono fissati nei solai. Questi elementi si relazionano con gli uncini della facciata continua e ne permettono l'ancoraggio alla struttura portante dell'edificio. Quindi, in seguito a questi ragionamenti, è stato deciso di istanziare tanti *IfcBuildingStorey* quanti sono i livelli che interessano la facciata continua. Così facendo è stato possibile relazionare, tramite la classe di relazione *IfcRelContainedInSpatialStructure*, tutti gli elementi di ancoraggio al proprio livello di appartenenza. Gli elementi associati a *IfcBuildingStorey* sono: *IfcDiscreteAccessory.ANCHOR\_PLATE*, *IfcDiscreteAccessory.USERDEFINED.SHEET* e *IfcBeam*.

Inoltre, la relazione tra solai ed elementi è stata ulteriormente evidenziata inserendo in queste classi, tramite l'attributo *Description*, il GUID (*Globally Unique Identifier*) degli *IfcSlab* di appartenenza. Poiché in un file IFC di una facciata continua non vengono inseriti i solai, è stato scelto di mostrare i solai, non dal punto di vista informativo e geometrico con un *IfcSlab*, ma inserendo come riferimento descrittivo il GUID di ogni *IfcSlab*, proveniente dal file IFC che include i solai.

Uncini e staffe, quindi, sono relazionati rispettivamente ad *IfcCurtainWall* ed *IfcBuildingStorey*. Nonostante ciò, si tratta di elementi che sia dal punto di vista pratico, che da quello teorico si relazionano tanto fra di loro: le staffe, annegate nei solai, non fanno parte della composizione di una facciata continua, ma appunto, sono elementi che vengono fissati nei solai; questi elementi si relazionano con gli uncini della facciata continua e ne permettono l'ancoraggio alla struttura portante dell'edificio. Per questo motivo la classe *IfcDiscreteAccessory* è stata associata solo agli elementi che si occupano dell'ancoraggio della facciata continua ai solai.

In sintesi, è stata utilizzata la seguente strutturazione delle informazioni, poiché rispecchia la struttura con cui i produttori di facciate continue intendono il loro prodotto.

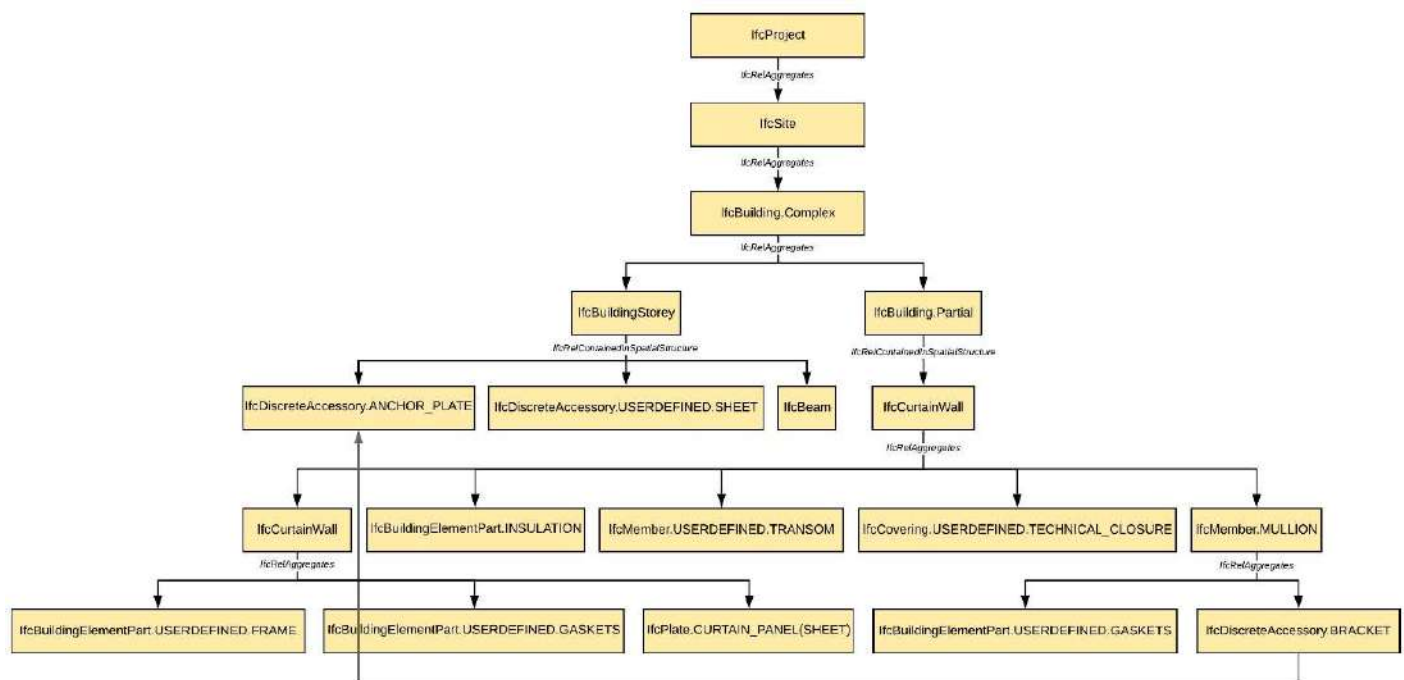


Fig. 2 - Struttura IFC completa di *IfcCurtainWall*.

### 3.3 Scrittura del file IFC con GeometryGym

Il file IFC della facciata continua è stato scritto attraverso l'utilizzo del plug-in GeometryGym in ambiente Grasshopper. Si tratta di un plug-in a pagamento, sviluppato da Jon Mirtschin, che fornisce ai principali software di BIM authoring degli strumenti basati su openBIM per la realizzazione di un flusso di lavoro continuo.

Attraverso GeometryGym è possibile scrivere un file IFC utilizzando i comandi e le impostazioni di un VPL come Grasshopper. All'interno del plugin, i comandi del menu GeometryGymIFC permettono di definire le varie classi IFC relazionandole tra loro e rappresentano un'applicazione pratica della teoria IFC definita da buildingSMART. È possibile, dunque, definire la struttura spaziale di riferimento, le classi IFC, le relative proprietà e le relazioni che intercorrono tra esse.

Ad esempio, in fig. 3, sono riportati i comandi utilizzati per la definizione di *IfcPlate*. La classe IFC è stata definita con il comando *ggIFC Element*. Affinché funzioni correttamente, bisogna specificare un *host* ed un *type*: il primo indica la classe in cui viene nidificato l'elemento in questione, mentre il secondo serve per specificare la classe IFC dello stesso elemento. Il *type* include tutte le sottoclassi di *IfcProduct* e, quindi, questo strumento riesce a coprire la maggior parte delle entità IFC. Dal *panel* presente nello script si nota che nel *type* è possibile anche specificare il tipo enumerativo della classe IFC (attributo *Predefined Type*).

Sempre tra gli input di *ggIFC Element*, è possibile specificare *IfcRepresentationItem* e *IfcMaterial*. Attraverso *IfcRepresentationItem* viene definita la geometria della classe: è possibile, dunque, specificare la geometria, definita in Grasshopper, in una classe IFC che si occupa della rappresentazione geometrica, come ad esempio *IfcFacetedBrep*, o, più in generale, *IfcSolidModel*, grazie ai



comandi *ggIFC Faceted Brep* e *ggIFC Solid Model*. Per il materiale, invece, è stato usato il comando *ggIFC Material*. Questo procedimento è stato utilizzato per qualificare tutti gli elementi della facciata continua.

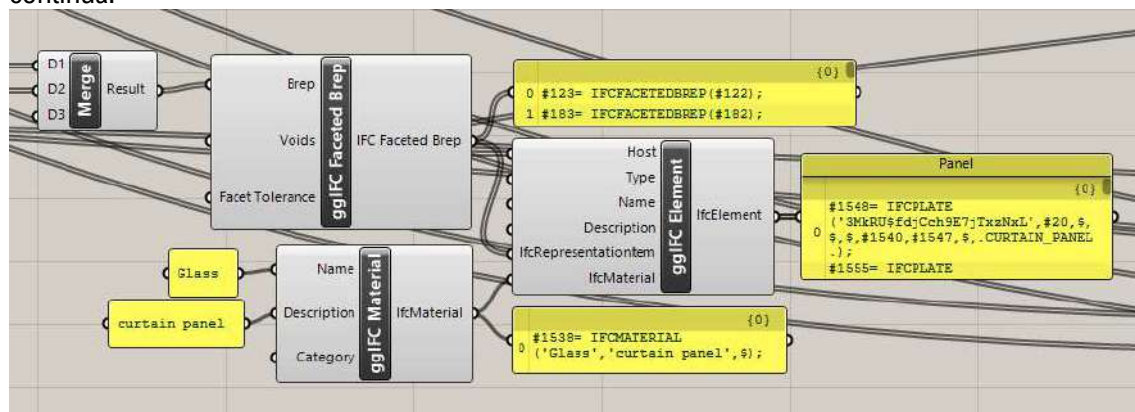


Fig. 3 - Script utilizzato per la definizione delle classi IFC.

Naturalmente, attraverso gli strumenti di *ggIFC Elements* è possibile definire sia le classi IFC “di tipo” (es. *IfcCurtainWallType*) che quelle “di istanza” (es. *IfcCurtainWall*). Il tipo di un elemento viene definito attraverso il comando *ggIFC ElementType*, con cui viene specificata la classe, la geometria ed il materiale, rispettivamente grazie agli input *type*, *IfcRepresentationMap* e *IfcMaterial*. La specifica istanza di elemento, invece, viene definita con il comando *ggIFC Create Element*, che si relaziona con il rispettivo tipo mediante l'attributo *IfcProductType*. Così facendo tutte le informazioni vengono gestite a livello di tipo e l'istanza si occupa solo del posizionamento della geometria attraverso l'input *Location*. Purtroppo, nel presente caso studio, a causa della complessità della geometria si sarebbe dovuto creare un tipo per ogni elemento, quindi è stato deciso di gestire direttamente tutte le informazioni a livello di istanza.

In questo modo è stata definita la classificazione e la struttura IFC della facciata continua a montanti e traversi. Attraverso il comando *ggIFC BaketoFile* è possibile esportare il file IFC nella versione IFC2x3 e nella versione IFC4.

#### 4 Importazione in Revit

Il passo successivo consiste nell'analisi dell'importazione del file IFC della facciata continua all'interno di Revit. Questa scelta è dettata dal fatto che spesso, nella pratica, è necessario un flusso di lavoro di trasferimento dati da una piattaforma all'altra: capita spesso di scambiare i file in formato IFC che successivamente vengono aperti all'interno di applicazioni proprietarie distinte. Quando viene importato un file IFC in Revit, ciò che il software fa è trasformare ciascun elemento del file IFC in un oggetto di Revit. Lo scopo dell'attività svolta, quindi, è stato verificare qualesia la qualità della lettura di Revit di un file IFC per le facciate continue, analizzando cosa venga importato e cosa no, come vengano tradotte le classi IFC e come venga letta la struttura IFC.

Le prove di importazione del modello IFC in Revit sono state eseguite prendendo in considerazione diverse variabili che qualificano il risultato della prova stessa. In particolare, per comprendere meglio come Revit importi un file IFC, sono state fatte 48 prove di importazione in cui sono state prese in considerazione: 4 diverse modalità di strutturazione delle informazioni (3 livelli di nidificazione, 2 livelli di nidificazione, 1 livello di nidificazione, 0 livelli di nidificazione), 2 diversi metodi di rappresentazione della geometria (*FacetedBrep* e *SolidModel*), 2 versioni del file IFC (IFC2x3 *Coordination View* e IFC4 *Reference View*), 2 importer diversi (*importer* di Revit ed *importer* di GeometryGym) e 2 diverse mappature delle classi (mappatura standard di Revit e mappatura *custom* definita dall'utente). In ragione del gran numero di prove eseguite, è risultato doveroso analizzare e valutare ogni singola prova per evidenziarne i vantaggi e gli svantaggi. Quindi, il primo passo di questa scelta coincide con la decisione di un metodo valutativo, in base a determinati parametri (vedi tab. 2), per l'analisi delle varie prove. A ciascun parametro, in base al grado di importanza, è

stato attribuito un peso ed è stato calcolato il punteggio di ciascuna prova in un *range* che va da 0 a 100.

Macro parametro	Parametro	Peso
Peso file	File IFC	0.5
	File RVT	0.5
Qualità delle informazioni	Mappatura classi	1.5
	Struttura	1.5
	Geometria	1
Quantità delle informazioni (sono state valutate quante informazioni relative a proprietà e materiali vengono mappate correttamente)	Proprietà	1.5
	Materiali	1
Modificabilità in ambiente Revit	Modificabilità famiglie	1.5
	Istanziamento famiglie (possibilità di poter creare altre istanze di quella determinata famiglia)	0.5
Usabilità	Tempo di importazione	0.5
<b>Totale</b>		<b>10</b>

Tab. 2 - Definizione dei pesi dei parametri.

Valgono le seguenti considerazioni:

- la struttura del file IFC influenza la mappatura delle classi: ad esempio, considerando la struttura con tre livelli di nidificazione, *IfcCurtainWall* non viene mappato come *Curtain System* ma bensì come *Wall*: questo condiziona la mappatura delle classi nidificate al suo interno, come ad esempio *IfcMember*, che non vengono mappate come *Curtain Wall Mullions*, ma bensì come *Structural Framing*;
- più la struttura non è nidificata più la mappatura delle classi è corretta: ad esempio, se viene utilizzata la struttura con 0 livelli di nidificazione la mappatura delle classi in Revit è corretta;
- le rappresentazioni geometriche per *Faceted Brep* sono lette da Revit come un insieme di linee corrispondenti;
- l'*importer* di GeometryGym non riconosce la struttura del file IFC: tutti gli elementi sono selezionabili direttamente senza ricorrere all'uso del comando *edit family*;
- sono importati soltanto i materiali di *Structural Framing*;
- le proprietà, con i rispettivi valori, sono importate correttamente se si utilizza l'*importer* di Revit;
- le prove effettuate con l'*importer* di Revit hanno tempi notevolmente inferiori rispetto alle prove effettuate con l'*importer* di GeometryGym.

## 5 Conclusioni

Il progetto di ricerca presentato mira alla strutturazione accurata delle classi IFC per gestire lo scambio di modelli informativi di una facciata continua a montanti e traversi. Le facciate continue sono elementi articolati e complessi e sono costituite da numerosi sottoassiemi e componenti, ciascuno dei quali ha una propria rappresentazione geometrica ed una propria identità.

Uno dei risultati ottenuto consiste nello script definito in Grasshopper, attraverso il quale è possibile modellare tridimensionalmente la geometria di qualsiasi *wireframe* rappresentante una facciata continua avente caratteristiche costruttive simili. In questo modo è possibile replicare lo script per aree simili del progetto in cui ogni prospetto principale rappresenta una facciata continua. Successivamente, è stato verificato che attraverso *GeometryGym* è possibile definire in maniera concreta e dettagliata un file IFC (classi, geometrie, relazioni): i suoi comandi ricoprono quasi tutto lo schema di dati IFC definito da buildingSMART. Ne consegue che vi è la possibilità di gestire in un unico ambiente la complessità geometrica ed informativa dei vari componenti che è stato deciso di modellare nell'ambiente *authoring*. Così facendo è stato possibile definire una proposta di caratterizzazione di una facciata continua maggiormente aderente al modello di dati, sfruttando le potenzialità di Grasshopper per la modellazione tridimensionale e la gestione dei dati.

Purtroppo, ad oggi è ancora da migliorare la capacità di Revit di recepire un file IFC, mappando in ingresso le classi e gli attributi dello standard nell'ambiente di modellazione proprietario, in quanto l'esito delle varie prove di importazione mette in discussione la classificazione e la strutturazione del file IFC preliminarmente definito.

## 6 Riconoscimenti

Il lavoro illustrato nel seguente articolo è tratto dalla mia esperienza di tesi nella facoltà di Ingegneria Edile - Architettura presso l'Università degli Studi di Padova. In particolare, la tesi è stata svolta insieme al prof. Andrea Giordano (relatore), all'ing. Paolo Borin (correlatore) ed in collaborazione con l'azienda Permasteelisa S.p.A.

## 7 Bibliografia

Borrmann A., König M., Koch C. 2018, *Building Information Modeling - Technology Foundations and Industry Practice*, Springer International Publishing.  
Opici, M.A. 1990, *Facciate Continue: Una Monografia*, Milano: Tecnomedia.



# Un Maintenance Management Model per la governance dei patrimoni immobiliari

Massimo Lauria, Maria Azzalin, Tommaso Melchini

Dipartimento dArTe, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria, Italia

**ABSTRACT:** La reingegnerizzazione dei processi, l'integrazione delle attività-funzioni, l'utilizzo di sistemi informativi fondati su architetture di rete e data-base relazionali che consentono la condivisione delle informazioni tra gli operatori coinvolti nel ciclo di vita degli edifici e tra questi e gli utenti finali, rappresentano i caratteri connotanti il *Maintenance Management Model*: un'infrastruttura *Information Communication Technology* (ICT) di rete per la governance innovativa dei patrimoni immobiliari proposta da BIG srl, Spin-off Accademico in collaborazione con i propri partner industriali e attualmente in fase di implementazione e sperimentazione. Strutturato attraverso un *Information Modeling Asset* (AIM) basato su standard aperti IFC e sulla progressiva introduzione di specifiche dei dati COBie, il *Maintenance Management Model* mette altresì in valore le potenzialità dell'*Internet of Things* in associazione ai sistemi di domotica e di *Building Automation* consentendo il controllo, la rilevazione e il monitoraggio delle prestazioni in uso di edifici e parti costituenti, introducendo innumerevoli opportunità tecniche, gestionali ed economiche.

**KEYWORDS:** OpenData, Building Information Modeling, IFC, COBie, manutenzione edilizia.

## 1 Introduzione

BIG srl è uno spinoff dell'Università *Mediterranea* di Reggio Calabria, nonché impresa iscritta nell'elenco delle *Startup* innovative. Opera nel campo dell'innovazione tecnologica in linea con le indicazioni operative di Agenda Digitale, Industria 4.0, Agenda 2030, utilizzando le potenzialità dell'*Information Communication Technology* (ICT).

BIG srl fornisce servizi integrati innovativi a carattere tecnico-scientifico e ad alto valore tecnologico orientati al mercato delle costruzioni e, in particolare, a quello della gestione e manutenzione edilizia, sviluppando in tali ambiti azioni di *research and development*. Tra gli elementi di innovazione che ne contraddistinguono le azioni vi è la sperimentazione di un sistema di *governance* dei patrimoni immobiliari basato sulla costruzione di una infrastruttura ICT di rete, il *Maintenance Management Model*, e sullo sviluppo di processi innovativi di condivisione delle informazioni (*open data* e *web semantico*). Azioni che rispondono ad un bisogno primario del comparto e della ricerca di settore: incrementare l'efficacia, l'efficienza, la circolazione delle informazioni e la comunicazione tra gli operatori coinvolti nelle prassi attuative della gestione e, tra questi, e gli utenti finali. Le connesse esigenze di approcci multidisciplinari e di grande disponibilità di dati strutturati, fanno emergere la centralità delle relazioni *machine friendly* e interconnesse che si modellano intorno a sistemi e dispositivi che svolgono attività e/o forniscono servizi, raccolgono e/o restituiscono dati, scambiano informazioni all'interno di una rete.

«Siamo testimoni di una migrazione epocale e senza precedenti dell'umanità dallo spazio fisico newtoniano al nuovo ambiente dell'Infosfera, la cui essenza è l'informazione». (Floridi, 2012)

Un passaggio-trasformazione che ha di fatto, già modificato non solo il modo di essere, di relazionarsi, di agire, ma anche i rapporti uomo-uomo, uomo-macchina, uomo-ambiente. Tutti rapporti che si esplicano nelle quotidiane azioni dell'abitare, del muoversi, del lavorare e del produrre. Si tratta di un processo complesso e articolato, nell'ambito del quale il riferimento sempre più frequente a espressioni come *open Application Programming Interface* (*open API*), *web se-*

mantico, protocolli di comunicazione, ecc., evidenzia quanto il dato inizi a configurarsi come oggetto con un proprio valore, rispetto al cui uso e disponibilità vanno affermandosi questioni non più solo tecniche di affidabilità, ma anche di ordine etico, di *privacy*, di proprietà. Ed è proprio, anzi soprattutto, nel settore delle costruzioni che le sfide per il futuro attengono, non tanto e non solo, all'affermazione di una cultura digitale, sebbene questo risulti comunque un aspetto rilevante, quanto, e in maniera sempre più evidente, alla complessità connessa ai dati disponibili e al loro uso secondo un approccio *Data Drivenness*, da utilizzarsi nell'ambito dei processi decisionali delle filiere attuarie, in generale, e di gestione, in particolare. (WEF, 2018)

## 2 Background

La gestione di un edificio abbina all'agire progettuale i termini costi, efficienza, manutenibilità, sostenibilità. Temi che fanno riferimento e si inquadrano, sia a livello internazionale che a livello nazionale, in numerose azioni di indirizzo normativo, ricerche scientifiche, trend di mercato.

Nel corso degli anni la Manutenzione si è evoluta attraverso il passaggio da un approccio operativo, inteso come insieme di attività necessarie a «correggere e a mantenere le condizioni di funzionamento di un bene» (Molinari, 1989), ad un processo, prima ingegneristico e, successivamente, proattivo, basato sui principi e le prassi della manutenzione predittiva, (Cattaneo, 2012) giungendo infine all'affermazione delle teorie dell'*Asset Management*. (Lee et al. 2014)

Ancora oggi, tuttavia, l'applicazione diffusa di dette teorie stenta ad affermarsi come prassi, in aggiunta, i sistemi informativi, utilizzati, in genere, in questo specifico ambito disciplinare e operativo - *Computerized Maintenance Management System* e *Computer Aided Facility Management* (CMMS & CAFM), *Electronic Document Management Systems* (EDMS), *Building Automation Systems* (BAS) - risultano ancora non pienamente rispondenti alle esigenze del comparto. A questo gap corrispondono inefficienze, processi disconnessi e disfunzioni. (Becerik-Gerber et al. 2012)

Emergono, con sempre maggiore incisività, questioni connesse alla necessità di gestire modelli numerici strutturati relativi tanto a dati prestazionali e di funzionamento, quanto ad aspetti comportamentali, esperienziali riferiti agli *end user*, al loro benessere e al livello di soddisfazione.

In questo senso, le tecnologie digitali in abbinamento alla Domotica e ai *Building Automation Control Systems* (BACS), applicate al settore delle costruzioni e, più in dettaglio, alle attività di gestione aprono, di fatto, a innovati paradigmi e nuove opportunità connesse ai già richiamati approcci predittivi alla manutenzione. Ciò grazie alle aumentate capacità di acquisire informazioni, attraverso il *monitoring conditions*, di analizzarle, interpretarle, visualizzarle *real time*.

In una prospettiva che ricerca il più opportuno bilanciamento tra i tre principali fattori della gestione di un bene, costo-prestazione-rischio, si vanno dunque affermando nuovi portati informativi. Processi innovativi di condivisione delle informazioni e di definizione e verifica continua dei requisiti operativi. (BSRIA 2009)

Diversi paesi, nell'accogliere tali orientamenti, hanno introdotto e prescritto strumenti di interoperabilità basati su standard aperti *Industrial Foundation Classes* (IFC – ISO 16739:2018), indirizzando altresì, in alcuni casi, la progressiva sperimentazione di specifiche dei dati *Construction Operations Building information exchange* (COBie - NBIMS-US-V3.4:2015) da utilizzarsi come formati e modalità di scambio di informazioni tra le fasi di consegna del progetto e la fase d'uso dell'edificio. (Kassem et al. 2013 e Kassem et al. 2015)

Nell'ambito delle politiche descritte, il Regno Unito, tra i primi promotori di specifiche azioni normative sul tema, ha definito una serie di norme di riferimento relative all'applicazione delle metodologie di interoperabilità BIM in tutte le principali fasi del ciclo di vita di una costruzione: dalla fase di progettazione a quella di costruzione e, successivamente, di gestione.

Tra queste, fondamentali, la norma BS 1192:2007 e le PAS 1192-2:2013, PAS 1192-3:2014, BS 1192-4:2014, PAS 1192-5:2015. Tale quadro normativo confluisce in parte oggi nelle norme della serie ISO 19650 che, nel sostituire lo standard BS 1192:2007 e la PAS 1192-2:2013, ne recepisce, implementandoli, gli input, insieme a quelli derivanti dalla PAS 1192-3.



In particolare, con riferimento specifico alle questioni manutentive e di gestione, rimane ancora valido, sia pure risultando attualmente in revisione, lo standard BS 1192-4:2014, norma specifica sul COBie, mentre la PAS 1192-3:2014, che disciplinava l'utilizzo del BIM nelle fasi di gestione della costruzione risulta sostituita dalla BS EN ISO19650-3:2020. Sempre nel contesto inglese, importante per le connessioni con le norme citate, è lo standard BS 8544:2013 relativo ai costi del ciclo di vita riferiti anche alla fase di gestione e manutenzione degli edifici. Analogamente, anche la serie ISO 15686-4:2014 nell'interpretare gli aspetti applicativi dell'interoperabilità, introduce modalità di acquisizione e gestione delle informazioni basate su standard *openBIM*.

Il background sinteticamente introdotto relativo alla questione della disponibilità di dati strutturati sulla base di standard aperti, IFC e COBie, la diffusione delle metodologie BIM, l'adeguamento dei sistemi di legacy e, in particolare, i richiami al loro utilizzo per il Facility Management e nelle applicazioni per la gestione dei processi di *Operations & Maintenance* (O&M) ai fini della pianificazione della vita utile, rappresentano la frontiera delle nuove sfide della ricerca e della normazione (Maxwell, 2005), e costituiscono peraltro i presupposti da cui partono le azioni di *research and development* di BIG srl e l'*upgrading* del *Maintenance Management Model*.

### 3 Il *Maintenance Management Model*

Il *Maintenance Management Model* nasce nella sua forma prodromica nel 2015 dalla ricerca di Dottorato "Il Building Information Modeling (BIM). Innovazione dei processi progettuali, realizzativi e gestionali nella governance del patrimonio residenziale pubblico" elaborata e discussa presso la *Mediterranea* di Reggio Calabria. (Melchini, 2015)

Nel 2016 si costituisce una aggregazione di ricercatori che ne avviano un percorso di affinamento, la cui proposta risulta tra i sette progetti vincitori di "Coopstartup Calabria Ricomincio da T(r)E", contest promosso da Legacoop e Regione Calabria e finalista di "Startup Calabria"; ottenendo inoltre il premio speciale nella categoria City che le ha consentito l'accesso alla finale nazionale di "Startup Europe Awards".

Nel 2017 il gruppo costituito dai sei futuri *founders* di BIG srl, tra cui gli autori del paper che lavorano da tempo in ambito scientifico e accademico sui temi introdotti (Lauria et al., 2019, Azzalin, 2020), elabora un dettagliato progetto di sviluppo aziendale, coinvolgendo, quali partner industriali ACCA Software SpA e BimCo Società Cooperativa.

Nel 2018 si costituisce formalmente lo Spin-off Accademico BIG, *Building Innovative Governance* srl che nel 2019 vince il "Premio Innovazione" della Camera di Commercio di Reggio Calabria, e ottiene un finanziamento da parte della Regione Calabria a valere sull'avviso pubblico di selezione POR Calabria FESR 2014/2020 Azione 1.4.1 "Sostegno alla creazione di microimprese innovative Startup e Spin-off della ricerca".

L'architettura del *Maintenance Management Model* (fig. 1) basa la sua operatività su piattaforma collaborativa *Platform As A Service* (PAAS) aperta, accessibile, fruibile online dai e tra i diversi operatori (proprietari, gestori, amministratori, utenti, imprese, tecnici e professionisti). Questa consente la gestione di modelli openBIM di ogni disciplina (architettura, impianti, energia, strutture, cantiere e manutenzione) in un unico ambiente di condivisione *Common Data Environment* (CDE). Un *Cloud computing e storage* appositamente dedicato, rende disponibili memorie di massa per l'archiviazione e la contestuale gestione dei modelli BIM.

La disponibilità di un doppio digitale dell'edificio in formato BIM consente, in associazione all'*Internet of Things*:

- il monitoraggio delle prestazioni in uso e l'acquisizione e registrazione real time dei dati mediante connessione a sistemi di Domotica e *Building Automation Control Systems* (BACS);
- la visualizzazione del modello digitale tridimensionale per l'attivazione di percorsi di navigazione guidata e/o personalizzata specificatamente dedicati, funzionali, altresì, alla localizzazione e indicazione del grado di severità delle segnalazioni di guasto attive;
- query e segnalazioni specifiche dell'utenza.

