UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

Scuola di Architettura

Laurea Magistrale in
Progettazione dell'Architettura LM-4

TESI DI LAUREA

M-BIM: nuovi approcci per la gestione delle collezioni d'arte

Il caso della Galleria dell'Accademia di Firenze

Relatore
Prof.ssa Grazia Tucci

Candidato
Noemi Valdambrini

Correlatori
Arch. Alessandro Conti
Prof.ssa Lidia Fiorini
Arch. Carlotta Matta

Anno Accademico 2018/2019

Indice

PARTE I – BIM

1. Introduzione al Building Information Modelling - 6 -
2. Storia del BIM - 10 -
2.1. I pionieri del BIM - 14 -
3. Cos'è il BIM: panorama generale degli ambiti di applicazione - 16 -
4. Cosa "non" è il BIM - 24 -
5. La Ricerca sul BIM - 26 -
5.1. COBIM: linee guida ai processi BIM - 28 -
5.2. INNOVance project - 31 -
5.3. Il BIM per la progettazione architettonica e strutturale - 34 -
5.4. Il BIM per la progettazione infrastrutturale - 40 -
5.5. Il BIM 6D: applicazioni per il Facility Management - 42 -
5.6. Il BIM e la X-Reality - 49 -
6. Il BIM e il GIS - 52 -
7. Benefici derivanti dall'utilizzo del BIM - 55 -
7.1. Benefici per i committenti - 57 -
7.2. Benefici per i progettisti - 59 -
8. Problematiche e condizioni sfavorevoli - 62 -
9. Un nuovo workflow - 67 -
9.1. Open BIM e Closed BIM - 70 -
9.2. Interoperabilità: BIM e i formati di scambio - 72 -
9.3. Piattaforme di scambio dei dati: il Common Data Environment (CDE) - 77 -
9.4. Livelli di maturità del BIM - 80 -
9.5. La nascita di nuove professionalità: BIM Manager, BIM Specialist e BIM Coordinator - 83 -
10. Software e Plug-in - 85 -
10.1. Gli oggetti parametrici - 87 -
10.2. I software - 89 -

PARTE II - HBIM

1. Il BIM per l'esistente - 97 -
1.1. L'evoluzione della ricerca del BIM sull'esistente nella letteratura - 98 -
1.2. HBIM e il modello "As-Built" BIM - 100 -
1.3. Caratteristiche dell'HBIM - 104 -
1.4. Le tecniche per il rilievo integrato - 108 -

1.5. Scan to BIM - 110 -
1.6. LoD - 114 -
1.7. Vantaggi e potenzialità - 121 -
1.8. Problematiche e prospettive di sviluppo - 124 -
2. La normativa sul BIM - 128 -
2.1. Normativa e standard internazionali - 129 -
2.2. Normativa e standard italiani - 133 -
3. Casi studio analizzati di Heritage Building Information Modelling - 143 -
3.1. La Basilica di Collemaggio a L'Aquila - 145 -
3.2. Il ponte Azzone Visconti a Lecco - 149 -
3.3. La Cattedrale di Parma - 153 -

PARTE III - M-BIM

1. Introduzione al M-BIM per la gestione dei musei - 159 -
2. Analisi del sito - 164 -
2.1. Il Museo Galleria dell'Accademia - 164 -
3. Il modello HBIM della Galleria dell'Accademia - 183 -
3.1. Il rilievo metrico dell'edificio - 184 -
3.2. Scan to BIM dell'edificio - 192 -
4. Analisi FEM dal modello HBIM della Galleria dell'Accademia - 194 -
5. M-BIM per il FM della Galleria dell'Accademia di Firenze - 198 -
5.1. Scan to BIM delle collezioni - 204 -
5.2. La semantizzazione dei modelli delle opere d'arte - 214 -
5.3. Repository degli allestimenti - 218 -
5.4. Il DB delle opere d'arte: un modello concettuale - 221 -
6. X-Reality dal modello BIM della Galleria dell'Accademia - 224 -
7. Conclusioni - 226 -
Glossario - 228 -
Bibliografia - 234 -
Sitografia - 243 -
Ringraziamenti - 245 -

Abstract

Questo elaborato di tesi presenta i risultati e le riflessioni di una ricerca in corso sull'implementazione della metodologia del Building Information Modelling (BIM) nei sistemi di management dei musei.

Viene proposto un sistema olistico di gestione delle informazioni per i musei (M-BIM), che include sia le informazioni sull'edificio che sulle collezioni, e vengono confrontate le linee guida internazionali e italiane e le migliori pratiche sulla gestione dei musei.

La Galleria dell'Accademia di Firenze è utilizzata come caso studio per testare l'applicazione di M-BIM (Museum-Building Information Modelling) su un edificio storico.

Sono state messe in luce le relazioni che intercorrono tra contenitore (museo), contenuto (collezioni) e utenti. La comprensione di questi rapporti è infatti essenziale per la conservazione delle opere d'arte nel rispetto delle linee guida internazionali.

Il lavoro è stato svolto a partire dai dati acquisiti durante le recenti campagne di rilievo che hanno portato alla creazione del modello BIM dell'edificio. Il modello è stato popolato di informazioni e arricchito dei modelli digitali tridimensionali degli oggetti collezionati (sculture e dipinti) pensati come oggetti BIM. Gli oggetti sono semanticamente arricchiti di dati e collegati a cataloghi museali e schede tecniche esterne.

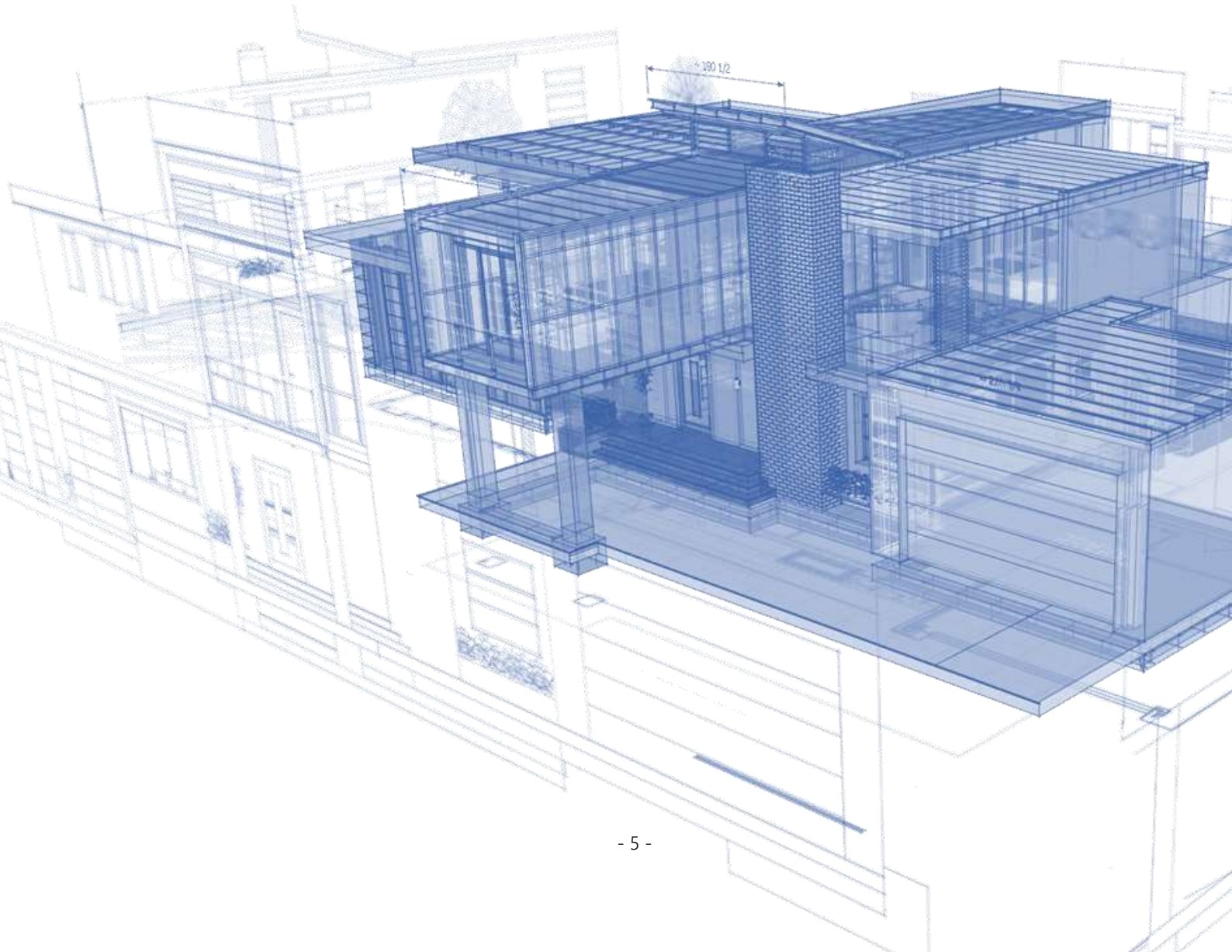
L'elaborato di tesi è stato suddiviso in tre parti secondo un ordine di approfondimento delle tematiche analizzate.

Nella Parte I sono state analizzate le caratteristiche del processo BIM in senso lato.

Nella Parte II è stato preso in esame il rapporto tra BIM e gli edifici esistenti del patrimonio storico.

Nella Parte III è stata approfondita la ricerca sul BIM per i musei (M-BIM) e riportate le sperimentazioni sul caso studio della Galleria dell'Accademia di Firenze.

PARTE I – BIM



1. Introduzione al Building Information Modelling

"BIM not only changes how building drawings and visualization are created, also dramatically alters all of the key processes involved in putting a building together." [1]

Questa affermazione si trova all'interno di uno dei principali manuali di riferimento sui processi BIM, realizzato da Chuck M. Eastman, uno tra i maggiori esperti e "fondatori" del processo.

C. M. Eastman pone molta enfasi nel descrivere in cosa consiste il Building Information Modelling (il cui acronimo è appunto B.I.M.) definendolo come una sorta di "sconvolgimento" (e coinvolgimento) degli elementi fondanti dei tradizionali processi di "costruzione" di un edificio.

Fig. [1] Word cloud delle principali parole legate al Building Information Modelling

[1] Eastman, C. M. et al. (2011)

In questo periodo storico il settore AEC[2] si è sempre più interessato al BIM individuando in esso uno strumento fondamentale per catalizzare processi importanti e cambiamenti nelle modalità di relazione interdisciplinare.
La sperimentazione portata avanti negli ultimi anni sull'implementazione del BIM ha evidenziato le potenzialità e le criticità di questa metodologia.
Il termine Building Information Modelling è generalmente usato per descrivere un "processo collaborativo" per la produzione e gestione di informazioni digitali strutturate per mezzo di uno o più modelli digitali.
In letteratura troviamo varie definizioni di BIM e di come il processo collaborativo si attui, ciononostante le tante opinioni in merito riconducono a concetti comuni e condivisi.
L'AIA[3] nel 2007 definisce il BIM nel seguente modo, indicando come principio fondante la "collaborazione tra più utenti":

"*...a collaborative alliance of people, systems, business structure and practices into a process that harnesses the talents and insights of all participants to optimize project results, increase value to the owner, reduce waste, and maximize efficiency thought all phases of design, fabrication, and construction*".

Un'altra definizione di BIM viene fornita dal NBIMS[4] nel 2008:

"*...an improved planning, design, construction, operation, and maintenance processing using a standardized machine-readable information model for each facility, new or old, which contains all appropriate information created or gathered about that facility in a formatting usable by all throughout its lifecycle.*"

In questo caso l'accento è posto in modo evidente sulla concezione del BIM come di un processo che può durare quanto la vita stessa del bene a cui si applica.

---

[2] Architecture, Engineering and Construction, vd. Glossario.

[3] American Institute of Architects, vd. Glossario.

[4] National Institute of Building Science, vd. Glossario.

In Gran Bretagna il Cabine Office Publication nel 2012 definisce il BIM come un processo che ha l'obiettivo principale di gestire l'uso delle informazioni e la loro generazione attraverso le tecnologie della comunicazione (ICT), durante l'intero ciclo vitale di un edificio, nelle moderne realizzazioni. Il BIM quindi stabilisce i metodi di gestione delle informazioni.

Queste definizioni e altre spiegazioni sul tema BIM fanno intuire che gli ambiti di intervento coinvolti siamo ampi e i soggetti interessati da questo processo molteplici. Le procedure applicative sono di conseguenza complesse e specifiche di ciascun ambiente di lavoro, fermo restando l'obiettivo comune della coordinazione e condivisione.

Per introdurre l'argomento e fare un po' di chiarezza è possibile riassumere i vari modi in cui il BIM si presenta (Eastman, C. M. et al., 2011), mentre le interpretazioni saranno adeguatamente sviluppate nei paragrafi a seguire:

- BIM come **prodotto**
- BIM come **processo collaborativo**
- BIM come **strumento** per una gestione facilitata delle informazioni che riguardano i beni.

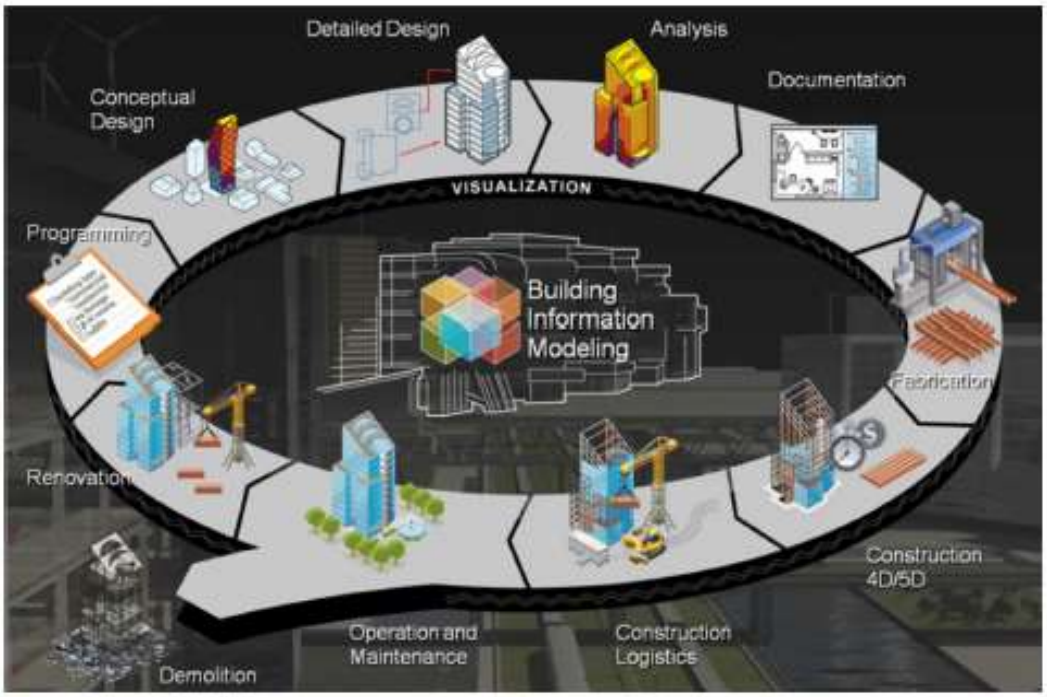


Fig. [2] Application of BIM on the building life cycle (fonte: www.NBIM.org)

In aggiunta a quanto detto finora sull'acronimo BIM, Ralf Becker et al. (2018) afferma che può essere inteso anche come "Building Information Management" e come "Building Information Model". Il primo acronimo si riferisce alla "sfida" della gestione digitale dell'informazione e dello scambio dei dati specializzati tra diversi professionisti. Il secondo introduce una caratteristica molto importante del BIM, fa infatti riferimento a tecniche di modellazione per la creazione di oggetti geometrici semanticamente arricchiti, "contenitori" di informazioni utili.