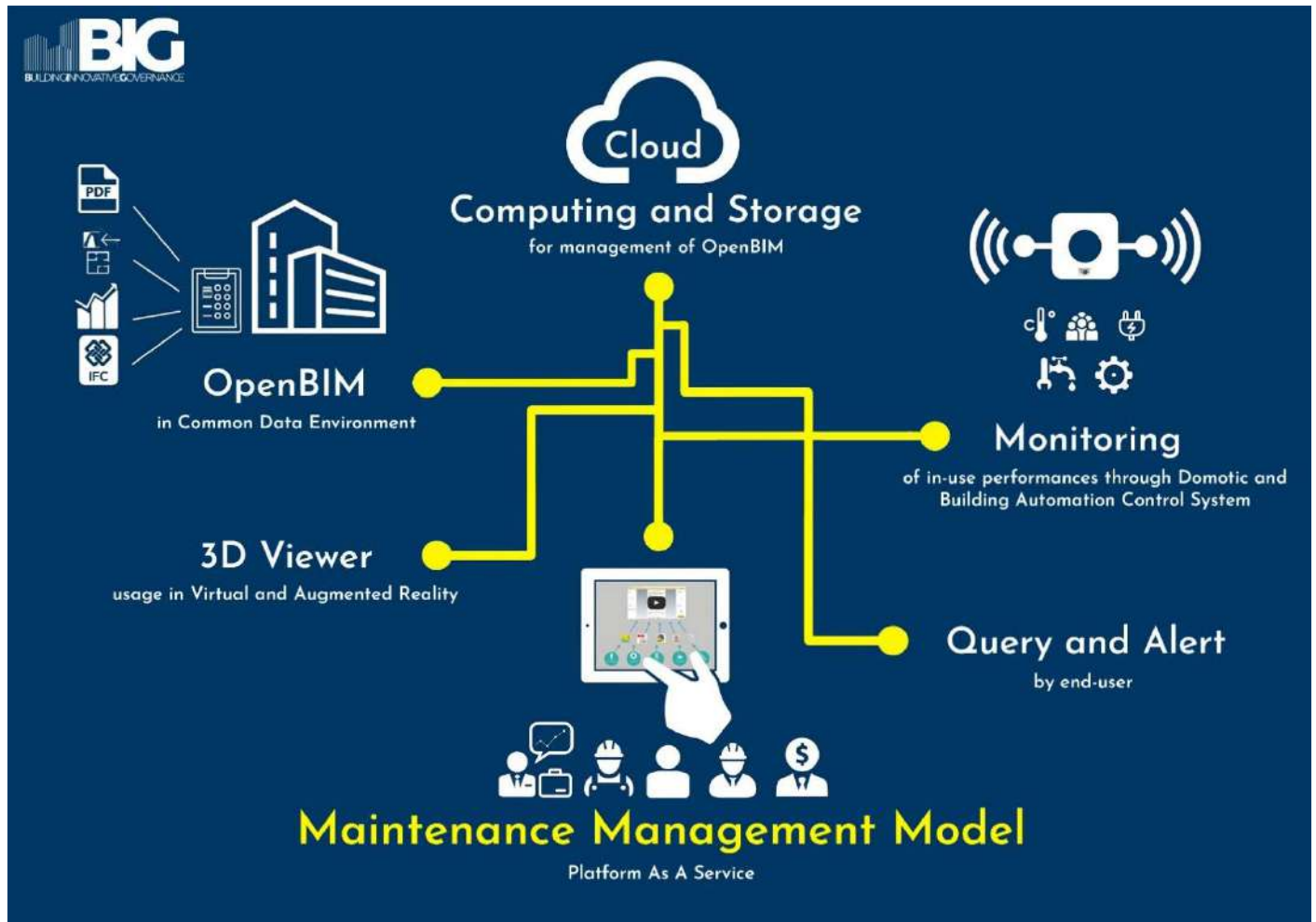


Fig. 1 - L'architettura del *Maintenance Management Model*.

Sul piano tecnico, il poter disporre di tutta la documentazione, informativa e di gestione amministrativa relativa all'immobile/i opportunamente raccolta e sistematizzata in dossier digitali, associati, sul piano informativo, a modelli OpenBIM, consentirà, attraverso un sistema integrato di database alfanumerici e grafici, strutturati secondo un *Information Modeling Asset*, AIM (ISO 19650-1:2018), la gestione contemporanea e sempre aggiornata di dati complessi relativi a questioni di localizzazione, sicurezza, accessibilità, condizioni di occupazione e d'uso, fruibilità degli spazi, funzionamento di parti e componenti, loro stato di manutenzione.

#### 4 *Upgrading e sperimentazione del Maintenance Management Model*

Alla base dei processi di implementazione del *Maintenance Management Model* vi è lo studio delle interazioni tra IFC e COBie e la definizione di un registro delle attività di gestione basato sull'utilizzo della metodologia introdotta dalla ISO 29481-1:2010.

Tale metodologia consente di mappare e descrivere i processi di informazione in tutto il ciclo di vita degli edifici, permettendo di implementare ed estrarre i requisiti di manutenzione rispettivamente "in" e "dai" modelli BIM (Kassem et. al, 2015); configurando infine il sistema non solo come repository, ma anche come fonte di informazioni di *feedback* da rendere disponibili in fase di progettazione. (Volk et. al. 2014).

Nello specifico, il *Maintenance Management Model* necessita di un software di mediazione, un *Middleware*, che trasmetta dati e informazioni, standardizzate attraverso una precisa procedura, al software di gestione prescelto, ad esempio usBIM.facility, Archibus, openMAINT, ecc.

L'interoperabilità fra strumenti, così come fra operatori, risulta punto focale dell'attuale *up-grade*. Ne deriva uno studio specifico sui sistemi di comunicazione fra metadati finalizzato a:

- gestire i dati del *Maintenance Management Model*, strutturati secondo un *Information Delivery Manual* (IDM) appositamente dedicato, relativi al costruito, attualmente in formato IFC;
- estrarre le informazioni per il Facility Management;
- ottenere, come output, gli "oggetti" necessari consultabili attraverso i diversi software di gestione.

Sarà possibile così attivare canali di comunicazione bidirezionale tra software openBim, che usano il formato aperto IFC, e il *Maintenance Management Model*.

Si cercherà altresì, dove possibile, di verificare il grado di trasferibilità e applicabilità della sperimentazione anche al formato COBie.

La bidirezionalità nello scambio dei dati diviene presupposto per verificare la possibilità di aggiornare il Maintenance Management Model a partire dal modello BIM e viceversa, il che consentirà di mantenere i modelli sempre allineati.

Il *Maintenance Management Model* è pensato sia *web-based*, in modo da consentire la comunicazione tra sistemi distribuiti geograficamente attraverso web services, che *pluggable*, in modo da permettere l'interazione, l'integrazione e la sincronizzazione tra sistemi che comunicano in formato differente con l'esterno.

Questo comporta l'onere di dedicare una speciale attenzione alla sicurezza che dovrà garantire la protezione da eventuali azioni volte alla corruzione dei dati scambiati.

È previsto, inoltre, l'utilizzo di un *Asset Tracking* e l'aggiornamento semplificato dei dati grazie a sistemi di localizzazione indoor che saranno implementati da GiPStech con tecnologie diverse in base all'uso specifico. Si tratta di un affinamento dei metodi comunicativi fra sistemi informatici per lo snellimento dei processi nonché per la verifica dell'interoperabilità dei modelli in formato IFC e/o COBie.

Per la gestione del ciclo di sviluppo è in fase di sperimentazione l'utilizzo di *Scrum*, un *framework* di processo che ha come caratteristica principale l'interattività che consente di rilasciare periodicamente, con periodo stabilito, versioni complete e funzionanti del prodotto in modo da verificare il rispetto degli obiettivi.

Per la sicurezza informatica, si farà riferimento alle linee guida *Open Web Application Security Project* (OWASP), che offrono indicazioni in merito alla creazione di applicazioni Internet sicure e ai test da effettuare (*OWASP Testing Guide*, *OWASP Code Review*).

Sulla base delle azioni di upgrading sinteticamente descritte una volta a regime, le principali funzionalità previste del *Maintenance Management Model* saranno:

- accesso web e da remoto;
- accreditamento e riconoscimento degli utenti;
- possibilità di ospitare più utenti sulla stessa piattaforma, garantendo l'isolamento dei dati e delle applicazioni;
- aggiornamenti software *patching/release*;
- interrogazione *customer oriented* attraverso *viewer* del modello BIM;
- upload e download di documentazione tecnica;
- consultazione e/o strutturazione/implementazione di dossier digitali tecnico-amministrativi;
- consultazione e/o strutturazione/implementazione di Sistemi Informativi per la Gestione della Manutenzione di patrimoni immobiliari (UNI 10951:2001 e ISO 15686-7:2017);
- acquisizione e registrazione real time dei dati provenienti da sistemi di Domotica e BACS, Building Automation Control Systems;
- gestione delle segnalazioni di query specifiche dell'utenza;
- localizzazione e visualizzazione, attraverso *viewer*, delle segnalazioni di guasto attive con possibilità di rappresentarne il grado di severità;
- download di report specifici (stato di conservazione; consumi e/o prestazioni energetiche, storico degli interventi manutentivi, analisi dei costi, ecc.) estratti dalla base dati;
- pianificazione e programmazione delle attività di manutenzione;
- gestione delle imprese e dell'approvvigionamento delle risorse, ecc.

Alle azioni di *upgrading* in corso si affianca un percorso sperimentale con applicazioni pilota ad una porzione dell'*asset* edilizio della cittadella dell'Università *Mediterranea* di Reggio Calabria di cui si sta implementando un modello federato in BIM, con un *Level of Information* (LOI) adeguato ai futuri utilizzi espressamente finalizzati alla pianificazione e organizzazione delle relative azioni di gestione e manutenzione.

## 5 Innovatività e prospettive

I principali drivers di sviluppo e implementazione che caratterizzano le azioni di BIG srl consentono di far emergere molteplici caratteri distintivi e di innovazione strettamente interconnessi ai diversi livelli di operatività del *Maintenance Management Model*, che nello specifico:

- consente l'attuazione di politiche di *service life planning* e l'ottimizzazione delle procedure di gestione, in termini di manutenzione e *Facility Management* per edifici e patrimoni immobiliari;
- favorisce il passaggio da un sistema di informazione e gestione del costruito fortemente frammentato e incompleto alla creazione di un modello digitale informativo unico per la gestione dei processi di *Facility Management*;
- configura un innovativo ambiente digitale open BIM, fruibile con browser, attraverso cloud computing e storage, per lo scambio e la condivisione dei flussi informativi tra tutti gli operatori coinvolti nel processo della manutenzione edilizia e del *Facility Management*;
- impiega tecnologie smart già disponibili, ad alto valore aggiunto sul piano del portato informativo (openBIM e IFC, GIS, Realtà Aumentata, web semantico, *Internet of Things*, *Cloud Computing*, *Building Automation*) ma ancora non diffusamente messe a sistema tra loro e a servizio dei processi di gestione del costruito;
- applica metodologie ICT di interoperabilità BIM e utilizza come linguaggio di scambio informativo standard aperti IFC intendendo sperimentare altresì l'uso di specifiche dei dati *Construction Operations Building information exchange* (COBie) che rappresentano la frontiera degli studi attuali sull'argomento;
- consente la raccolta e la gestione di una grande quantità di dati, il che richiama ulteriori importanti temi di ricerca connessi alla questione ancora irrisolta della strutturazione dei dati di *feedback* affinché possano essere utilmente trasferiti nel *service life planning*, (Factor Method, ISO 15686-2:2012), nonché nella stima degli impatti ambientali (ISO 15686-6:2004, attualmente ritirata) e del *Life Cycle Costing* (ISO 15686-5:2017);
- incide positivamente sui costi e sui tempi di gestione del patrimonio immobiliare attraverso una pianificazione razionale degli interventi.

Così come strutturato il *Maintenance Management Model* risponde alle richieste espresse dal Codice degli Appalti e dal D.M. 560/2017 che fissa modalità e tempi per la progressiva introduzione dei metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture. Inoltre in linea con le indicazioni delle normative in tema di Sicurezza, Criteri Ambientali Minimi in edilizia, nonché, in generale, con il quadro nazionale di riferimento UNI Manutenzione, fornisce supporti informativi per la strutturazione della base dati per i sistemi informativi per la gestione della manutenzione di patrimoni immobiliari, SIGeM (UNI 10951:2001) e per contratti di *Global Service* di manutenzione (UNI 10685:2007). In tal senso, il *Maintenance Management Model* appare in grado di fornire e gestire l'auspicato fascicolo del fabbricato, nella versione digitale, al centro di discussione in questo ultimo periodo nei diversi tavoli normativi, tra cui quelli che si occupano di importanti azioni collegate ai Decreti Rilancio, Ecobonus e Sisma bonus, su tutti.

In ultimo ma non secondario, sia con riferimento agli aspetti innovativi della proposta che alle prospettive di una sua affermazione, è il mercato connesso ad un prodotto come il *Maintenance Management Model*.

Il segmento specifico è quello della manutenzione edilizia che, secondo l'ANCE, nel corso del 2018 rispetto al 2007, risulta tra le poche voci in attivo dell'intero comparto, con un aumento dei



livelli produttivi di oltre il 20%. Al quale si aggiunge quello connesso all'alfabetizzazione informatica e alla gestione digitale di processi e servizi anch'essi in forte crescita.

La *digital transformation* dell'industria delle costruzioni, si traduce infatti nella richiesta di nuovi strumenti e tecnologie ICT che permettano l'informatizzazione delle diverse fasi del processo edilizio. In questo quadro l'applicazione delle metodologie BIM, definite come l'ultima frontiera dell'ICT, rappresenta, anche secondo il Cresme uno dei driver principali per il rilancio del settore delle costruzioni. A livello internazionale, la conferma proviene dai risultati dell'indagine "World Building Information Modeling (BIM) Market – Opportunities and Forecasts, 2015-2022", condotta dall'istituto di ricerca Research and Markets. Una dettagliata proiezione sulle potenzialità di espansione del mercato del BIM nei prossimi anni, da cui emergono ampi margini di crescita anche per i servizi offerti attraverso il *Maintenance Management Model*.

## 6 Conclusioni

Sullo sfondo dei riferimenti allo stato dell'arte richiamati, relativi alle azioni di ricerca finalizzate ad indagare e proporre nuovi modelli di gestione degli edifici che utilizzano software *BIM-oriented*, il *Maintenance Management Model* esprime la necessità di una trasformazione digitale del settore delle costruzioni. La reingegnerizzazione dei processi, l'integrazione delle attività-funzioni, il ruolo dei sistemi informativi fondati su architetture di rete e data-base relazionali - che rendono agevole a tutti gli operatori l'accesso ai dati - sono alcuni dei cardini delle nuove evoluzioni organizzative e strategiche connesse alla gestione del costruito.

In quest'ottica esso promuove una visione nuova della manutenzione che, da processo preposto al mantenimento del costruito sul piano tecnico-operativo, evolve in una complessa *soft infrastructure* costruita sui principi della manutenibilità degli edifici.

In linea con le direttive di Agenda Digitale, Industria 4.0 e gli obiettivi di Agenda 2030, il *Maintenance Management Model* mette a sistema ed utilizza alcune delle relative tecnologie abilitanti: interoperabilità, virtualizzazione, decentralizzazione, capability, interfaccia persone-macchine.

Non solo, asseconda, di fatto, una transizione - si in atto ma ancora affatto matura - verso una reale politica della manutenibilità che ne adotti i requisiti a partire già dalla fase di progettazione, e che al tempo stesso utilizzi, da un lato, gli strumenti tipici della cultura digitale e dell'interoperabilità per tenere sotto controllo le principali variabili in fase decisionale e, dall'altro, orienti verso l'adozione di approcci manutentivi predittivi, andando così ad incidere positivamente sui tempi di gestione e sui relativi costi nel ciclo di vita. Questi ultimi sono in gran parte determinati dalle inefficienze delle scelte in fase di progetto o dagli errori commessi in fase di realizzazione, con una incidenza sul totale del 10-50%, per quelli connessi alle fasi di programmazione, progettazione e realizzazione, che cresce fino al 40-80%, per quelli riferibili alla fase di gestione. Immanente criticità per il settore delle costruzioni, i cui effetti sono avvertiti con preoccupazione non solo da tecnici e addetti ai lavori ma configurano una questione che si manifesta in tutta la sua severità per via dei costi - inopinatamente crescenti - dovuti proprio alla mancata manutenzione di infrastrutture, edifici e impianti. (WEF, 2016)

## 7 Bibliografia

- Azzalin M., (2020), *Manutenzione e Service Life Planning: processualità e interconnessione*, Techne n.20, FUP, Firenze.
- BSRIA 2009, *The Soft Landings Framework*, BSRIA.
- Cattaneo, M. (2012), *Manutenzione, una speranza per il futuro del mondo*, F. Angeli, Milano.
- Floridi L., (2012), *La rivoluzione dell'informazione*, Codice Edizioni, Torino.
- Kassem, M., Succar, B. and Dawood N. (2013), "A proposed approach to comparing the BIM maturity of countries", *Proceedings of the CIB W78*, 30th International Conference, Beijing, China, 9-12 October.

- Kassem, M., Vukovic, V., Dawood N., Patacas, J., (2015). BIM for Facilities Management: evaluating BIM standards in asset register creation and service life planning, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*.
- Lauria M., Azzalin M. (2019) "Progetto e manutenibilità nell'era di Industria 4.0", *Techne* n.18, FUP, Firenze.
- Lee, J., Holgado, M., Kao, H., Macchi, M. (2014) New Thinking Paradigm for Maintenance Innovation Design, Proceedings of the 19th World Congress, *The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa
- Maxwell, J.A. (2005) *Qualitative research design: An interactive approach* . 2nd edn. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Melchini, T. (2015). *Il Building Information Modelling (BIM). Innovazione dei processi progettuali, realizzativi e gestionali nella governance del patrimonio residenziale pubblico*, PhD Thesis, Università Mediterranea di Reggio Calabria.
- Molinari C. (1989) *Manutenzione in edilizia. Nozioni, problemi, prospettive*, Franco Angeli, Milano.
- Volk, R., Stengel, J. and Schultmann, F. (2014) "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs", *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109-127.
- World Economic Forum (2018) *Infrastructure and Urban Development – Industry Vision 2050*.
- World Economy Forum (2016) *Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology*.
- World Green Building Council (2019) *Bringing Embodied Carbon Upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*, London.



# Un database BIM/GIS per la gestione e il miglioramento energetico di edifici esistenti

Cristina Cecchini

Università di Pavia, Pavia, Italia

**ABSTRACT:** L'efficientamento energetico dell'edificato esistente è un obiettivo primario nelle agende di sviluppo sostenibile dell'Unione Europea. Tuttavia, l'attuazione di un piano sistematico di riqualificazione richiede l'attivazione di strumenti specifici, capaci di rappresentare il panorama costruito a diverse scale e di fornire solide basi di conoscenza per la gestione delle fasi decisionali nei processi edilizi. Il presente studio propone un flusso di lavoro per la definizione di un database spaziale CityGML basato su modelli GIS e BIM, attuato per mezzo della costruzione di una filiera di strumenti interoperabili, che vengono gestiti attraverso modelli dati standard e manipolati mediante linguaggi di programmazione visuale (VPL). Dalla base di dati, viene successivamente definito uno strumento di supporto alla decisione che integra e sviluppa la metodologia *cost-optimal*: un processo di calcolo introdotto con la Direttiva 2010/31/EU che consente di valutare alternative progettuali in considerazione di requisiti prestazionali ed economici.

**KEYWORDS:** modellazione informativa, database spaziali, CityGML, programmazione visuale

## 1 Introduzione

Nell'*Energy Efficiency Plan* (European Commission, 2011), un documento strategico del 2011 contenente le linee di indirizzo per lo sviluppo comunitario in ambito energetico, la Commissione Europea afferma che gli edifici esistenti rappresentano il più grande potenziale per il risparmio energetico e incoraggia l'attivazione di un processo di rinnovamento volto all'aggiornamento e al miglioramento delle prestazioni del patrimonio costruito. Il problema è evidentemente centrale in quanto le città europee sono caratterizzate da una forte presenza di edifici realizzati prima degli anni '70 (The Hargue, 2010), i quali non risultano rispondenti ai requisiti fissati nei decenni successivi da un corpus normativo sempre più orientato alle prestazioni.

In parallelo, con l'aumentare della complessità nei processi edilizi si sta assistendo a una crescita del volume di informazioni richieste per la gestione degli stessi, portando al centro il tema del trattamento dei dati (Egusquiza et al., 2014) e rendendo indispensabile l'impiego di strumenti informatici per la loro manipolazione. In questo frangente, la diffusione di tecnologie e tecniche per il rilievo digitale e i significativi progressi fatti nel campo della rappresentazione tridimensionale (Musialski et al., 2013) hanno fornito gli strumenti per concepire modelli informativi multi-scalari, la cui utilità va oltre le sole finalità di visualizzazione.

Alla luce di quanto detto, per rispondere all'articolato quadro esigenziale e in coerenza con la direzione tracciata dai testi normativi a livello comunitario e nazionale, si ritiene che l'implementazione di un database spaziale basato sull'uso coordinato di BIM (*Building information Modeling*) e GIS (*Geographic Information System*), capace di descrivere l'ambiente costruito a tutte le scale e di attivare analisi su di esso, possa essere un valido supporto per il conseguimento di processi decisionali più informati nell'ambito della gestione del patrimonio costruito, con specifica applicazione alla disciplina energetica.

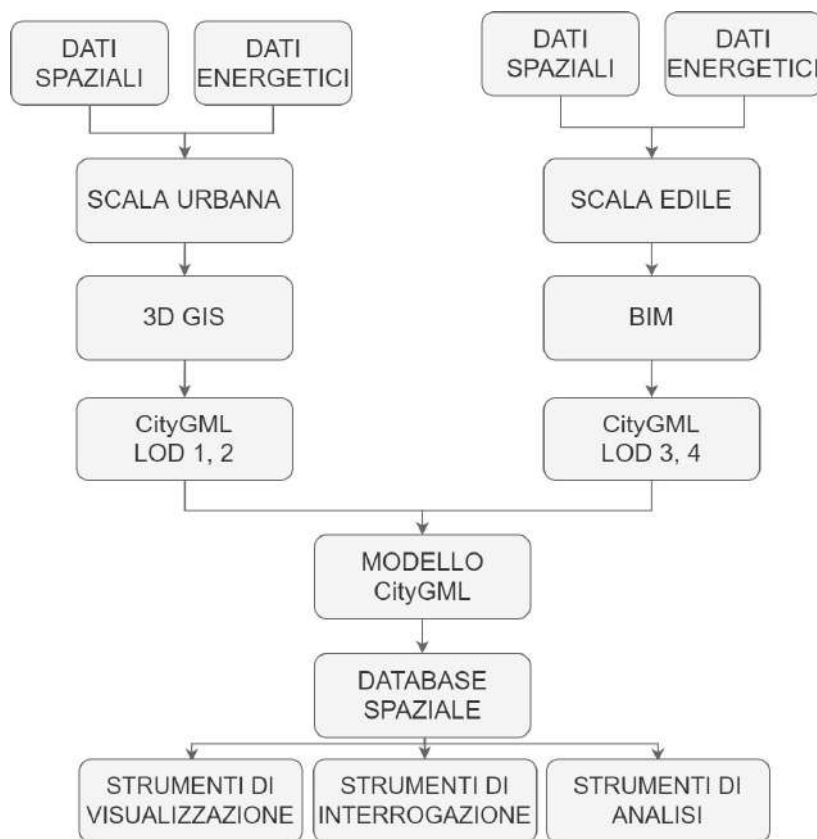
La ricerca presenta una metodologia per organizzare la conoscenza sugli edifici esistenti, approfondendo il tema del comportamento energetico, con l'obiettivo finale di attivare strumenti di supporto alla decisione volti al miglioramento delle prestazioni. A questo scopo, le informazioni raccolte nel database informativo vengono sfruttate per lo sviluppo della metodologia *cost-optimal*:

una procedura introdotta dalla Direttiva Europea 2010/31/EU, che istituisce un quadro metodologico per la determinazione dei livelli di prestazione ottimali in funzione dei costi di gestione nel ciclo di vita degli edifici. Perché il processo sia esportabile e ripetibile in diversi contesti di utilizzo, l'intero flusso di lavoro si origina da set di dati ampiamente diffusi e facilmente reperibili nel contesto europeo e si basa su modelli di dati aperti e standardizzati, costruendo una filiera di strumenti interoperabili, che vengono messi in comunicazione grazie all'utilizzo di linguaggi di programmazione visuale (VPL).

Al fine di testare e validare la metodologia, si espone l'applicazione a una parte del patrimonio costruito dell'Università di Pavia, proponendo degli strumenti di visualizzazione e di analisi che agiscono sia alla scala urbana che a quella edile, realizzando così un quadro conoscitivo complessivo adatto a guidare i processi di gestione dei beni coinvolti.

## 2 Metodologia

Per una migliore descrizione del flusso di lavoro, esso può essere suddiviso in due sezioni consequenziali. Una prima parte, finalizzata alla costruzione del database informativo (fig. 1), da utilizzarsi con finalità di visualizzazione, interrogazione o analisi delle informazioni. La programmazione dello strumento di supporto alla decisione basato sulla metodologia *cost-optimal*, che costituisce la seconda macro-fase di lavoro, è un esempio efficace dell'ultimo caso. Cionondimeno, è facile immaginare una vasta serie di modalità di sfruttamento del database, che può trovare numerose applicazioni qualora venga posto in comunicazione con altre piattaforme informative. L'intero sistema è, infatti, pensato con una logica modulare, che consente di definire o aggiungere al *core* informativo geometrico-spaziale ulteriori blocchi tematici per arricchire la rappresentazione del modello.



**Fig. 1** - Flusso di lavoro proposto per la definizione di un database informativo multiscalare per la gestione delle informazioni sui patrimoni edilizi.

Fulcro dell'intero sistema è il modello dati CityGML 2.0, uno standard basato su XML, aperto ed estensibile, promosso dall'OGC (*Open Geospatial Consortium*) per la modellazione,

l'archiviazione e lo scambio di dati spaziali. La sua finalità principale è quella di fornire una definizione condivisa di oggetti, attributi e relazioni che costituiscono i modelli tridimensionali di città, considerando il panorama naturale e costruito. Per fare questo, il modello dati organizza le informazioni descrivendo le entità incorporando proprietà geometriche, semantiche, topologiche e di aspetto e include la possibilità di rappresentazione multiscalare grazie alla sua definizione in cinque livelli di dettaglio (*Level of Detail* – LOD) (Kolbe et al., 2005).

CityGML è conforme alle norme della serie ISO 19100 sull'informazione geografica, compatibile con la Direttiva Europea INSPIRE e adatto all'interoperabilità con il BIM in funzione della sua struttura semantica che risulta confrontabile con quella di IFC (*Industry Foundation Classes*). I principali campi di applicazione di CityGML includono la progettazione a scala territoriale, la valutazione del rischio e le analisi energetiche, ma le possibilità si stanno ampliando rapidamente includendo sempre più ambiti disciplinari. In relazione a questa tendenza, per rendere il modello dati adatto alla descrizione di specifici domini della conoscenza, è possibile definire estensioni tematiche (*Application Domain Extension* – ADE), che vengono utilizzate per arricchire lo schema logico senza alterarne la caratteristica di standardizzazione (Biljecki et al., 2018).

## 2.1 Definizione del database

Con la finalità di realizzare database informativo multiscalare, occorre partire dall'acquisizione di dati sul panorama costruito a diverse scale di rappresentazione (Cecchini, 2019). A livello urbano i dati geometrici possono essere ricavati da cartografie vettoriali bidimensionali e da nuvole di punti a bassa densità provenienti da campagne di rilievo svolte mediante LiDAR (*Light Detection and Ranging*) aerei, mentre le informazioni di carattere energetico vengono estratte dalle banche dati regionali o nazionali di raccolta degli Attestati di Prestazione Energetica (APE) (BPIE, 2019). L'elaborazione di questi *layer* informativi, processati all'interno di software GIS (nello specifico è stato utilizzato ESRI ArcGIS Pro 2.2.0), consente la restituzione semi-automatizzata di modelli di città a bassi livelli di definizione (Macay Moreira, 2013), realizzando una prima versione di sistema informativo tridimensionale. La rappresentazione così ottenuta può, infatti, veicolare contenuti informativi personalizzati e, nel caso specifico, è in grado di incorporare i dati riportati negli APE. Tuttavia, a questo livello la struttura dell'informazione non è basata su schemi condivisi e standardizzati e, pertanto, non risulta adatta alla condivisione interoperabile dei contenuti.

Allo scopo di modellare gli organismi edilizi di interesse alla scala edile è necessario che le informazioni in ingresso siano caratterizzate da un maggior grado di dettaglio. Occorre quindi riferirsi a rilievi architettonici, che possono essere sia di tipo tradizionale (ossia composti da sistemi di rappresentazione bidimensionali) che digitali (ovvero costituiti da una nuvola di punti ad alta densità, acquisita con tecnologia LiDAR terrestre). Per l'ambito energetico, invece, è possibile integrare quanto già mappato con le informazioni contenute in eventuali Audit Energetici. A questo livello, a fronte dell'esigenza di un maggiore approfondimento, per la modellazione informativa ci si rivolge a tecnologie di tipo BIM, con cui vengono realizzati modelli tridimensionali arricchiti di informazioni che includono gli aspetti termici ed energetici dell'involucro edilizio e dei suoi componenti. I BIM degli edifici sono già di per sé in grado di allocare set informativi complessi e di porli in relazione con le entità geometriche del modello, inoltre, a differenza del caso precedentemente discusso, esiste già un modello dati standardizzato e aperto (IFC) capace di assicurare il trasferimento e la condivisione di informazioni. Tuttavia, nonostante l'esportazione in IFC costituisca un tassello fondamentale del presente flusso di lavoro, per raggiungere l'obiettivo dell'integrazione multiscalare di GIS e BIM è necessario fare un ulteriore passo avanti.

L'importanza dell'integrazione di GIS e BIM è già stata ampiamente riconosciuta come un'opportunità di definire flussi di lavoro multidisciplinari nell'ambito dei processi edilizi (Liu et al., 2017). I due sistemi informativi sono stati concepiti per finalità differenti, tuttavia, proprio in virtù delle loro abilità di rappresentare la realtà a diverse scale, andrebbero considerati come strumenti complementari a servizio di flussi informativi multiscalarari (Saygi et al., 2013).

A questo scopo, fra i diversi approcci suggeriti in letteratura (Song et al., 2017), si è scelto di trasferire tutte le informazioni (geometriche e non), verso un modello dati comune, capace di

gestire diverse scale di rappresentazione grazie a una sovrapposizione degli ambiti di applicazione di GIS e BIM, che trova il suo fulcro nella dimensione dell'edificio (Gilbert et al., 2017). Con l'impiego di script di programmazione visuale (*Visual Programming Language* – VPL) manipolati in ambiente Safe FME, è stato possibile convertire il modello GIS 3D e i modelli BIM verso CityGML, riorganizzando la struttura dell'informazione e, contestualmente, veicolando i contenuti. In coerenza con il grado di approfondimento dei modelli originali, a partire dal GIS tridimensionale si vanno a costituire i LOD più bassi del modello CityGML, mentre per il raggiungimento del LOD 3 e 4 si fa uso dei modelli BIM.

Una volta confezionato il modello CityGML, tutte le informazioni di carattere spaziale e tematico sono archiviate e organizzate secondo uno schema logico condiviso e standardizzato. Tuttavia, per una migliore fruizione e capitalizzazione dei dati, risulta utile riversare il contenuto della rappresentazione digitale in una struttura database. Per procedere in questa direzione, occorre disporre di tre componenti principali:

- un sistema di gestione della base di Dati (DBMS – *DataBase Management System*), ovvero un software capace di interfacciarsi con la struttura dei dati e comunicarvi tramite il linguaggio SQL (*Structured Query Language*), in questo caso si utilizza l'applicazione open PostgreSQL 10.5, manipolato per mezzo dell'interfaccia grafica pgAdmin 4 v4;
- uno schema logico della base di dati, che viene costituito dalla struttura stessa di CityGML addizionata di un'ADE appositamente progettata per supportare i processi decisionali che coinvolgono il miglioramento delle prestazioni energetiche del costruito, denominata ER\_ADE (*Energy Refurbishment Application Domain Extension*) (Cecchini et al., 2020).
- il contenuto informativo, che coincide con quello del modello CityGML.

Poiché la struttura dati del modello CityGML e quella del Database risultano identiche, tutte le informazioni contenute si trovano in una relazione 1:1 nei due sistemi di rappresentazione e il trasferimento dati può avvenire mediante un semplice script VPL, senza la necessità di nessun adattamento ulteriore.

Giunti a questo punto, la disposizione del *data set* completo, organizzato all'interno di un database strutturato, permette innumerevoli opzioni di accesso ai dati, che possono concretizzarsi sia in relazione alle entità spaziali che lo caratterizzano che a prescindere da esse, in relazione alle esigenze specifiche.

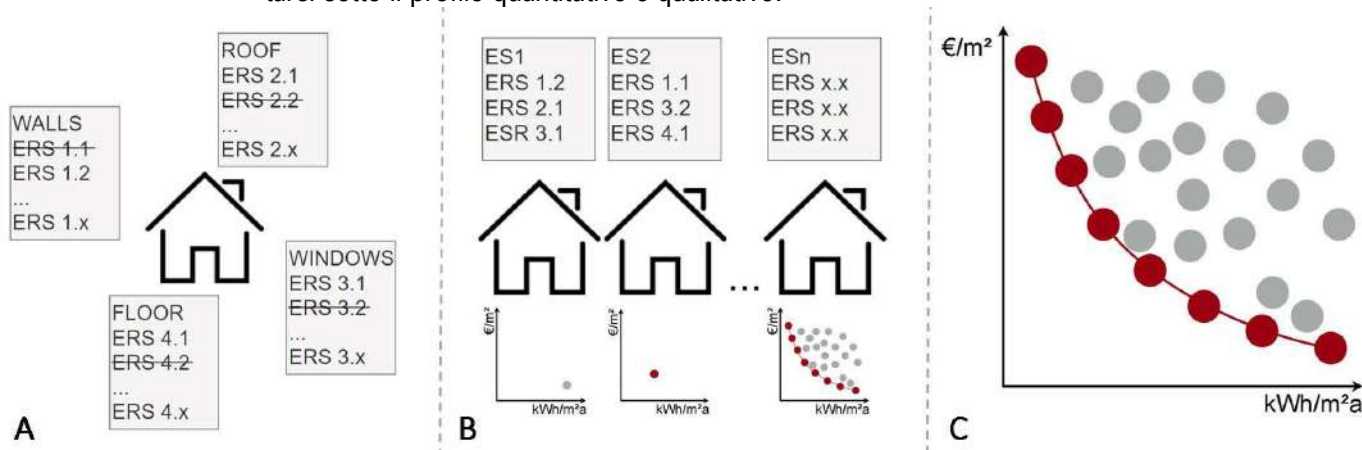
## 2.2 Sviluppo dello strumento di supporto alla decisione

Fra le varie possibilità, la base di dati appena definita consente di supportare lo sviluppo di processi decisionali sulla gestione e sulla trasformazione degli organismi edilizi esistenti, fondandosi su dati certi e facilmente reperibili e contribuendo così ad apportare vantaggi in termini di riproducibilità delle analisi e trasparenza dei risultati. Nel presente studio si è scelto di utilizzare le informazioni raccolte nel database per implementare la metodologia *cost-optimal*: una procedura orientata alla comparazione di scelte progettuali per la valutazione dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi, introdotta dalla Direttiva Europea 2010/31/EU e specificata nel Regolamento Delegato (UE) N. 244/2012. Nel dettaglio, la metodologia prende in considerazione gli aspetti economici ed energetici che caratterizzano la gestione degli edifici esistenti, simulando l'attuazione di interventi di riqualificazione attraverso due processi di calcolo:

- una valutazione economica: stima del costo globale di gestione energetica nel periodo di calcolo, valutato in termini di Valore Attuale Netto (VAN), che prevede l'attualizzazione all'anno zero di tutti i flussi di cassa previsti, secondo quanto riportato nella norma UNI EN 15459:2008;
- una valutazione energetica: stima del fabbisogno globale di energia, eseguito secondo lo schema della norma internazionale UNI EN 15603:2008, con riferimento agli standard della serie UNI TS 11300 per l'Italia.

Nella costruzione dell'insieme delle alternative progettuali da simulare, l'approccio scelto ricalca una *best practice* presente in letteratura (Guazzi et al., 2017), che prevede di procedere attraverso l'identificazione iniziale di una serie di soluzioni ammissibili in relazione agli elementi tecnici che

compongono gli involucri edilizi oggetto di studio (ERS – *Energy Refurbishment Solution*) (fig. 2A) e a una successiva aggregazione in scenari trasformativi (ES – *Energy Scenario*), basata su vincoli di compatibilità fra le strategie (fig. 2B). Il processo di ottimizzazione si svolge per mezzo di una reiterazione del calcolo energetico ed economico in funzione di ciascun *Energy Scenario*, che per ogni ripetizione ottiene un punto da collocare nel piano cartesiano definito dal Costo globale [€/m<sup>2</sup>] e dal Fabbisogno energetico [kWh/m<sup>2</sup>a] analizzati per un determinato periodo di calcolo. Il grafico risultante consente l'individuazione della cosiddetta Frontiera di Pareto, ovvero il luogo dei punti parimenti ottimali in relazione alle due funzioni obiettivo che caratterizzano l'analisi (fig. 2C). Poiché la metodologia non prevede la pesatura dei criteri di valutazione, il risultato non conduce all'identificazione deterministica della migliore alternativa progettuale. Al contrario, l'esito grafico mette in evidenza le prestazioni delle soluzioni testate in un'ottica comparativa. In particolare, si può individuare nella Frontiera di Pareto quel set di scenari per i quali non è possibile migliorare ulteriormente il valore di un attributo senza inevitabilmente peggiorare l'altro. Proprio questo insieme costituisce il risultato dell'analisi *cost-optimal*, da cui partire per lo sviluppo di un processo decisionale più complesso, che tenga conto di un sistema più ampio di attributi da valutarsi sotto il profilo quantitativo e qualitativo.



**Fig. 2** - Flusso di lavoro proposto per la definizione di un database informativo multiscalarare per la gestione delle informazioni sui patrimoni edilizi.

Nel flusso di lavoro, il collegamento fra il database e il motore di calcolo (MathWorks Matlab R2019a) avviene attraverso una connessione diretta, resa possibile dall'utilizzo del plug-in Database Explorer per Matlab. In questo modo, le informazioni rilevanti per la simulazione delle alternative progettuali vengono estratte per mezzo di query SQL e memorizzate come variabili sotto forma di matrici.

### 3 Applicazione al caso studio

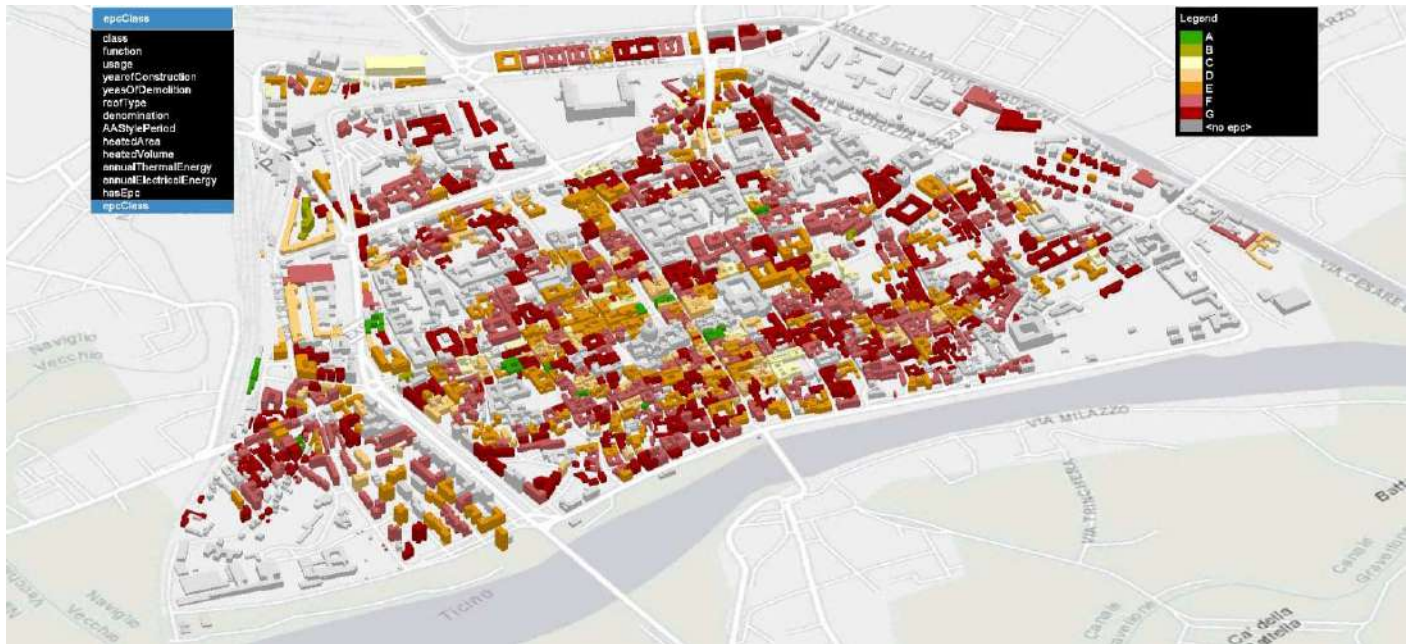
L'Università di Pavia è un ateneo storico che si è sviluppato nei secoli in stretta relazione con la città che lo ospita. Allo stato attuale, il patrimonio edilizio che possiede conta circa 230.000 m<sup>2</sup> di superficie costruita, suddivisa in 77.000 m<sup>2</sup> di beni architettonici vincolati situati nel centro storico, 60.000 m<sup>2</sup> edificati prima del 1940 e 85.000 m<sup>2</sup> costruiti nelle aree di espansione della città nel corso degli anni '80. La vastità e l'eterogeneità dei beni coinvolti rendono la gestione complessa e richiedono l'attivazione di strumenti specifici per un miglior controllo dei flussi informativi. Il progetto qui presentato è stato sviluppato con il supporto del Servizio Gestione Facility e Utilities dell'Università, con l'obiettivo di fornire una piattaforma informativa capace di evidenziare in modo sintetico i dati rilevanti relativi al comportamento energetico degli edifici dell'Ateneo.

In una prima fase ci si è dedicati alla restituzione del modello urbano del centro storico di Pavia, confezionando il modello CityGML LOD 1 e 2, secondo il flusso di lavoro esplicitato alle sezioni precedenti. I dati input geometrico-spaziali sono stati raccolti dal GIS bidimensionale fornito dalla

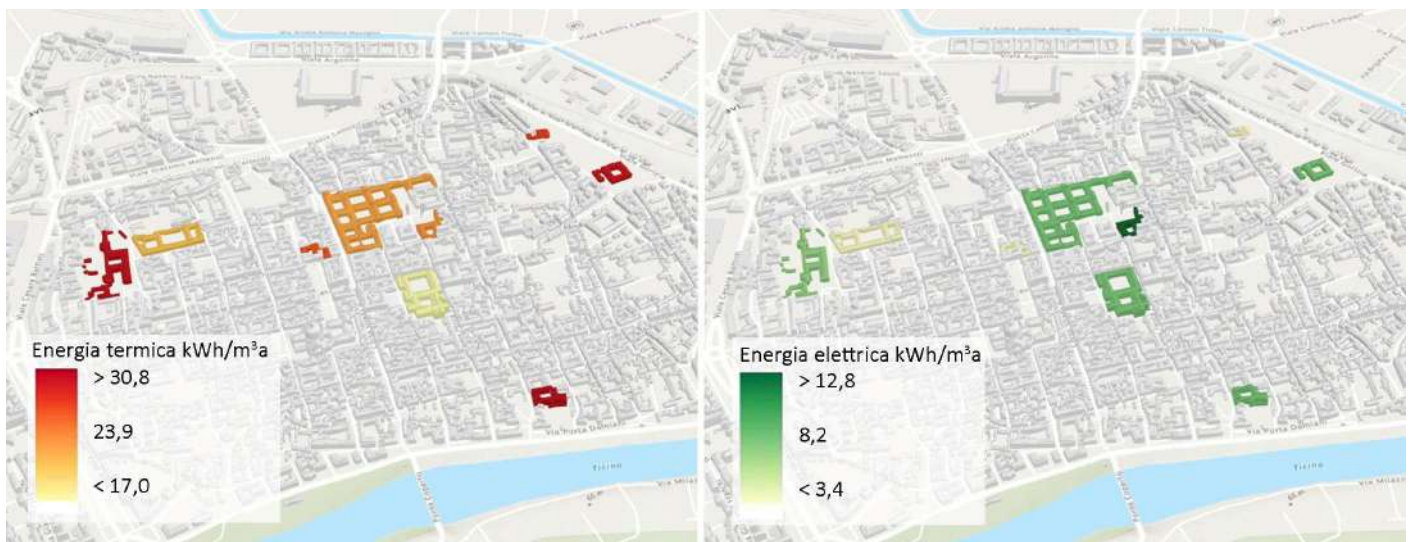


Provincia di Pavia e da una nuvola di punti a bassa densità, realizzata a seguito di una campagna di rilievi aerea del 2008-2009 diretta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Il modello tridimensionale è stato poi arricchito con le informazioni derivate dalla banca dati degli APE del CENED Lombardia (Certificazione Energetica degli Edifici) addizionata di dati più specifici per gli edifici dell'Università, il cui comportamento energetico era stato ulteriormente sondato in occasione della redazione di una serie di Audit Energetici commissionati dall'Ateneo nel 2016.

I risultati sono stati caricati nelle piattaforme *web-based* Cesium Ion (Fig. 3) e ArcGIS Online (Fig. 4) dalle quali, attraverso strumenti leggermente differenziati, è possibile programmare applicazioni per la navigazione dei modelli e per la visualizzazione dei dati associati.



**Fig. 3** - Classi energetiche degli edifici del centro storico di Pavia, screenshot dalla piattaforma Cesium Ion.



**Fig. 4** - Consumi termici ed elettrici degli edifici dell'Università di Pavia nel centro storico, screenshot dalla piattaforma ArcGIS online.

Successivamente, per alcuni edifici del patrimonio costruito dell'Università, ci si è dedicati alla definizione di modelli a più alti livelli di dettaglio, che sono stati realizzati per mezzo del software di modellazione informativa Autodesk Revit 2020, esportati in IFC 4 e convertiti in modelli CityGML.



LOD 3. In particolare, si espone l'esperienza svolta con l'edificio denominato "Entomologia": un'edificazione degli anni '70, originalmente concepito per ospitare aule didattiche e laboratori, ma recentemente riconvertito in Parco Tecnico Scientifico. La costruzione è caratterizzata da una struttura portante a telaio in acciaio con tamponamenti realizzati mediante pannelli sandwich e componenti finestrate in acciaio con singola lastra vetrata (Tab. 1).

Elemento tecnico	Codice	Spessore [mm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]
Muro esterno	M1	200	0.192
Muro esterno	M2	200	2.495
Pavimento contro terra	P2	310	2.331
Pavimento interpiano	P1	320	1,209
Coperture	S1	300	1,765
Finestra tipo	W1	/	6,274

**Tab. 1** - Caratterizzazione degli elementi tecnici dell'Edificio Entomologia.

Come da flusso di lavoro, l'edificio è stato modellato in Autodesk Revit, esportato in IFC 4.0 e convertito in CityGML attraverso l'attivazione di uno script di programmazione visuale implementato nell'ambiente Safe FME. Infine, le informazioni (geometriche e non) sono state trasferite nel database PostgreSQL.

Per quanto riguarda le opportunità di trasformazione dell'edificio Entomologia, le caratteristiche strutturali e morfologiche lasciano grande spazio alle possibilità di intervento sul sistema edificio-impianto. In particolare, sono state prese in considerazione le ERS riportate in tab. 2, che coinvolgono l'isolamento delle pareti perimetrali, dell'ultimo solaio e del solaio controterra, la sostituzione dei serramenti esistenti, l'installazione di un nuovo generatore di calore e di valvole termostatiche sui terminali impiantistici.

ERS	Elementi opachi	$\lambda$ [W/mK]	s [m]	PU [€/m <sup>2</sup> ]
1.1	Isolamento a cappotto delle pareti esterne - EPS 3 cm	0.034	0.03	69.29
1.2	Isolamento a cappotto delle pareti esterne - XPS 4 cm	0.034	0.04	66.76
1.3	Isolamento a cappotto delle pareti esterne - Lana di vetro 4 cm	0.032	0.04	70.34
2.1	Isolamento interno delle pareti esterne - EPS 3 cm	0.034	0.03	46.61
2.5	Isolamento con controparete delle pareti esterne - Lana di vetro 3 cm	0.06	0.05	39.73
2.6	Isolamento interno delle pareti esterne - Lana di roccia 6 cm	0.039	0.06	79.89
3.1	Isolamento interno delle pareti controterra - EPS 3 cm	0.034	0.03	46.61
3.5	Isolamento con controparete delle pareti controterra - Lana di vetro 3 cm	0.06	0.05	39.73
3.6	Isolamento interno delle pareti controterra - Lana di roccia 6 cm	0.039	0.06	79.89
8.1	Isolamento dell'ultimo solaio con pannelli - EPS 3 cm	0.033	0.03	16.83
8.2	Isolamento dell'ultimo solaio con pannelli - XPS 3 cm	0.034	0.03	10.19
8.4	Isolamento dell'ultimo solaio con pannelli - Lana di legno 2.5 cm	0.09	0.03	28.43
9.1	Isolamento del solaio controterra con pannelli - EPS 3 cm	0.033	0.03	16.96
9.2	Isolamento del solaio controterra con pannelli - XPS 3 cm	0.034	0.03	10.32
9.5	Isolamento del solaio controterra con pannelli - Sughero 2 cm	0.043	0.02	18.53
10.1	Isolamento del solaio controterra con massetto termico - Argilla esp. 5 cm	0.142	0.05	87.4
10.2	Isolamento del solaio controterra con massetto termico - Perlite 5 cm	0.088	0.05	83.72
ERS	Elementi trasparenti	$\lambda$ [W/mK]	s [m]	PU [€/m <sup>2</sup> ]
12.4	Nuovi serramenti in legno con vetrocamera 4-12-4	2.8	0.8	598.77
12.5	Nuovi serramenti in legno con vetrocamera 4-12-BE	1.58	0.6	699.77
ERS	Sottosistemi impiantistici	$\eta$		PU [€/cad]
13.1	Nuovo generatore di calore ad alte prestazioni	0.98		11179.62
13.2	Nuovo generatore di calore a condensazione ad alte prestazioni	0.992		34315.90
14.1	Valvole termostatiche con sensore a cera	0.97		56.00
14.2	Valvole termostatiche con sensore a liquido	0.985		68.00
14.3	Valvole termostatiche con sensore a gas	0.995		80.00

**Tab. 2** – Descrizione delle ERS considerate nel calcolo.

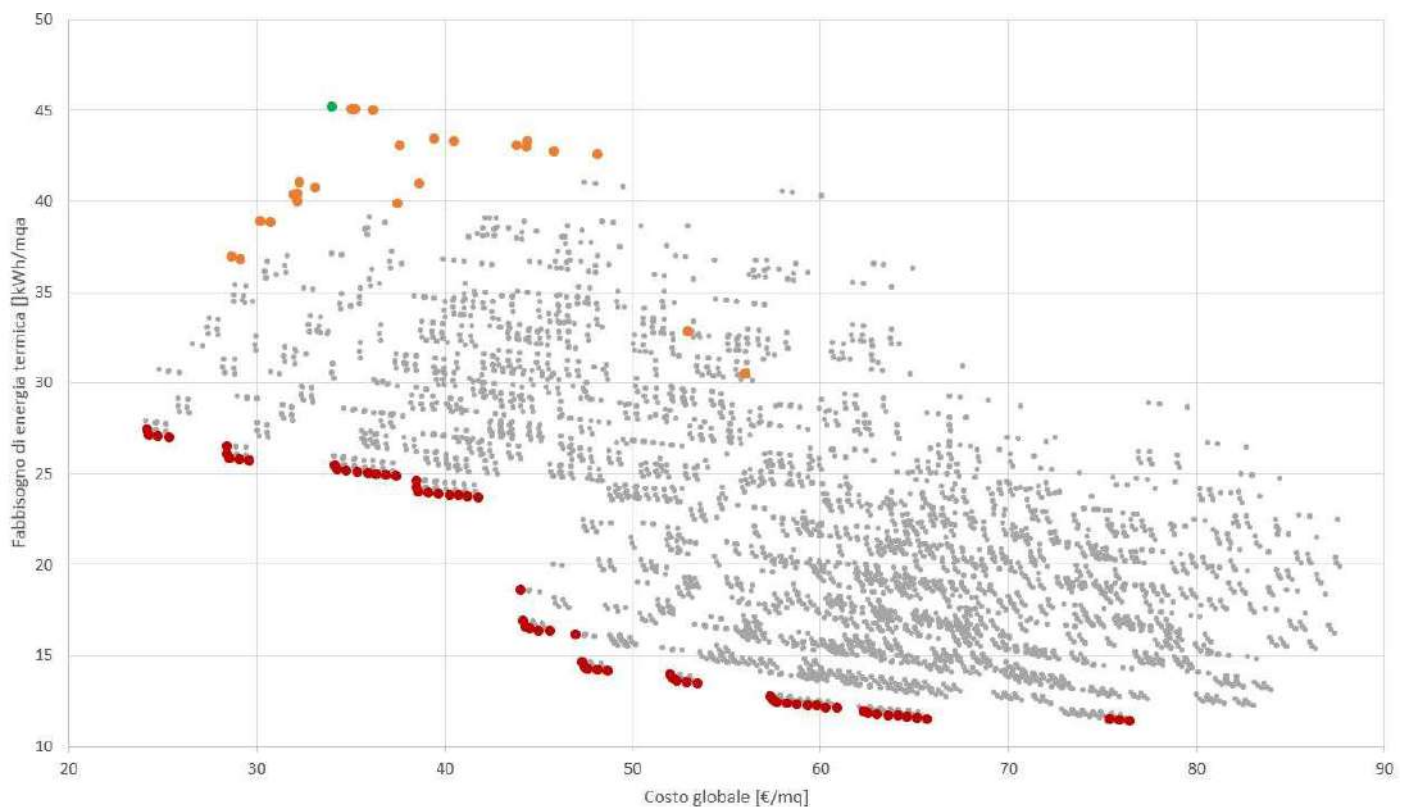
Per lo svolgimento della metodologia *cost-optimal*, i dati input di tipo economico (tab. 3) sono stati derivati dal report “Sviluppo della metodologia comparativa *cost-optimal* secondo Direttiva 2010/31/UE” e dai documenti correlati, aggiornando le voci di costo al momento attuale con riferimento al prezzario DEI “Recupero Ristrutturazione Manutenzione”, nell’edizione dell’ottobre 2018 (DEI, 2018). I dati climatici riferiti alla città di Pavia (Temperature medie mensili, Irradiazioni superficiali e Fattori di ombreggiatura), invece, sono stati dedotti in parte dagli anni climatici tipo di riferimento (TRY) nazionali per applicazioni termotecniche, sviluppati dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano) e in parte dalla norma tecnica UNI/TS 11300-1/2014.

Attributo	Valore
Periodo di calcolo	20 anni
Tasso di sconto	3 %
Prezzo unitario gas	0.0341 €/kWh
Tasso di crescita gas	2.8 %
Prezzo unitario CO <sub>2</sub>	0.00632 €/kWh

**Tab. 1** - Parametri economici assunti per il calcolo della procedura *cost-optimal*.

Come risultato, la procedura di calcolo individua, in un grafico cartesiano definito dal Costo Globale [€/m<sup>2</sup>] e dal fabbisogno annuale di energia termica [kWh/m<sup>2</sup>a], lo stato di fatto inalterato, l’effetto dell’applicazione delle soluzioni elementari (ERS) e quello degli scenari progettuali (ES). Nel caso presente, per ridurre l’onere computazionale, si è ritenuto, nel passaggio fra la seconda e la terza simulazione di mantenere solo le ERS che determinavano un risparmio energetico maggiore al 5%, riducendo così il bacino di soluzioni a 3455. Per dare leggibilità agli esiti dell’analisi, inoltre, vengono evidenziati i valori appartenenti alla Frontiera di Pareto, ossia quelle soluzioni che risultano parimenti ottimali sotto il profilo dei costi energetici ed economici.

Com’è possibile notare da Fig. 5, tutti gli interventi considerati generano una riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento dell’edificio, mentre solo la minima parte determina anche un risparmio economico all’interno del periodo di calcolo di 20 anni.



**Fig. 1** - Esito grafico della procedura *cost-optimal* applicata all’Edificio Entomologia. Il punto in verde rappresenta lo stato di fatto, quelli arancioni sono le ERS, la nuvola di punti in grigio rappresenta tutti gli ES testati e, infine, i punti rossi sono quelli appartenenti alla Frontiera di Pareto.

Le soluzioni economicamente più vantaggiose sono quelle che combinano l'isolamento dell'ultimo solaio e del pavimento contro terra con l'installazione di valvole termostatiche, mentre per raggiungere maggiore efficienza dal punto di vista energetico occorre considerare la sostituzione dei serramenti esistenti, intervento che risulta, però, molto costoso data l'estensione delle superfici vetrate nell'edificio oggetto di studio.

#### 4 Conclusioni

L'esperienza di ricerca qui presentata tratta di una metodologia fondata sull'interoperabilità degli strumenti informatici e dei modelli di dati per il raggiungimento di un database spaziale utile all'organizzazione della conoscenza sul costruito, che viene sfruttato nel caso specifico per lo sviluppo di un modulo di supporto alla decisione, basato sulla metodologia *cost-optimal* per la valutazione comparativa di scenari progettuali di riqualificazione energetica. Per i gestori di asset immobiliari, la disposizione di una piattaforma navigabile tridimensionale che raccoglie e armonizza i dati sul patrimonio costituisce un potente mezzo, da utilizzarsi come ausilio alla comunicazione sia nell'ambito di discussioni tecniche che per la condivisione di informazioni con tutti i profili di utenza. Inoltre, la possibilità di approfondire la modellazione di alcuni edifici e l'applicazione di valutazioni costi/benefici costituiscono strumenti all'avanguardia, adatti a guidare i processi edilizi garantendo ripetibilità delle analisi e trasparenza dei risultati.