"Building Information Modeling (BIM) describe a new method for the digital way of planning and building. BIM aims the entire digital modelling of all future of a building, which are applied by all involved agents disciplines over the whole life cycle for supporting the building processes."[5]

La modellazione all'interno di un processo di tipo BIM avviene infatti come semantizzazione di elementi tridimensionali. Attraverso l'utilizzo di appositi software o plug-in è possibile realizzare modelli digitali la cui geometria è arricchita da vari tipi di informazioni numeriche e descrittive per la gestione degli elementi, l'archiviazione di dati e lo scambio di conoscenze (Hinchri, N. et al., 2013).

[5] Becker, R. et al. (2018)

2. Storia del BIM

La tecnologia alla base dei processi BIM non è nuova. Tutti i sistemi CAD generano file digitali ovvero vettori associati a tipi di linee che identificano livelli (layers) in funzione delle informazioni alle quali si riferiscono. Le informazioni sono gestite sotto forma di blocchi di dati e testi scritti associati in forma digitale o cartacea. Questi sistemi generalmente servono a produrre stampe da plotter.

Con l'introduzione della modellazione 3D si è aggiunta la possibilità di descrivere forme geometriche complesse tramite rappresentazioni tridimensionali, aumentando le opportunità di comprensione dell'oggetto.

L'avanzamento tecnologico ha reso i software CAD sempre più sofisticati e flessibili, in grado di descrivere forme geometriche sempre più complesse. I professionisti desiderano sistemi in grado di condividere informazioni sempre più dettagliate associate ai disegni. Il focus passa dal disegno all'immagine 3D e al contenuto informativo del dato stesso.

Già negli anni '80 fu oggetto di interesse l'idea di introdurre sul mercato software per il disegno meccanico che potessero connettere le informazioni e i dati agli elementi del disegno in modo diretto e chiaro.

Negli anni '70-'80 furono fatti dei passi in avanti seguendo questa direzione e furono introdotte due tipologie geometriche di modellazione digitale (Dore, C. et al, 2017):

1. geometrie Constructive Solid Geometry (**CSG**)

2. geometrie Boundary Representation (**BRep**)

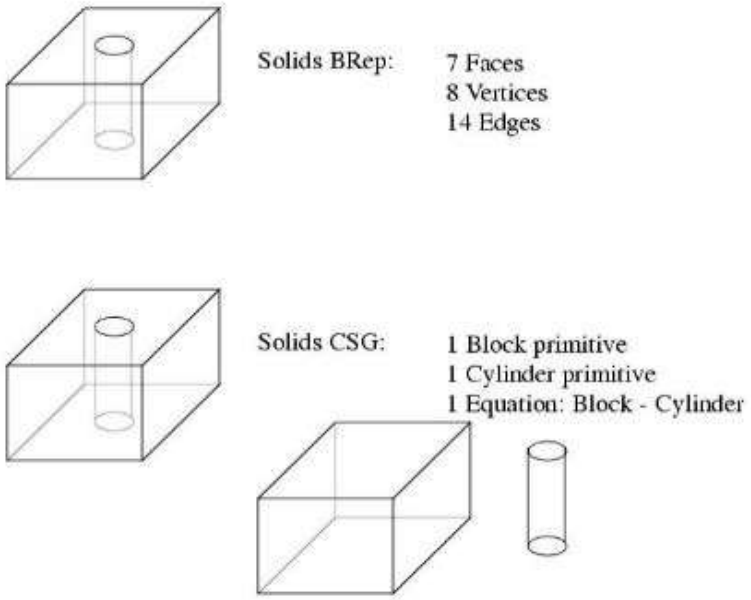


Fig. [3] Solidi BRep e Solidi CSG (Fonte: http://engineeronadisk.com/notes_ design/solidsa3.html)

1. **CSG**: gli oggetti vengono rappresentati da solidi geometrici elementari (il cilindro, la sfera, il cono, etc.) definiti solidi "primitivi".

   Questo approccio migliora quello della grafica 3D CAD basato sul wireframe in quanto si possono calcolare varie proprietà fisiche dell'oggetto (volume, densità, peso etc.). Per combinare le forme solide primitive si utilizzano operazioni booleane (unione, sottrazione, intersezione). Per ottenere la geometria desiderata a volte è necessario eseguire più operazioni. Questo processo è poco flessibile e i risultati ottenuti dipendono dalle operazioni booleane utilizzate. Il processo che genera il solido finale può essere organizzato in un modello chiamato "albero CSG", dove ogni foglia rappresenta un solido e ogni nodo corrisponde a un'operazione booleana (Bruno, N. et al. 2018).

2. **BRep**: gli oggetti vengono rappresentati da una forma solida in formato di grafica vettoriale delimitata da una superficie. Ha un interno e un esterno ed è descritto dal numero delle facce, degli angoli, dei vertici quindi si può dire un'estensione del modello wireframe. Questo tipo di modellazione permette l'utilizzo di operazioni come l'estrusione, lo sweep e la rivoluzione usati come strumenti per creare forme 3D a partire da linee 2D.

Molte piattaforme CAD attualmente incorporano entrambi i sistemi di modellazione BRep e CSG per garantire una maggiore flessibilità e per modellare oggetti complessi.

Tuttavia, le forme 3D rappresentate con questi metodi realizzano solo entità grafiche prive di "intelligenza" (Eastman, C. M. et al., 2011; Ibrahim, M. et al., 2019).

La vera rivoluzione in questo ambito è l'introduzione di una modellazione basata sulle caratteristiche, sulle proprietà degli oggetti e sulle relazioni tra di essi: la **modellazione parametrica.**

L'idea alla base del BIM trova quindi fondamento nella modellazione con strumenti che generano oggetti parametrici assemblati e in reciproca relazione. Questi elementi permettono una rappresentazione virtuale dell'edificio, di un impianto, di un arredo etc. sia tramite disegni 2D che rappresentazione 3D.

Il modello può essere descritto nei suoi contenuti (descrizione delle caratteristiche dell'oggetto rappresentato) e dalle sue capacità (utilizzo, finalità, esigenze etc.).

Il BIM permette al settore AEC di fare un passo in avanti: dai sistemi di progetto basati su rappresentazioni CAD si passa a un flusso di lavoro integrato e interoperabile. I sistemi CAD-based non consentono di creare relazioni tra gli oggetti modellati se non di tipo geometrico, questo è dovuto al fatto che gli elementi non possono essere semanticamente arricchiti. I sistemi BIM invece creano relazioni tra gli oggetti e lo scambio dei dati avviene grazie ad appositi formati file di scambio.

Il BIM in questo modo favorisce processi coordinati e più collaborativi, massimizzando le capacità di computazione, la web communication, la collezione dei dati, lo scambio di informazioni e conoscenze.

Fig. [4] Evoluzione dei sistemi di coordinazione (Fonte: https://bimtrack.co)

In conseguenza allo scenario di crisi economica di quest'ultimo decennio il mercato delle costruzioni ha incentivato la ricerca di strategie di sviluppo e rinnovamento del settore edilizio.

Sono state sottolineate le problematiche che hanno da sempre afflitto i processi di costruzione e di produzione per stabilire gli obiettivi della ricerca odierna e del futuro.

In questo momento storico si è guardato al BIM come catalizzatore di nuove soluzioni per l'ottimizzazione della filiera, la riduzione degli sprechi, il controllo dei consumi energetici e il miglioramento delle prestazioni degli edifici.

L'approccio ai metodi e ai processi del Building Information Modelling è stato al centro delle sperimentazioni di questo ultimo decennio e ormai appare a molti (professionisti e accademici) una scelta lungimirante e un'opportunità reale per tutte le imprese che ambiscono a qualificarsi come strutture organizzate di progettazione integrata.

Fig. [5] La sezione nel software BIM mostra la posizione dei sistemi e dei servizi dell'edificio in relazione alle strutture. Helsinki Music Center, LPR-Arkkitehdit, immagine: Gravicon (fonte: COBIM project.)

2.1. I pionieri del BIM

Sono quattro le persone che possono essere considerate autorevoli "pionieri" del BIM: Chuck M. Eastman, Jerry Laiserin, Rafael Sacks, Arto Kiviniemi (Eastman, C. M. et al., 2011).

Chuck M. Eastman scrisse nel 1975 "The Use of computers instead of drawings in building design" introducendo il concetto di modellazione 3D e la necessità di cominciare a pensare all'utilizzo di un database (repository) generale anche nella gestione dei progetti edili.
Propose un sistema di archiviazione basato sull'impostazione grafica 3D e sulla parametrizzazione delle dimensioni degli oggetti in esso descritti. Si può dire che avesse già in mente il concetto di BIM, ancora prima che venisse definito un acronimo.

Alcune ricerche e articoli riconducono la paternità del termine "Building Information Modelling" a **Jerry Laiserin** (anche se lui se ne dichiara estraneo[6]). Egli ha affermato: "BIM is not software. Software is not BIM. BIM is a process of representation, communication and collaboration. Automating that process does require software, call it BIMware, but automation through such BIMware is not sufficient. Every building industry player must understand what BIM is and is not, the benefits and trade-offs of BIMware, and the resulting effects on all project participants' risk, rights, roles and responsibilities."

[6] Garagnani, S. (2015a): *"The term BIM was commercially introduced in 2002, when Autodesk abandoned the use of "Single 3D Building Model Technology (SBM)" in favor of it in its strategic master plan for the market. The same year Cyon Research used the term in a white paper about the software called ArchiCAD by Graphisoft that, until that moment, was referring to "Virtual Buildings". In the December 2002 issue of his newsletter, Jerry Laiserin suggested to adopt universally the acronym BIM for this kind of technology."*

Rafael Sacks dà uno dei contributi più grandi alla ricerca nell'ambito BIM. Inizia a lavorarvi partecipando al progetto "North American Precast Concrete Software Consortium" (Sacks, R., 2004), diretto da C. M. Eastman, sviluppando i principi della modellazione parametrica tridimensionale.
L'obiettivo del progetto era quello di sviluppare un software per la modellazione tridimensionale parametrica per la progettazione di strutture in calcestruzzo prefabbricato/precompresso.

Arto Kiviniemi è tra i maggiori esperti a livello internazionale sull'implementazione del Building Information Modelling in ambito professionale ed è una figura di riferimento per la ricerca in Finlandia e a livello internazionale.
Dal 1997 al 2002 ha guidato il programma di ricerca nazionale finlandese sull'implementazione del BIM nei processi edilizi.
Le principali attività di A. Kiviniemi, a livello internazionale, sono collegate all'International Alliance for Interoperability (nota come buildingSMART International). È stato uno dei membri fondatori nel 1996 ed è stato Presidente del Consiglio internazionale e del Comitato Esecutivo 1998-2000. Ha inoltre collaborato alla stesura dei "Common BIM Requirements 2012" (COBIM project), una serie di pubblicazioni che aggiornano i "BIM Requirements" del 2007, al cui finanziamento ha partecipato anche BuildingSMART Finland.

3. Cos'è il BIM: panorama generale degli ambiti di applicazione

Dopo aver fatto una breve analisi delle principali definizioni date del BIM è opportuno fare una introduzione alle tematiche più importanti per il settore AEC, verso le quali lo sviluppo del BIM si è rivolto, si rivolge e si rivolgerà nel prossimo futuro.

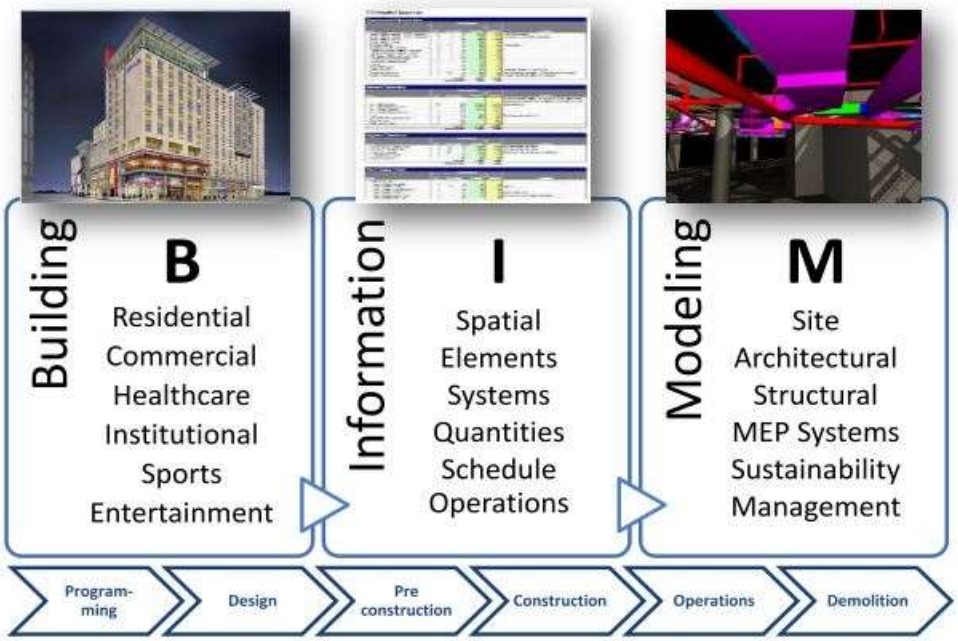


Fig. [6] Rappresentazione visuale del BIM concept (Fonte: Azhar, S. et al., 2012)

Il BIM ha tra i suoi obiettivi fondanti la creazione di una rete di collaborazione tra i partecipanti a un progetto tramite, per esempio, la condivisione di set di dati coordinati tra gruppi di lavoro multidisciplinari. Vuole favorire la nascita di forme "robuste" di collaborazione anche tra proprietario (committente), progettisti e appaltatori per mezzo di sistemi elettronici per lo scambio delle informazioni.

Il BIM fornisce strumenti per la riduzione dei rischi legati al progetto e all'attività di progettazione, la riduzione dell'inefficienza dei processi (aumento dei costi, ritardi etc.), l'aumento dell'efficacia delle scelte di investimento (Eastman, C. M. et al., 2011; Counsell, J. & Arayici, Y., 2017; Wong, J. K. W. et al., 2018; Littlefield, D., 2017; Oreni, D. et al. 2014a; Garagnani, S., 2015b).

Tutto questo è possibile solo se il BIM è in grado di controllare le informazioni, verificare la presenza di dati incompleti, valutare le informazioni imprecise e ambigue (Historic England, 2017).

Riprendendo le considerazioni fatte nell'introduzione si possono definire un insieme di caratteristiche del BIM inteso come **processo** (Kemp, A., 2014):

- Permettere una migliore rappresentazione del progetto e il monitoraggio delle attività durante la costruzione.
- Offrire un ampio e veloce accesso a informazioni integrate provenienti da più discipline.
- Favorire la collaborazione assicurando la qualità e lo scambio di dati per rendere il processo di costruzione più efficiente ed efficace.
- Dare supporto al processo decisionale per valutare le decisioni di investimento, confrontare la portata di questi investimenti, i costi e l'efficacia delle soluzioni.
- Integrare i sistemi di management del bene lungo tutto il suo Life Cycle (LF).
- Incentivare e supportare l'innovazione tecnologica per il miglioramento della sicurezza di cose e persone.

Se invece consideriamo il BIM come **modello** si può dire che esso è caratterizzato da:

- Componenti dell'edificio che sono rappresentati digitalmente (oggetti) e che possono contenere informazioni grafiche computabili e attributi identificabili dai software.
- Regole parametriche, a cui l'oggetto è legato, che permettono la manipolazione intelligente della morfologia.
- Relazioni tra elemento geometrico e proprietà fisiche (e.g. materiale, aspetto).
- Dati non ridondanti grazie a forme di controllo fornite dai software.
- Aggiornamento automatico dei dati in seguito a modifiche e aggiunte.
- Viste del modello coordinate tra loro in modo che i cambiamenti apportati agli oggetti si riflettano in ogni vista del modello (piante, prospetti, sezioni, etc.).