#### 5 Bibliografia

- European Commission 2011. Energy Efficiency Plan.
- The Hague: Ministry of the Interior and Kingdom Relations 2010. Housing Statistics in the European Union. Ed. by Dol K. and Haffner M., OTB Research Institute for the Built Environment, Delft University of Technology.
- Egusquiza A., Gandini A., Izgara J. L., Prieto I. 2014. Management and decision-making tools for the sustainable refurbishment of historic cities. In V Congreso Latinoamericano REHABEND 2014 sobre Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio: Santander, Spain, April 1-4, 2014.
- Musialski P., Wonka P., Aliaga D. G., Wimmer M., Van Gool L., Purgathofer W. 2013. A survey of urban reconstruction. *Computer graphics forum*, 32(6): 146-177.
- Kolbe T.H., Gröger G., Plümer L. 2005. CityGML: Interoperable access to 3D city models. In Proceedings of the International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), Delft, The Netherlands, 21-23 March 2005.
- Biljecki F., Kumar K., Nagel C. 2018. CityGML application domain extension (ADE): overview of developments. *Open Geospatial Data, Software and Standards* 3: 13.
- Cecchini C. 2019. From data to 3D digital archive: a GIS-BIM spatial database for the historical centre of Pavia (Italy). *Journal of Information Technology in Construction*, 24: 459- 471.
- BPIE 2014. Energy Performance Certificates across the EU. In <http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Energy-Performance-Certificates-EPC-across-the-EU.-A-mapping-of-national-approaches-2014.pdf>
- Macay Moreira J. M., Nex F., Agugiaro G., Remondino F., Lim N. J. 2013. From DSM to 3D building models: a quantitative evaluation. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1: 213-219.
- Liu X., Wang X., Wright G., Cheng J. C., Li X. and Liu R. 2017. A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2): 53.
- Saygi G., Agugiaro G., Hamamcioğlu-Turan M. and Remondino F. 2013. Evaluation of GIS and BIM roles for the information management of historical buildings, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 2: 283-288.

- Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J., & Hampson, K. 2017. Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: A review from a spatio-temporal statistical perspective. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12): 397.
- Gilbert, T., Rönsdorf, C., Plume, J., Simmons, S., Nisbet, N., Gruler, H. C., ... & Mercer, A. 2020. Built environment data standards and their integration: an analysis of IFC, CityGML and LandInfra. Lehrstuhl für Geoinformatik.
- Cecchini C., Magrini A., Morandotti M. 2020. The Energy-Oriented Management of Public Historic Buildings: An Integrated Approach and Methodology Applications. In *Sustainability* 12(11), 4576.
- Guazzi G., Bellazzi A., Meroni I., Magrini A. Refurbishment design through cost-optimal methodology: The case study of a social housing in the northern Italy. In *International Journal of Heat and Technology* 35: S1 336-44, 2017.
- DEI, *Prezzario Recupero, Ristrutturazione, Manutenzione – ottobre 2018*, Tipografia del Genio Civile, 2018.

# Interoperabilità tra modelli per l'ottimizzazione energetica di edifici

Chiara Duranti  
Gorizia, Italia

**ABSTRACT:** L'obiettivo della ricerca riguarda l'ottimizzazione energetica degli edifici residenziali durante le fasi concettuali della progettazione. Sono stati individuati due fattori, definiti nei primi stadi della progettazione, che influenzano la performance finale dell'edificio, e successivamente questi sono stati ottimizzati tramite un algoritmo, sviluppato in Grasshopper, che minimizzasse il consumo energetico vincolando però le caratteristiche salienti della costruzione.

Per permettere l'interoperabilità tra la piattaforma BIM e quella parametrico-generativa Grasshopper si è scelto il formato IFC come protocollo di scambio. Sono stati quindi definiti i fattori che dal modello BIM devono essere esportati in IFC per la modellazione e la simulazione energetica. Infine sono state individuate le corrispondenti componenti IFC che esprimono tali informazioni nel modello IFC.

Per consentire l'importazione dei dati IFC in Grasshopper è stato utilizzato il plug-in Geometry Gym, che permette la lettura del modello IFC e la scomposizione della gerarchia per estrarre le informazioni necessarie.

**KEYWORDS:** simulazione energetica, Geometry Gym, BIM.

## 1 Introduzione

In questo periodo come mai prima d'ora, il cambiamento climatico è diventato una delle emergenze più importanti da affrontare e conseguentemente anche la richiesta di un edificio più sostenibile è notevolmente cresciuta. Questo ha generato un interesse per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, in quanto si calcola che circa il 40% della richiesta di consumo energetico globale è collegato al campo delle costruzioni (Diakaki et al. 2010). L'ultima revisione delle Direttive Europee per la Prestazione Energetica degli edifici (European Performance of Buildings Directive 2018) richiede che nell'UE tutti gli edifici siano *nearly zero Energy* entro il corrente anno, il 2020. Come risultato, sta sorgendo il bisogno di un nuovo approccio alla progettazione, sia per quanto riguarda il nuovo, che per il recupero, capace di considerare variabili anche relative al consumo energetico e al ciclo di vita dei materiali in modo da ottenere un costruito più sostenibile per le generazioni future. Le strategie sviluppate a partire da questa esigenza vogliono sensibilizzare i progettisti fin dalle prime fasi della progettazione, favorendo la realizzazione di progetti di alta qualità e minimizzando allo stesso tempo l'energia necessaria nel corso della loro vita utile (Attia et al. 2012).

Tendenzialmente, al momento attuale, le valutazioni riguardanti la performance energetico-ambientale del progetto vengono svolte in una fase avanzata di concettualizzazione del design (Tian et al. 2015). L'ottimizzazione di determinati fattori fin dalle prime fasi della progettazione tuttavia avvicinerebbe i designer al concetto di efficienza energetica, permettendo anche a coloro che non sono esperti in questo campo di progettare edifici più sostenibili (Tian et al. 2015).

La ricerca da cui è tratto il presente articolo si è focalizzata in particolare sull'ottimizzazione energetica degli edifici residenziali, delineando un possibile strumento da adottare nella fase concettuale.

## 2 Stato dell'arte

### 2.1 Analisi della prestazione energetica degli edifici

Con l'avvento dei sistemi di calcolo della prestazione energetica si sono moltiplicate le ricerche che hanno come obiettivo sviluppare una procedura di riferimento per supportare il progettista nella valutazione della prestazione. Il principale problema è che la maggior parte dei *framework* già formulati si concentrano sulla fase successiva a quella concettuale, quando si hanno più informazioni, ma a quel punto tutte le decisioni che possono influenzare maggiormente la prestazione dell'edificio sono già state prese; inoltre il processo di ottimizzazione non prende in considerazione i vincoli architettonici e le esigenze progettuali e non considera il fatto che alcuni dati potrebbero essere ancora in fase di definizione (Attia et al. 2013).

Uno degli esempi più interessanti è quello delineato da Attia et al. nel 2012, che ha sviluppato un algoritmo di supporto alla progettazione che valuta diverse opzioni per alcuni elementi costruttivi, delineando possibili variabili, con l'ipotesi di mantenere vincolato il resto del design sulla base delle esigenze del progettista, in modo da poter valutare soluzioni alternative all'interno di uno spazio di progettazione definito preliminarmente. Questo approccio, insieme a un'analisi di sensibilità, dovrebbe assistere l'esplorazione dello spazio di progettazione e la comprensione di quali fattori influiscono maggiormente sulla prestazione energetica finale (Attia et al. 2012). Tuttavia un software *stand-alone* come quello proposto da Attia non risulta *user-friendly* per coloro che non hanno mai affrontato una valutazione di prestazione energetica.

Appunto per questo motivo per supportare i progettisti è da valutare attentamente l'interoperabilità tra gli strumenti CAD e quelli di simulazione, in quanto è difficile immaginare che chi possiede competenze di design sia esperto anche di modelli energetici (Tian et al. 2015).

Come descritto da Østergård et al. (2016), la tipologia di rapporto tra strumento CAD e di simulazione energetica può essere:

- *integrata*: quando la simulazione avviene all'interno del software CAD. Questa tipologia non è molto frequente in quanto i software di modellazione tendenzialmente non hanno strumenti affidabili per la simulazione energetica.
- *interoperabile indipendente*, quando ci sono dei canali di connessione diretti tra il software CAD e il motore di simulazione stabiliti tramite plug-in e API, dove la valutazione della performance avviene su un software indipendente oppure su un cloud. Esempi di questo tipo di rapporto sono plug-in come Green Building Studio (ora Insight 360) e Sefaira. Tuttavia è stato spesso riportato come i risultati di GBS e Insight 360 risultino spesso non affidabili (Nielsen 2017) e sono emerse varie difficoltà nella valutazione di vari scenari durante prime fasi della progettazione o l'ottimizzazione (Jensen 2017; Nielsen 2017).
- *tramite scambio di file*, quando il modello geometrico viene esportato in un formato standard e neutro, facilmente leggibile sia da strumenti CAD che di valutazione della performance energetica. La connessione tra il CAD e il modello analitico è stabilita su interfaccia di un software indipendente o su un cloud.
- *stand-alone*, se i dati devono venire interpretati dall'utente che ricostruisce il modello interpretando i disegni CAD. Questo tipo di approccio è quello che è solitamente utilizzato, ma è sconsigliato per la quantità di lavoro aggiuntivo e anche poiché questo processo risulta spesso arbitrario e inaccurato e quindi i risultati delle simulazioni sono inattendibili (Bazjanac 2010).

In relazione all'approccio con software interoperabili indipendenti, Asl et al. (2013) ha sviluppato Revit2GBSOpt per Autodesk Revit legato a Green Building Studio che è in grado di ottimizzare la performance energetica e illuminotecnica sulla piattaforma cloud di GBS, restituendo un modello ottimizzato. Questo approccio è sicuramente di facile utilizzo da parte del progettista, tuttavia è legato a un singolo software che rischia di diventare obsoleto, come è successo a Green Building Studio, ora sostituito da Insight 360, ed è limitato nelle opzioni di valutazione della prestazione del software di simulazione.



Per quanto riguarda l'approccio con scambio di file ci sono invece altri studi che utilizzano il formato IFC per lo scambio di informazioni tra il software di progettazione e quello di simulazione. Ad esempio, Pinheiro et al. (2016) propone un framework con simulazione *Life-Cost Cycle* per la minimizzazione del consumo energetico dell'edificio nel corso della sua vita utile. Anche Sanguinetti et al. (2012) presenta un approccio per fare diverse analisi (energetica e di valutazione dei costi) su un singolo modello esportato in IFC, in modo che il progettista possa verificare il modello con altri software senza dover ricostruire la geometria per ogni simulazione.

Un altro formato largamente utilizzato per la trasmissione di informazioni è il gbXML che è in grado di descrivere le proprietà e le caratteristiche geometriche dell'edificio, facilitando lo scambio di dati, specialmente con i programmi di simulazione energetica (Asmi et al. 2014). La sostanziale differenza con IFC, e il principale motivo per cui viene spesso scelto, è che considera le geometrie sotto forma di superfici (come il modello energetico), mentre IFC si esprime in oggetti che vengono decomposti in superfici al momento della modellazione energetica (Hitchcock et al. 2011). Inoltre, per il formato gbXML non è mai stata sviluppata una metodologia di esportazione e selezione dei dati come nell'IFC (tramite le MVD § 3.2.1) che definisca un sottogruppo di informazioni per supportare l'utente (Pinheiro et al. 2016).

Per questa ricerca è stato considerato più congeniale l'approccio tramite scambio di file IFC in quanto non legato a un determinato software per la modellazione geometrica o la simulazione energetica e più *user-friendly* dell'approccio *stand-alone*.

Per l'ottimizzazione della prestazione energetica risulta molto efficace la progettazione parametrica, un approccio generativo in grado di produrre autonomamente alternative, ottimizzando una determinata funzione (Oxman 2008). Si evince ciò anche dallo studio di Naboni et al. (2013) che sviluppa jEstPlus, altro software *stand-alone*, in grado di generare vari modelli alternativi, verificando poi qual è migliore dal punto di vista energetico. Anche in questo caso una delle perplessità principali sono le tempistiche di creazione e gestione del modello che deve essere ri-creato direttamente su un software a parte.

Asl et al. (2014) ha sviluppato successivamente un approccio integrato sviluppando un algoritmo su Dynamo (strumento Autodesk di Visual Programming Language) che parametrizza diverse caratteristiche del modello per suggerire al progettista soluzioni alternative. Questo approccio assomiglia come tipologia a quello della presente ricerca, però risulta strettamente legato all'utilizzo di Revit per la progettazione geometrica.

## 2.2 IFC per la simulazione energetica

Già negli anni Novanta si era cominciato a parlare di interoperabilità tra strumenti di disegno e di simulazione usando IFC, per esempio con la formulazione di SimCAD, un modulo in grado di passare informazioni da CAD a TRNSYS (Pelletret et al. 1999). Questo modulo era in grado di convertire le geometrie in DXF in file IFC, tuttavia dopo la trasformazione era necessario verificare e perfezionare il modello e assegnare le proprietà fisiche in quanto i file DXF contengono solo informazioni geometriche (Pelletret et al. 1999).

Al fine della simulazione energetica è necessario sviluppare un modello geometrico-analitico composto da geometrie a cui vengono assegnate caratteristiche fisiche sulla base delle quali viene calcolata la performance (Noack et al. 2017). Gli elementi principali che devono essere riconosciuti e inseriti correttamente nel modello IFC sono: gli "spazi" (*IfcSpace*) che determinano funzione, le "zone" (*IfcZone*) che identificano le zone termiche composte da diversi *IfcSpace* con le medesime richieste termiche ed energetiche e lo stesso sistema HVAC e le "superfici" (*IfcSurface*), il veicolo di trasferimento di calore tra gli *IfcSpace*. Questi sono i componenti base per la creazione del modello geometrico-analitico, a cui si aggiungono le caratteristiche fisiche.

Quando si è iniziato a studiare come esportare questi componenti dal modello geometrico architettonico, risultava una sfida l'esportazione di geometrie complesse in IFC per il riconoscimento delle superfici perimetrali degli spazi (Rose et al. 2015), ora questo problema è stato quasi del tutto risolto da BuildingSMART con l'introduzione della classe di relazione *IfcRelSpaceBoundary*

(Noack et al. 2017) e la definizione di vari livelli di rapporto tra superfici a seconda del tipo di trasmissione del calore tra loro (Rose et al. 2015).

Per facilitare lo scambio di dati per la simulazione (non solo energetica), buildingSMART ha concepito la metodologia delle *Model View Definition* (MVD), che raccoglie determinate classi IFC per rappresentare un determinato scenario; questo metodo è sviluppato a seguito di un *Information Delivery Manual* (IDM) per identificare e definire sottogruppi del modello IFC di cui l'utente ha bisogno (Pinheiro et al. 2015). Una MVD è organizzata in modo da ricavare specifiche informazioni dal modello al fine di creare un nuovo modello strutturato così che gli utenti possano focalizzarsi solo sui componenti importanti per il loro obiettivo (Noack et al. 2017).

Un IDM specifica quando e quali informazioni sono richieste all'interno dell'iter progettuale ed è composto da: *Exchange Requirements* (ER), la lista di tutte le informazioni comunicate, e *Exchange Requirements Model* (ERM), che organizza le ER in concetti che possano essere esportati (Asmi et al. 2015). Invece una MVD è composta da *MVD Overview*, che descrive l'IDM, il diagramma MVD, che definisce i concetti da utilizzare all'interno della MVD, e il *Concept Implementation Guidance*, che determina le entità IFC da utilizzare. Sostanzialmente, gli IDM descrivono gli attori e i loro attributi e relazioni e il processo MVD mappa gli ER nel modello IFC, estraendo dal modello ciò di cui l'utente ha bisogno.

Il tema della metodologia IDM/MVD è stato affrontato da parecchie ricerche, in primo luogo da Hecht et al. (2010) che ha sviluppato tre differenti IDM/MVD per supportare le prime fasi della progettazione rispettivamente per la simulazione energetica, la valutazione economica e la comunicazione di dati progettuali con gli altri stakeholder di progetto. Anche BuildingSMART ha sviluppato qualche MVD standard per permettere le simulazioni, come ad esempio (Pinheiro et al. 2015): *Coordination View*, *Reference View*, *Design Transfer View* e *Concept Design BIM 2010*. Tuttavia, come specifica Pinheiro et al. (2015), non sono state validate le MVD specifiche per ogni disciplina (strutturale, energetica...). Sia Pinheiro et al. (2015) che Noack et al. (2017) nelle rispettive ricerche sviluppano sistemi e strumenti appropriati per la creazione di una MVD personalizzata dall'utente al fine della simulazione energetica.

Nello studio di Asmi et al. (2015) per implementare l'interoperabilità con il software di simulazione COMETH, sono stati mappati gli elementi richiesti per la simulazione energetica in IFC4 e identificati gli elementi per cui non esiste ancora una classe IFC.

Altre ricerche invece si sono focalizzate sulla trasmissione dei dati dal formato IFC allo strumento di simulazione energetica, in quanto il formato IFC non può essere letto direttamente dagli strumenti di simulazione energetica ma deve essere mappato in un altro formato. Tra i primi Karola et al. (2002) aveva sviluppato un programma per trasformare le informazioni in formato IFC in IDF (*Intermediate Data Format*, formato compatibile con EnergyPlus). Tuttavia, questo algoritmo non era in grado di individuare le zone, ma solo gli spazi e di attribuire le caratteristiche fisiche agli elementi costruttivi.

Un altro esempio è l'interfaccia sviluppata da Ahn et al. (2014) per mappare geometrie e caratteristiche fisiche di un file IFC ricavato da uno strumento BIM per trasformarlo in IDF per la simulazione su EnergyPlus, che però riscontra parecchie difficoltà nell'automatizzazione del riconoscimento delle informazioni IFC e nella loro trasformazione da IFC a IDF.

Un approccio simile a quello di Ahn è quello di Bazjanac (2008), sviluppato ulteriormente e validato da Donnell et al. (2013) che propone un procedimento standard per il trasferimento delle informazioni da un modello BIM a uno strumento di simulazione energetica tramite la trasformazione del formato IFC in IDF, sviluppando questa volta un MVD apposito e un processo di *model checking* per verificare l'esattezza delle informazioni esportate. Questo sistema è stato ulteriormente implementato da Noack et al. (2017) che ha sviluppato un approccio chiamato eeBIM (*Energy Enhanced BIM*) in cui vengono inclusi i contributi provenienti da differenti domini per creare un sistema informativo completo per la simulazione energetica.

### 2.3 Limiti del formato IFC per la simulazione energetica

Nonostante il formato IFC sia un buon mezzo per permettere l'interoperabilità, presenta ancora alcune debolezze e avrebbe bisogno di ulteriori implementazioni per essere completamente efficace. Un problema è la mancanza di istanze ed entità per esprimere determinati concetti e requisiti necessari per la simulazione energetica, come già emerso da El Asmi et al. (2015), come ad esempio istanze per definire i sistemi HVAC. Per risolvere questo tipo di problematiche sono state proposte varie soluzioni:

- l'estensione dei *PropertySet*, uno dei metodi più semplici e usati, anche se non ha profondità semantica e deve essere concordato a priori all'interno del team di progetto. Questo metodo è stato utilizzato sia da El Asmi et al. (2015) sia nella presente ricerca;
- l'arricchimento semantico del modello IFC, come ha fatto Shayeganfar et al. (2008) attraverso la creazione un *Semantic Depository IFD* per definire gli elementi costruttivi facendo riferimento a un *repository* pre-costituito su Internet e generando una struttura simile a quella IFC con istanze ed entità;
- la conversione del linguaggio IFC in un linguaggio semantico web in cui si possano aggiungere ulteriori informazioni con struttura gerarchica come quella di IFC (Venugopal et al. 2012).

Inoltre, emerge dalla ricerca di Ahn et al. (2015) e di Rose et al. (2015) una difficoltà ad affrontare geometrie complesse o superfici curve o inclinate.

Infine, sarebbe richiesto anche un ulteriore sforzo agli sviluppatori di software per quanto riguarda l'esportazione dei modelli in modo che non vengano trascurate o abbinate male alcune informazioni in formato IFC, come rilevato da Fallon et al. (2011) e Abanda et al. (2013).

Inoltre, un altro problema riscontrato per questo genere di formati è il rapporto con la progettazione parametrica, in quanto IFC manca di supporto per la modellazione dinamica per la sua stessa struttura interna ed è in grado di esprimere solo un'"istantanea" della progettazione parametrica (Negendahl 2015).

## 3 Metodologia

### 3.1 Il framework concettuale di progetto

Il *framework* concettuale è rappresentato dallo schema in fig. 1, è stato sviluppato sulla base della letteratura esistente ed è costituito da quattro fasi:

1. L'analisi delle informazioni di background, quali i requisiti costruttivi e termici, eventuali vincoli architettonici e di contesto, le prestazioni termica e illuminotecnica minime richieste ed eventuali esigenze per quanto riguarda le aperture in numero o altezza fissa. In questa fase si lavora sul modello BIM e si raccolgono anche i dati ambientali relativi alla geolocalizzazione.
2. Raccolta dati in ambiente BIM: grazie al BIM si è in grado di categorizzare e ordinare le informazioni correttamente e di creare relazioni tra gli elementi costruttivi e le loro caratteristiche in modo da creare un modello completo e coerente. In seguito viene generato un file IFC con tutte le informazioni relative alla geometria, alle sue caratteristiche e vincoli. In questo studio l'esportazione è stata eseguita tramite una MVD standard (*Design Transfer View IFC4*), predefinita dal programma di modellazione Revit. Questa MVD è stata preventivamente verificata, in modo che contenesse tutte le informazioni necessarie per la simulazione energetica e che queste fossero correttamente associate agli elementi geometrici e costruttivi senza inesattezze (§ 3.2.1).
3. Applicazione del sistema generativo: il modello IFC viene letto e vengono ricavate le informazioni necessarie per la simulazione energetica tramite un plug-in chiamato Geometry Gym. In seguito avviene la modellazione di queste informazioni e l'ottimizzazione di alcune componenti nello spazio parametrico di modellazione, implementando le informazioni ancora indefinite manualmente o con valori di riferimento. Il plug-in utilizzato per

l'ottimizzazione è Galapagos che, tramite una logica evuzionista di algoritmi genetici, risolve problemi multi-obiettivo, per ottenere la minimizzazione o la massimizzazione di un definito parametro tramite l'esplorazione dello spazio progettuale. In questo caso il fattore da minimizzare è il consumo energetico medio dell'edificio. I due elementi parametrizzati sono l'orientamento e la percentuale vetrata su ogni superficie; quest'ultima viene valutata sulla base della zona termica a cui appartiene, ai suoi requisiti e al suo orientamento. Inoltre i risultati dell'ottimizzazione vengono ulteriormente filtrati tramite i requisiti di illuminazione minima richiesti dalla normativa. Le simulazioni energetica e illumino-tecnica dei vari modelli sono effettuate tramite i toolkit Ladybug e Honeybee che collaborano con i software Radiance e OpenStudio.

4. Generazione di output: i risultati dell'ottimizzazione sono l'angolo di orientamento dell'edificio e la percentuale di superficie vetrata in relazione all'orientamento della parete e alla zona termica a cui appartiene l'apertura. Il sistema fornisce anche il valore di consumo energetico medio della costruzione e il fattore illumino-tecnico per ogni scenario; questi fattori potrebbero supportare ulteriormente le scelte progettuali del team di design. Inoltre il *framework* può essere modificato in modo da fornire altri risultati che permettano valutazioni aggiuntive, come ad esempio il comfort termico, il consumo mensile, le perdite e i guadagni in termini calorifici delle superfici, l'autonomia luminosa, ecc.

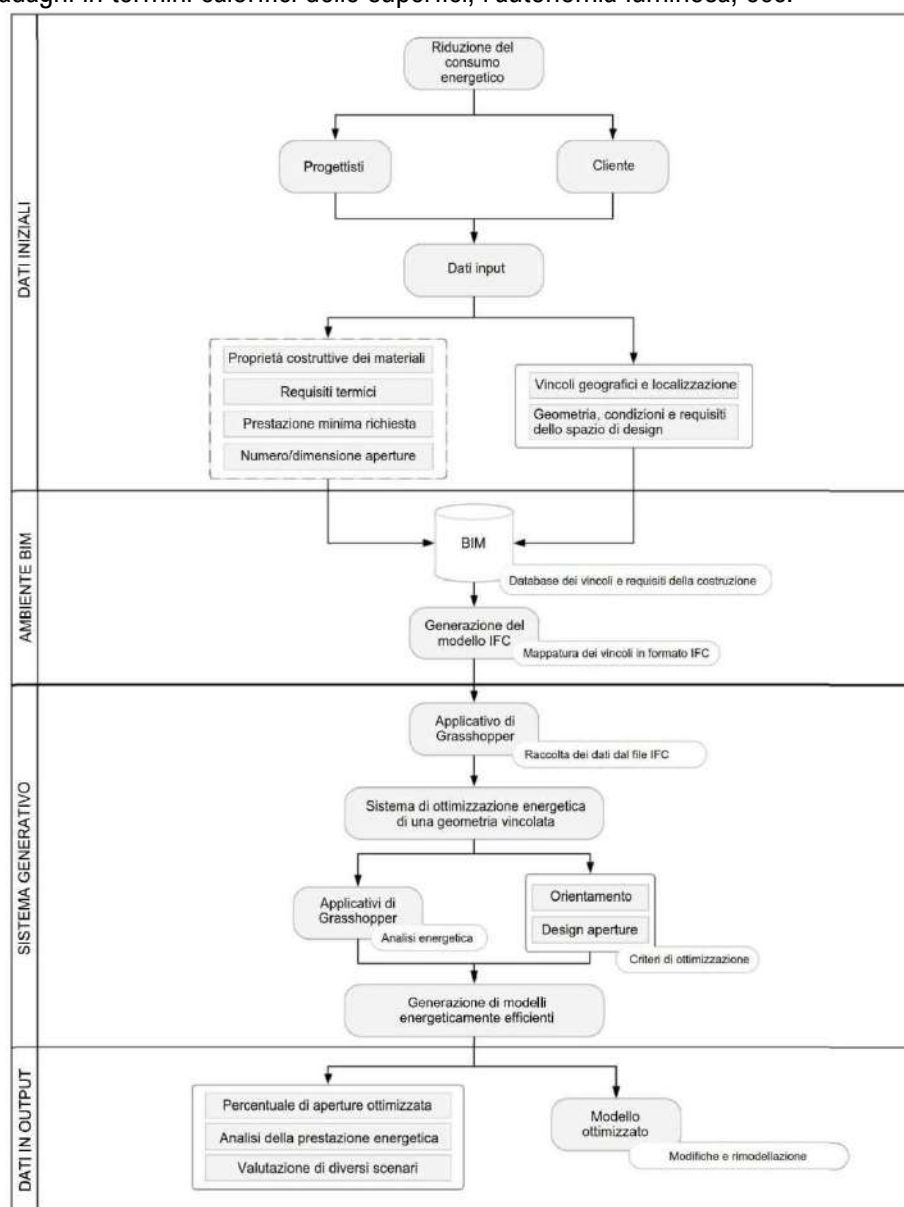


Fig.1 - Framework concettuale dell'algoritmo di ottimizzazione energetica.

### 3.2 Scambio di dati tra il sistema BIM, il formato IFC e l'ambiente parametrico di progettazione

#### 3.2.1 Esportazione dall'ambiente BIM al formato IFC

Il trasferimento delle informazioni da un ambiente BIM all'ambiente di modellazione parametrica dove è stato sviluppato l'algoritmo (Grasshopper di Rhinoceros 3D) non è diretto e per questo è stato scelto un formato neutro, IFC, come mezzo di trasmissione dei dati. In modo da costruire un modello energetico valido è stata definita una *Model View Definition* di base con le informazioni che è necessario siano estratte dal modello IFC.

Il modello iniziale della costruzione era stato modellato in Revit ed è stato esportato tramite il plug-in "IFC for Revit". Per estrarre le informazioni corrette in primo luogo sono stati elencati gli *Exchange Requirements* richiesti per il modello energetico (tab. 1). La sezione "Geometria" è fondamentale per lo svolgersi dell'ottimizzazione; per quanto riguarda gli altri dati, nell'algoritmo è stato previsto che, se non identificate da Geometry Gym, possano essere anche attribuiti valori standard di riferimento per ovviare il caso in cui queste caratteristiche non siano ancora state definite nelle prime fasi della progettazione.

Nome Exchange Requirement	Intervallo di valori soglia		Unità di misura	Descrizione
	Valore min	Valore max		
Geometria				
Elementi costruttivi	\		\	Determina di tutti gli elementi base della struttura e i componenti del progetto. È collegato anche alle caratteristiche del sito di costruzione.
Spazi e zone	\		\	Lo spazio definisce un'area o un volume con una specifica funzione. Queste sono associate a un determinato piano della costruzione. La zona è un insieme di spazi caratterizzati dagli stessi requisiti e carichi termici.
Elementi opachi della struttura	\		\	Questa categoria comprende tutti gli elementi costruttivi che costituiscono l'edificio, in particolare gli elementi opachi che definiscono gli spazi.
Elementi trasparenti della struttura	\		\	Questa voce è composta da tutti gli elementi che definiscono un'apertura, questi sono considerati i vuoti all'interno degli elementi opachi (riempiti di solito da vetro).
Definizione delle zone				
Programma della zona	\		\	Definisce della funzione dell'edificio in generale in base a capienza, tipologia di attività, requisiti della costruzione (scuola, ufficio, residenza, ospedale...). Di solito non è possibile definirla nel software BIM.
Funzione della zona	\		\	Delimita più nello specifico il programma della zona, sulla base delle funzioni del singolo spazio/zona della costruzione. Per esempio zona notte e zona giorno avranno requisiti diversi.
Caratteristiche delle aree vetrate				
Superficie vetrata della zona	0	0,95	%	Delimita la quantità fisse di area vetrata assegnata a una determinate zona/spazio. Il numero definisce la percentuale di area vetrata in rapporto alla superficie murata che si affaccia su ogni punto cardinale.
Altezza della finestra della zona	0,5	3	m	Definisce l'altezza di ogni apertura per ogni zona (se fissa).
Altezza del davanzale per zona	1	3	m	Determina la distanza della parte inferiore dell'apertura dal pavimento.
Sistemi HVAC				
Lista dei sistemi HVAC	\		\	Descrive i sistemi HVAC del modello energetico.
Proprietà dei sistemi costruttivi				
Fattore R dei muri	1	50	m² K/W	Specifica la resistenza termica dei muri.
Fattore R dei pavimenti	1	50	m² K/W	Specifica la resistenza termica dei pavimenti.
Fattore R dei tetti	1	50	m² K/W	Specifica la resistenza termica dei tetti.
Fattore R delle aperture	1	6	W/m² K	Determina la conduttività delle finestre in inverno in condizione di riscaldamento acceso.
Fattore SHGC delle aperture (guadagno solare)	0,1	0,9	\	Rappresenta il coefficiente di guadagno solare (SHGC, Solar Heat Gain Coefficient) dell'apertura e contribuisce all'apporto di calore all'interno dell'edificio.
Fattore VT delle aperture	0,1	0,9	\	Racchiude la trasmittanza visibile (VT, Visible Transmittance) dell'apertura: indica la frazione di luce visibile trasmessa attraverso le finestre.
Carichi previsti				



Nome Exchange Requirement	Intervallo di valori soglia		Unità di misura	Descrizione
	Valore min	Valore max		
Carico delle apparecchiature per area	2	15	W/m <sup>2</sup>	Indica il carico delle apparecchiature domestiche per metro quadro (PC, TV, lavatrice...).
Tasso di infiltrazione per area	0,0001	0,01	m <sup>3</sup> /s m <sup>2</sup>	Delinea il tasso di aria esterna in grado di infiltrarsi nello spazio adiacente per metro quadro. Un fattore ben calibrato permette una buona ventilazione nel periodo estivo.
Carico dell'illuminazione per area	3	15	W/m <sup>2</sup>	Indica il carico dell'illuminazione per metro quadro.
Tasso di occupazione dell'area	0,01	0,5	ppl/m <sup>2</sup>	Delinea il numero di persone per metro quadro di pavimento al picco di occupazione dell'area.
Tasso di ventilazione per persona	0,001	0,02	m <sup>3</sup> /s	Definisce il tasso minimo di ventilazione con aria esterna per persona all'interno dell'area. È dipendente del tasso di occupazione dell'area.
<b>Valori soglia previsti</b>				
Valore di riferimento per il raffrescamento della zona	20	45	°C	Rappresenta il valore di riferimento del termostato per quanto riguarda il raffrescamento dell'area. È la temperatura sopra la quale viene acceso il sistema di raffrescamento.
Valore di riferimento per il riscaldamento della zona	15	25	°C	Rappresenta il valore di riferimento del termostato per quanto riguarda il riscaldamento dell'area. È la temperatura sopra la quale viene acceso il sistema di riscaldamento.
Valore di riferimento dell'illuminamento della zona	150	300	lux	Indica la soglia di illuminamento oltre al quale le luci elettriche verranno accese perché la luce naturale è insufficiente (dipende dalla funzione della zona).
Punto di controllo dell'illuminazione naturale della zona	0	1	\	Rappresenta la frazione di area della zona oltre la quale non verrà effettuato il controllo del valore di illuminamento e magari sarà necessario accendere la luce elettrica, in quanto di solito il punto di controllo è al centro della stanza. Il punto di controllo può essere però spostato nel caso di stanze particolarmente profonde.
<b>Ventilazione naturale</b>				
Temperatura minima per la ventilazione naturale	0	25	°C	Rappresenta la temperatura interna minimo alla quale viene permessa la ventilazione naturale.
Temperatura massima per la ventilazione naturale	20	45	°C	Rappresenta la temperatura interna massima alla quale viene permessa la ventilazione naturale.

**Tab. 1** - Lista degli Exchange Requirements (IDM) necessari per la definizione del modello energetico.

Lo step successivo richiede l'associazione degli Exchange Requirements alla loro rappresentazione come componenti o *PropertySet* IFC. La tab. 2 può essere definita *Concept Implementation Guidance* della MVD in questione. Tuttavia ci sono alcune informazioni necessarie per la simulazione e ottimizzazione energetica che non sono riconosciute nello schema IFC e per questo sono state create manualmente con lo stesso metodo utilizzato da Asmi et al. (2014), cioè attribuendo nuove *Property* definite manualmente dall'autore a componenti IFC già esistenti. Queste sono riconoscibili per il *tick* nella colonna apposita della tab. 2.

Nome dell'ER	Componente IFC	IFC PropertySet	IFC Property	ER non definiti da buildingSMART
<b>Geometria</b>				
Elementi costruttivi	IfcBuilding	PSet_BuildingCommon, ObjectRepresentation, RelatedElements	\	
Spazi e zone	IfcSpace, IfcZone	PSet_SpaceCommon, ObjectPlacement, ObjectRepresentation, RelatedElements	\	
Elementi opachi della struttura	IfcWall, IfcSlab, IfcRoof, IfcColumn, IfcBeam, IfcStair	Pset_Common, ObjectPlacement, ObjectRepresentation, RelatedElements	\	



Nome dell'ER	Componente IFC	IFC PropertySet	IFC Property	ER non definiti da buildingSMART
Elementi trasparenti della struttura	IfcOpeningElement, IfcDoor, IfcWindow, IfcCurtainWall	Pset_Common, ObjectPlacement, ObjectRepresentation, RelatedElements	\	
<b>Definizione delle zone</b>				
Programma della zona	IfcZone	Pset_Zone_EarlyStage	Building Function	✓
Funzione della zona	IfcZone	Pset_Zone_EarlyStage	Space Function	✓
<b>Caratteristiche delle aree vetrate</b>				
Superficie vetrata della zona	IfcWindow	\	WWR North	✓
			WWR East	
			WWR South	
			WWR West	
Altezza della finestra della zona	IfcWindow	ObjectRepresentation	Window Height	
Altezza del davanzale della zona	IfcWindow	Pset_DoorWindowGlazingType	SillHeight	✓
<b>Sistemi HVAC</b>				
Lista dei sistemi HVAC	\	\	\	
<b>Proprietà dei sistemi costruttivi</b>				
Fattore R dei muri	IfcWall	Pset_WallCommon	ThermalTransmittance	
Fattore R dei pavimenti	IfcSlab	Pset_SlabCommon	ThermalTransmittance	
Fattore R dei tetti	IfcRoof	Pset_RoofCommon	ThermalTransmittance	
Fattore R delle aperture	IfcWindow	Pset_WindowCommon	ThermalTransmittance	
		Pset_DoorWindowGlazingType	ThermalTransmittanceWinter	
Fattore SHGC delle aperture (guadagno solare)	IfcWindow	Pset_DoorWindowGlazingType	SolarHeatGainTransmittance	
Fattore VT delle aperture	IfcWindow	Pset_DoorWindowGlazingType	BeamRadiationTrasmittance	
<b>Carichi previsti</b>				
Carico delle apparecchiature per area	IfcSpace	Pset_AirSideSystemInformation	ApplianceDiversity	
Tasso di infiltrazione per area	IfcSpace	Pset_AirSideSystemInformation	InfiltrationDiversitySummer	
Carico dell'illuminazione per area	IfcSpace	Pset_AirSideSystemInformation	LightingDiversity	
Tasso di occupazione dell'area	IfcSpace	Pset_SpaceOccupancy Requirements	AreaPerOccupant	
Tasso di ventilazione per persona	IfcZone	Pset_SpaceThermalRequirements	NaturalVentilationRate	
	IfcSpace	Pset_AirSideSystemInformation	Ventilation	
<b>Valori soglia previsti</b>				
Valore di riferimento per il raffrescamento della zona	IfcZone	Pset_SpaceThermalRequirements	SpaceTemperatureMax	
Valore di riferimento per il riscaldamento della zona	IfcZone	Pset_SpaceThermalRequirements	SpaceTemperatureMin	
Valore di riferimento dell'illuminamento della zona	IfcSpace	Pset_SpaceLightingRequirements	Illuminance	
Punto di controllo dell'illuminazione naturale della zona	\	\	\	
<b>Ventilazione naturale</b>				
Temperatura minima per la ventilazione naturale	IfcZone	Pset_SpaceThermalRequirements	VentilationTemperatureMin	✓
Temperatura massima per la ventilazione naturale	IfcZone	Pset_SpaceThermalRequirements	VentilationTemperatureMax	✓

Tab. 2 - Concept Implementation Guidance (MVD) per la definizione del modello energetico.

Prima di esportare il modello con un qualunque software BIM è fondamentale accertarsi di avere definito le zone termiche, necessarie per la simulazione e ottimizzazione e che queste siano esportate correttamente come *IfcZone*. Infatti è consigliabile tramite un'operazione di *model checking* preventiva verificare che tutti gli elementi definiti nell'ERM siano esportati effettivamente in IFC e soprattutto associati correttamente al componente o *PropertySet* IFC indicato nella MVD, in quanto nei diversi software BIM al momento dell'esportazione si possono trovare alcuni elementi costruttivi esportati su un'entità IFC diversa a seconda del software utilizzato. Questo procedimento

è stato eseguito nella presente ricerca su Revit con la MVD di esportazione *Design Transfer View IFC4*.

### 3.2.2 Importazione dal formato IFC all'ambiente parametrico di modellazione

L'ambiente di modellazione di Grasshopper permette l'ottimizzazione del modello tramite la parametrizzazione di alcuni fattori. Per trasferire le informazioni del modello BIM è stato utilizzato appunto l'IFC, la cui lettura è permessa grazie al plug-in Geometry Gym che è nato proprio per superare il gap di interoperabilità di Grasshopper (Mirtschin 2011), in quanto Rhinoceros non è in grado di leggere i file IFC nativamente.

Geometry Gym copre una vasta gamma di funzioni tra cui la lettura e scomposizione di file IFC per generare modelli ed estrarre informazioni, la generazione di file IFC e la creazione di strutture IFC personalizzate.

Lo schema di decostruzione del modello IFC per generare il modello e trovare le informazioni necessarie per la simulazione energetica è schematizzato in fig. 2.

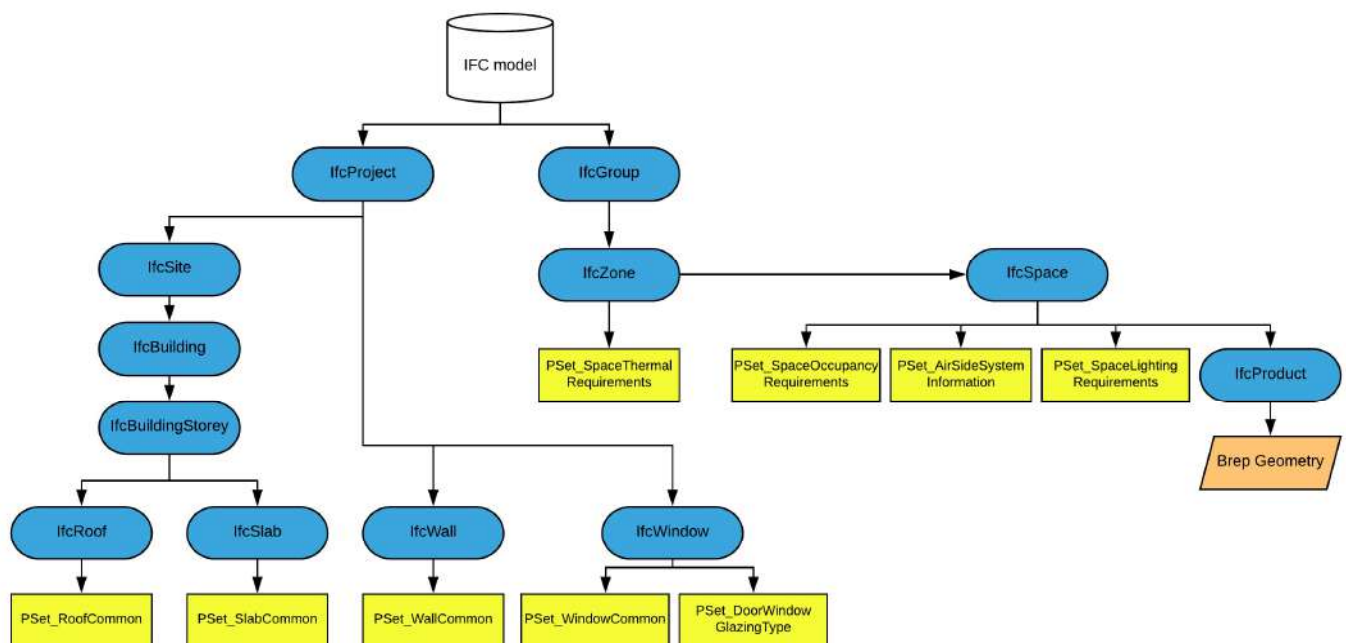


Fig. 2 - Diagramma del processo di decomposizione attuato tramite Geometry Gym.

Le caselle blu sono gli oggetti IFC e quelle gialle sono i *PropertySet* che contengono i requisiti termici e illuminotecnici. La casella arancione rappresenta il nodo di Geometry Gym che permette la trasformazione delle classi *IfcObjectRepresentation*, *IfcObjectPlacement* e *IfcSpace* in un modello geometrico solido in forma di *B-rep* (*Boundary Representation*). La *B-rep* è una forma di modello composta da superfici connesse a metà tra il solido e il non-solido che è adatta alla generazione di modelli energetici. La parte di algoritmo sviluppata con Geometry Gym utilizza vari nodi che scorrono specifiche entità e i gruppi IFC nei loro rispettivi sottotipi e attributi.

## 4 Conclusioni

L'obiettivo della ricerca era l'ottimizzazione energetica di un modello geometrico tramite l'esportazione delle informazioni dal sistema BIM al formato standard e neutro IFC e la valutazione di possibili soluzioni in un sistema parametrico generativo in grado di interpretare il file IFC e

parametrizzarlo. Questo approccio è stato scelto in quanto indipendente dal software di partenza e *user-friendly* nei confronti di chi non ha esperienza riguardo alla simulazione energetica. Sono state individuate le entità IFC necessarie per la simulazione energetica ed è stato sviluppato un algoritmo su Grasshopper per leggerle nello spazio parametrico di simulazione e per permettere la valutazione della prestazione energetica e la sua ottimizzazione. Si può evidenziare come il formato IFC abbia bisogno di essere integrato con ulteriori informazioni in quanto mancano attributi necessari per la descrizione completa del modello energetico. Inoltre, sarebbe necessaria una guida definitiva in modo che non ci siano imprecisioni nell'esportazione dagli elementi costruttivi BIM alle entità IFC e per evitare errori nella fase di generazione del modello.

## 5 Riconoscimenti

Questa ricerca nasce come lavoro di tesi presso l'Università degli Studi di Padova con il supporto del relatore di tesi prof. Andrea Giordano e del correlatore Ph.D. ing. Paolo Borin.

## 6 Bibliografia

- Abanda H. F., Zhou W., Tah J. H. M., Cheung F. 2013. Exploring the Relationships Between Linked Open Data and Building Information Modelling. *Sustainable Building Conference*: 176–85. Coventry: Coventry University.
- Ahn K. U., Kim Y. J., Park C. S., Kim I., Lee K. 2014. BIM Interface for Full vs. Semi-Automated Building Energy Simulation. *Energy and Buildings*, (68) (PART B): 671–78.
- Asl R.M., Bergin M., Menter A., Yan W. 2014. BIM-based Parametric Building Energy Performance Multi-Objective Optimization. *Fusion, proceedings of the 32nd international conference on education and research in computer aided architectural design in Europe vol. 2. eCAADe*: 455–464. Newcastle upon Tyne, UK: Northumbria University.
- Asl R.M., Zarrinmehr S., Yan W. 2013. Towards BIM-based parametric building energy performance optimization. *Acadia 2013: Adaptive Architecture*: 101–108. College Station: Texas A&M University.
- Asmi, E. E., Robert S., Haas B., Zreik K. 2015. A Standardized Approach to BIM and Energy Simulation Connection. *International Journal of Design Sciences and Technology*, 21 (1): 59–82.
- Asmi E. E., Robert S., Mazza D., Zreik K. 2014. Multi-Physical Model Simulation and Interoperability through BIM / IFC Using COMETH Simulation Engine Using COMETH Simulation Engine. *14th International Conference on the Advances in Design Sciences and Technology*: 1–12.
- Attia S., Gratia E., De Herde A., Hensen J.L.M. 2012. Simulation-Based Decision Support Tool for Early Stages of Zero-Energy Building Design. *Energy and Buildings* (49):2–15.
- Attia S., Hamdy M., O'Brien W., Carlucci S. 2013. Assessing Gaps and Needs for Integrating Building Performance Optimization Tools in Net Zero Energy Buildings Design. *Energy and Buildings* (60): 110–24.
- Bazjanac V. 2008. IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation. *CIB-W78 25th International Conference on Information Technology in Construction*: 292–99.
- Bazjanac V. 2010. Space Boundary Requirements for Modeling of Building Geometry for Energy and Other Performance Simulation. *27th CIB-W78 Conference*: 16–18.
- Diakaki C., Grigoroudis E., Kabelis N., Kolokotsa D., Kalaitzakis K., Stavrakakis G. 2010. A Multi-Objective Decision Model for the Improvement of Energy Efficiency in Buildings. *Energy*35 (12): 5483–96.
- Donnell J. T. O., Maile T., Rose C., Morrissey E., Regnier C., Parrish K., Bazjanac V. 2013. *Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- EU Directive. 2018/844/EU of the European Parliament and of the Council of 30<sup>th</sup> May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency. Brussels: European Parliament.
- Fallon K., Feldman R. 2011. Experimental Building Information Models: Using Autodesk Revit for COBie-Compliant Designs. *US Army Corps of Engineers*.
- Hecht L., Singh R. 2010. Summary of the Architecture, Engineering, Construction, Owner Operator Phase 1 (AECOO-1) Joint Testbed.

- Hitchcock R.J., Wong J. 2011. Transforming IFC architectural BIMs for energy simulation: 2011. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November*
- Jensen S.B. 2017. Thermal Comfort and Indoor Air Quality. *Building Information Modeling (BIM) for Indoor Environmental Performance Analysis*, edited by Kirkegaard P.H. and Kamari A.:16–26. Aarhus: Aarhus University.
- Karola A., Lahtela H., Hänninen R., Hitchcock R., Chen Q., Dajka S., Hagström K. 2002. BPro COM-Server - Interoperability between Software Tools Using Industrial Foundation Classes. *Energy and Buildings* 34 (9):901–7.
- Mirtschin J. 2011. Engaging Generative BIM Workflows. *IABSE-IASS Conference* (8). London.
- Naboni E., Zhang Y., Maccarini A., Hirsh E., Lezzi D. 2013. Extending the use of parametric simulation in practice through a cloud-based online service. *Proceedings of first IBPSA-Italy conference BSA 2013*: 105–112.
- Negendahl K. 2015. Building Performance Simulation in the Early Design Stage: An Introduction to Integrated Dynamic Models. *Automation in Construction* (54):39–53.
- Nielsen C. 2017. Thermal Comfort and Moisture. *Building Information Modeling (BIM) for Indoor Environmental Performance Analysis*, edited by Kirkegaard P.H. and Kamari A.:76–86. Aarhus: Aarhus University.
- Noack F., Pirnbaum S., Kadolsky M., Katranuschkov P., Dimitriou V., Firth S., Tarek H., Fouchal F., FHR Team. 2017. Multi-Model Specification and Domain Model Filtering, Report 4.2. *Design4Energy*: 3-77.
- Østergård T., Jensen R. T.; Maagaard S. 2016. Building simulations supporting decision making in early design – A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (61): 187-201.
- Oxman R. 2008. Performance-Based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing* 6 (1):1–17.
- Pelletret R., Keilholz W. 1999. Coupling CAD Tools and Building Simulation Evaluators. *Sixth International IBPSA Conference*: 1197–1202.
- Pinheiro S., Wimmer R., Muhic S., Maile T., O'Donnell J., Bazjanac V., Frisch J., van Treeck C. 2016. Model View Definition for Advanced Building Energy Performance Simulation. *Automation in construction* (90): 91-103.
- Rose C. M., Bazjanac V. 2015. An Algorithm to Generate Space Boundaries for Building Energy Simulation. *Engineering with Computers* 31 (2): 271–80.
- Sanguinetti P., Abdelmohsen S., Lee J., Lee J., Sheward H., Eastman C. 2012. Advanced Engineering Informatics General System 160 Architecture for BIM: An Integrated Approach for Design and Analysis. *Advanced Engineering Informatics* 26 (2):317–333.
- Shayeganfar F., Mahdavi A., Suter G., Anjomshoaa A. 2008. Implementation of an IFD Library Using Semantic Web Technologies: A Case Study. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2008*: 539–44.
- Tian Z.C., Chen W.Q., Tang P., Wang J.G., Shi X. 2015. Building Energy Optimization Tools and Their Applicability in Architectural Conceptual Design Stage. *Energy Procedia* (78): 2572–77.
- Venugopal M., Eastman C.M., Teizer J. 2012. An Ontological Approach to Building Information Model Exchanges in the Precast/Pre-Stressed Concrete Industry. *Construction Research Congress*: 1114–23.

# openBIM per la progettazione integrata di un complesso sportivo: un progetto di tesi

Ilaria Martarelli

Politecnico di Milano, Milano, Italia

**ABSTRACT:** Il contributo presenterà gli esiti dell'impiego dell'openBIM nel progetto di un centro sportivo realizzato nell'ambito del Laboratorio di Architettura delle Costruzioni Complesse II all'interno del corso di Laurea in Architettura delle Costruzioni del Politecnico di Milano.

Considerata la sua vasta estensione e il ricco programma funzionale, l'uso del BIM è sembrata l'unica soluzione per gestire efficacemente un progetto così complesso. Tuttavia, è stato immediatamente notato come le sue potenzialità fossero molte più di quelle di un modello geometrico tridimensionale, in virtù della dinamicità nella gestione dell'evoluzione del progetto concessa dagli strumenti utilizzati, della possibilità di condivisione delle informazioni fra studenti e studenti e fra studenti e docenti e di un approccio maggiormente efficace nello sviluppo di una progettazione interdisciplinare realmente integrata.

Tutto ciò si è concretizzato anche attraverso l'uso dei formati aperti IFC e XML di interscambio tra le piattaforme, i quali hanno giocato un ruolo centrale per la gestione del progetto, per favorire l'integrazione tra i processi informativi, per dare completezza e accuratezza al modello. Tuttavia, la gestione dei dati derivanti da software differenti ha prodotto alcune criticità.

Il contributo approfondirà le soluzioni specifiche adottate per il controllo delle informazioni e ovviare ai problemi rilevati.

**KEYWORDS:** interdisciplinarietà, collaborazione, IFC.

## 1 Introduzione

Il presente contributo intende mostrare il metodo con il quale è stata affrontata la progettazione secondo metodologia BIM (*Building Information Modeling*) di un centro sportivo situato nel comune di Sesto San Giovanni, all'interno dell'area metropolitana di Milano.

Il progetto, tesi di laurea magistrale in Architettura delle Costruzioni presso il Politecnico di Milano, è stato sviluppato in collaborazione con Andrea Angiolini e Anna Laura Rizzi durante il Laboratorio di Progettazione delle Architetture Complesse II.

Il tema, proposto dal prof. Tomaso Monestiroli, nasce da un'analisi dettagliata della domanda e dell'offerta dei servizi destinati attualmente alla città. A tal proposito si nota la carenza non solo di impianti sportivi capaci di ospitare un gran numero di utenti in favore di centri con dimensioni più contenute (di solito di pertinenza delle scuole pubbliche), ma anche una mancanza di luoghi adibiti a specifiche discipline sportive all'interno della città di Milano.

In aggiunta, la scelta del tema ben si presta a sperimentare alcune soluzioni strutturali ardite, per le grandi luci da coprire, e questioni impiantistiche estreme, per la presenza congiunta di una piscina e di un campo da hockey, che prevedono condizioni di comfort opposte.

L'area di progetto si colloca tra la rete ferroviaria che connette Sesto San Giovanni a Milano e via Gramsci, asse stradale principale su cui confluiscono i traffici veicolari, dei mezzi pubblici e su cui si attestano le fermate della rete metropolitana. Pertanto l'area, interessata anche da nuovi interventi infrastrutturali e architettonici al fine di realizzare la nuova "Città della Salute" nella zona delle ex acciaierie Falck, risulta particolarmente adatta ad ospitare un ricco programma funzionale. Quest'ultimo, esaminato in collaborazione con la docenza, include:



- un palazzetto per gli sport su ghiaccio per 3.000/4.000 spettatori, con la possibilità di essere adattato anche per ospitare altri eventi (a tal proposito è esplicitativo l'esempio del Palalpitour di Torino);
- una pista di ghiaccio per l'allenamento, che supporti il palazzetto in caso di tornei ma che, al contempo, possa anche essere utilizzata indipendentemente;
- una palestra attrezzata per ospitare differenti pratiche sportive;
- una piscina della lunghezza di 25 m, una per i tuffi ed una per i bambini;
- una SPA;
- un solarium esterno;
- uno spazio pubblico esterno con rispettivi parcheggi, aree verdi o a parco, piazze, percorsi per viabilità ciclo-pedonale, aree commerciali.

Alla complessità architettonica si aggiunge poi una complessità informativa (e tecnica) data dagli approfondimenti strutturale, impiantistico, tecnologico e di impatto ambientale.

In via preliminare, all'avvio delle attività ci si è occupati di definire:

- il tema;
- le norme vigenti;
- l'organizzazione generale del team di progetto, costituito da tre persone;
- il rapporto coi docenti;
- la metodologia e gli strumenti di progettazione da applicare, per i quali è stato scelto rispettivamente il Building Information Modeling ed Autodesk Revit come software di authoring. Sebbene possa sembrare che tale decisione sia dettata prevalentemente dalla necessità di gestire un progetto tanto complesso e dettagliato mantenendo un alto livello qualitativo, in realtà hanno giocato un ruolo fondamentale anche aspetti di gestione del lavoro:
  - interna, ovvero tra i componenti del gruppo, dovuti alla difficoltà di poter lavorare riuniti in uno stesso luogo fisico per divergenze di impegni lavorativi e studenteschi, di luoghi di residenza, di programmi futuri (ciascuno aveva già previsto di svolgere un periodo di formazione all'estero);
  - esterna, ovvero con i professori, in particolare con coloro i quali conoscevano le potenzialità del BIM e avevano modo di indicare un percorso di apprendimento fatto anche di buona organizzazione e coordinamento dei compiti.

A tal proposito, è necessario sottolineare che trattandosi di un esercizio accademico progettuale, molte delle problematiche riscontrate sono state dettate dall'inesperienza.

Per superare queste limitazioni il lavoro è stato condiviso attraverso la piattaforma Autodesk A360, che ha permesso di risolvere problematiche di gestione dei modelli in tempo reale mediante feedback trasmessi via e-mail; di abbattere i tempi canonici tra una revisione e l'altra (solitamente una settimana), prima di poter avere un riscontro dalla docenza; di aggiornare il lavoro, rispettando i tempi di consegna, anche quando uno studente o un professore non erano disponibili.

## 2 Programmazione

Dal punto di vista operativo, il lavoro è stato organizzato in tre fasi:

1. analisi del contesto e ragionamenti urbanistici, attraverso l'utilizzo di Autodesk Revit e Graphisoft Archicad quali strumenti di modellazione. L'uso di quest'ultimo si è reso necessario in virtù dell'esigenza di riutilizzare modelli informativi elaborati precedentemente;
2. progettazione architettonica, effettuata mediante il software Autodesk Revit (v. 2018);
3. approfondimento di aspetti tecnici specialistici, con i programmi:
  - Midas GEN, per il calcolo strutturale;
  - Logical Soft Termolog, per la certificazione energetica;
  - Autodesk Navisworks, per il controllo delle interferenze;
  - CES EduPack, per l'analisi di impatto ambientale.



### 3 Contesto

La progettazione ha inizio con l'analisi della città di Sesto San Giovanni sia a scala urbana sia ad una scala più piccola, relativa all'intorno adiacente il lotto. Lo scopo, ossia la rappresentazione di informazioni circa altezze, distanze, allineamenti, fronti, si è conseguito tramite Autodesk Revit, effettuando la modellazione puramente geometrica dell'edificio e degli isolati.

Di conseguenza, considerando che il contesto non necessitava di un livello di dettaglio elevato, sono state utilizzate delle masse locali, della categoria modelli generici con estrusioni e vuoti. In verità, solo alla fine della progettazione si è constatato che tale decisione ha generato un file inutilmente pesante viste le scarse informazioni presenti.