Il modello può essere inteso anche come interfaccia tra due sistemi contenenti informazioni: il database (uno o più di uno) e il modello 3D popolato da oggetti rappresentati tridimensionalmente.

Durante il processo di progettazione i modelli possono essere aggiornati, integrati e modificati in una serie di pubblicazioni condivise con lo scopo di definire specifici requisiti del progetto.

A causa della complessità dell'organizzazione delle informazioni che sono legate a molteplici professionalità, ruoli, utilizzi, finalità e soprattutto software, la strutturazione delle informazioni all'interno del BIM è di più facile comprensione se prendiamo in considerazione la seguente suddivisione gerarchica (Eastman, C. M. et al., 2011):

- **BIM tool**

  Strumento specifico di un determinato settore che produce uno specifico risultato richiesto nel progetto (generazione del modello, produzione dei disegni, programmazione, etc.). In alcuni casi il risultato può essere esportato in altre applicazioni. In architettura i possibili prodotti o risultati richiesti possono essere:
  - modello geometrico 3D,
  - disegni tecnici,
  - rendering di vario tipo (planivolumetrici, assonometrie, prospettive, render etc.),
  - analisi energetica,
  - programmazione temporale delle attività e delle fasi,
  - stima dei costi,
  - Clash Detection (CD)[7],
  - sistemi di visualizzazione (VR, AR, concept progettuale etc.),
  - altri tipi di elaborati relativi alle esigenze specifiche del progetto.
- **BIM platform**

  Si tratta di una applicazione che genera dati per molteplici usi. Produce un modello preliminare che contiene informazioni e che spesso incorpora internamente strumenti per determinate funzioni, come per esempio la produzione i disegni o la clash detection. Alcune piattaforme condividono l'interfaccia utente e il tipo di interazione.
- **BIM environment**

  Serve per la gestione dei dati di uno o più flussi di informazione che integrano le applicazioni (tool e platform) nell'organizzazione.

[7] vd. Glossario.

Supporta le politiche e le pratiche organizzative, permette la generazione automatica e la gestione di molteplici set di dati provenienti da differenti BIM tool.

Quando vengono utilizzate molteplici piattaforme e sono prodotti diversi tipi di modelli è richiesto un alto livello di gestione e coordinazione.

In aggiunta a questo i "BIM environment" includono librerie di oggetti, si interfacciano con le applicazioni supportate e permettono la creazione di link di gestione dell'azienda e sistemi di contabilità.

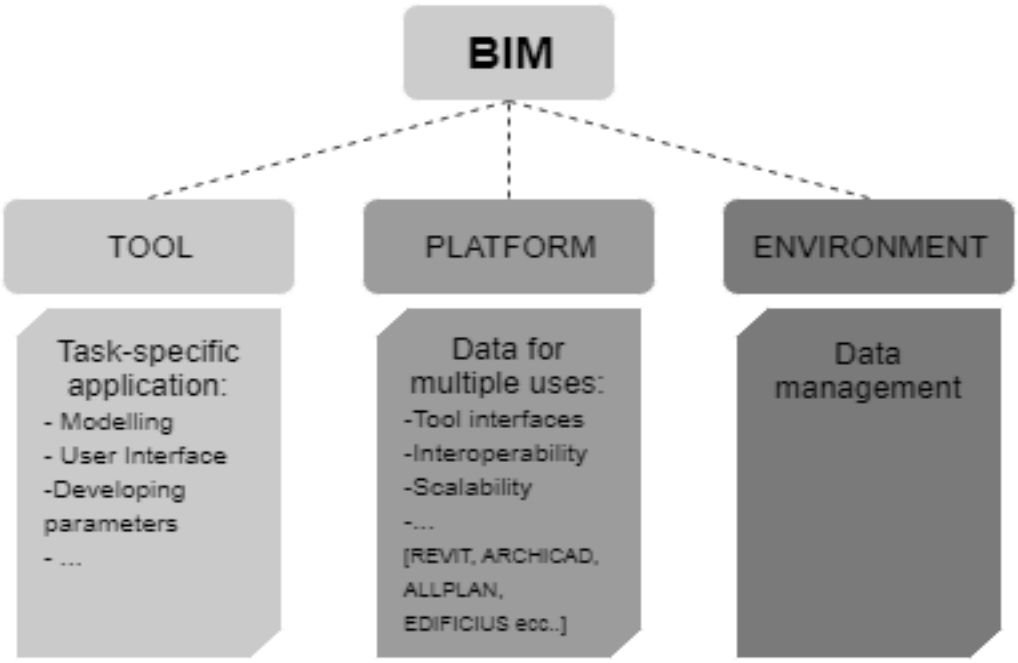


Fig. [7] Infografica rappresentativa della ramificazione gerarchica del BIM (rielaborazione dei dati da fonte: https://www.goconqr.com/en-US/p/3667967)

Molti studi dimostrano il successo del BIM in risposta alle esigenze e ai problemi che da molto tempo affliggono il settore edilizio, come supporto alle nuove costruzioni, all'architettura sostenibile e alla produzione. Tuttavia, sono necessari ulteriori indagini sull'impatto che ha all'interno dei vari ambiti del settore.

"In the case of new-build projects, BIM offers a robust framework for a multi-disciplinary collaborative process of information production and exchange, resulting in the creation of a

reliable, shared, knowledge resource to be used as the basis for decision-making, communication, planning and consultation."[8]

Un punto cruciale dell'utilizzo nelle applicazioni BIM è il fatto che per ottenere determinati risultati (output) è necessario sapere quali devono essere le informazioni da elaborare (input). In funzione di questo si stabiliscono gli approcci per l'acquisizione dei dati e le strategie di modellazione.

Questo procedimento si definisce "*starting with the end in mind*" (Historic England, 2017): gli scopi e l'obiettivo di ciascun progetto e di ciascun tipo di organizzazione delle informazioni determina di fatto il tipo di dati richiesti, il loro formato e il periodo temporale in cui devono essere raccolte, per raggiungere determinati risultati.

Raccogliere più informazioni di quelle che sono rilevanti o utili è spesso controindicato, in quanto il volume aggiuntivo di informazioni ha implicazioni sulla Information Technology (IT) che deve essere impiegata e sulla gestione delle informazioni (Historic England, 2017).

Le linee guida, i protocolli e i template dei documenti possono essere d'aiuto ma le decisioni devono essere fatte secondo un metodo del caso per caso (Historic England, 2017).

Il processo di creazione di uno o più modelli BIM richiede che sia il cliente che il progettista forniscano informazioni di "input". È infatti un processo a doppio senso:

- Il cliente deve definire chiaramente le esigenze di informazione, ovvero sapere "cosa vuole".
- Il progettista o il fornitore di un servizio deve sviluppare una strategia BIM per consegnare queste informazioni in risposta alle esigenze dichiarate dal datore di lavoro.

"It is the client's duty to set the scope and purpose of the work and define the information requirements. Information requirements should be determined on a case-by-case basis, taking into account the overall organisational requirements and project parameters."[9]

[8] Historic England (2017)

[9] Historic England (2017)

Nel processo BIM quindi è necessario fin dalle primissime fasi:

1) Definire gli obiettivi del BIM: il cliente deve definire chiaramente le esigenze, i risultati e le informazioni che vuole ottenere.
2) Consegnare le informazioni richieste: il fornitore deve sviluppare una strategia BIM, la più adatta a svolgere il lavoro, valutando tempo e costi.

Quanto detto si traduce praticamente nell'elaborazione di appositi documenti che fungono da guida e riscontro sui servizi che un BIM può fornire, su ciò che è stato prodotto e sulle sue modalità di utilizzo.

Sono due i documenti principali necessari:

- **EIR (Employer's Information Requirements)**[10]: definisce le esigenze informative del datore di lavoro. Al suo interno devono essere specificate informazioni come:
    - Livello di dettaglio richiesto.
    - Modalità di coordinazione.
    - Clash detection.
    - Sistemi di gestione del modello.
    - Nomenclatura delle convenzioni.
    - Sistemi di coordinate da adottare.
    - Software e formato dei file da consegnare.
    - Problemi di sicurezza e limitazioni di accessibilità alle informazioni.
    - Processi di scambio delle informazioni.
    - Standards e protocolli.

Tutti questi ambiti possono essere sintetizzati in tre aree: tecnica, gestionale e commerciale. Lo scopo principale di un EIR è quindi quello di documentare i requisiti che le informazioni devono rispettare e stabilire i requisiti di gestione delle informazioni.

- **BEP (BIM Execution Plan)**: definisce le strategie di attuazione del progetto[11].

[10]Nella normativa italiana UNI 11337 si parla di "Capitolato Informativo". Dalla normativa inglese (PAS 1192-2: 2013), completa e consolidata da diverso tempo in tema di BIM, deriva l'EIR. A volte viene però definito un AIR (Asset Information Requirements, vd. Glossario). Entrambi i documenti sono informati da un OIR (Organizational Information Requirement). Informazioni aggiuntive: https://toolkit.thenbs.com/articles/employers-information-requirements

[11] Indicazioni per la produzione di un EIR si trovano nella forma di template documenti disponibili sul sito web BIM Task Group. Template per creare un BEP sono scaricabili dal sito web di Construction Project Information

Questo documento viene redatto dopo che è stata aggiudicata la gara e deve essere poi comunicato e approvato per intero dal team di progettazione.

Il BEP deve contenere le informazioni riguardanti gli approcci di gestione, definire le regole e le responsabilità e stabilire delle scadenze. Ci sono ormai da vari anni esempi di progetti pilota e casi studio con una chiara definizione della strategia BIM.

Al termine della realizzazione dell'edificio viene valutata l'efficienza della strategia usata analizzandola in base ai risultati realmente ottenuti rispetto a quelli attesi.

Nel momento in cui viene commissionato un progetto BIM è importante avere delle linee guida per la scelta del team di progettazione. La scelta si può basare sulla valutazione delle conoscenze, sul training[12] al quale il team è stato sottoposto e sulle esperienze di rilievo note. Esistono on-line template che possono essere usati per fare una valutazione delle capacità e degli strumenti per la determinazione delle conoscenze e dell'utilizzo degli standard[13].

Le "Dimensioni" del BIM

I metodi di progettazione tradizionale, basati su elaborati di tipo cartaceo e/o digitale, si limitano principalmente alla rappresentazione di una o più proiezioni ortogonali per la rappresentazione del bene mentre le informazioni vengono veicolate attraverso l'uso di convenzioni tipo formale, grafiche e tramite l'uso di tabelle esplicative (legende e tabulati) svincolate dai modelli di rappresentazione geometrica.

Caputi, M. et al. (2015) propone una scala delle tipologie di elaborati nel processo di progettazione e realizzazione in merito alle tecniche e all'approfondimento delle analisi (questa classificazione si ritrova anche in altre ricerche ma le interpretazioni e la divisione dei livelli possono variare leggermente da autore ad autore).

Commitee (CPIC). Questi documenti tuttavia sono di carattere consultivo e devono essere adattati alle esigenze del progetto su cui si lavora.

[12] Una buona conoscenza del software e delle possibilità di modellazione avanzata sono esigenze importanti, la conoscenza degli standard di progetto e delle corrette procedure è allo stesso modo fondamentale, soprattutto per la collaborazione. Esistono sistemi di accreditamento per la certificazione delle "BIM skills", un esempio è il Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS), il BIM manager certification e i BRE BIM certification schemes.

[13] Un esempio è il "BIM Compass" disponibile sul portale BIM Scottish Futures: https://bimportal.scottishfuturestrust.org.uk/page/bim-compass

Elaborati ottenibili da flussi di lavoro paper-based:

- **1D (Prima dimensione)**: disegno a mano
- **2D (Seconda dimensione):** disegno vettoriale con viste

Elaborati ottenibili da flussi di lavoro BIM-based

- **3D (Terza dimensione):** modello tridimensionale realizzato attraverso strumenti avanzati di elaborazione spaziale.
- **4D (Quarta dimensione):** modello per la gestione temporale degli interventi, le informazioni sono legate al passaggio del tempo e ai progressi della costruzione.
- **5D (Quinta dimensione):** stima dei costi. Il modello digitale permette di eseguire computi aggiornabili.
- **6D (Sesta dimensione):** Facility Management (FM) e gestione dell'intero ciclo di vita del bene
- **7D (Settima dimensione):** sostenibilità del progetto e del rendimento del bene, previsioni e simulazioni per la sostenibilità.
- **8D (Ottava dimensione):** analisi del rischio, piani di sicurezza e prevenzione

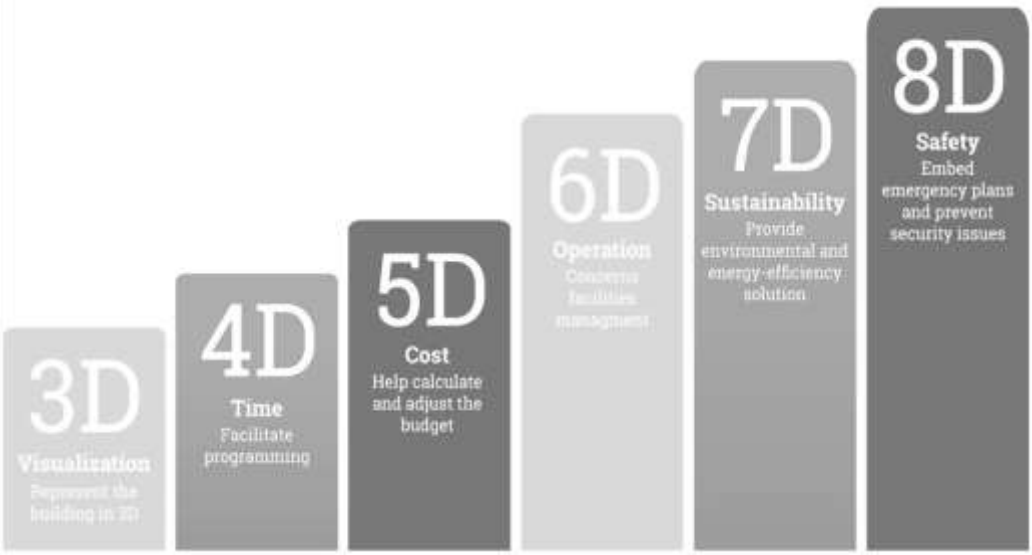


Fig. [8] Infografica delle dimensioni del BIM (fonte: https://blog.drawbotics.com/2018/11/07/the-bim-revolution-in-building-management/)

4. Cosa “non” è il BIM

La parola BIM è diventata popolare e molto usata dagli sviluppatori di software per descrivere la capacità che offre il loro prodotto.
Ciò in cui una tecnologia BIM consiste è molto variabile ed a volte vengono date indicazioni confuse o fuorvianti, tanto che per ovviare ad ulteriori fraintendimenti è più facile descrivere cosa non è il BIM:

- **Non è uno specifico software o plugin!**
- **Non è solamente una piattaforma o dei tool per la modellazione digitale 3D!**
- **Non è un sistema simile ed equivalente agli altri sistemi CAD!**

Gli strumenti e i software che NON usano tecnologia BIM generano i seguenti tipi di modelli:

- Modelli che contengono esclusivamente dati 3D e nessuno (o pochi) attributi dell'oggetto. Questi sono modelli che possono essere utilizzati solo per la visualizzazione grafica, gli oggetti non contengono informazioni.
- Modelli che definiscono l'oggetto ma non permettono di fare operazioni di tipo parametrico (e.g. riposizionamento o la modifica delle proporzioni attraverso i parametri attribuiti all’oggetto). Le modifiche diventano estremamente laboriose e danno poche garanzie sulla coerenza o sull’accuratezza delle viste del modello.
- Modelli che sono composti da molteplici file di riferimento 2D CAD che devono essere combinati per definire l'edificio. Non è possibile assicurare che il modello 3D ricostruito a partire da questi dati sarà fattibile, coerente, computabile.
- Modelli che non riflettono automaticamente le modifiche in tutte le viste del modello.

5. La Ricerca sul BIM

Nell'ultimo decennio in vari paesi del mondo sono stati sviluppati in modo consistente schemi di lavoro e protocolli per un design collaborativo, anche la ricerca accademica ha dimostrato un crescente interesse, dimostrato dal numero sempre maggiore di pubblicazioni sul tema.
Il focus centrale della ricerca sul BIM riguarda le capacità di coinvolgimento dei vari settori AEC, di gestione delle informazioni e i metodi di condivisione per una collaborazione integrata ed efficace.

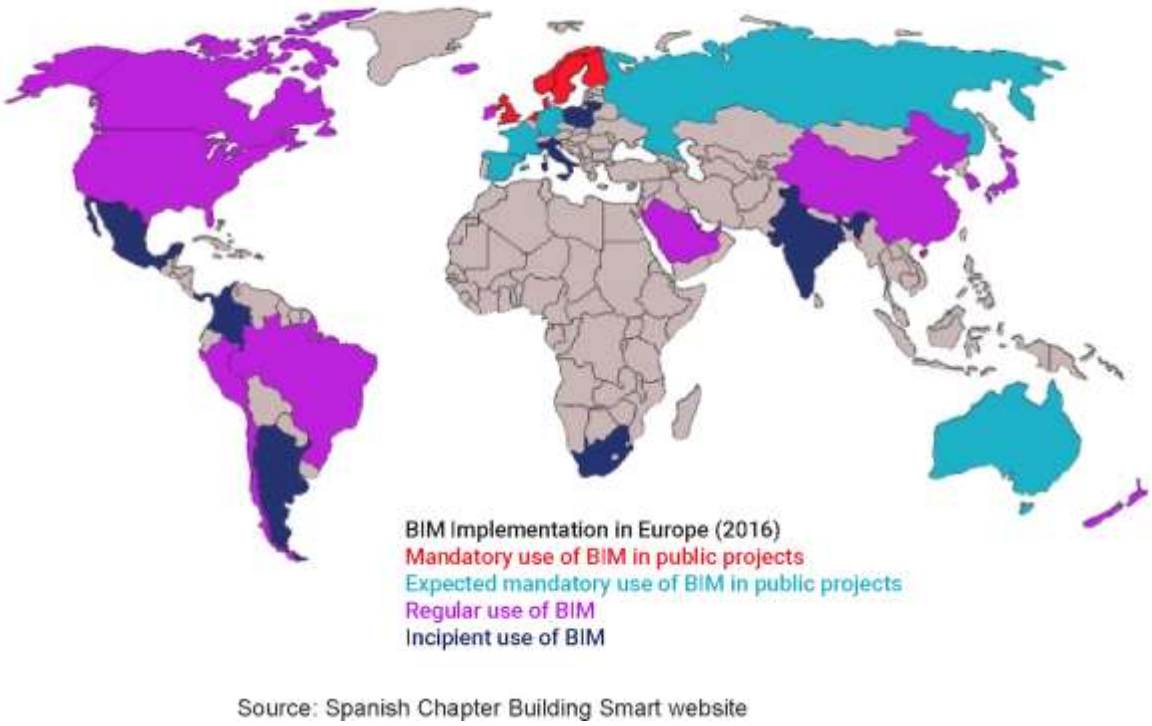


Fig. [9] Implementazione del BIM nel mondo (2016) (fonte: http://www.buildup.eu/en/node/56441)

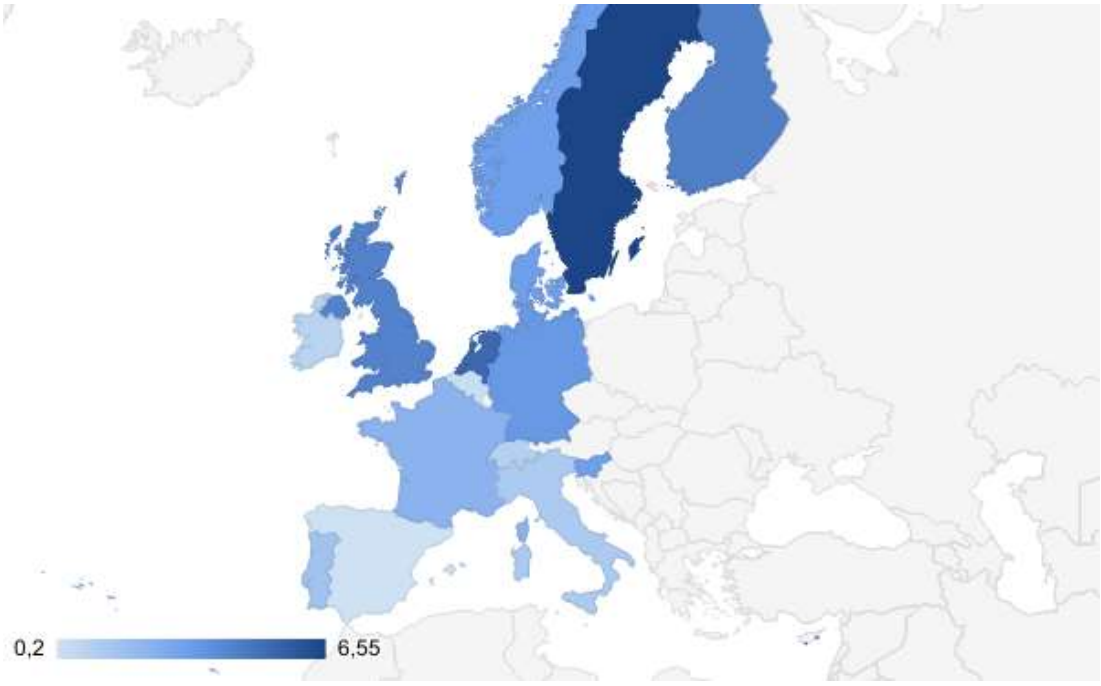


Fig. [10] Numero percentuale di pubblicazioni nel mondo sul BIM (focus sui principali paesi industrializzati europei) tra il 2010-2011 (elaborazione personale, fonte dati: Carniero, T. M. et al., 2012)

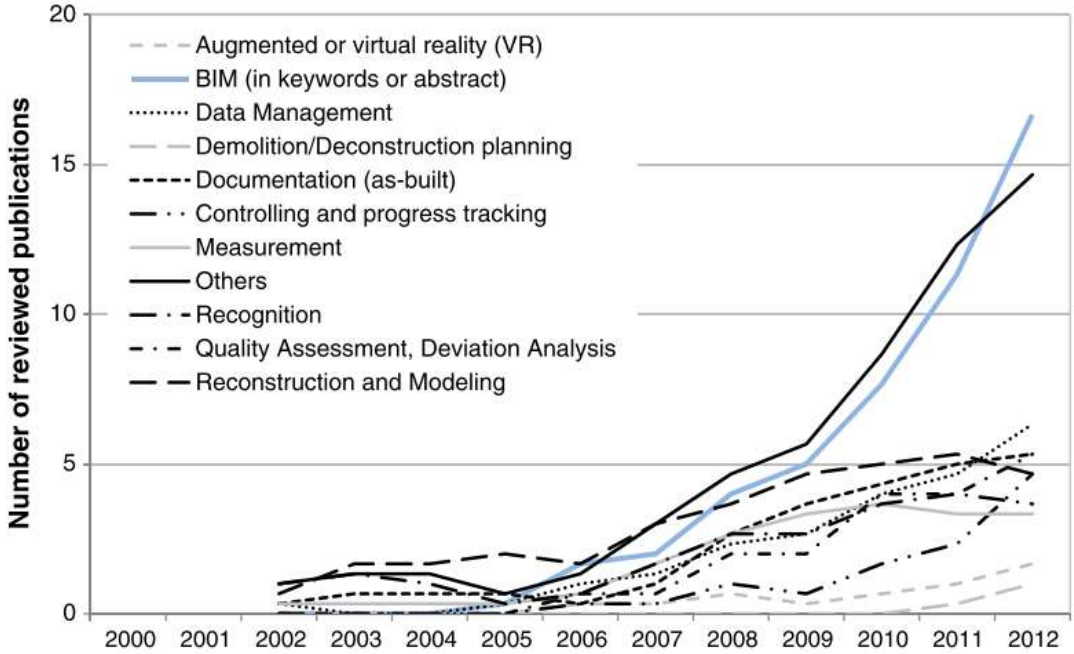
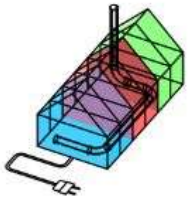


Fig. [11] Numero di pubblicazioni con argomenti BIM dal 2002 al 2012 (possibile presenza di argomenti multipli nelle pubblicazioni) (fonte: Volk, R. et al., 2014)

5.1. COBIM: linee guida ai processi BIM



Al di fuori del contesto italiano l'utilizzo di strumenti BIM e lo sviluppo di protocolli e di processi collaborativi ha una storia lunga e un grande numero di esempi applicativi, soprattutto per le realizzazioni ex novo.

La Finlandia si attesta tra le nazioni capofila nella ricerca. Nel 2012 è stato sviluppato da BuildingSMART Finland il COBIM14 a partire dai "BIM Requirements" pubblicati dal Senate Properties nel 2007.

In conseguenza alla rapidità con cui i processi del Building Information Modelling si sono diffusi all'interno del settore delle costruzioni è nata l'esigenza di definire degli standard. Le molteplici parti coinvolte nella progettazione e nella realizzazione degli interventi edilizi necessitano di precise indicazioni su come gestire e trasmettere le informazioni, definendo con precisione cosa è stato modellato e come è stato modellato.

I documenti della gara d'appalto devono indicare anche le modalità di utilizzo degli strumenti BIM all'interno del processo progettuale, le responsabilità delle differenti parti coinvolte e le tecniche per verificare l'idoneità dei metodi adottati (COBIM project, 2012).

Il progetto COBIM ha prodotto una serie di pubblicazioni di linee guida che cercano di delimitare questi confini e di fornire un punto di partenza per l'utilizzo concreto del BIM all'interno dei processi.

Per introdurre l'argomento è interessante elencare alcuni dei requisiti principali e qualche raccomandazione generale, estrapolati da questi documenti secondo l'ordine in essi riportato[15].

---

[14] https://buildingsmart.fi/en/common-bim-requirements-2012/

[15] Il COBIM è costituito da un serie di pubblicazioni ognuna delle quali approfondisce in maniera specifica e dettagliata ciò che in questo paragrafo è stato solamente accennato, oltre a molte altre nozioni e informazioni aggiuntive che in questo breve excursus non è possibile introdurre.

1. **La consegna:** al termine di ogni progetto, realizzato con processi e tecnologie BIM, tutti i documenti e i file prodotti, inclusi gli IFC e i formati nativi dei software utilizzati, devono essere spediti al cliente nelle modalità descritte nel contratto.
2. **Modelli disciplinari:** i modelli prodotti durante tutto il processo saranno più di uno e ogni disciplina elabora una propria versione di esso. Ogni disciplina deve mantenere un "Model Description Document" all'interno del quale deve essere riportata una descrizione del modello e spiegazioni varie. Devono essere definite le finalità per le quali il modello è stato pubblicato, il grado di precisione adottato, le informazioni sui software di modellazione usati, le differenti versioni create dal modello originale, le eccezioni a questi requisiti. Oltre a queste informazioni vengono inserite tutte quelle necessarie alla sua interpretazione (e.g. qualsiasi convenzione di nomi usata, il livello di maturità dei contenuti, restrizioni all'uso, etc.).
3. **Il Model Description Document (MDD):** è un documento pubblicato insieme al modello BIM e viene aggiornato ogni volta che vengono fatti cambiamenti che ne interessino il contenuto. I periodi di pubblicazione ufficiali vengono decisi in relazione al fatto che chi pubblica è responsabile delle conseguenze causate da documentazione non corretta o incompleta. Queste responsabilità sono registrate nei contratti all'interno delle condizioni generali e dei termini. Nel caso di Working Model16 l'uso delle descrizioni è molto più esplicito e gli obblighi contrattuali sono considerevolmente meno limitanti.
4. **Il modello da consegnare e l'Inventory Model:** "*Each model must contain modelling elements that are created or added only by the releasing discipline*"[17].

   Prima di consegnare il BIM e condividerlo con altre discipline tutte le parti e i componenti di modellazione che non sono rilevanti per il progetto devono essere rimossi dal modello. Questo include anche tutti i modelli di riferimento di altre discipline. Ogni modello deve contenere elementi di modellazione creati o aggiunti solo dalla disciplina di rilascio.

[16] I "Working Model" sono modelli di lavoro creati per scambiare informazioni progettuali, rappresentare le soluzioni progettuali, destinazioni d'uso degli spazi, dettagli specifici, etc. I modelli di lavoro dovrebbero essere un metodo flessibile e rapido per lo scambio, in BIM ben organizzato i modelli vengono salvati regolarmente in un archivio dati condiviso. L'aggiornamento dell'archivio è determinato dalla fase e dalle esigenze del progetto e in genere varia da una a quattro settimane. Questi modelli non devono essere completamente controllati e sono quindi adatti solo per un uso limitato e specifico.

[17] COBIM: Common BIM Requirements. Series 1_General, part 3.2

L'Inventory Model[18] fa eccezione a questo obbligo. Nei progetti di ristrutturazione e restauro l'Inventory Model può essere usato come base per l'architectural BIM e si realizza sulla base delle misurazioni acquisite, dei documenti d'archivio e delle indagini eseguite sul sito.

5. **Il sistema di coordinate:** viene stabilito e documentato all'inizio del progetto e non dovrà essere modificato durante il processo senza una ragionevole motivazione. L'uso di coordinate negative non costituisce un errore tecnico ma, per evitare errori successivi, sono sconsigliate.
6. **Metodi di modellazione:** se uno strumento specifico di un software non è disponibile oppure non è in grado di fornire il risultato cercato, l'elemento BIM sarà modellato usando il metodo di lavoro più idoneo. Il metodo adottato dovrà essere poi documentato nel Model Description Document.
7. **Divisioni e piani nei modelli strutturali e architettonici:** ogni edificio è normalmente abbinato a un singolo modello in formato IFC oltre che a un file "nativo" BIM[19]. Ogni modello dell'edificio viene consegnato come modello indipendente.

   Quando è necessario l'edificio può essere suddiviso in più parti concordate tra i diversi team di progettazione. Nel caso di edifici molto grandi può essere necessario dividere i modelli architettonici o addirittura quelli strutturali in diversi modelli. La divisione solitamente si fa in relazione ai piani presenti. È da considerarsi però il fatto che il concetto di "piano" potrebbe essere leggermente differente tra le discipline e potrebbe creare confusione. È consigliato quindi tenere a mente le seguenti linee guida:

   - *Nel modello strutturale*: ogni piano contiene gli orizzontamenti strutturali sopra e le strutture verticali. Il solaio del piano seminterrato viene considerato insieme alle fondazioni e appartenente a un piano separato. Il piano superiore comprende anche le strutture del tetto.
   - *Nel modello architettonico*: ogni piano contiene il solaio inferiore e i controsoffitti. Tetto e strutture del tetto sono considerate separatamente.

[18] Il modello iniziale di un edificio è chiamato Inventory BIM. Il modello iniziale viene creato come descritto nella serie 2 del COBIM "*Modeling of the starting situation*". Nel progetto di nuova costruzione viene rappresentato il sito mentre nei progetti di ristrutturazione include anche gli edifici esistenti.

[19] Si intende con questo termine indicare i modelli condivisi in formato nel formato file proprietario e specifico dell'applicazione usata per realizzarlo (e.g. formato .rvt o .rfa per i modelli realizzati in Autodesk Revit).