L'elemento della stazione ferroviaria e delle sue aree di pertinenza, di interesse maggiore sia per la vicinanza con il nuovo impianto (si prevedevano percorsi e spazio esterno condivisi) sia per una questione progettuale, è stata dettagliatamente modellata. Infatti, la stazione di Sesto San Giovanni, essendo stato il tema progettuale del corso intitolato "Laboratorio di Progettazione delle Architetture Complesse I", era da includere nel nuovo masterplan.

Tuttavia, questa volontà si è scontrata con una prima problematica: il progetto della stazione era stato modellato in Graphisoft Archicad.

Si è posto quindi il quesito di come inserire il modello della stazione ferroviaria, sviluppato in Graphisoft Archicad, all'interno del modello centrale del contesto di Sesto San Giovanni e, soprattutto, di quali contenuti importare.

Lo scopo di questa importazione era di ottenere un modello unico e completo, che desse informazioni prettamente geometriche: non era richiesta nessuna analisi o verifica specialistica, nessuna informazione sui materiali impiegati, nessuna indicazione che non fosse puramente dimensionale; perciò, visto lo scarso interesse per le questioni non geometriche, il trasferimento di informazioni fra i due software è stato orientato alla conservazione della geometria, disinteressandosi delle altre informazioni che avrebbero solamente appesantito il file importato in Revit.

In prima battuta l'approccio adottato ha previsto l'esportazione del file in formato IFC (*Industry Foundation Classes*, standard internazionale aperto normato dalla UNI EN ISO 16739-1:2020) da Graphisoft Archicad, l'apertura dello stesso con Autodesk Revit e la copia degli oggetti all'interno del modello federato (Zurlo D., Bianco G. 2020). Tuttavia, sebbene gli oggetti risultassero classificati all'interno delle categorie adeguate di Revit (muri, pavimenti), l'esito è stato insoddisfacente poiché, modificando i livelli o gli offset degli oggetti esterni (es: parcheggi, aree verdi, percorsi a terra) per adattarli alle nuove quote del progetto, gli oggetti ricavati dal file IFC importato non recepissero alcuna correzione.

Si è quindi proceduto con un approccio alternativo: esportazione del file in formato IFC da Graphisoft Archicad, apertura con Autodesk Revit ed eliminazione di tutti quegli elementi che necessitavano di modifiche in previsione del nuovo intervento (es: parcheggi, percorsi a terra, aree verdi), i quali sarebbero poi stati inseriti nel modello federato come oggetti nativi in Revit. Successivamente il file Revit ottenuto è stato salvato (con estensione. Rvt) e collegato al file master di progetto.

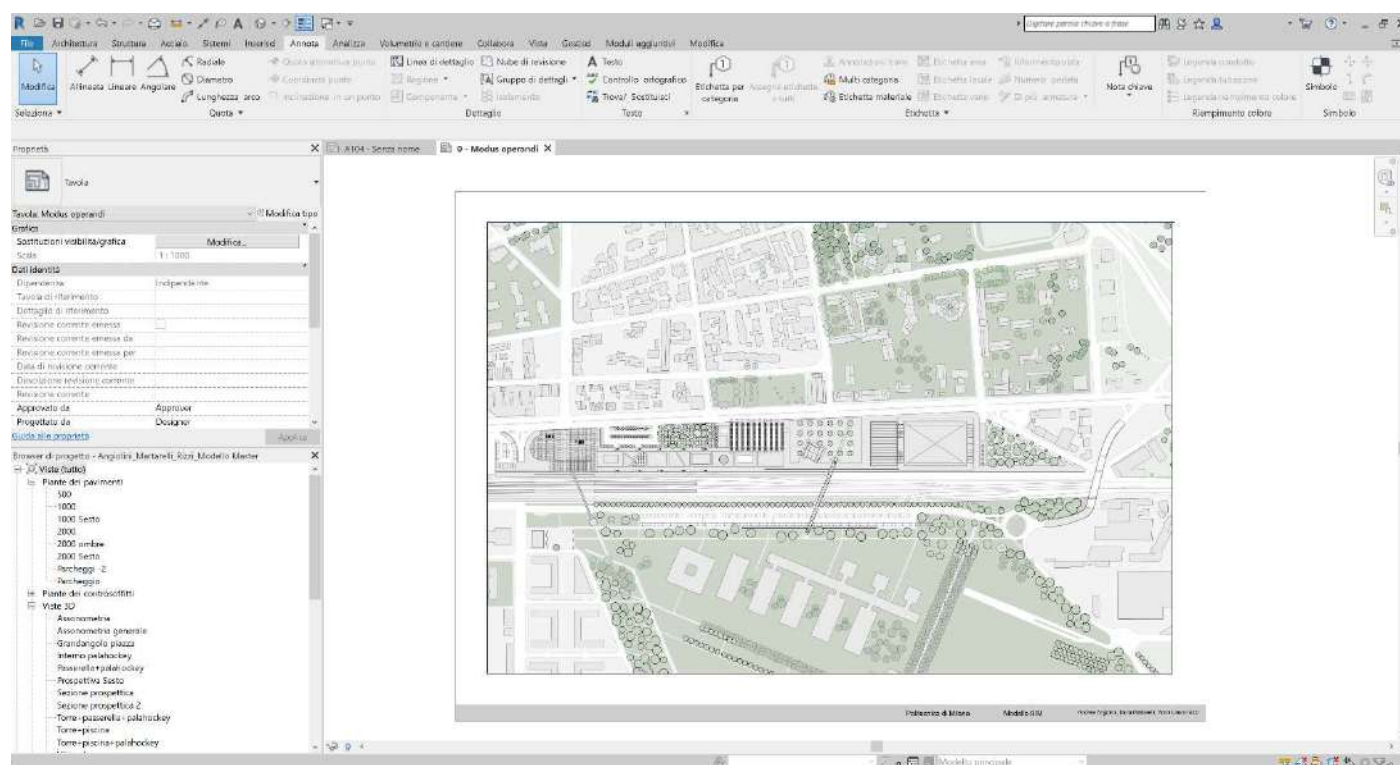
Tale procedura ha avuto esito positivo poiché ha permesso di utilizzare un progetto esistente e di inserirlo all'interno di un masterplan più complesso, ma ciò ha determinato delle mancanze profonde in termini di dati interscambiabili (es: livelli, associazioni di muri ai livelli), nonostante entrambe operino attraverso componenti e non superfici (Rhinceros) o vertici (Blender). Perciò tale procedura è considerabile ammissibile solo in ambito accademico o per interventi con LOD richiesto (definito dalla UNI 11337-4:2017) non elevato.

### 4 Progetto

Attraverso il software Autodesk Revit 2018, sono stati progettati i tre edifici facenti parte del complesso sportivo, connotati da proporzioni spaziali e volumetriche differenti:

- il palahockey: completamente fuori terra e composto dalla giustapposizione di volumi di altezze e sporgenze variabili;
- la piscina: una grande scatola vetrata al cui interno è collocato un blocco servizi indipendente;
- le palestre; una torre costituita da due setti abitati in calcestruzzo ai quali si interpone un volume vetrato contenente gli ambienti principali.

In quanto architetture autonome, sia funzionalmente che fisicamente, sono stati predisposti tre file. rvt, uno per edificio, collegati al modello federato contenente il contesto (fig. 1), con l'obiettivo di alleggerire il database e suddividere la modellazione in maniera equa tra i colleghi. Per agevolare tale condivisione il file è stato geolocalizzato agendo sul punto di rilevamento (individuato nello spigolo di un edificio esistente) e sul punto base di progetto (all'interno del lotto); in seguito è stata definita la località così come il nord reale e il nord di progetto.



**Fig. 1** - Modello federato contenente il contesto, a cui sono collegati i modelli Revit dei singoli edifici di progetto.

## 5 Interoperabilità

Il progetto ha previsto l'approfondimento di questioni tecniche, oltre alla definizione degli aspetti architettonici, per mezzo di software specialistici. La sfida è stata quella di integrare nei modelli Revit le informazioni provenienti da altri applicativi, tentando di superare le criticità di conversione attraverso i formati IFC.

### 5.1 Midas Gen

In primo luogo, per l'influenza delle questioni di carattere strutturale sulle componenti architettoniche (tutti gli edifici progettati esigono il superamento di grandi luci), le attività si sono concentrate sull'analisi strutturale, attuata con Midas Gen,

Per il palahockey si è immaginata una struttura primaria costituita da travi reticolari spaziali alte 6 m e di luce massima 80 m, poggiate su 4 piloni compositi. Le strutture secondarie, in travi e setti/pilastri in calcestruzzo armato, superano distanze inferiori.

Per la piscina, la copertura è sostenuta da portali ben controventati costituiti da una reticolare spaziale alta 3 m ancorata a terra per mezzo di pilastri in calcestruzzo armato a sezione variabile. Le strutture secondarie del blocco servizi, in travi e pilastri in acciaio, generano una maglia regolare per coprire luci di piccole dimensioni.

Per la torre, i due setti abitati in calcestruzzo armato contrastano le forze orizzontali del vento e del sisma tramite travi-parete vierendeel. Le strutture secondarie del volume vetrato sono in acciaio.

Il *workflow* adottato, in seguito alle scelte architettoniche, prevedeva un primo predimensionamento manuale al fine di ottenere un quadro generale delle dimensioni e delle altezze richieste, per poi proseguire con la verifica in Midas Gen.

Poiché la verifica con il software strutturale imponeva la rappresentazione tridimensionale delle componenti o l'importazione di un modello, si è da subito ricercato un dialogo con il modello elaborato in Autodesk Revit attraverso formati aperti.

A questo punto la procedura di analisi si disarticola tra strutture secondarie, modellate prima in Autodesk Revit e in seguito esaminate tridimensionalmente, e strutture principali, più complesse per la loro geometria, per le forze applicate, per il comportamento statico. Pertanto, quest'ultime sono state prima modellate nel software strutturale e poi importate nel software di BIM authoring.

Le strutture secondarie (travi-pilastri in acciaio o calcestruzzo armato con sezioni regolari e campate inferiori agli 8 m) sono state modellate direttamente in Autodesk Revit per mezzo delle specifiche famiglie, editando le sezioni in cemento e scegliendo il profilo in acciaio adeguato. Successivamente tali oggetti sono stati trasferiti e controllati in Midas Gen.

Il primo passo è stato quello di esportare dal BIM un file .dxf e importarlo nell'applicativo strutturale, il quale accetta come input solo formati .dxf, .mgt, .s2k e .txt (nell'ambito della tesi svolta non è stato sperimentato il link Revit-Midas che opera attraverso lo scambio di un file .mgt). Attraverso questo metodo, le travi e i pilastri sono state lette come aste, delle quali era possibile specificare, in fase di importazione, i profili e i materiali. Tuttavia, la criticità principale ha riguardato i nodi: se le giunzioni tra le istanze erano adeguatamente risolte in Revit, in Midas Gen le aste risultavano vicine ma non connesse, con conseguenti risultati ambigui (rispetto a quelli attesi da una certa tipologia di struttura) e la necessità di intervenire manualmente su ciascuna di essi. La soluzione è stata, in virtù della semplicità della maglia strutturale, quella di modellare direttamente gli oggetti ex novo nel software di verifica.

In aggiunta, considerate le sezioni regolari e invariabili per il calcestruzzo e, per l'acciaio, l'impiego di profili codificati UNI 5397/5398, il predimensionamento a mano risultava già notevolmente accurato e pertanto il passaggio in Midas Gen non ha apportato variazioni significative.

Più complessa è stata la verifica delle strutture principali (quelle contenenti travi reticolari spaziali), poiché il predimensionamento si è attuato attraverso molteplici semplificazioni e approssimazioni che hanno obbligato un accertamento del comportamento strutturale.

In primo luogo, è stato appositamente preparato un file .dxf, nativo AutoCAD, rappresentando le aste come singole polilinee. L'importazione nell'applicativo strutturale è stata più rapida, priva di qualsiasi errore di conversione per la natura poco informatizzata del file originario. Segue la modellazione 3D in Midas e l'esportazione del modello 3D da Midas attraverso il formato IFC (poiché Midas Gen permette di generare, oltre a questa tipologia, solamente formati .dxf o .mgt) e la successiva importazione dello stesso nel modello architettonico. Tale procedura ha fornito una buona resa 2D e 3D degli oggetti (fig. 2), mantenendo le informazioni derivanti da Midas Gen in merito a:

- categoria dei componenti. Le aste che all'interno dell'applicativo strutturale risultavano *beam* e *column*, in Revit venivano automaticamente catalogate come Telaio strutturale e Pilastro; diverso quanto accaduto per le *truss*, che invece sono state tradotte come Modelli generici;
- giunzione tra le aste. Ciascuna trave era connessa alle altre senza soluzione di continuità, sebbene non venissero specificati le tipologie di giunto in quanto tale dato, data la sua trascurabilità ai fini della verifica del comportamento statico, non è inseribile nel programma Midas Gen come informazione tridimensionale ma come nota di testo;

- Dimensioni dei profili e sezioni. Il più grande timore era quello di ottenere degli oggetti che presentassero delle incongruenze di rappresentazione nelle sezioni architettoniche una volta sezionati. Le sezioni, invece, risultavano corrette e i profili cavi sono stati tradotti in modo adeguato;
- Materiale. In merito a questo tema sono sorte alcune incongruenze tra ciò che appariva graficamente nelle viste del modello e l'informazione riportata fra i parametri di istanza. Infatti, i tubolari in acciaio presentavano in pianta, sezione e prospetto una grafica tale da ricordare la natura del profilo e pertanto anche il materiale. Selezionando l'oggetto non viene però riportata alcuna specifica, né è possibile inserirla manualmente nonostante tale dato sia incluso nel file nativo.

Ovviamente l'inserimento di un file IFC ha determinato alcune limitazioni rispetto alla modellazione diretta in Autodesk Revit in termini di personalizzazione dell'oggetto. Le strutture, infatti, specialmente le travi spaziali, avrebbero potuto essere modellate come travi singole, della categoria Telaio strutturale, costituite da una serie di moduli piramidali a base quadrata ripetibili fino a raggiungere la lunghezza adeguata. Non è stata adottata questa soluzione non solo per la natura complessa e prolissa della singola modellazione, ma soprattutto perché si sarebbe venuto a generare un *gap* tra i software Midas Gen e Autodesk Revit: per recepire le molte modifiche attuate sul primo, era necessario apportarle manualmente nel secondo. Invece, utilizzando un file IFC è sempre stato possibile esportare e aggiornare rapidamente il collegamento IFC al modello centrale riducendo i tempi di rappresentazione, gestione, verifica.

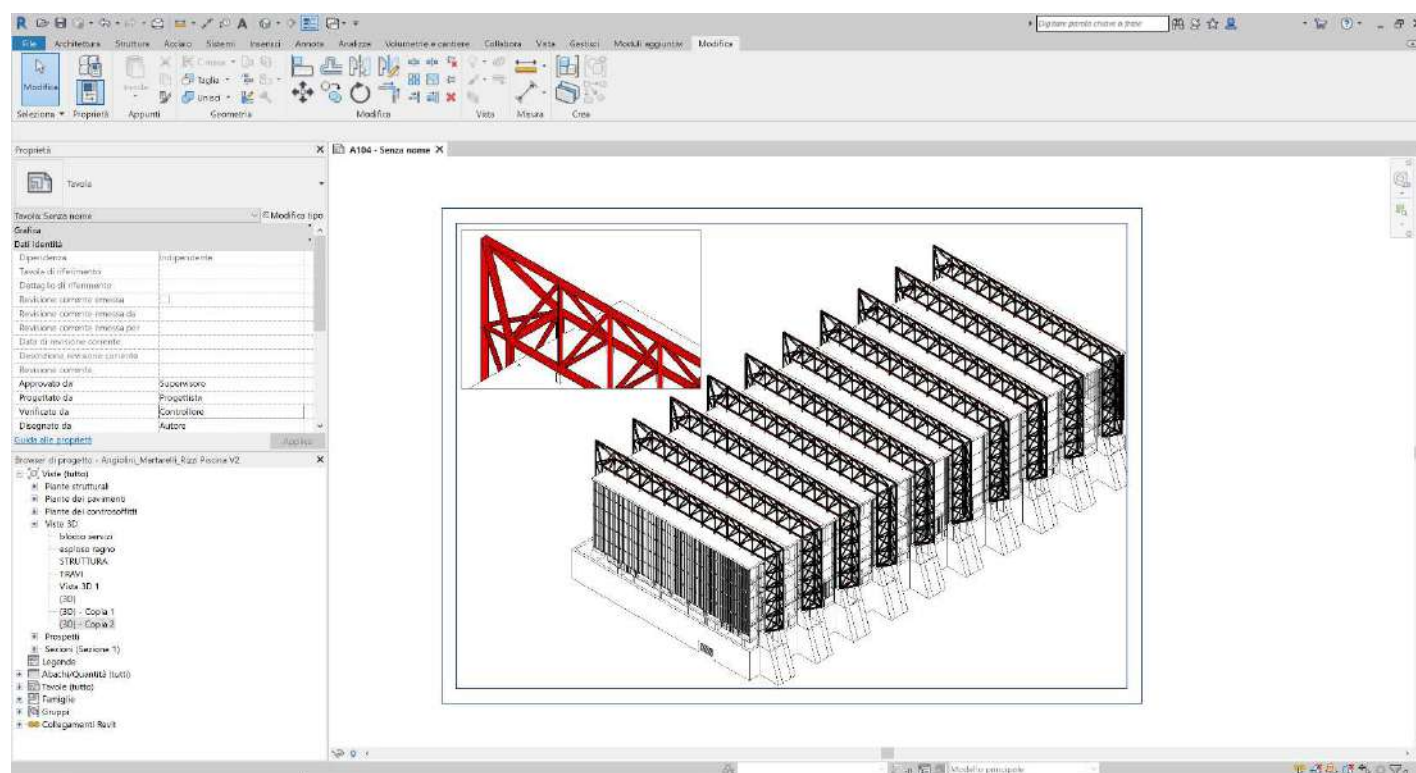


Fig. 2 - Visualizzazione 3D del modello IFC collegato.

## 5.2 Logical Soft Termolog

Con il software LogicalSoft Termolog è stata realizzata la Certificazione Energetica per il solo edificio delle palestre.

Anche in questo caso, poiché l'applicativo impone la rappresentazione tridimensionale delle superfici opache e vetrate o l'importazione di un modello, il primo passo è stato quello di associarvi il modello realizzato in Autodesk Revit, inserendo in Termolog il modello tridimensionale della costruzione attraverso un file IFC esportato da Revit.



Tuttavia, il modello includeva dati superflui ai fini dell'APE (serramenti interni, scale, ascensori, oggetti 2D) che in aggiunta rallentavano i processi di calcolo. Pertanto, vista la trascurabilità di tali componenti, essi sono stati eliminati nell'ambiente di authoring, attraverso la creazione di un nuovo modello dissociato dal file centrale, da impiegare esclusivamente in forma di input in Termolog.

Nell'ambiente del software specialistico è stato poi necessario capire se fossero presenti altre istanze superflue da rimuovere, procedendo attraverso una tecnica di *try and error* finché non si sono identificati i dati minimi indispensabili.

In aggiunta, una volta individuate le informazioni rilevanti, il programma ha mostrato delle inesattezze in merito alle giunzioni tra muro esterno e muro interno e tramuro esterno e serramento vetrato, individuando dei ponti termici anche quando nella modellazione in Autodesk Revit le stratigrafie risultavano ben ammassate e con un'adeguata gerarchizzazione degli strati (struttura, sostrato, strato termico, strato membrana, finitura). La conclusione è stata quella di ridisegnare nel software specialistico le componenti che presentavano tali *bug*, per poi procedere con le ulteriori verifiche.

In sintesi, l'intero processo ha mostrato alcune criticità poiché:

- ha obbligato al riscontro delle performance energetiche dell'edificio solo in fasi progettuali conclusive;
- ha reso difficoltosa la modifica successiva delle superfici in seguito all'esito inatteso della Certificazione energetica che catalogava l'edificio in classe B (secondo il DDUO 08/03/2017 n.2456 in Lombardia a decorrere dal 1° gennaio 2016 gli edifici di nuova costruzione devono essere edifici a energia quasi zero) poiché ha costretto ad intervenire sul file nativo, ad attuare le correzioni progettuali per rendere l'edificio NZEB, poi a dissociare un secondo modello ed infine a caricarlo nuovamente nell'applicativo dell'APE procedendo con le analisi conclusive.

### 5.3 CES Edupack

Questo software è stato utilizzato con l'obiettivo di calcolare l'impatto ambientale dei materiali utilizzati nel progetto sulla base delle caratteristiche tecniche del materiale stesso, della vicinanza tra luogo di estrazione e di impiego, della CO<sub>2</sub> emessa per la sua produzione e fase d'uso, delle componenti riciclate o recuperate dopo la dismissione. CES Edupack è molto lontano da qualsiasi connessione col mondo BIM e pertanto non ha previsto lo sfruttamento di formati Open, ma è doveroso almeno menzionare il ruolo che ha giocato, anche in questo caso, l'aver realizzato un modello informativo tanto dettagliato.

Il grande vantaggio è stato quello di poter estrapolare dal software di authoring i dati quantitativi di tutti i materiali impiegati nel progetto (indipendente dalla famiglia di Muri, Pavimenti, Tetti, ecc. a cui erano associati) per mezzo di un abaco apposito, prodotto all'interno del modello centrale. Come risultato, è stata ottenuta la massa totale di calcestruzzo, isolanti, acciaio, alluminio, che ha permesso di ragionare sull'impatto di ciascun materiale e ipotizzare eventuali tecniche di compensazione e abbattimento delle sostanze inquinanti.

### 5.4 Autodesk Naviswork

Infine, il lavoro si è concentrato sulla revisione delle interferenze con Autodesk Naviswork attraverso procedure di clash detection: nonostante l'operazione sia eseguibile, entro certi termini, anche in Autodesk Revit, per questioni puramente accademiche e conoscitive si è optato per l'impiego di un software dedicato.

In primo luogo, i modelli architettonico e strutturale della sola piscina (argomento su cui si è concentrata l'analisi) sono stati esportati in formato IFC e importati in Naviswork; l'uso di IFC per questa finalità è dovuto al fatto che soltanto successivamente si è venuti a conoscenza della possibilità di far dialogare i due applicativi della medesima software house utilizzando il formato proprietario.

Nonostante la procedura più macchinosa, la clash detection ha fornito i risultati previsti, ossia l'individuazione di tutti gli elementi strutturali (principalmente pilastri – IfcColumn - e travi - Ifc-Beam) che intersecano componenti architettoniche quali muri, pavimenti, tetti, ecc.. In conclusione, è stato esportato un file .xml in quanto tale formato può essere aperto con Microsoft Excel mantenendo la formattazione tabellare e agevolando le operazioni di ricerca, filtro e modifica all'interno del file stesso. Inoltre, la presenza di una colonna apposita per l'ID elemento, medesimo codice che identifica gli oggetti all'interno del programma di authoring, ha facilitato l'individuazione degli oggetti da modificare in Autodesk Revit.

## 6 Conclusione

Il bilancio finale dell'applicazione di questa metodologia alle attività di progettazione del complesso sportivo sinteticamente descritto in questo articolo è stato più che positivo rispetto ai fini di un progetto universitario, che ha previsto un livello di approfondimento molto elevato per le questioni puramente architettoniche, ma decisamente inferiore per altri ambiti disciplinari.

L'uso di formati aperti, seppur fatto talvolta all'interno di procedure forse approssimative per inesperienza o disinformazione in merito a tecniche più efficienti, ha permesso di raggiungere l'esito sperato, pur con qualche deficit informativo durante le fasi di esportazione e importazione che, tuttavia, all'interno di questo specifico contesto, non è risultato invalidante.

Inoltre, gli strumenti adottati hanno permesso di simulare i meccanismi di scambio di informazioni che intercorrono tra gli stakeholder del progetto: cliente, architetti, strutturisti, impiantisti, ecc.

La metodologia di lavoro adottata ha portato alla luce, nonostante alcune criticità di dialogo tra applicativi differenti, le grandi potenzialità di un approccio interdisciplinare in termini di gestione e controllo del progetto, permettendo di individuare rapidamente errori o questioni in sospeso, che altrimenti con un approccio tradizionale sarebbero emerse molto più tardi e avrebbero causato un rimaneggiamento tardivo dei documenti redatti. Tale approccio è, in molti casi, consentito dalla adesione delle software house ad un sistema standardizzato e aperto di trasmissione delle informazioni quale è IFC.

In aggiunta a tali questioni, si sommano i benefici legati alla produzione collaborativa delle informazioni, in questo caso manifestatasi nella relazione tra docenti e studenti.

Per le ragioni sopra esposte, si ritiene che anche il contesto accademico necessiti di promuovere l'uso del BIM, ed in particolare dell'OpenBIM, non in quanto software o insieme di software, ma in quanto strumento di relazione: il BIM agevola i rapporti, i dialoghi, le connessioni tra professori e alunni, favorendo una didattica integrata, aperta, coinvolgente, condivisa, oltre che ad una formulazione più consapevole e controllata del progetto. È un vero e proprio strumento "sociale" che, ad esempio, in una situazione di emergenza come quella del Covid 19 – che ha obbligato a ripensare il mondo lavorativo e le figure professionali - potrebbe apportare un grande contributo per la gestione dei corsi di studio a distanza, oltre che per quella del settore AEC (Architecture, Engineering, Construction).

## 7 Bibliografia

- Angiolini A., Martarelli I., Rizzi A. 2019. Confronto tra pieno e vuoto. Un centro sportivo per Sesto San Giovanni. In <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/151618>
- Assobim 2019. LOD e gradi di dettaglio nella progettazione Bim. In <https://www.01building.it/bim/lo-d-progettazione-bim/>
- Pozzoli S, Bonazza M., Villa W. 2017. Revit 2018 per l'architettura: guida completa per la progettazione BIM. Milano. Autodesk
- Zurlo D., Bianco G. 2020. Normativa BIM: UNI EN ISO 16739-1:2020 e IFC, dalla norma a casi pratici-operativi. In <https://www.ingenio-web.it/27159-normativa-bim-uni-en-iso-16739-12020-e-ifc-dalla-norma-a-casi-pratici-operativ>





contributo vincitore  
del premio previsto  
da Forward sulla base  
delle valutazioni del  
Comitato Scientifico.

## Uso dell'openBIM per la navigazione robotica in cantiere

Camilla Follini, Dominik Matt

Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l.; Libera Università di Bolzano, Bolzano, Italia

Andrea Giusti

Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l.

**ABSTRACT:** A differenza di altri settori, l'industria delle costruzioni fatica a introdurre sistemi robotici nella produzione, a causa dell'ambiente del cantiere non strutturato e dinamico, della complessità delle operazioni e degli alti costi associati alla programmazione. Allo stesso tempo, il *Building Information Model* (BIM) dell'edificio, già prodotto in fase progettuale, contiene una gran quantità di dati geometrici e semantici che possono facilitare l'adozione di un sistema robotico nel processo di costruzione. La nostra ricerca ha il fine di sviluppare uno strumento per il trasferimento di dati geometrici e semantici dal BIM al *Robot Operating System*, *middleware* aperto finalizzato al controllo di sistemi robotici. Lo strumento si basa sulla libreria IFCOpenShell, che permette di leggere e fare operazioni con i dati estratti dal BIM. Come caso studio abbiamo considerato lo sviluppo di una piattaforma robotica per la logistica di cantiere. Il robot segue un operatore mentre trasporta carichi pesanti ed evita allo stesso modo sia gli ostacoli derivati dal BIM che quelli reali rilevati dai propri sensori.

**KEYWORDS:** industria 4.0, robotica nelle costruzioni, *Robot Operating System*, BIM.

### 1 Introduzione: costruzioni, robotica e industria 4.0

L'industria delle costruzioni è caratterizzata da lavorazioni difficili, pericolose e fisicamente stressanti. Non solo è riportata come una delle industrie con il più alto numero di incidenti in Europa (Eurostat, 2019), ma presenta anche un alto rischio di problemi di salute a lungo termine, comprovato dal fatto che una percentuale molto alta di lavoratori edili soffre di disturbi muscolo-scheletrici dopo anni di esperienza (European Agency for Safety and Health at Work, 2004). Per questo motivo, l'industria ha una scarsa attrattiva sulle nuove generazioni, con una conseguente carenza di lavoratori che si prevede in peggioramento nei prossimi anni (European Construction Sector Observatory, 2020). La necessità di introdurre nuovi metodi operativi risulta quindi evidente.

L'utilizzo di sistemi robotici in cantiere è un tema che sta prendendo piede nella ricerca e che potrebbe rappresentare una soluzione per aumentare la sicurezza e l'ergonomia nelle lavorazioni edili. Questo filone di ricerca ha il potenziale di mitigare il problema dell'invecchiamento della forza lavoro, insieme a molti altri vantaggi che possono essere osservati in altri settori con una maggiore penetrazione di tecnologie robotiche, come, tra gli altri, l'uso più intelligente delle risorse, la diminuzione delle emissioni inquinanti e l'uso più intelligente dello spazio. Tuttavia, l'introduzione di robot in cantiere può anche essere compromessa a causa dell'ambiente non strutturato, dell'elevata variabilità delle tipologie di edifici e delle attività di cantiere, della manodopera non addestrata e della grande frammentazione della filiera (Carra et al., 2018).