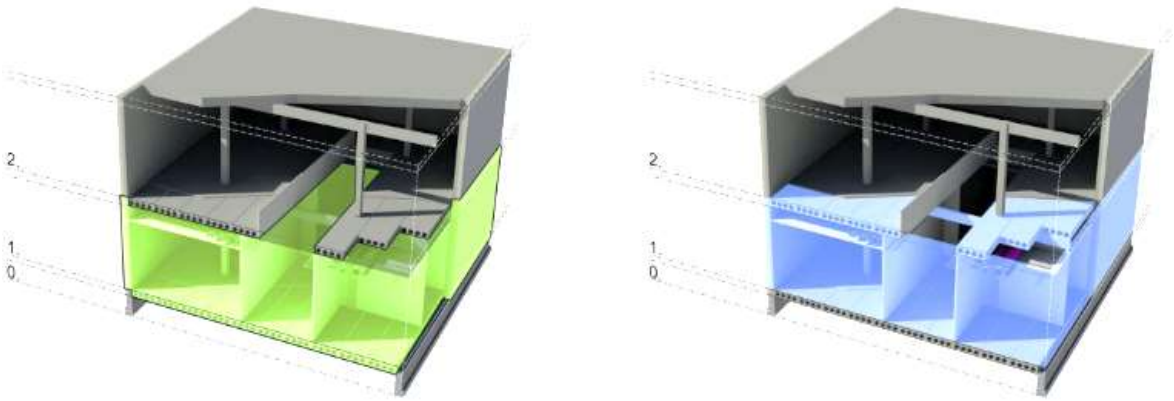


Fig. [12] Differenze nella modellazione delle strutture divise per piano: BIM architettonico a sinistra e BIM strutturale a destra (fonte: COBIM project, 2012)

8. **Caratteristiche degli spazi e degli ambienti:** le informazioni più importanti sullo spazio sono:
   - *Space ID*: numerazione identificativa di ciascun vano, possono essere usate anche lettere e caratteri speciali.
   - *Funzione dello spazio*: in accordo con la nomenclatura Talo 200020.
   - *Nome attribuito allo spazio*.
   - *Tipo di spazio*: si fa riferimento a modelli tecnici che descrivono gli aspetti di ventilazione, elettrici, di metratura, postazioni di lavoro, etc.
   - *Localizzazione dello spazio*.

5.2. INNOVance project

In Italia un valido esempio di ricerca portata avanti in questi ultimi anni è lo sviluppo del progetto INNOVance. Il progetto di ricerca INNOVance è stato finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, vi hanno collaborato istituzioni universitarie, associazioni professionali, produttori di software BIM. Ha come principale obiettivo la creazione di una piattaforma BIM italiana per il settore AEC per lo scambio di informazioni scientifiche, tecniche ed economiche strutturate.

[20] Nomenclatura utilizzata nel settore dell'edilizia in Finlandia, modo standardizzato di descrivere le informazioni sul progetto di costruzione utilizzata come base per lo scambio di informazioni tra le varie parti coinvolte nel progetto e durante tutta la vita del progetto.

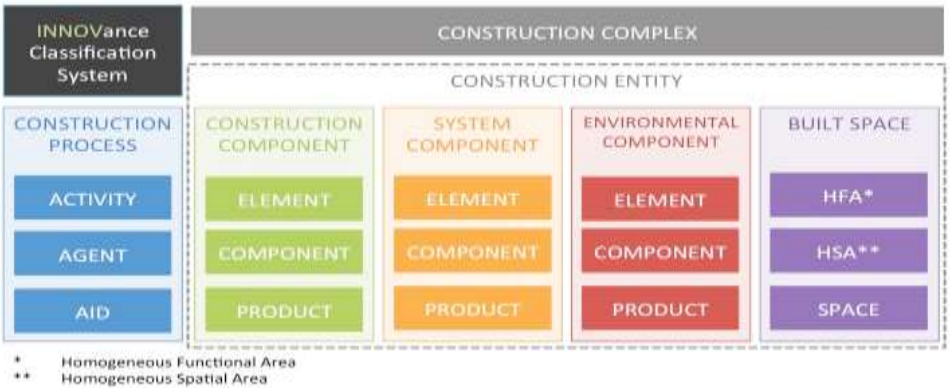


Fig. [13] Sistema di classificazione INNOVance (Fonte: www.innovance.it/it/)

Fig. [14] Database INNOVance (Fonte: www.innovance.it/it/)

Fig. [15] Esempio di scheda tecnica secondo classificazione INNOVance (Fonte: www.innovance.it/it/)

Il progetto è stato ideato negli anni 2007-2009, la prototipazione si ha dal 2011-2014 e del 2015 è la partecipazione al Bando Industria 2015.

Gli utenti all'interno del Portale possono creare oggetti, con adeguata nomenclatura e scheda tecnica, condividerli, scaricare oggetti già presenti nel sito INNOVance. L'obiettivo è quello di fornire una piattaforma di supporto per la gestione del progetto in tutte le fasi, da quella iniziale di concept, alla realizzazione, fino alla demolizione. Il portale si rivolge a tutte le categorie: professionisti, produttori, venditori, imprenditori edili, amministrazioni pubbliche, etc[21].

In sintesi, il progetto si propone di creare:

- Un codice univoco per prodotti, servizi, attività e risorse impiegate.
- Schede tecniche standardizzate.
- Portale web per usufruire delle informazioni in ogni fase della produzione.

La realizzazione di piattaforme digitali per i vari settori industriali, aperta sia a soggetti pubblici che privati, rientra infatti negli intenti della Commissione Europea, la quale ha previsto di stanziare fondi per la creazione piattaforme digitali europee utili a mettere in relazione le singole piattaforme nazionali.

Il progetto INNOVance e i prototipi come questo mirano a cercare di eliminare l'inerzia nell'adozione dei processi BIM nel settore AEC italiano, per poter approdare a una fase più matura e ad un'applicazione più stabile degli strumenti che mette a disposizione.

Fig. [16] Portale web di INNOVance (Fonte: http://test-innovance.dd.agoramed.it/default.aspx)

[21] Fonte: http://test-innovance.dd.agoramed.it/default.aspx

5.3. Il BIM per la progettazione architettonica e strutturale

L'introduzione del Building Information Modelling rivoluziona la maniera in cui gli edifici vengono rappresentati. I disegni CAD-based vengono sostituiti da modelli virtuali 3D contenenti informazioni collegate a contenuti esterni e database, sistemi di collaborazione e relazione con cataloghi di oggetti e standard di classificazione.

Cambia in maniera evidente il modo in cui la rappresentazione viene costruita, imparare la modellazione tridimensionale tramite software BIM è solo il primo passo per l'implementazione del nuovo sistema di generazione e sviluppo dei progetti.

Si può dire che il BIM consente un ridimensionamento dei tempi e degli sforzi compiuti dai progettisti per la realizzazione dei documenti e dei disegni permettendo di investire più tempo nella progettazione vera e propria.

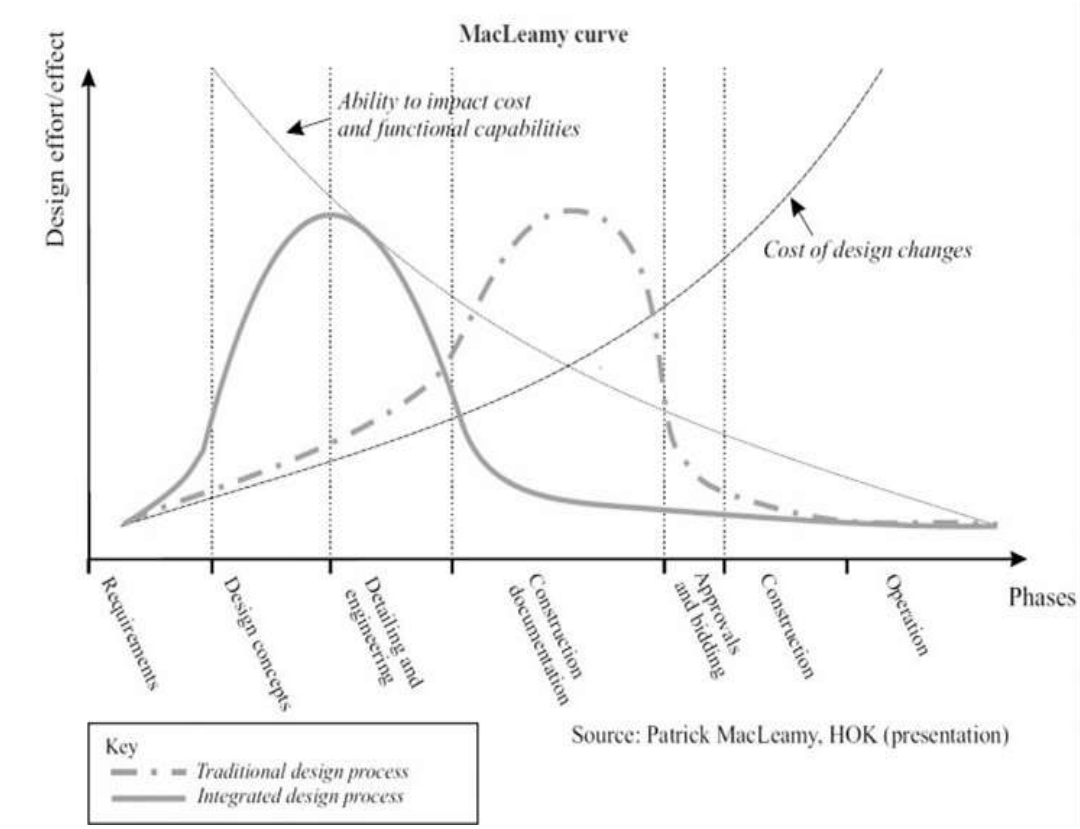


Fig. [17] La curva di P. MacLeamy (fonte: http://biblus.acca.it/come-il-bim-cambia-il-nostro-modo-di-lavorare/)

Il workflow tradizionalmente usato si basa sull'utilizzo di formati digitali proprietari di specifiche software house e sulla produzione di documentazione paper-based. Questo flusso di lavoro è evidentemente ridondante, inefficiente e costoso, in quanto soggetto a facili errori (Eastman, C. M. et al., 2011). I progettisti spesso trovano difficoltà nella realizzazione di varianti di progetto, mancano infatti strumenti di aggiornamento automatico dei dati e delle geometrie nei disegni. Oltre a questo, la collaborazione e la comunicazione tra i vari attori del processo sono ridotte a causa del fatto che vengono usati strumenti di comunicazione disconnessi dagli elaborati (e.g. e-mail). Tutti questi aspetti hanno delle ricadute anche sul committente, i cui interessi non sono sempre perseguiti in modo adeguato e gli errori progettuali e la difficoltà di gestione degli imprevisti causano la lievitazione dei costi.
L'Integrated Project Delivery (IPD), introdotto con i sistemi BIM, è una nuova modalità contrattuale secondo la quale il proprietario, i progettisti, la ditta esecutrice dei lavori e i fornitori rientrano all'interno di un singolo contratto di collaborazione nel quale vengono definiti attentamente interessi commerciali comuni e interdipendenti, rendendo di fatto i vari protagonisti del processo partner in collaborazione (Glick, S. et al., 2009).

BIM Application	Owners	Designers	Constructors	Facility Managers
Visualization	x	x	x	x
Options analysis	x	x	x	
Sustainability analyses	x	x		
Quantity Survey		x	x	
Cost Estimation	x	x	x	
Site Logistics	x		x	
Phasing and 4D scheduling		x	x	
Constructability analysis		x	x	
Building performance analysis	x	x	x	x
Building management	x			x

Fig. [18] Applicazioni BIM per gli stakeholder del progetto (fonte: Azhar, S. et al., 2012)

Si può ricondurre l'impatto del BIM nella progettazione a diversi ambiti di interazione:

1. **Progettazione concettuale e fase di pre-design.**
2. **Fase di progettazione con integrazione dei collegamenti tra ambito architettonico e ingegneristico.**
3. **Modellazione della costruzione e gestione dei documenti per la realizzazione.**

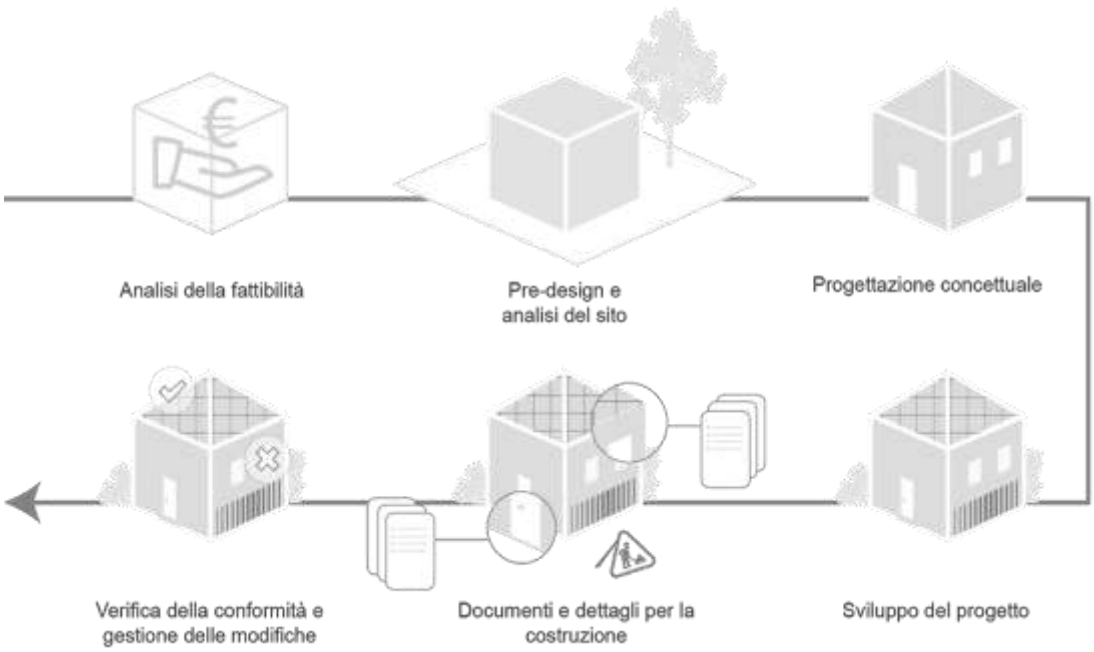


Fig. [19] Principali utilizzi del BIM nel flusso di lavoro progettuale

1. Progettazione concettuale e pre-design

In questa fase si iniziano a consolidare le basi per l'attività di progettazione che sarà sviluppata successivamente. È una fase che pone al centro la creatività e prende in considerazione tutti gli aspetti e le funzioni del progetto. In questo frangente vengono eseguite le prime analisi e le valutazioni di fattibilità, prendendo in considerazione costi, metodi di costruzione, materiali, impatto ambientale e altri fattori che influenzano in modo radicale il successo del progetto, oltre a fare valutazioni a livello sociale ed estetico.

Il BIM può essere un valido strumento di sviluppo dell'idea progettuale e può supportare le attività di analisi preliminare del progetto, soprattutto nel caso di interventi molto complessi ed estesi. Nei software BIM ci sono però pochi strumenti di modellazione utili per la creazione di oggetti (in Revit si chiamano "masse") dalle forme libere, di conseguenza alcuni progettisti li ritengono piattaforme poco adatte per il design concettuale. La causa principale è la complessità delle interfacce, che richiedono un certo allenamento all'utilizzo (Eastman, C. M. et al., 2011). É necessaria molta preparazione e del training di base per utilizzare gli strumenti di interfaccia e questo può essere un ostacolo in una fase di "esplorazione creativa". Per ovviare al problema si può ipotizzare un lavoro integrato su più piattaforme: esistono sul

mercato da molto tempo software molto più flessibili e adatti all'attività puramente "artistico-creativa" (e.g. SketchUp, McNeel Rhinoceros ed altri ancora). L'integrazione delle applicazioni è attuabile grazie all'interoperabilità dei formati di scambio.