I primi esempi di robotizzazione del cantiere risalgono agli anni '70 in Giappone. Una vasta introduzione al tema e ai sistemi sviluppati si può leggere in Bock & Linner, 2015. In questo contesto, le soluzioni variavano da robot sviluppati per svolgere compiti specifici (ad esempio intonacatura, posa del massetto, ecc.), alle cosiddette *sky factories* integrate. Queste ultime consistevano nella creazione di ambienti protetti, in cui la logistica ed i processi principali erano

industrializzati tramite tecniche *lean* ed eseguiti da sistemi robotizzati. Le *sky factories* venivano utilizzate per costruire edifici un piano alla volta. A tal fine, alcuni sistemi utilizzavano un meccanismo per spingere l'intera fabbrica verso l'alto una volta completata la costruzione del piano, come nel caso del sistema SMART sviluppato dalla Shimizu corp. (Maeda, 1994), mentre altri erano ancorati a terra e spingevano i piani finiti verso l'alto per iniziare la costruzione di quello sottostante, come nel caso del sistema AMURAD, sviluppato dalla Kajima corp. (Sekiguchi et al., 1997). Sebbene molto avanzate per i propri tempi, queste soluzioni si sono dimostrate tecnologicamente troppo immature per stabilire una nuova tendenza nell'industria. Le *sky factories* erano molto dispendiose in termini di tempo, poiché richiedevano di essere pianificate per ogni specifico progetto e di essere costruite prima dell'inizio delle attività di costruzione. Erano quindi efficaci in termini di costi e di tempo solo se applicate a edifici a pianta regolare con un elevato numero di piani, come ad esempio grattacieli. Al contrario, le soluzioni sviluppate per compiti specifici erano meno dipendenti dalla forma e dalla dimensione dell'edificio. Tuttavia, la loro complessità tecnologica e la necessità di essere costantemente riprogrammate per adattarsi alle esigenze specifiche del progetto, in termini di ambiente e di geometrie dell'edificio, le rendevano troppo costose per essere impiegate per una singola e specifica attività di costruzione.

Con la nuova ondata di robotica intelligente portata dall'industria 4.0 sta emergendo, negli ultimi anni, un rinnovato interesse per i robot da costruzione. I più recenti progressi della tecnologia robotica nell'industria 4.0 sono infatti generalmente orientati alla flessibilità. L'applicazione di sistemi robotici è passata da operazioni *high-volume/low-mix* a modelli privilegiati una più alta adattabilità, per rispondere ad un mercato sempre più orientato verso beni personalizzabili. Pertanto, le soluzioni più recenti, sia nella ricerca che nell'industria, sembrano favorire la semplicità di programmazione e di utilizzo, piuttosto che velocità e precisione, come avveniva nei modelli di produzione ad alto volume come la produzione di massa (Bouchard, 2018). I paradigmi dell'industria 4.0 hanno quindi una forte sinergia con i fabbisogni del cantiere, dove le operazioni sono ripetitive ma caratterizzate da piccole o grandi variazioni dell'ambiente di lavoro, dell'attrezzatura e dei materiali da utilizzare. Questo, combinato con la scarsa esperienza dei lavoratori del cantiere nell'utilizzo di tecnologie robotiche, richiede soluzioni altamente adattabili che possano essere riprogrammate facilmente attraverso un'agevole interfaccia uomo-robot.

Tuttavia, le strategie di controllo dei sistemi per attività diverse non sono banali, specialmente con le condizioni presenti nei cantieri edili. Una soluzione per ridurre la complessità che deriva dalla variabilità dei processi di costruzione può essere l'utilizzo di un approccio interdisciplinare che utilizza modelli digitali dell'edificio come base di conoscenza per il controllo di sistemi robotici. Così, invece di stravolgere i processi di costruzione per accogliere nuove tecnologie, una soluzione promettente è quella di sfruttare i dati già prodotti dalla filiera per ridurre la complessità di utilizzo di tecnologie avanzate sul cantiere. Ciò è stato reso possibile grazie alla digitalizzazione che il settore sta attualmente sperimentando e grazie alla crescente adozione di soluzioni digitali esau-

## 2 L'importanza di un approccio open e componenti chiave del progetto

La denominazione *open source* indica un tipo di sviluppo basato sui contributi di una community di utenti di diverse provenienze che forniscono il proprio contributo nella programmazione, nel testing e nel miglioramento di software e tool informatici che vengono offerti gratuitamente alla società. Questo tipo di sviluppo ha ampiamente dimostrato la propria efficacia, diventando in pochi anni un modello consolidato di sviluppo informatico (Heylighen, 2007). Un attore chiave open source nel campo della robotica è il *Robot Operating System* (ROS) (Quigley et al., 2009). ROS funge da *meta-operating system* per il controllo di sistemi robotici, facilitando l'integrazione di diversi componenti tramite un *framework* comune. Il successo di ROS nel campo della ricerca è dovuto a diversi fattori tra loro sinergici. Il sistema è innanzitutto fortemente modulare, così che risulta semplice integrare parti di codice in progetti anche diversi tra loro. Questo è dovuto al fatto che è stato sviluppato per incentivare la programmazione collaborativa tra team di diverse

competenze specialistiche, di modo da velocizzare la prototipazione di sistemi robotici che, generalmente, richiede conoscenze interdisciplinari. Inoltre, grazie alla sempre maggiore globalizzazione e facilità di comunicazione, la collaborazione è possibile anche a larga scala da diverse parti del mondo (Quigley et al., 2015).

Per quanto in ritardo rispetto ad altri settori produttivi, anche l'industria delle costruzioni ha mosso importanti passi verso una maggiore digitalizzazione per il miglioramento dei propri processi e per facilitare lo scambio di dati tra *stakeholder*. Una delle principali rivoluzioni degli ultimi anni in questa direzione è il BIM (Azhar, 2011). Rispetto al formato CAD, i modelli BIM sono composti non solo da informazioni geometriche, ma anche da dati specifici della singola entità edilizia, come il materiale, il costo, il ciclo di vita e la fase di costruzione. L'Unione Europea ha espresso una chiara intenzione di adottare il BIM nella direttiva 2014/24/UE, che stabilisce che, nel prossimo futuro, le procedure di appalto pubblico richiederanno la presentazione di un modello BIM obbligatorio sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni (European Parliament, 2014). Ciò comporta intrinsecamente un forte vantaggio per l'automazione, poiché non solo i modelli avranno lo stesso formato, ma dovranno anche seguire le linee guida nazionali, il che significa che le informazioni contenute nel modello saranno fortemente standardizzate.

Un ulteriore punto di forza è che ogni software di BIM *authoring* proprietario BIM ha la possibilità di esportare progetti nel formato aperto *Industry Foundation Classes* (IFC) (Bazjanac & Crawley, 1997), rendendo i dati del progetto potenzialmente accessibili a tutti. Il formato IFC stesso è regolato dall'organizzazione internazionale *Building SMART*, ed è standardizzato secondo norme ISO, di cui la più recente è la *ISO 16739-1:2018*. Lo scopo principale del formato è quello di raggiungere e promuovere il paradigma *open BIM*, creando un formato comune e strutturato per lo scambio tra i diversi strumenti software utilizzati lungo la filiera delle costruzioni durante tutto il ciclo di vita dell'edificio. Esempi di strumenti software che possono essere interfacciati attraverso IFC includono quelli per la modellazione architettonica, strutturale e impiantistica, per la redazione di cronoprogrammi di cantiere e per il *facility management*. Il modello IFC può contenere informazioni su oggetti concreti, concetti astratti, processi e persone coinvolte in un progetto di costruzione, insieme alle loro rispettive caratteristiche, attributi e relazioni. Come tale, l'IFC può essere considerato come una potente ontologia, che fornisce una descrizione completa delle entità edilizie, dei progetti e dei processi di costruzione.

Come avvenuto in informatica, l'approccio *open* promosso nella gestione dei dati BIM ha permesso a ricercatori e sviluppatori di diverse parti del mondo di creare soluzioni gratuitamente utilizzabili. La presente ricerca si basa su una libreria gratuita sviluppata dal ricercatore Thomas Krijnen dell'Università di Eindhoven in Olanda, *IfcOpenShell* (Thomas Krijnen, 2011). La libreria, basata a sua volta sulla libreria CAD *Open Cascade*, permette la manipolazione sia delle geometrie che dei metadati contenuti nel file IFC tramite i linguaggi C++ e Python. Quest'ultimo è stato scelto come tramite per l'interfaccia tra il modello BIM e il sistema operativo ROS.

### 3 Visione e implementazione

Il caso studio considerato nel progetto è lo sviluppo di un sistema robotizzato che sfrutti i dati digitali 3D e 4D BIM per navigare efficacemente in cantiere mentre segue un operatore, supportandolo nel trasporto di materiali o attrezzature pesanti. Una rappresentazione illustrativa del concetto è proposta in Fig. 1. I dati provenienti dal BIM vengono sovrapposti a quelli ricavati in tempo reale dai sensori 2D LIDAR montati sulla piattaforma robotica, al fine di fornire una visione generale dell'ambiente ed irrobustire la navigazione del sistema grazie al riconoscimento di ostacoli non riconoscibili dai sensori planari, come buchi nel solaio o oggetti sospesi. I dati vengono trasmessi alla piattaforma sotto forma di una mappa ROS bidimensionale. La mappa contiene elementi BIM filtrati non solo in base al loro potenziale di collisione con il robot, ma anche in base a date associate agli oggetti, volte a simulare il piano tempistico ed il loro stato di costruzione rispetto alla data in cui il sistema viene utilizzato. Il processo del caso studio prevede il caricamento manuale dei pesi sulla piattaforma e un primo settaggio per identificare una persona specifica da seguire.

Una volta effettuato questo passaggio, la piattaforma segue l'operatore nell'edificio di cui conosce la mappa, fermandosi ogniqualvolta si ritrova ad una determinata distanza dall'operatore per motivi di sicurezza e per permettere di scaricare il materiale trasportato. Una visione più generale del sistema rispetto al presente articolo è illustrata in Follini et al., 2020.



Fig. 1 - Illustrazione dell'applicazione prototipale

### 3.1 Hardware e requisiti del ROS

Il sistema sviluppato si compone di tre principali componenti hardware. Il primo, visualizzato nella Fig. 2, è la piattaforma robotica *Husky A200*. La piattaforma è stata scelta per la sua interfaccia ROS, sviluppata per la comunità scientifica, per la dimensione contenuta, in grado cioè di passare attraverso le porte anche da interni, e per le sue buone prestazioni su terreni difficili. La piattaforma è dotata di un'unità di misura inerziale IMU, che fornisce misurazioni di accelerazione e velocità angolare in tempo reale. Inoltre, sulla piattaforma sono stati montati due sensori LIDAR 2D, orientati verso il fronte e il retro della piattaforma, con una visione di campo planare di 270 gradi ciascuno. Il secondo componente è un sistema di tracciamento fisso. Esso è formato da quattro camere infrarossi che individuano in tempo reale dei *marker* sferici montati sulla piattaforma e su un elmetto che viene indossato dall'operatore, visibili in Fig. 2. Il terzo componente è il PC di controllo Dell *Latitude E6420* con *Linux Ubuntu 16.04* e *ROS Kinetic*, utilizzato sia per il controllo del sistema che per l'invio della mappa BIM al robot. I sistemi sono interconnessi tra loro tramite rete wireless locale.

La definizione del mondo reale per il controllo della navigazione in ROS si basa sulla creazione di *costmap*, che rappresentano le mappe degli ostacoli su base generalmente binaria. Le *costmap* sono strutturate come griglie di celle, dove ogni cella rappresenta, nel caso binario, uno spazio libero e navigabile o occupato e non navigabile. Questo si traduce in mappe digitali formate da un certo numero di pixel per metro, dove, per convenzione, i pixel bianchi indicano gli spazi liberi e quelli neri gli ostacoli. A questi possono essere aggiunte altre indicazioni, come gli spazi inesplorati o l'*inflation radius*, ovvero la distanza che il robot deve mantenere da tutti gli ostacoli per ridurre il rischio di collisione (ROS Wiki, 2018).

Il *navigation stack* di ROS per la navigazione robotica prende in considerazione due tipi di *costmap*: la *costmap* locale e la *costmap* globale. La *costmap* locale è quella utilizzata per la pianificazione a breve raggio che il robot usa per evitare gli ostacoli vicini. La *costmap* globale, invece, si basa su una mappa con una visione più estesa dell'ambiente per la pianificazione del percorso. La mappa locale viene quindi aggiornata frequentemente per evitare ostacoli imprevisti e dinamici, tra cui l'eventuale operatore del robot. La mappa globale è, al contrario, statica e nasce per essere aggiornata a intervalli regolari. La mappa globale può essere inviata da un nodo ROS, per questo sviluppato, chiamato *map\_server* (ROS Wiki, 2019). Il nostro progetto sfrutta la mappa globale del *navigation stack* per interfacciare ROS con il formato IFC. A tal fine, è stato sviluppato un algoritmo che prende come *input* il modello dell'edificio e restituisce una mappa al *map\_server* per poter essere utilizzata nella navigazione.





Fig. 2 - Principali componenti hardware.

### 3.2 Creazione della mappa IFC

Il modello dell'edificio dove è situato il laboratorio contenente il sistema di tracciamento è stato realizzato usando Autodesk Revit 2018 e successivamente esportato in formato IFC 2x3. Successivamente, il file IFC è stato elaborato tramite l'algoritmo riportato in Fig. 3.

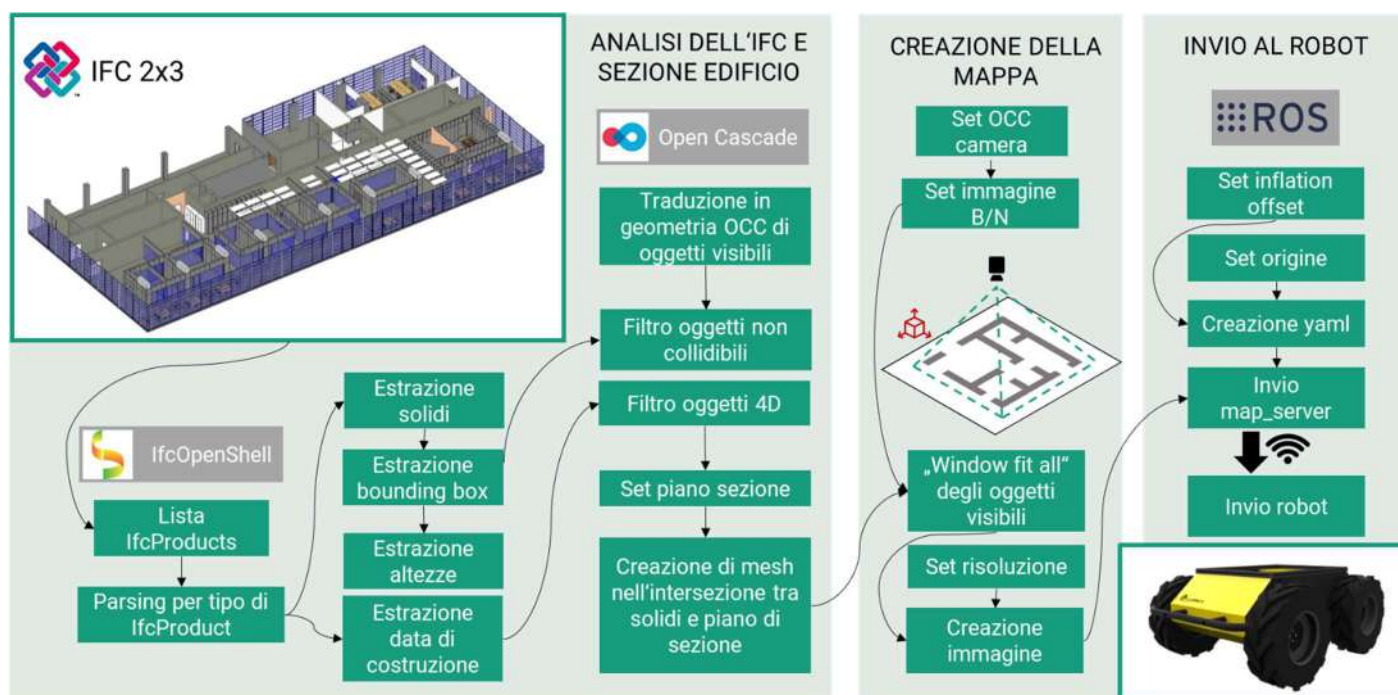


Fig. 3 - Schematizzazione dell'interfaccia IFC-ROS.

Come primo passo viene fatto un *parsing* del file per ottenere una lista di tutti gli *IfcProduct*, comprendenti tutti gli elementi visibili (p.e. *IfcWall*, *IfcDoor*) e non visibili (p.e. *IfcOpeningElement*) del progetto. Se gli elementi sono visibili, ne viene creata una geometria in *Open Cascade* (OCC), mantenendo i metadati BIM associati all'oggetto tramite *IfcOpenShell*. Successivamente, gli elementi vengono filtrati in base a due fattori: la possibilità di entrare in collisione con la piattaforma robotica e la loro data di costruzione. Il primo fattore comprende gli elementi troppo alti rispetto al piano del solaio per essere oltrepassati dalle ruote del robot, le eventuali aperture nel solaio e gli elementi sospesi sotto cui la piattaforma non riesce a passare. Il secondo è invece basato su

due parametri personalizzati, che sono stati originariamente creati in Revit, chiamati “*starting date*” e “*ending date*”, volti a simulare informazioni sul piano tempistico. Se l'elemento associato è un ostacolo fisico, la data di inizio costruzione indica che da allora l'elemento viene aggiunto alla mappa come ostacolo aggiuntivo. Al contrario, se l'ostacolo non ha fisicità e viene ricoperto, come un buco nel solaio, viene eliminato dalla mappa. Gli elementi vengono quindi filtrati in base al confronto tra le date del piano e quella in cui si intende fare la navigazione.

Dopo questo passaggio, viene usato un algoritmo per creare automaticamente una sezione degli oggetti rimasti, creando delle *mesh* nere piane nelle intersezioni tra il piano di sezione e i solidi visibili. Allo stesso modo, eventuali aperture di solaio vengono segnate in nero. In seguito, la camera di *Open Cascade* viene elaborata per ottenere un'immagine B/N rappresentante la mappa degli ostacoli IFC con vista dall'alto, scalata in rapporto 1:1 con l'edificio reale in base ad una data risoluzione in pixel/m. La mappa viene infine caricata sul *map\_server*, assieme ad un file di configurazione con metadati aggiuntivi, come l'indicazione della risoluzione, l'origine della mappa e l'*inflation radius* desiderato. Il *mapserver* la trasmette al sistema sottoforma di *topic* ROS per setare la mappa globale statica di navigazione.

## 4 Discussione e conclusione

L'articolo descrive la componente di interfaccia tra ROS e BIM finalizzata allo sviluppo di un sistema robotico per il supporto logistico in cantiere. Il fine del progetto è dimostrare il concetto di un'applicazione robotica per le costruzioni, integrata con l'IFC, che possa sollevare gli operatori edili nel trasposto di carichi pesanti. La navigazione nell'ambiente non strutturato del cantiere è resa più robusta tramite la sovrapposizione di una mappa ricavata dal modello BIM a quella generata dai sensori LIDAR montati sul robot stesso. L'interfaccia presentata in Fig. 3 è stata testata su 3 file IFC con diversi gradi di complessità, rappresentanti o la singola stanza di laboratorio dove il robot è stato testato, o l'intero piano dell'edificio in cui la stessa stanza si trova. Al file rappresentante la stanza singola sono state aggiunte informazioni sul piano tempistico per simulare un *input* BIM 4D, modificando l'algoritmo per generare due mappe di *output* con lo stato della costruzione in due diversi momenti di tempo. Il tempo richiesto dalla procedura nei 3 casi, riportato in Tab. 1, è generalmente soddisfacente, ma potrebbe essere ulteriormente ridotto tramite un'ottimizzazione dell'algoritmo che genera la sezione automaticamente.

BIM file	Numero di oggetti dopo il filtraggio	Numero di mappe generate	Tempo richiesto per il processo (minuti:secondi)
Stanza semplice	15	1	00:06
Stanza semplice con aggiunta di parametri <i>custom</i> per simulare BIM 4D	16, 15	2	00:14
Piano di un edificio di pianta mediamente complessa	2867	1	01:41

Tab. 1 - Valutazione della velocità dello script su file di diversa complessità.

Il sistema sviluppato si ritiene promettente e ha raggiunto l'obiettivo che gli autori si erano posti per questa prima fase, ovvero una navigazione irrobustita dal modello BIM. I prossimi passi di sviluppo del progetto prevedono dei miglioramenti necessari per poter testare la soluzione in cantiere. Tra questi, l'utilizzo di sensori di tracciamento che possono essere montati direttamente sul robot, senza la necessità di un sistema fisso per identificare la posizione dell'utente. Riguardo invece l'invio di mappe dal modello BIM, si prevede di esplorare anche l'utilizzo di nuove funzionalità di ROS, come le *layered costmaps* (Lu et al., 2014), ovvero mappe globali degli ostacoli che sono sempre statiche ma fornite di più livelli dove sono salvate diverse informazioni semantiche per la navigazione. A differenza quindi di una mappa globale monolitica, come quella attuale, si possono generare più mappe sovrapposte e leggibili in diversi contesti. Questo fornirebbe una forte sinergia con le diverse fasi di costruzione, esportabili come elementi di *IfcProject*, ed esportabili come mappe sovrapposte dipendenti dal tempo. Infine, come anticipato nella visione di



progetto in Fig. 1, si prevede una valutazione della fattibilità di una connessione bidirezionale rispetto al file IFC, dove le informazioni sulle geometrie e i metadati vengono aggiornate in base ai rilevamenti fatti dai sensori del robot, per essere poi importabili nei modelli BIM. Questo consentirebbe di ottenere un potente strumento che non solo supporta nella fase di costruzione, ma anche nel monitoraggio del cantiere e nella restituzione di modelli *as built*.

## 5 Bibliografia

- Azhar, S. 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3): 241–252.
- Bazjanac, V., Crawley, D. B. 1997. The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry. *Building Simulation*, 1: 203–211.
- Bock, T., & Linner, T. 2015. *Robot-oriented design: design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction*. Cambridge: New York: Cambridge University Press.
- Bouchard, S. 2018. *Lean Robotics: A Guide to Making Robots Work in Your Factory*. In <https://leanrobotics.org/>.
- Carra, G., Argiolas, A., Bellissima, A., Niccolini, M., Ragaglia, M. 2018. Robotics in the Construction Industry: State of the Art and Future Opportunities. *Proc. of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Taipei, Taiwan.
- ROS Wiki. 2018. *Costmap\_2d*. In [http://wiki.ros.org/costmap\\_2d](http://wiki.ros.org/costmap_2d).
- European Agency for Safety and Health at Work. 2004. *Musculoskeletal disorders in construction*. In <https://osha.europa.eu/>.
- European Construction Sector Observatory. 2020. *Analytical Report - Improving the human capital basis*. In <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/41261>.
- European Parliament. 2014. *2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC Text with EEA relevance*. In <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/24/oj/eng>.
- Eurostat. 2019. Accidents at work statistics - Statistics Explained. In [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents\\_at\\_work\\_statistics#Analysis\\_by\\_activity](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Analysis_by_activity).
- Follini, C., Terzer, M., Marcher, C., Giusti, A., Matt, T. 2020. Combining the Robot Operating System with Building Information Modeling for Robotic Applications in Construction Logistics. *Advances in Service and Industrial Robotics, Proc. of the 29th International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, RAAD 2020*: 245–253.
- Heylighen, F. 2007. Why is Open Access Development so Successful? Stigmergic organization and the economics of information. *Open Source Jahrbuch 2007, Lehmanns Media*, 12.
- Lu, D. V., Hershberger, D., & Smart, W. D. 2014. Layered costmaps for context-sensitive navigation. *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*: 709–715.
- Maeda, J. 1994. Development and Application of the SMART System. *Automation and Robotics in Construction XI*.
- ROS Wiki. 2019. *Navigation*. In <http://wiki.ros.org/navigation>.
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B. P., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R. C., Ng, A. Y. 2009. ROS: an open-source Robot Operating System. *Proc. of ICRA 2009*.
- Quigley, M., Gerkey, B., & Smart, W. D. 2015. *Programming Robots with ROS*. O'Reilly Media, Inc.
- Sekiguchi, T., Honma, K., Mizutani, R., & Takagi, H. 1997. The Development and Application of an Automatic Building Construction System Using Push-Up Machines. *ISARC Proceedings*: 321–328.
- Thomas Krijnen. 2011. *IfcOpenShell*. In <http://ifcopenshell.org>.



# BIM e Realtà Virtuale: interoperabilità tra software nella progettazione illuminotecnica

Alessandro Santini

Università degli Studi di Padova, Padova, Italia

**ABSTRACT:** Il settore delle costruzioni si è sviluppato velocemente grazie all'integrazione con nuove tecnologie che consentono di poter prevedere le prestazioni del progetto prima ancora della sua realizzazione. In questo modo è possibile coniugare le prestazioni energetiche ed ergonomiche al risparmio economico. La progettazione illuminotecnica è caratterizzata da un aspetto soggettivo che è difficile da definire univocamente tramite semplici metodi di calcolo e software di simulazione. La percezione umana dello spazio così come sarà realizzato è una componente molto importante per determinare la bontà o meno del progetto. L'obiettivo di questo lavoro è di quello di sviluppare uno strumento che, tramite l'impiego della realtà virtuale, permetta di visionare il progetto di un impianto di illuminazione per valutarne il comfort visivo prima della sua realizzazione. Lo studio è stato svolto nell'ottica di una comunicazione bidirezionale e automatica tra software di progettazione e di visualizzazione, garantendo ad ogni passaggio l'integrità delle informazioni.

**KEYWORDS:** BIM, realtà virtuale, illuminotecnica, game engine, IFC.

## 1 Introduzione

Negli ultimi decenni il progresso tecnologico ha avuto una crescita esponenziale in diversi ambiti scientifici e industriali, favorendo la produttività delle aziende e la qualità di prodotti e servizi offerti.

Nel settore delle costruzioni, l'avvento e la diffusione del *Building Information Modelling* (BIM), come metodologia di progettazione, realizzazione e gestione dell'ambiente costruito, ha favorito una condivisione trasversale di informazioni e prodotti. Ciò ha permesso di creare una rete di comunicazione tra gli attori del processo edilizio con l'ottica, tra gli altri usi, di ottimizzare le prestazioni energetiche e di controllare i costi di costruzione e gestione.

L'evoluzione della computer grafica ha portato allo sviluppo di potenti software in grado di simulare la propagazione della luce in maniera accurata, con tempistiche sempre più brevi fino ad arrivare al calcolo in tempo reale della luce e delle riflessioni con il *Realtime Raytracing*.

Questi risultati sono resi ancora più coinvolgenti attraverso l'integrazione della *virtual reality*, che permette allo spettatore di esplorare in prima persona un'ambientazione digitale.

Risulta quindi interessante cercare di trovare delle possibili interazioni tra tecnologie sviluppate per ambiti anche molto diversi e di questo, appunto, tratta il lavoro proposto).

## 2 Stato dell'arte

Dallo studio della bibliografia si osserva che le pubblicazioni reperite trattano una o due di queste tematiche, mentre solo alcune affrontano entrambi gli argomenti in un unico testo.

Sulla ricerca inerente all'ottimizzazione dell'illuminazione nel processo progettuale è possibile trovare molti scritti. In particolare, lo studio di Stavrakantonaki, 2013, si è concentrato su diversi software di simulazione dell'illuminazione naturale e sulla loro flessibilità nella fase progettuale, tracciando il flusso e la perdita di informazioni durante il processo. Un altro contributo significativo (Amoruso et al., 2019) tratta di un progetto di recupero di complessi residenziali in Corea del Sud

utilizzando il *Building Information Modeling*, con l'obiettivo di valutare il miglioramento del comfort visivo dei residenti. Se, invece, si analizzano gli studi rivolti all'interazione tra modellazione informativa e realtà virtuale, da segnalare è lo sviluppo di un'applicazione web di realtà virtuale nella quale viene integrato un modello BIM, con lo scopo di creare una piattaforma da utilizzare in diversi ambiti, dall'addestramento alla didattica, fino alla collaborazione nella progettazione (Berryman et al., 2012). Risale, invece, al 2014, una ricerca che si è occupata di studiare un *plugin*, sviluppato per Autodesk Revit, per la visualizzazione del modello 3D in realtà virtuale, consentendo, inoltre, di apportare modifiche al modello e visualizzarle attraverso i visori in tempo reale (Johansson et al., 2014). Infine, nel 2018, presso l'Università di Monaco è stato elaborato un *workflow* che ha permesso di importare un progetto dentro un ambiente di *game development* e compiere alcune semplici azioni, come interrogare gli oggetti, eseguire delle misurazioni, spostare o cancellare gli elementi, per poi salvare le modifiche fatte al progetto sovrascrivendo il file iniziale (Nandavar et al., 2018).