2. Fase di progettazione, integrazione dei collegamenti tra ambito architettonico e ingegneristico

Una volta terminata la fase iniziale di analisi dei requisiti principali e delle caratterizzazioni morfologiche e concettuali dell'edificio si passa alla fase di progettazione vera e propria.
In questa fase si entra nel vivo del dialogo tra tutte le discipline coinvolte realizzando simulazioni sul corretto funzionamento del progetto in tutti i settori.
Si possono fare verifiche che riguardano l'integrità strutturale, il controllo della temperatura, dell'illuminazione, dell'accessibilità, dell'acustica, della distribuzione energetica, dei consumi e così via.
Queste simulazioni vengono svolte da specialisti che utilizzano modelli dettagliati e informazioni tecniche specifiche relative a determinati elementi. La collaborazione tra i team che lavorano al medesimo progetto diventa la parte più importante dell'intero processo.
La collaborazione attraverso gli strumenti forniti dal BIM si orchestra all'interno di piattaforme di condivisione apposite (Pavan, A. et al., 2017; Jordan-Palomar, I. et al.,2018).
Tra modelli architettonici e modelli strutturali ci sono sostanziali differenze. Le applicazioni che generano i modelli per uso strutturale adottano metodi ed elementi che permettano di descrivere e comprendere tutte quelle attività finalizzate alla progettazione delle opere portanti principali: opere di fondazione, opere strutturali in elevazione, opere di copertura con funzione strutturale, elementi prefabbricati, etc.
Ci sono differenze anche per quanto riguarda la gestione dei "vuoti": nei modelli architettonici lo spazio è un elemento importantissimo (pensiamo alla cubatura dei vani per esempio), nei modelli strutturali invece ha un ruolo meno determinante.
Nei software BIM generalmente c'è una separazione tra i tool specifici della progettazione architettonica e quelli della progettazione strutturale. Gli oggetti con caratterizzazione strutturale sono per esempio: plinti, travi di fondazione, pali, colonne, travi, coperture metalliche, armature, bullonature, saldature, tirafondi.

La distinzione tra le esigenze dei due ambiti progettuali e le caratteristiche degli oggetto ha incentivato le software house a specializzarsi nella produzione di applicazioni create appositamente per lo specifico settore.

3. Modellazione della costruzione e gestione dei documenti per la realizzazione

In questa fase del lavoro si concretizza tutto ciò che è stato valutato e progettato all'interno di elaborati grafici completi ed esaustivi, relazioni con dettagli tecnici, specifiche, stime e altri elaborati esecutivi.

Il BIM migliora il legame tra ambito di progettazione e ambito di costruzione grazie al concetto di "ambiente comune di collaborazione" (e.g. IPD, documento contrattuale che stabilisce le regole della collaborazione).

Nei software BIM vengono creati modelli che rappresentano tridimensionalmente gli elementi del fabbricato, tramite queste rappresentazioni è possibile creare tutta la documentazione necessaria per la realizzazione (Eastman, C. M. et al., 2011).

Tra le peculiarità del BIM vi è la creazione di un archivio (libreria) di componenti e oggetti riutilizzabili nei successivi progetti.

Si può gestire il modello anche da un punto di vista grafico: la rappresentazione degli elementi è influenzata dalla scala di visualizzazione scelta, la "stratigrafia"[22] degli elementi viene graficizzata in modo diverso da scala a scala senza dover cambiare le caratteristiche dell'oggetto.

Il modello oltre a essere il principale mezzo di gestione delle informazioni, è anche la primaria risorsa legale contrattuale per le informazioni in esso raccolte. In cantiere i disegni prodotti dal modello BIM e/o il modello stesso vengono usati per consultare il progetto e monitorare il proseguimento dei lavori. Al contrario nei flussi di lavoro tradizionali devono essere sviluppati elaborati tecnici appositi quasi da zero con conseguenti presentazioni, revisioni e correzioni. Tramite i modelli BIM è possibile ricavare un modello già "pronto" per redarre i principali documenti esecutivi (computi, dettagli tecnici, revisione degli standard etc.).

[22] Si intendono con questo termine la rappresentazione degli elementi costruttivi che compongono la struttura o il componente. Generalmente gli "strati" sono rappresentati tramite sezioni o esplosi.

Nei progetti di costruzione, oltre ai disegni del prodotto che deve essere costruito, sono necessari anche i documenti che illustrano le procedure di realizzazione, è importante infatti analizzare le implicazioni tecniche e organizzative di ogni attività (Eastman, C. M. et al., 2011). Per standardizzare il più possibile la descrizione delle caratteristiche dei materiali, delle specifiche tecniche e dei sistemi costruttivi il processo cerca di partire dai sistemi di classificazione e dagli standard già esistenti (e.g. UniFormat oppure MasterFormat) e li incorpora in nuove classificazioni, chiamate OmniClass.

Il sistema **OmniClass**[23] permette una più facile gestione della struttura che descrive le caratteristiche delle informazioni contenute nel modello (Eastman, C. M. et al., 2011). Il sistema di classificazione deriva da standard accettati a livello internazionale e sviluppati dall'International Organization for Standardization (ISO) e dall'International Construction Information Society (ICIS) dai primi anni '90 ad oggi. È caratterizzato da diverse tabelle ognuna delle quali può essere utilizzata indipendentemente per classificare un particolare tipo di informazioni. Nel caso di oggetti più complessi le voci utili per descriverlo possono essere combinate con voci di altre tabelle.

Oltre alla classificazione degli oggetti tramite gli standard OmniClass è stato realizzato un apposito formato per lo scambio delle informazioni, lo **standard Industry Foundation Classes (IFC).** L'IFC è stato sviluppato da BuildingSMART International e recepito nella norma ISO 16739. È il formato di scambio dati più diffuso tra applicativi BIM e nasce per garantire l'interoperabilità tra piattaforme diverse.

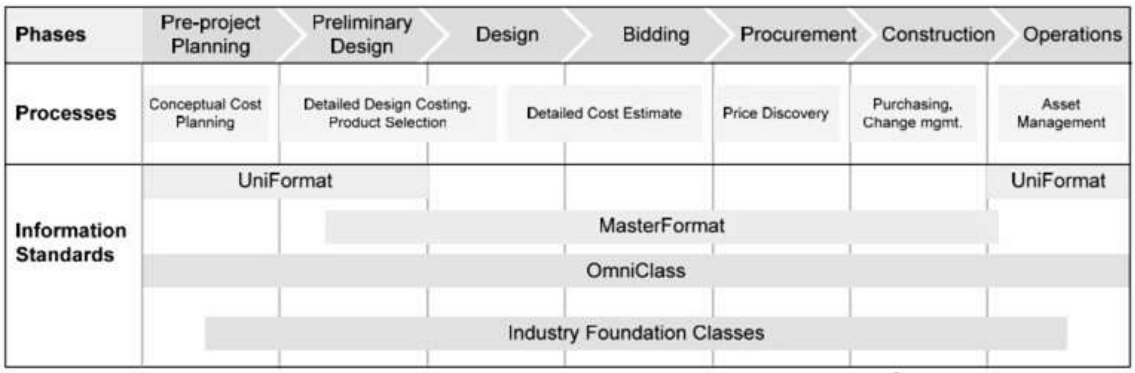


Fig. [20] Construction Information Standards per ogni fase (fonte: Sabol, L., 2008)

[23] Il sistema di classificazione edilizia OmniClass (noto come OmniClass™ o OCCS) è creato per la classificazione delle attività e delle componenti per l'industria delle costruzioni. OmniClass è utile per molte applicazioni, dall'organizzazione di materiali di biblioteca, letteratura di prodotto e informazioni di progetto, fino a fornire una struttura di classificazione per i database elettronici. Incorpora altri sistemi esistenti attualmente in uso come base di molte delle sue tabelle: MasterFormat™ per risultati di lavoro, UniFormat per gli elementi ed EPIC (Electronic Product Information Cooperation) per la strutturazione di prodotti (http://www.omniclass.org/).

5.4. Il BIM per la progettazione infrastrutturale

Nello sviluppo di progetti infrastrutturali, così come per quelli architettonici e di ingegneria strutturale, sono coinvolte molteplici figure professionali. Il BIM anche in questo frangente permette una gestione efficace e condivisa dei processi più articolati (Historic England 2017). In generale si possono definire infrastrutture:

- Strutture per il trasporto: strade, ferrovie, ponti, tunnel e sistemi di transito di massa (aeroporti, porti etc.).
- Strutture per l'energia: centrali di generazione energetica (nucleare, eolica, Idraulica) olio e gas naturale (distribuzione, stoccaggio raffinerie, pozzi) e miniere.
- Strutture per le utenze: gasdotti, distribuzione di elettricità, gas, acqua e liquami.
- Strutture per le attività ludiche e ricreative: parchi, stadi etc.
- Strutture ambientali per la regimazione delle acque e la tutela idrogeologica (dighe, canali, argini, scarpate, banchine etc.).

Un fattore determinante nei progetti infrastrutturali è il problema dell'integrazione del progetto nel contesto esistente, in base alle scelte fatte e alle soluzioni adottate si può valutare l'efficacia dell'opera e la sostenibilità dell'intervento.

Anche in questo settore il cambiamento metodologico nella progettazione portato dal BIM (l'acronimo pur facendo riferimento al termine "Building" può essere adottato anche per ciò che riguarda le infrastrutture) non è stato ancora acquisito del tutto e persistono molti casi in cui non se ne fa uso, ma la consapevolezza delle sue potenzialità si sta diffondendo rapidamente. C'è stata una significativa crescita nell'adozione del BIM per le infrastrutture tra il 2012 e il 2017 in Europa e il tasso di implementazione del BIM per i progetti infrastrutturali è aumentato dal 20% al 52% (Costin, A. et al. 2018).

Esistono molti formati grafici che descrivono il territorio e molti di questi fanno riferimento al GIS per la diffusione dei dati. Le prime versioni di IFC sono state pensate appunto per i "buildings", ma in conseguenza all'estensione nell'ambito infrastrutturale sono state distinte due tipologie di BIM: il "BIM verticale" per le opere di edilizia e il "BIM orizzontale" per le infrastrutture e il territorio. Le successive versioni degli standard IFC supportano anche informazioni legate a ferrovie, strade, ponti, gallerie e altri sistemi infrastrutturali.

Piuttosto diffuso è anche lo standard LandXML che tuttavia non è associato a organizzazioni di normazione internazionalmente riconosciute e presentava, fino a pochi anni fa, limitazioni nella condivisione delle informazioni (Caputi, M. et al., 2015).

Nel settore geospaziale per le città si utilizza il formato CityGML adottato dall'Open Geospatial Consortium[24].

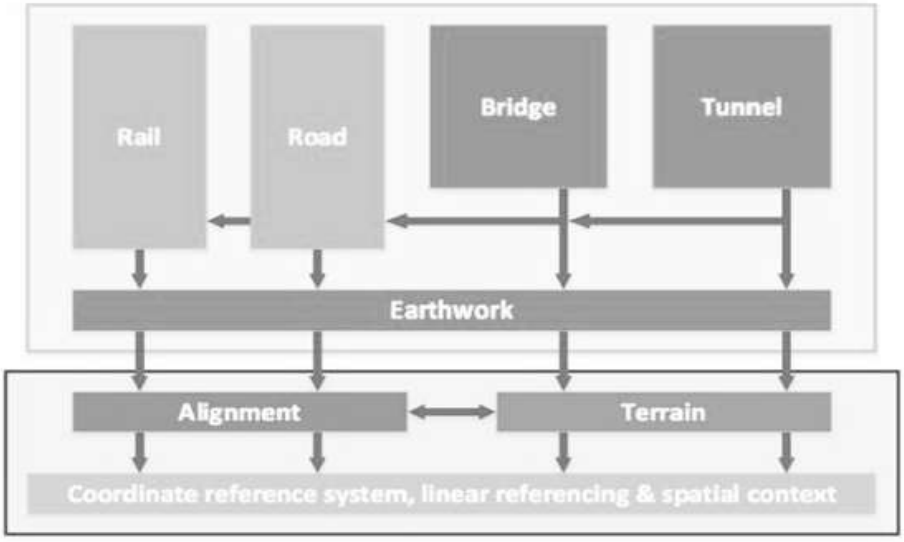


Fig. [21] Panoramica dei differenti componenti infrastrutturali e delle loro relazioni (fonte: buildingSMART, Infrastructure Room, 2017, http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure)

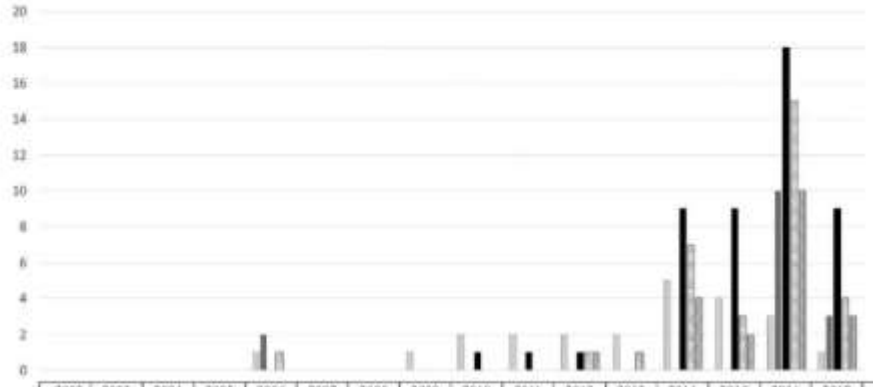
Così come nell'architettura e nel progetto di strutture anche nei progetti infrastrutturali, indipendentemente che si parli di un'opera ferroviaria o stradale, è necessario avere a disposizione un modello dettagliato e completo. Tramite il modello tridimensionale BIM è possibile condividere le informazioni semantiche e morfologiche, fare verifiche sulle interferenze, produrre computi e schede tecniche, importare il modello in appositi software per la gestione 4D, 5D e così via.

Nel caso delle infrastrutture, la correlazione tra dati geospaziali e dati costruttivi diviene molto efficace (Barazzetti, L. et al., 2017a).

Recenti studi mostrano come l'utilizzo del BIM per le infrastrutture di trasporto è in aumento, sebbene la ricerca si sia concentrata principalmente su strade, autostrade e ponti. I risultati

[24] L'Open Geospatial Consortium (OGC) è un'organizzazione internazionale no profit impegnata a creare standard aperti di qualità per la comunità globale.

rivelano una crescente necessità di un formato di scambio adeguati e di standard per promuovere l'interoperabilità (Costin, A. et al. 2018).



	<2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Total Articles with Main Keywords	0	0	0	0	4	0	0	1	3	3	5	3	25	18	56	20	138
BrIM	0	0	0	0	1	0	0	1	2	2	2	2	5	4	3	1	23
CIM	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	15
BIM for Infrastructure	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	9	9	18	9	48
BIM for Transportation	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	7	3	15	4	32
BIM for Transportation Infrastructure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	2	10	3	20

Fig. [22] Frequenza con cui si presentano le parole chiave (BrIM, CIM, BIM for Infrastructure, BIM for Transportation, BIM for TRansportation Infrastructure) all'interno degli abstract dal 2002 al 2017 (fonte: Costin, A. et al., 2018)

5.5. Il BIM 6D: applicazioni per il Facility Management

Per cominciare ad affrontare le questioni che riguardano questo particolare ambito di applicazione del BIM è necessario inquadrare la figura professionale del Facility Manager e le sfide che deve affrontare.