Significativi sono i due studi di seguito esposti, riguardanti l'utilizzo della realtà virtuale per valutare le prestazioni di un progetto di illuminazione sviluppato con software BIM. Nel 2014 è stata presentata un'applicazione che permette di importare la geometria e le informazioni dei dispositivi di illuminazione da file distinti all'interno di una scena in Unreal Engine. All'interno dell'ambiente in realtà virtuale è possibile avere come output la scena fotorealistica oppure in falsi colori per visualizzare i valori di luminanza sulle superfici. È, inoltre, possibile, tramite un'interfaccia con la quale poter interagire semplicemente attraverso il mouse, modificare le tipologie di lampade utilizzate e avere feedback istantaneo della variazione di illuminazione. La nuova configurazione può inoltre essere salvata modificando il file originario tramite un *plugin-in* esterno (Natephra et al., 2017). Un lavoro simile è stato svolto nel 2019 con lo sviluppo di un programma funzionante interamente in realtà virtuale, tramite l'uso di *motion controller*, per lo studio dell'illuminazione di una sala conferenze progettata tramite un software di BIM authoring, ma a differenza del caso precedente, non è previsto un sistema per l'aggiornamento del progetto (Chen et al., 2019).

## 2.1 Obiettivi

Analizzando le fonti bibliografiche precedentemente esposte sono emersi alcuni aspetti degni di nota:

- la quasi totalità delle soluzioni trovate prevede l'esportazione del modello informativo in un formato puramente geometrico per un'elaborazione preliminare delle *mesh*, prima dell'importazione nel software di sviluppo, con conseguente perdita di informazioni dovuta alla loro frammentazione in formati di file diversi;
- l'aggiornamento del modello con le modifiche apportate non è automatico e necessità di un'azione aggiuntiva del progettista tramite modifica manuale all'interno del software di BIM authoring, oppure attraverso l'utilizzo di programmi ausiliari;

Partendo da queste considerazioni, si è arrivati a definire gli obiettivi di seguito descritti.

L'obiettivo principale della ricerca è quello di proporre un prototipo di applicazione che consenta una comunicazione diretta e bidirezionale tra programma di modellazione BIM e un motore di sviluppo giochi, attraverso standard aperti e concentrandosi principalmente sul passaggio di informazioni relative ai dispositivi di illuminazione e dell'opera d'arte esposta nella sala. La soluzione sviluppata intende proporre all'utente, un'esperienza interattiva in realtà virtuale, nella quale egli possa muoversi all'interno della stanza, valutare il progetto di illuminazione ed eventualmente apportare modifiche alla tipologia di luci, che verranno poi salvate nel file originale.

Per favorire lo studio e lo sviluppo di questa applicazione, si sono adoperate delle semplificazioni, delegando l'ampliamento di funzionalità ad eventuali sviluppi futuri. In particolare, sono stati considerati solo alcuni dei fattori che definiscono la progettazione illuminotecnica, ovvero l'intensità luminosa e la temperatura di colore correlata relative alle sorgenti luminose.

I software utilizzati per lo svolgimento di questo studio sono:

- Autodesk Revit, per la modellazione BIM;
- Blender, software *opensource* per la modellazione 3D e *texturing*;

- Unity 5, come *game engine*, per lo sviluppo dell'applicazione;
- Microsoft Visual Studio, per la scrittura e compilazione degli *script*;
- XbimTool, libreria *opensource* di metodi per la lettura e scrittura di file IFC.

### 3 Il caso studio

La ricerca qui presentata tratta un metodo per la progettazione dell'impianto di illuminazione di una sala espositiva delle Gallerie dell'Accademia di Venezia, nella quale verranno esposti prossimamente i dipinti rinascimentali appartenuti ad un soffitto a cassettoni dipinto da Giorgio Vasari per Palazzo Corner a Venezia e smembrato nel XVII secolo.

Il soffitto del Vasari oggetto di questo studio venne commissionato da Giovanni Corner all'artista nel 1542 per una sala di Palazzo Cornaro, a Venezia, grazie all'aiuto dell'architetto Michele Sanmicheli, il quale stava svolgendo delle opere di ampliamento e decorazione del medesimo edificio. Il soffitto si compone di nove pannelli: i quattro laterali rettangolari, insieme a quello centrale rappresentano le personificazioni delle "virtù" proprie del committente: *Carità, Pazienza, Giustizia, Fede e Speranza*; mentre i quattro pannelli quadrati agli angoli sono occupati da *Putti con tabelle* (Manieri, 2014).

La data di rimozione e le circostanze della dispersione dell'opera sono ignote e se ne persero le tracce fino a che non si ritrovarono due virtù (*Giustizia e Pazienza*) e due putti, nel 1842 in Casa Mocenigo, marito di Laura, ultima erede, insieme alla sorella Elisabetta, della Famiglia Corner. Dopo diversi passaggi di proprietà, i primi 4 pannelli sono stati venduti allo Stato e destinati alle Gallerie dell'Accademia di Venezia nel 1987. Successivamente furono rintracciati il pannello della *Carità* e un terzo *Putto con tabella* e, nel 2002, si riunirono agli altri pezzi raccolti (Manieri, 2014).

La tavola della *Fede* si riuscì ad ottenere nel 2011, grazie allo stanziamento di 168.000 euro da parte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali (Manieri, 2014); mentre nell'ottobre del 2017 lo Stato riuscì ad acquisire la *Speranza* ed a ricongiungerla con il cosiddetto *Suicidio di Giuda*, dal quale fu separata (Caporossi, 2016). Tuttora rimangono dispersi un *Putto* e due porzioni della tavola della *Fede*.

Non si conosce la disposizione originale dei pannelli, di conseguenza si sono studiati altri soffitti simili del Vasari presenti nella sua casa ad Arezzo col fine di trovare delle analogie che possano dare indicazione utili (Manieri, 2014).

L'opera verrà ora ricomposta secondo le ipotesi sviluppate ed esposta nella XIII sala delle Gallerie dell'Accademia. Il progetto di allestimento della sala prevede l'inserimento di un setto posto trasversalmente all'asse della sala ad una distanza dal fondo di 5,64 m. Il soffitto verrà appeso al centro dello spazio così creato ad una quota di 4,2 m, in modo da ricreare l'ambiente dove era originariamente posta l'opera.

Data la particolarità dell'allestimento, risulta importante prestare attenzione alla progettazione dell'apparato di illuminazione in modo da garantire il massimo confort visivo al visitatore. Con questo lavoro, si vuole proporre una soluzione per sviluppare e verificare possibili soluzioni alla progettazione illuminotecnica di un ambiente museale, in maniera automatizzata, tramite l'impiego di software BIM e della Realtà Virtuale.

### 4 Sviluppo della soluzione

Lo studio proposto si divide in tre ambienti distinti: quello di modellazione BIM, quello di sviluppo dell'applicazione per il trasferimento delle informazioni, quello di visualizzazione in realtà virtuale.

Nell'ambiente BIM si svolgono tutte le operazioni che portano alla creazione di un modello, geometrico ed informativo, quanto più completo possibile e la sua esportazione in formato *Industry Foundation Classes* (IFC).



All'interno dell'applicazione sviluppata avviene tutta la fase di lettura e interpretazione del modello BIM e la sua generazione nell'ambiente Unity 5.

Da questo poi è possibile avviare la modalità VR ed esplorare il progetto in maniera immersiva, interagire con l'impianto di illuminazione, modificandone i parametri disponibili, e sovrascrivere il file IFC originario, o salvarne una copia inclusiva delle modifiche fatte.

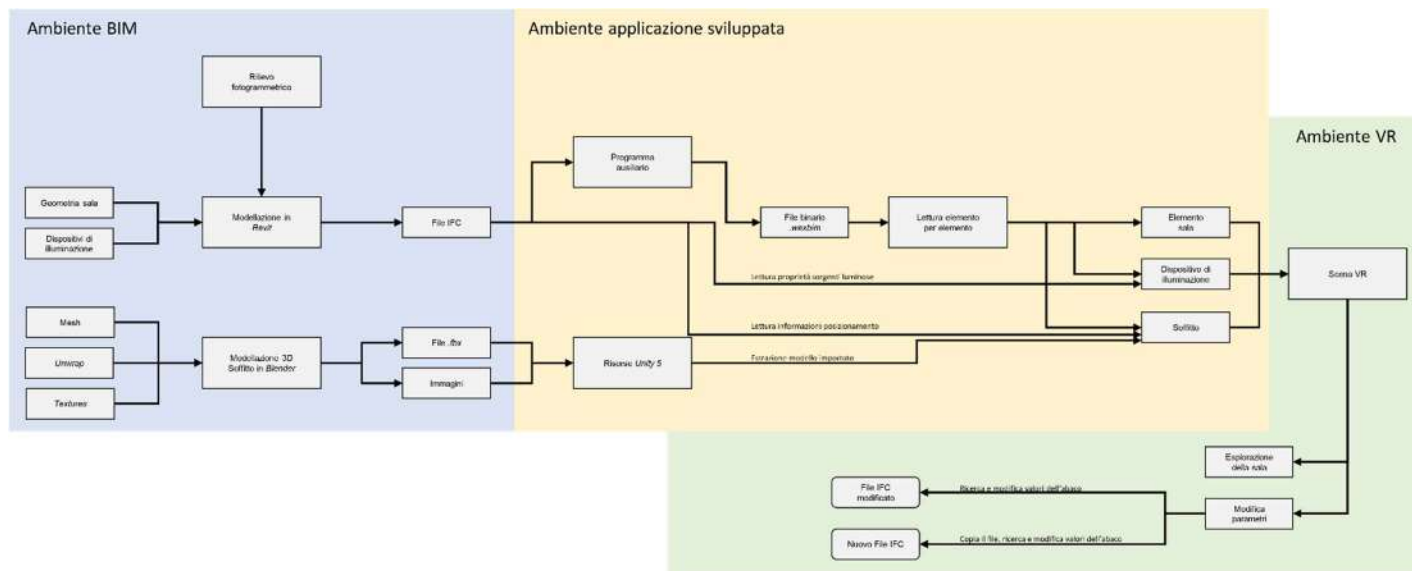


Fig. 1 - Diagramma riassuntivo della metodologia utilizzata.

#### 4.1 Modellazione BIM

In questa fase sono state condotte le attività di restituzione del rilievo fotogrammetrico preliminarmente eseguito e di riproduzione 3D della XIII sala delle Gallerie dell'Accademia e del soffitto del Vasari.

In particolare, per restituire in formato digitale lo spazio espositivo è stato utilizzato Agisoft Metashape che, da una serie di fotografie opportunamente scattate, ricava dapprima una nuvola di punti, per poi rielaborarla in una mesh che è infine possibile importare e "ricalcare" all'interno del software Autodesk Revit.



Fig. 2 - Progetto BIM realizzato e pronto per l'esportazione.

Tramite un software di modellazione 3D (Blender), invece, è stato ricreato il modello del soffitto del Vasari. Ne è stato poi eseguito un *unwrap*, ovvero una restituzione bidimensionale di una superficie tridimensionale, che viene utilizzata dai software di rendering per associare le coordinate UV delle texture a quelle XYZ del modello 3D. In Blender il modello e le immagini sono stati poi

esportati rispettivamente in file *.fbx* e *.png* per essere importati all'interno della libreria di progetto Unity.

A questo punto in Autodesk Revit è stata creata una famiglia *SoffittoVasari*, composta da un semplice parallelepipedo delle dimensioni esatte dell'opera reale e posizionato all'interno del modello come segnaposto, per essere sostituito, in fase di importazione in Unity, dalla mesh dettagliata.

Infine, è stata creata una famiglia di dispositivi di illuminazione e sono state posizionate delle istanze della stessa nel modello. Dal punto di vista informativo, ogni elemento viene caratterizzato dal materiale di cui è fatto e che verrà utilizzato all'interno Unity per l'assegnazione dei materiali.

Per i dispositivi di illuminazione, è stato creato un abaco che raccoglie le informazioni identificative di ogni istanza e della famiglia di riferimento, dell'intensità luminosa e della temperatura colore, che verranno poi esportate all'interno del file IFC come Property Set. Questa operazione è necessaria in quanto Autodesk Revit non permette di esportare direttamente la classe *IfcLightSource*, la più adatta a descrivere le proprietà luminose di questi dispositivi.

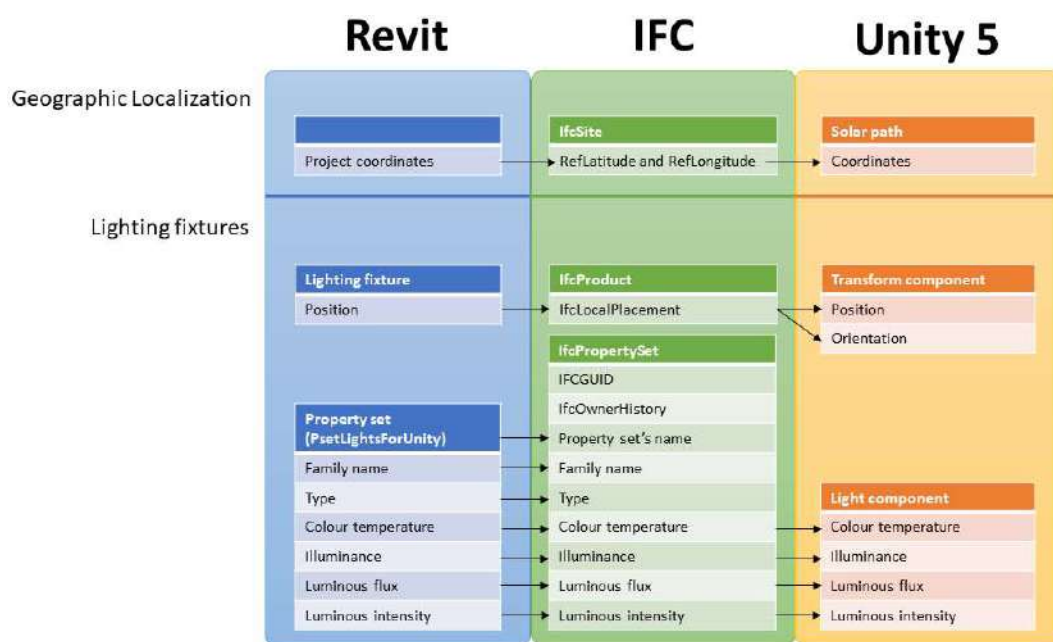


Fig. 3 - Schema che descrive le classi utilizzate e il flusso di informazioni.

## 4.2 Sviluppo dell'applicazione

Lo sviluppo dell'applicazione è avvenuto tramite l'utilizzo del motore di *game development* Unity 5, che si appoggia al linguaggio C#. Nel programma si possono identificare tre elementi chiave che possono aiutare a comprendere l'ambiente di sviluppo:

- "progetto", è la *directory* contenente tutti i file e *assets* necessari per lo sviluppo di una singola applicazione (scene, script, modelli, immagini, materiali, librerie, ecc.);
- "scena", è lo spazio 2D/3D dentro il quale sono posizionati tutti gli elementi che definiscono il livello di gioco (che in questo caso è la sala museale);
- "GameObject", è l'elemento fondamentale all'interno della scena e, a seconda dei componenti a esso associati (mesh, materiali, script, telecamere, ecc.), varia il suo ruolo e comportamento.

In Unity si distinguono due modalità d'esecuzione:

- "edit mode", è la modalità di sviluppo dove possono essere creati e posizionati i *GameObject* che compongono la scena. In questa fase gli script scritti non sono in esecuzione, a meno che non si aggiunga l'attributo *[Execute Always]* prima della dichiarazione della classe all'interno dello specifico script;

- “play mode”, è la modalità di test durante la quale tutti gli script attivi nella scena vengono avviati e viene applicata la fisica agli oggetti, se presente. Al termine di questa modalità, ogni modifica apportata alla scena viene ignorata.

Lo script adibito all'importazione del file IFC e alla generazione del modello viene eseguito in *edit mode* all'avvio della scena e permette la selezione di un file IFC. Data un'incompatibilità tra le piattaforme di *runtime* della libreria xBimTool e di *Unity* (rispettivamente .NET Framework e .NET Core), l'operazione successiva, che prevede la conversione del file IFC in formato binario, di estensione *.wexbim*, è svolta da un programma ausiliario appositamente creato.

A questo punto inizia la lettura del file binario e la creazione del modello. Inizialmente viene creato un *GameObject* vuoto che fungerà da contenitore per tutti gli oggetti del modello BIM. Per ogni oggetto all'interno del file *.wexbim*, viene creato un nuovo *GameObject*, viene generata la geometria e viene posizionato nella scena rispetto alle coordinate del *GameObject* contenitore. Durante i test di importazione, alcune geometrie generate presentavano degli artefatti grafici dovuti all'errato orientamento di alcune facce. È stata, quindi, creata una funzione apposita che controlla le matrici dei vertici e dei triangoli che compongono la geometria per verificare ed eventualmente correggere tali errori.

L'applicazione dei materiali ai singoli oggetti (intonaco, pavimento alla veneziana, legno e vetro) parte dalla creazione di *material asset*, che utilizzano particolari *texture* per descrivere l'aspetto grafico di ogni singolo materiale (colore, rugosità, riflettività, dettaglio, ecc.). Per ogni oggetto importato nella scena viene letto il nome del materiale che gli è stato assegnato all'interno di Autodesk Revit e viene automaticamente associato al corrispondente materiale di Unity. Diversamente dal modello del soffitto vasariano, sulle altre geometrie non è stato eseguito un *unwrap* della superficie, in quanto Autodesk Revit non prevede questa operazione e, di conseguenza, il materiale non viene visualizzato. La soluzione utilizzata consiste nel creare questi *material asset* in modo che proiettino le texture lungo i singoli assi x, y, z sulle facce degli oggetti della scena e non tramite le coordinate UV.

Alla lettura di un nuovo oggetto del modello ne viene controllata la tipologia. Se corrisponde ad un dispositivo di illuminazione, al *GameObject* viene assegnato, insieme alla geometria, anche il componente *light*, le cui proprietà vengono impostate dopo una lettura del file IFC di partenza per reperire le informazioni riguardanti intensità luminosa e temperatura colore. Quando, invece, il controllo della tipologia dell'oggetto informa che si tratta del soffitto vasariano, l'esecuzione dello script cambia e non genera la geometria presente nel modello BIM, bensì viene istanziata la mesh creata con Blender e precedentemente inserita nella cartella di progetto di Unity.

A questo punto lo script di importazione è terminato. Prima di entrare in *play mode* e avviare la modalità di realtà virtuale è comunque possibile visionare il progetto e controllare la qualità dell'importazione.

### 4.3 Ambiente di realtà virtuale

In questa fase, l'utente può muoversi attraverso la sala tramite il visore Microsoft Mixed Reality Headset e relativi *motion controller*.

L'interazione è consentita da un'interfaccia composta semplicemente da un pannello virtuale posto centralmente la sala con comandi di tipo *slider* per il controllo dei parametri di intensità luminosa e di temperatura colore dei dispositivi di illuminazione. Agendo sugli *slider* le modifiche apportate vengono restituite in tempo reale.

All'interno di questo ambiente è possibile effettuare il salvataggio delle modifiche apportate al progetto nel file IFC di partenza, oppure in un nuovo file IFC. In particolare, all'interno dell'interfaccia sono presenti due pulsanti che consentono di sovrascrivere le modifiche sul file originario o di salvarne una nuova copia aggiornata. La scrittura sul file IFC, nell'ambito di questo lavoro, è molto semplice in quanto vengono trattati solo due parametri e si limita a cercare il Property Set contenente le proprietà dei dispositivi di illuminazione (*PsetLightExport*), sovrascrivendo i valori presenti con quelli attuali. Nel caso di salvataggio su nuovo file IFC, viene fatta preliminarmente una copia nella stessa cartella dove è presente la versione originale.

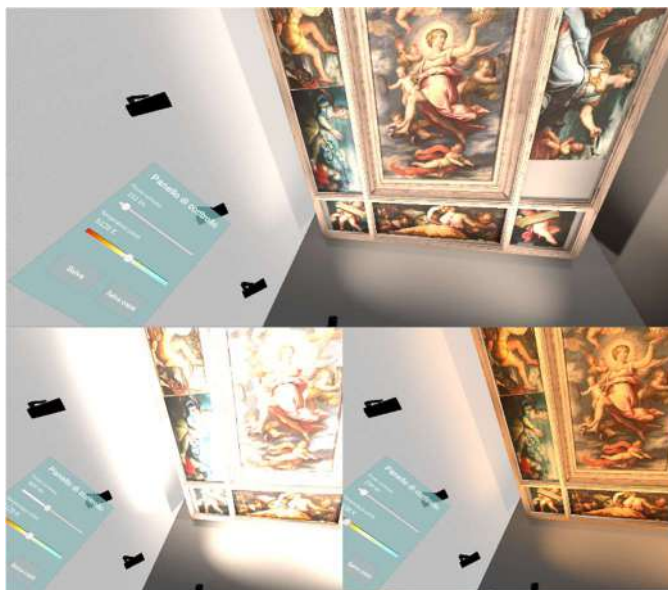


Fig. 4 - Visualizzazione dell'ambiente di Realtà Virtuale ed interazione con l'interfaccia utente.

## 5 Conclusioni

L'obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di proporre una metodologia che consenta una comunicazione bidirezionale tra un programma di modellazione BIM ed un *game engine*. Successivamente, si è cercato di creare un ambiente in realtà virtuale per il controllo e la revisione del progetto di illuminazione di una sala espositiva, cercando di coniugare i risultati ottenuti da altri ricercatori in questo settore.

Quello che si è riuscito ad ottenere con questo lavoro è un'applicazione che rende possibile lavorare con programmi diversi utilizzando un unico formato, acquisendo, così, maggiore controllo sul flusso di dati.

Il materiale che non è stato possibile integrare all'interno del file IFC comprende il modello 3D del soffitto vasariano e le relative *texture* in quanto il software di BIM authoring e di modellazione 3D utilizzati non permettevano di accedere alle classi IFC necessarie per veicolare tali informazioni.

Lo script sviluppato è in grado di leggere il file IFC, generare correttamente la geometria ed estrarre le informazioni necessarie per ottenere gli obiettivi prefissati. Il sistema di interazione studiato permette al progettista di apportare modifiche al modello coerenti con i parametri trasferiti dal software di progettazione.

L'utente può intervenire sulle proprietà delle sorgenti luminose, modificandone intensità e temperatura di colore correlata in modo da valutare il livello di illuminazione e la resa del colore. Infine, il programma è in grado di rilevare le modifiche apportate e trascriverle correttamente nel file IFC di partenza.

Le funzionalità e l'applicabilità di questa soluzione a casi più generali sono, però, molto limitate dato il carattere prettamente di ricerca di questo lavoro.

Una criticità importante che è stata riscontrata riguarda le prestazioni del computer utilizzato insufficienti per sopportare il carico di lavoro computazionale necessario per eseguire il programma. Se da un lato la fase di importazione non crea alcun problema, se non nei tempi di generazione della mesh (dovuto al metodo di controllo e correzione degli errori grafici del modello 3D), l'ambiente di realtà virtuale richiede una significativa potenza di calcolo per gestire due aspetti principali: calcolo in tempo reale delle riflessioni ed il doppio rendering ad elevati *frame per second* (Fps), propri della realtà virtuale. Infatti, elaborare simultaneamente questi due aspetti, significa dover computare la luce e le sue riflessioni con un elevato livello di accuratezza ad una velocità di almeno 90 *frame* al secondo (circa 0,01 s per ogni *frame*) per ogni occhio. Questi requisiti minimi di fps sono necessari per evitare l'insorgere di cinetosi digitale, che si ritiene essere causata da conflitti sensoriali nella percezione del movimento.

Con l'hardware utilizzato per questo lavoro, l'esecuzione del programma da monitor ha permesso di raggiungere una media di soli 50 fps, mentre il test con i visori è stato inconcludente per quanto riguarda il calcolo della riflessione della luce.

### 5.1 Sviluppi futuri

Questo lavoro ha permesso di creare un primo ponte a doppio senso tra software BIM e *game engine*. Da questo punto ulteriori sviluppi futuri relativi a questo prototipo comprenderebbero l'implementazione di ulteriori funzionalità come la possibilità di spostare e cambiare la tipologia dei dispositivi di illuminazione, portare il programma ad essere eseguibile senza il supporto del suo motore di sviluppo e l'ottimizzazione dei metodi attualmente presenti.

Sulla base di quanto osservato durante questo lavoro, ulteriori sviluppi futuri potrebbero trattare tematiche esterne al programma sviluppato, ma che lo renderebbero più funzionale. Si potrebbero studiare metodologie per implementare efficacemente all'interno del file IFC modelli geometrici dettagliati, mapature e texture.

Per quanto riguarda l'ambiente di realtà virtuale, può essere interessante studiare l'accuratezza degli algoritmi di calcolo della diffusione della luce, tramite confronto tra dati reali e calcolati per un medesimo spazio.

## 6 Riconoscimenti

Il lavoro presentato è stato sviluppato nell'ambito di una tesi di laurea presso l'Università degli Studi di Padova con relatore prof. Cosimo Monteleone e con correlatori prof. Andrea Giordano e dott. Paolo Borin.

## 7 Bibliografia

- Amoruso, F M, Udo D, Thorsten S, 2019 *Integrated BIM-Parametric Workflow-Based Analysis of Daylight Improvement for Sustainable Renovation of an Exemplary Apartment in Seoul, Korea*, in *Sustainability*, volume: 11, articolo: 9.
- Caporossi L, Cavigli R, 2016, *Vasari at Venice: The "Suicide of Judas" at Arezzo, another Addendum to the Corner Ceiling*, Burlington Magazine, volume:158, pp.10-12, UK:The Burlington Magazine Publications Ltd.
- Jakica N, 2018, *State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume: 81, pp. 1296–1328.
- Johansson M, Roupé M, Tallgren M V, 2014, *From BIM to VR Integrating immersive visualizations in the current design process*, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.859.7360&rep=rep1&type=pdf>
- Manieri E G, 2014, *La "Fede" di Giorgio Vasari e il soffitto della "Camera nova" in Palazzo Corner Spinelli*, in Giuseppe Pavanello (dir.), *Ricche Minere*, volume:1, pp. 71-79, Venezia: Scripta Edizioni.
- Nandavar A, Petzold F, Nassif J, Schubert G, Bmw Ag., 2018, *INTERACTIVE VIRTUAL REALITY TOOL FOR BIM BASED ON IFC Development of OpenBIM and Game Engine Based Layout Planning Tool-A Novel Concept to Integrate BIM and VR with Bi-Directional Data Exchange*, [http://papers.cumin-cad.org/data/works/att/caadria2018\\_057.pdf](http://papers.cumin-cad.org/data/works/att/caadria2018_057.pdf)
- Natephra W, Motamedi A, Fukuda T, Yabuki N, 2017, *Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design*, in *Visualization in Engineering*, volume: 5, articolo 1.
- Shen Z, Jiang L, Grosskopf K, Berryman C, 2012, *Creating 3D web-based game environment using BIM models for virtual on-site visiting of building HVAC systems*, <https://pdfs.semanticscholar.org/c6c8/afcc4bffd8eb2d69b27bee5b67ae1a674e9.pdf>
- Stavrakantonaki M, 2013, *Daylight Performance Simulations and 3D Modeling in BIM and non-BIM Tools*, in Stouffs, Rudi and Sariyildiz, Sevil (dir.), *Computation and Performance – Proceedings of the 31st eCAADe Conference*, volume:2, Faculty of Architecture, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Wong M O, Du J, Zhang Z Q, Liu Y Q, Chen S M, Lee S H, 2019, *An experience-based interactive lighting design approach using BIM and VR: a case study*, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, volume:238, articolo:1.





Quest'opera è stata rilasciata con licenza **Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale**. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> o spedisce una lettera a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



**Attribuzione - Non commerciale -  
Condividi allo stesso modo 4.0  
Internazionale (CC BY-NC-SA 4.0)**

Sei libero di:

- **Condividere** - riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare questo materiale con qualsiasi mezzo e formato;
- **Modificare** - remixare, trasformare il materiale e basarti su di esso per le tue opere;

Alle seguenti condizioni:

- **Attribuzione** - Devi riconoscere [una menzione di paternità adeguata](#), fornire un link alla licenza e [indicare se sono state effettuate delle modifiche](#). Puoi fare ciò in qualsiasi maniera ragionevole possibile, ma non con modalità tali da suggerire che il licenziante avalli te o il tuo utilizzo del materiale;
- **NonCommerciale** - Non puoi utilizzare il materiale per [scopi commerciali](#);
- **StessaLicenza** - Se remixi, trasformi il materiale o ti basi su di esso, devi distribuire i tuoi contributi con la [stessa licenza](#) del materiale originario;

**Divieto di restrizioni aggiuntive** - Non puoi applicare termini legali o [misure tecnologiche](#) che impongano ad altri soggetti dei vincoli giuridici su quanto la licenza consente loro di fare.

*Il licenziante non può revocare questi diritti fintanto che tu rispetti i termini della licenza.*

**Note:**

Non sei tenuto a rispettare i termini della licenza per quelle componenti del materiale che siano in pubblico dominio o nei casi in cui il tuo utilizzo sia consentito da una [eccezione o limitazione](#) prevista dalla legge.

Non sono fornite garanzie. La licenza può non conferirti tutte le autorizzazioni necessarie per l'utilizzo che ti prefiggi. Ad esempio, diritti di terzi come [i diritti all'immagine, alla riservatezza e i diritti morali](#) potrebbero restringere gli usi che ti prefiggi sul materiale.

Questa sintesi non sostituisce la [licenza](#). [Limitazione di responsabilità](#).