Il "facility manager" copre un settore professionale molto vasto e interdisciplinare che comprende tutti i servizi necessari all'ottimizzazione e alla gestione dei beni, in un arco temporale molto esteso. Se pensiamo alle fasi di realizzazione di un edificio è facile inquadrare gli ambiti di competenza e le responsabilità per la fase di progettazione e per quella di costruzione, non altrettanto facile è l'inquadramento di ciò che accade nella fase successiva alla consegna del progetto, quando l'edificio e le opere realizzate iniziano a svolgere la funzione per la quale sono stati realizzati.

Le sfide che il facility manager è chiamato ad affrontare riguardano infatti proprio quel momento. Il suo scopo è quello di svolgere una gamma molto eterogenea di attività per soddisfare le esigenze del bene e per mantenerlo in funzione. Il Manager deve anche soddisfare le esigenze del proprietario il cui interesse principale è quello di mantenere i costi di gestione al di sotto delle soglie ammissibili (Nicał, A. K. et al., 2016).

Tra gli interventi più diffusi per garantire la sostenibilità ambientale e finanziaria vi è il miglioramento delle prestazioni o la sostituzione di impianti poco efficienti.

Per riuscire a gestire il bene nel migliore dei modi il facility manager deve intervenire sui sistemi di management che servono per la reperibilità delle informazioni, l'aggiornamento dei database, il monitoraggio in tempo reale delle esigenze degli utenti e molto altro ancora.

Per sintetizzare tutti gli ambiti coinvolti esiste un elenco generale dei compiti (Caputi, M. et al., 2015) che un **facility manager** contemporaneo è chiamato a svolgere, stilata dall'IFMA[25]:

- **Comunicazione**
- **Gestione delle emergenze**
- **Garanzia di continuità di business**
- **Sostenibilità e tutela dell'ambiente**
- **Gestione degli aspetti di finanza e di business planning**
- **Leadership e gestione del fattore umano**
- **Gestione del real estate**
- **Identificazione delle nuove tecnologie**

Come si può ben capire i settori applicativi sono i più disparati ed è necessario il confronto da molteplici professionalità per l'esecuzione di determinate attività.

Lo sviluppo di processi BIM risulta essere un valido strumento per un miglioramento del lavoro che il Facility Manager deve svolgere (Nicał, A. K. et al., 2016).

Il modello BIM di progettazione architettonica e strutturale è arricchito delle informazioni di "pre-use" della struttura, derivanti dalla fase di progettazione e realizzazione. Limitare l'utilità del modello a queste due uniche fasi non soddisfa le esigenze per le quali la metodologia BIM è nata.

[25]IFMA (International Facilities Management Association) fondata nel 1980 è l'associazione internazionalmente riconosciuta più grande per i professionisti della gestione delle strutture (http://www.ifma.org/).

L'integrazione dei sistemi all'interno dei modelli BIM prevede quindi il coinvolgimento anche di quelli di Facility Management (FM) contenenti informazioni che riguardano tutto il suo ciclo di vita del bene.

Nel settore del FM sono già diffusi sistemi e piattaforme specifiche di gestione dei beni. Per coniugare questi strumenti agli obiettivi di interoperabilità del BIM, questi ambienti strutturati devono integrarsi e comunicare con il modello tridimensionale. Tramite il modello il facility manager deve riuscire a ricevere e trasmettere informazioni standardizzate.

La transizione da sistemi FM indipendenti da qualsiasi applicativo esterno a sistemi FM BIM-based e la comunicazione che si stabilisce tra le due parti costituisce il nodo della questione più complesso da risolvere. In parte queste difficoltà sono dovute al fatto che tradizionalmente la fase di FM è considerata erroneamente un "non-core" del processo di costruzione, perché basato su servizi di supporto alle attività che la struttura deve svolgere senza un evidente valore economico (Nicał, A. K. et al., 2016). Nella realtà non è affatto così. Basti pensare alle spese complessive di manutenzione, di consumo energetico e di riparazione che devono essere affrontate durante la vita del bene. Queste spese in molti casi superano di molto il costo di progettazione e costruzione e possono determinare il fallimento o il successo del progetto stesso.

Le strategie di investimento del progetto sono analizzate fin dalle prime fasi di progettazione del bene, come prerequisito per la vendita e la gestibilità. Le strategie si basano sulle informazioni. È allora fondamentale avere a disposizione una raccolta di informazioni coerente e sostanziosa, strutturata per essere utile a vari professionisti per un arco temporale molto lungo.

I vantaggi ricavabili dall'adozione di sistemi FM BIM-based sono (Caputi, M. et al., 2015; Kensek, K., 2015)

Vantaggi per la pianificazione:

- Processo decisionale basato su dati aggiornati (informazioni di "as-built" BIM e "as-is"[26] per il retrofit).
- Miglioramento della pianificazione e budgeting dei processi di costruzione e ristrutturazione.
- Migliore allocazione delle risorse.

[26]Specificazioni riguardo "as-built" BIM e "as-is" BIM si trovano nei paragrafi e nei capitoli a seguire.

- Migliore visualizzazione dei componenti del sistema.
- Gestione degli spazi per una migliore organizzazione delle attività.

Vantaggi per la gestione dei dati:

- Database digitale del bene immobiliare (BIM asset, BIM come portale on-line per i proprietari).
- Facilità di audit dei dati.

Vantaggi per l'operatività:

- Reportistica completa, dati per la manutenzione e la riparazione.
- Capacità di filtraggio dei dati.
- Migliore sostenibilità.
- Gestione attiva degli impianti.
- Integrazione dei dati GIS.
- Gestione delle situazioni di emergenza (pianificazione dei percorsi per l'evacuazione intelligente).
- Strumenti di simulazione operativa.

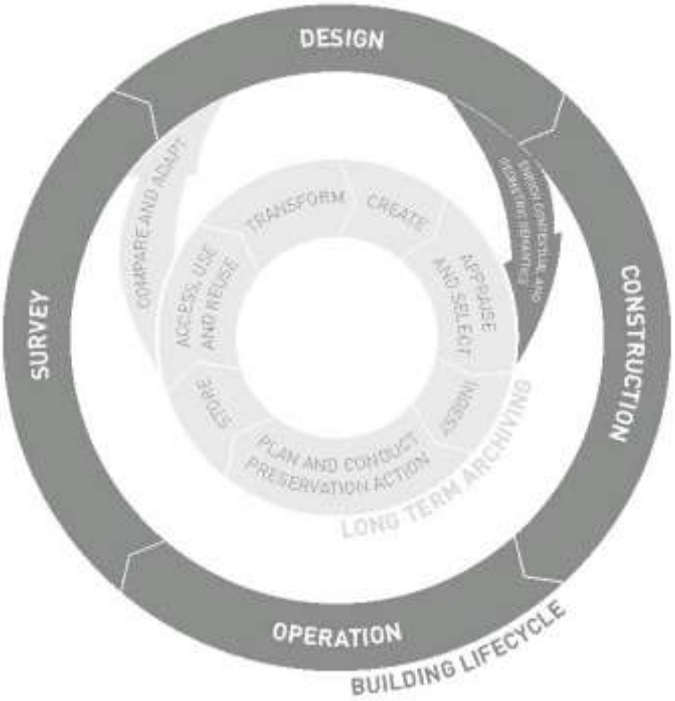


Fig. [23] Ciclo di vita digitale nelle professioni edilizie (fonte: DURAAK project, http://duraark.eu/outcome/)

L'interoperabilità della trasmissione dei dati può essere garantita con l'uso di standard COBie e IFC[27].

Prendiamo adesso in analisi alcune di queste aree di applicazione del BIM (Nicał, A. K. et al., 2016).

Miglioramento dell'allocazione delle risorse

A garanzia dell'ottimizzazione dei costi di gestione e manutenzione è importante considerare la problematica che riguarda la gestione dei componenti e delle attrezzature di un edificio. La prima problematica è la locazione dei materiali, delle apparecchiature e degli arredi utilizzati e depositati. Possedere un archivio costantemente aggiornato riportante il collocamento delle attrezzature è molto utile però, purtroppo, nella maggior parte dei casi nei sistemi FM non vengono fatte annotazioni consultabili in merito. Capita di frequente che i dati non siano aggiornati periodicamente e che la gestione di queste informazioni venga lasciata in mano a pochi addetti non preparati a gestire piattaforme informative condivise e che si affidano a sistemi paper-based o all'esperienza personale.

Rilevazione delle esigenze e delle problematiche in tempo reale

La preparazione di piani di manutenzione preventiva e correttiva diventa più efficace e sostenibile se connessa a sistemi di monitoraggio e rilevamento delle cause di guasto, a sistemi di analisi visiva e sistemi di annotazione di ciò che il personale addetto rileva negli ambienti in cui si trova. I vantaggi nel tracciare il comportamento degli occupanti e nel soddisfare le esigenze degli utenti derivano dalla disponibilità di informazioni raccolte dai sensori in real-time (Ciribini, A. L. C. et al., 2016).

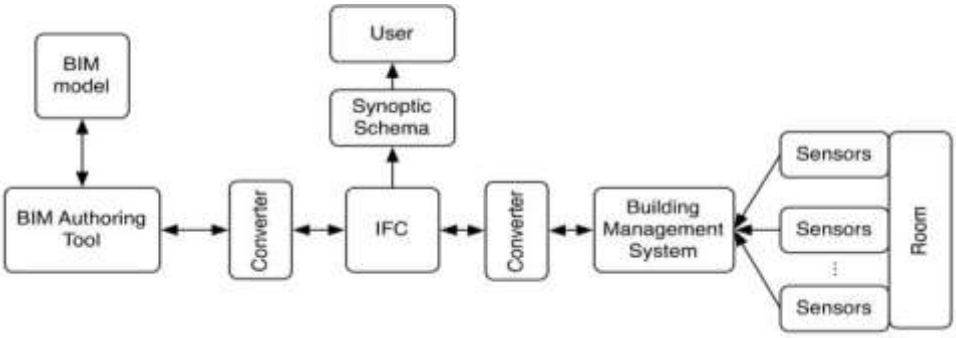


Fig. [24] Struttura di un sistema sviluppato per connettere i dati provenienti dai sensori a un modello BIM e viceversa (fonte: Pasini, D. et al., 2016)

[27] vd. paragrafo 5.2

Gestione degli spazi

Il punto di partenza è la comprensione delle attività che si svolgono in ogni ambiente dell'edificio per una idonea progettazione degli spazi, degli arredi e per la classificazione di questi secondo standard universalmente riconosciuti. Lo spazio è un bene tangibile che i sistemi BIM sono in grado di arricchire di tutte le informazioni desiderate. L'elenco degli spazi e dei loro attributi può adattarsi alle esigenze degli occupanti dell'edificio e a quelle del proprietario (Kensek, K., 2015).

Pianificazione della ristrutturazione, del restauro, studi di fattibilità e mantenimento

Il BIM, se strutturato come un database di tutte le informazioni reperibili e aggiornate, costituisce una base di partenza per la pianificazione e per gli studi di fattibilità degli interventi (Eastman, C. M. et al., 2011). È possibile eseguire stime dei costi e pianificare le fasi di lavoro, monitorare gli stati di degrado e studiare la gestione del cantiere.

Controllo e analisi del consumo energetico

Gli studi di sostenibilità energetica sono al centro della ricerca degli ultimi decenni sia per aumentare il rendimento della realizzazione degli edifici sia per questioni ecologiche e ambientali. Diminuire o annullare l'impatto delle strutture sull'ecosistema è un guadagno sociale, sanitario e ambientale.

Il raggiungimento di questo obiettivo vede al centro della discussione l'uso di sistemi BIM-based per la gestione dell'energia durante l'utilizzo del bene.

Sono già molti i casi studio che hanno come oggetto l'efficienza energetica per edifici nuovi e storici. I risultati mostrano come l'uso del BIM nella progettazione e dell'Internet of Things (IOT) contribuisca consistentemente all'abbattimento dei costi e dello spreco (Ciribini, A. L. C. et al., 2016).

Anche le prestazioni energetiche e i parametri climatici da rispettare possono essere correlati a sistemi di sensori, permettendo di colmare i divari prestazionali e riportando i valori entro i limiti richiesti. È possibile inoltre eseguire simulazioni per verificare le soluzioni più idonee (Kensek, K., 2015; Pasini, D. et al., 2016; Ciribini, A. L. C. et al., 2016).

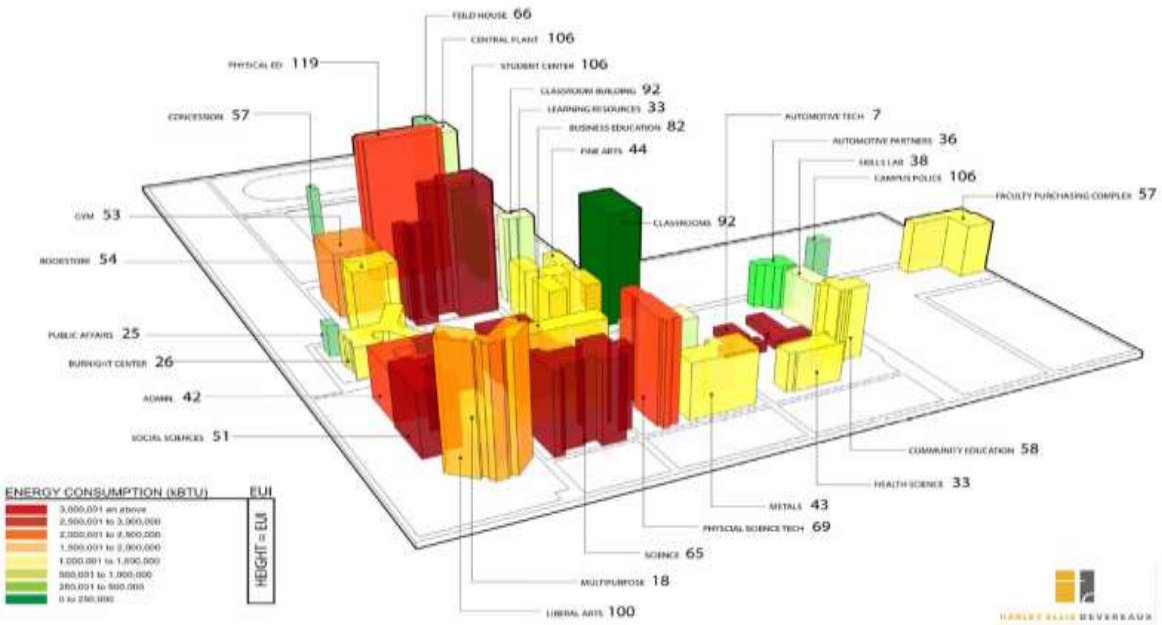


Fig. [25] Analisi dei consumi energetici degli edifici per definire l'ordine di aggiornamento impiantistico degli edifici (fonte: Kensek, K., 2015. Immagine di Harley Ellis Devereaux)

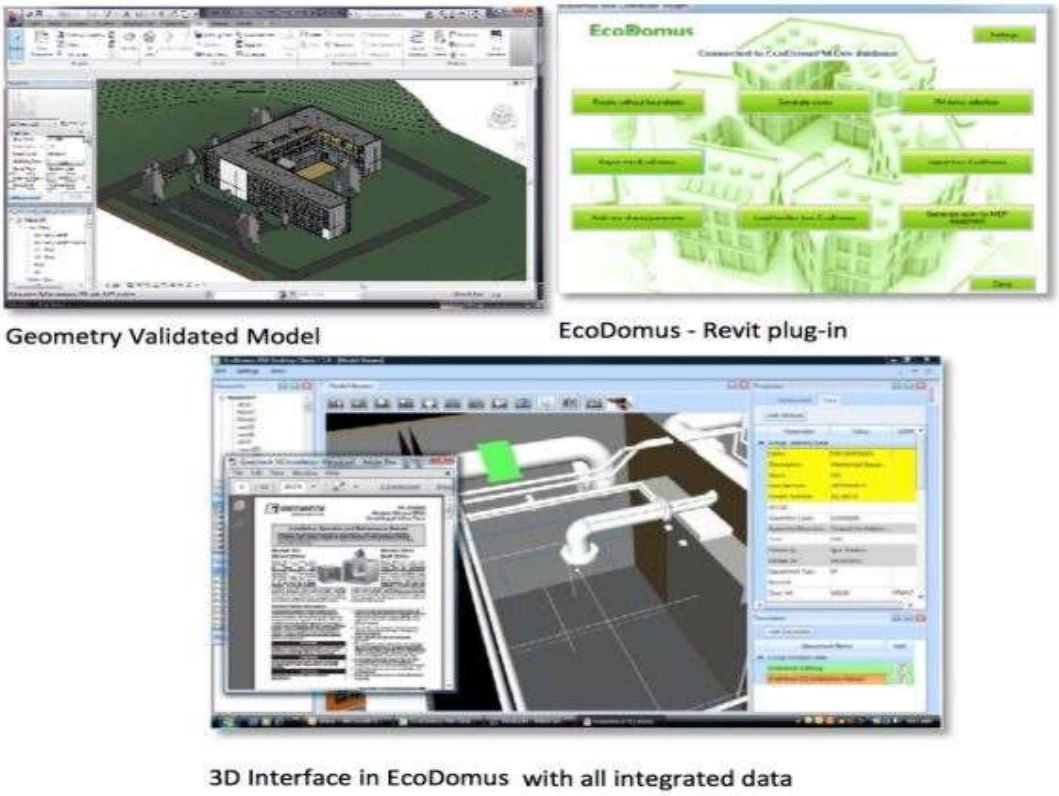


Fig. [26] Trasferimento dei dati su EcoDomus tramite l'uso di un plug-in Revit personalizzato (fonte: Kensek, K.,2015. Immagine concessa dalla University of Southern California)

Gestione delle emergenze

Un fattore fondamentale per la gestione del rischio è che i dati contenuti all'interno dei modelli siano verificati e aggiornati, per poter mitigare il rischio ed essere utilizzabili nel caso di emergenze. I dati devono essere anche pertinenti, organizzati e accessibili, le informazioni specifiche e dettagliate disponibili ancor prima dell'arrivo dei professionisti e delle unità di soccorso (Nicał, A. K. et al., 2016).

Le informazioni sensibili e legate alla sicurezza devono essere adeguatamente protette e il loro accesso deve essere autorizzato per evitare abusi.

Fig. [27] Modellazione e simulazione dei sistemi di evacuazione di un edificio pubblico (Yankee Stadium USA, fonte: https://www.steps.mottmac.com/projects)

5.6. Il BIM e la X-Reality

Il legame diretto tra modelli digitali tridimensionali virtuali e applicazioni di "*gamification*" è un tema caldo della ricerca contemporanea (Barazzetti, L. et al., 2017b).

La crescente domanda di pratiche di ingegneria sostenibili e di reattività ai bisogni degli occupanti ha condotto allo sviluppo di tecnologie innovative che hanno avviato una "4a rivoluzione industriale" (De Amicis, R. et al., 2019).

La "forma" di questa nuova tecnologia è conosciuta come "**Cross Reality**" **(XR).** Essa comprende la realtà virtuale (VR), la realtà aumentata (AR) e le proiezioni con display ("realtà

aumentata spaziale" -SAR), permettendo in un modo completamente nuovo l'organizzazione e la visualizzazione di dati (De Amicis, R. et al., 2019).

Le applicazioni pratiche dei modelli generati in ambiente BIM non si limitano ai professionisti AEC ma si rivolgono anche alle comunità di utenti che possono essere coinvolte all'interno di progetti di educazione ambientale, apprendimento interattivo, turismo culturale (Barazzetti, L. et al., 2017b).

Nelle applicazioni di X-Reality (XR), in cui l'utente si immerge in ambienti popolati da informazioni, i metodi di interazione sono fondamentali per la qualità delle esperienze degli utenti.

Gli strumenti e le modalità di progettazione della realtà virtuale corrispondono a tre categorie (De Amicis, R. et al., 2019):

A. Tecnologie HMDs: utilizzano elmetti o visori che permettono di accedere all'ambiente virtuale in modo immersivo. Gli utenti sono liberi di esplorare e i dati come preferiscono e sperimentare simulazioni.
B. Viewfinding con mobile devices
C. Proiezione di dati all'interno di uno spazio fisico

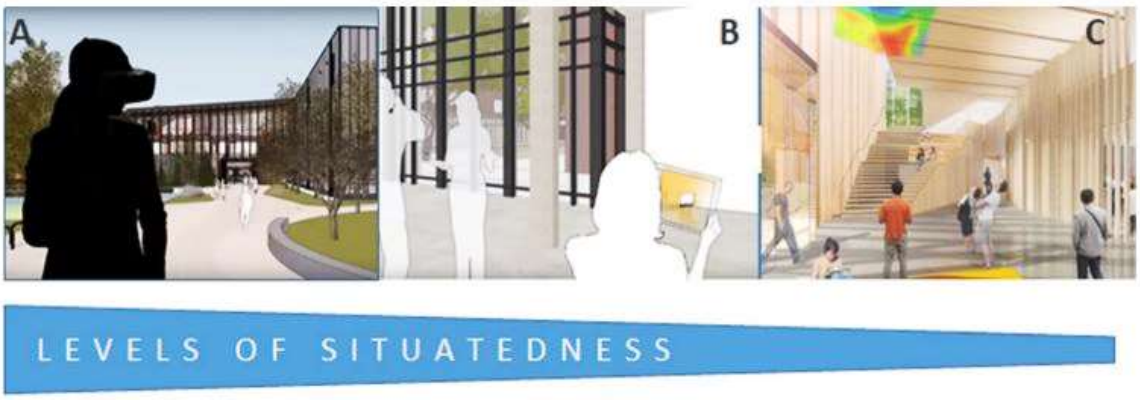


Fig. [28] Cyberlearning environments organized for levels of situatedness. A: Off-Site Helmet Mounted Displays (HMDs), B: A Mobile Device as a Viewfinder, C: Data Projection into Physical Space (fonte: De Amicis, R. et al., 2019)

Le esperienze di VR/AR possono essere connesse a dati acquisiti da sensori in tempo reale, i dati possono essere strutturati in database e gestiti da server esterni, per non appesantire e limitate le capacità di calcolo dei dispositivi mobili.

In molte ricerche è stato evidenziato come i dati ottenuti in real-time, associati a tecniche di rappresentazione multimodale di XR connesse al Building Information Model, svolgono un ruolo importante per la corretta interpretazione dell'ambiente costruito e dei fenomeni che vi si manifestano.

Queste tecnologie offrono assistenza sia ai professionisti, soprattutto nella gestione del cantiere e delle attività di manutenzione e monitoraggio degli edifici esistenti, sia ad altri tipi di utenti esterni al settore AEC. Per esempio, combinando dati visivi e sonori si hanno effetti interessanti sulle capacità di apprendimento e di educazione (De Amicis, R. et al., 2019).

Fig. [29] App che permette l'uso dell'HBIM su dispositivi mobili (fonte: Barazzetti et al., 2017b)

La ricerca sull'apprendimento basato sul place-based learning (*cyberlearning*), adesso realizzabile tramite tecnologie mobili e interattive, dimostra di produrre effetti duraturi sull'educazione e sulla memoria, migliora il processo decisionale, stimola le capacità deduttive, la comprensione delle relazioni e delle connessioni tra concetti, aumenta il "senso di affidabilità" del dato. I limiti fisici, economici e di sicurezza riguardanti l'accessibilità ai luoghi vengono abbattuti (limiti molto diffusi per esempio nelle attività lavorative ad alto rischio) (De Amicis, R. et al., 2019). Nonostante questi progressi, il potenziale supporto che questo tipo di "realtà" fornisce all'educazione STEM[28] e al settore AEC è ancora largamente inesplorato. Un primo passo da fare importante riguarda l'addestrare adeguatamente e informare i professionisti sull'utilità di queste tecnologie (De Amicis, R. et al., 2019).

[28]Science, Technology, Engineering, and Math

6. Il BIM e il GIS

I dati geospaziali hanno un ruolo molto importante nella progettazione edilizia e infrastrutturale.

Il numero di satelliti in orbita è cresciuto in modo consistente negli ultimi anni e le nuove tecnologie (droni, laser scanner, tecnologie di mobile mapping e molto altro ancora) ci permettono di ottenere giornalmente dati molto precisi e un monitoraggio continuo dei cambiamenti che riguardano il paesaggio e le aree urbane. Questi dati sono utilizzati per eseguire analisi accurate anche a scala molto grande.

Il BIM e il GIS sono sistemi con diverse caratteristiche strumentali, diverse capacità di analisi, diverse modalità di gestione dei dati tuttavia sono sistemi che frequentemente sono messi in connessione. Uniti e separati al tempo stesso, il loro dialogo è a beneficio dell'esecuzione dei progetti (Barazzetti, L. 2017a; Song, Y. et al, 2017).

I software GIS sono capaci di eseguire avanzate analisi geospaziali ma mancano di numerosi strumenti di modellazione parametrica, peculiari dell'ambiente BIM (Barazzetti, L. et al., 2017a). La loro integrazione a diverse scale è già stata sperimentata, un esempio si trova nel progetto che ha riguardato il ponte della città di Lecco (Barazzetti, L. et al., 2016), dove la progettazione BIM e i dati geospaziali sono stati intimamente integrati per la costruzione e gestione delle nuove infrastrutture e di quelle esistenti. Il caso studio ha dimostrato il vantaggio dell'utilizzo combinato di entrambe le tecnologie.

Il BIM e il GIS contengono nei rispettivi acronimi la "I" di "Informazione". Entrambi i sistemi infatti sono connessi a un database ed esso è connesso a elementi geometrici (punti, linee e poligoni per quanto riguarda il GIS, oggetti parametrici per il BIM).

Gli elementi rappresentati però si trovano a scale diverse e gli approcci con cui vengono gestiti sono diversi, sia nel tipo di informazioni raccolte sia nel loro utilizzo. Per fare un esempio pratico possiamo pensare all'entità "muro" per come viene intesa in un GIS e come invece viene caratterizzata in un BIM: se da una parte abbiamo una basica rappresentazione geometrica abbinata a dati georeferenziati, che non può restituire la complessità e il dettaglio dell'elemento in questione, dall'altra abbiamo invece un elemento dettagliato da stratigrafia,

grafica di visualizzazione, specifiche tecniche. In questo senso è possibile dire che BIM e GIS sono soluzioni complementari a diversi livelli di integrazione (Barazzetti, L. et al., 2017a).

Come già visto precedentemente nel caso delle Infrastrutture, la correlazione tra dati geospaziali e dati costruttivi permette di ottenere progetti più sostenibili ed efficaci, così come un flusso di lavoro più efficiente (Eastman, C. M. et al., 2011). Il passo da fare è quello trasmettere la logica del BIM sulle costruzioni alle infrastrutture, generando nuovi oggetti che possono interagire con i dataset geospaziali di riferimento.

I dati geospaziali sono prodotti in vari formati: le rappresentazioni per i dati territoriali sono generalmente disponibili in formati raster (e.g. TIFF *.tif; ArcMap *.asc; DEM *.dem; Erdas file format *.img; etc.) e come linee in layer CAD.

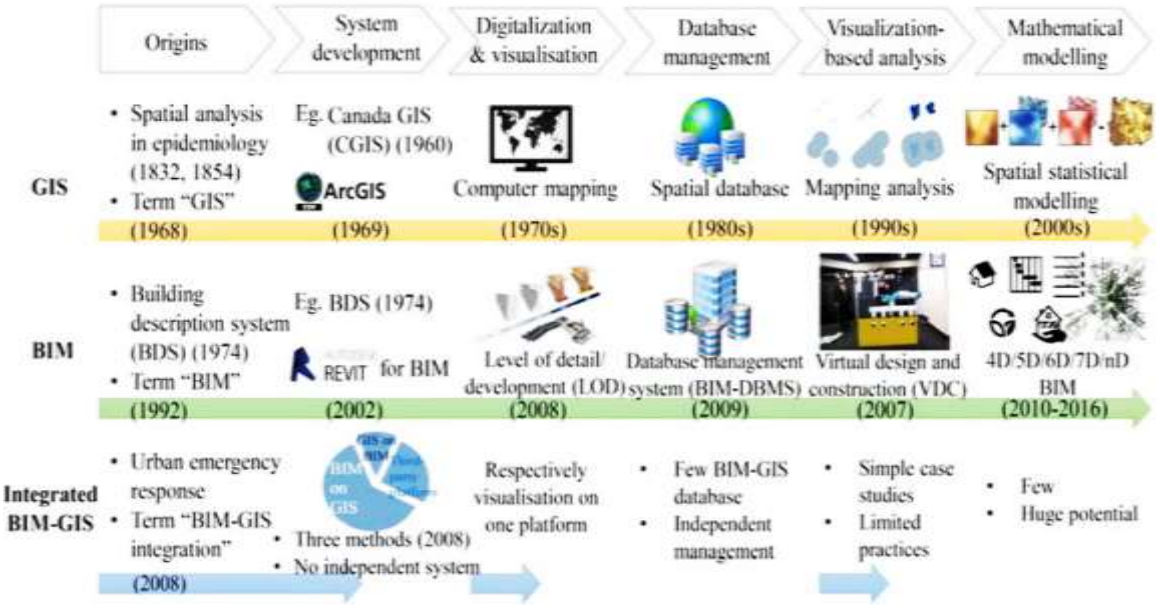


Fig. [30] Confronto dei progressi evolutivi di GIS, BIM e BIM-GIS integrati (fonte: Song, Y. et al., 2017)

Le analisi condotte sull'evoluzione delle applicazioni che integrano sistemi BIM-GIS nell'industria AEC rivelano che sono principalmente utilizzate per la simulazione, la risposta e la gestione delle emergenze urbane (Song, Y. et al, 2017).

La connessione continua tra BIM e GIS permetterebbe l'estrazione di informazioni e dati geospaziali da archivi già disponibili (e.g. OpenStreetMap, Bing Maps e altri sistemi). È tuttavia ancora necessario del lavoro manuale per la gestione di tutti questi dati, l'automazione si realizza per il momento solo per determinate operazioni geometriche come la creazione di mesh e di digital surfaces (Barazzetti, L. et al., 2017a).

In definitiva sono state fatte tre ipotesi sulle future opportunità dall'integrazione BIM-GIS (Song, Y. et al., 2017):

1. *Ipotesi di integrazione libera*: BIM e GIS corrisponderanno ancora a sistemi ed aree indipendenti, sono utilizzati insieme solo parzialmente per affrontare problemi specifici.

2. *Ipotesi di stretta integrazione*: il BIM sarà sviluppato come base dell'informazione per l'industria AEC, il GIS e le altre tecnologie serviranno per fornire dati geospaziali.

3. *Ipotesi sull'origine dei dati*: il BIM è considerato come una fonte di dati mentre il GIS viene adottato per analisi statistiche spazio-temporali.

Possiamo concludere dicendo che le soluzioni basate sull'integrazione BIM-GIS apportano vantaggi significativi ai metodi di gestione, al coordinamento, al management della qualità dei progetti, alla valutazione dei progressi e alla riduzione dei tempi e dei costi, migliorando la sicurezza e la sostenibilità (Song, Y. et al., 2017). I futuri sviluppi dei vari livelli di integrazione daranno un panorama più chiaro dei ruoli applicativi e del tipo relazioni tra sistemi GIS e BIM.

7. Benefici derivanti dall'utilizzo del BIM

"This is what BIM is all about: creating a central model that integrates all sort of geometrical and textual data from different domains, including properties of building elements and mechanical systems, making it possible to efficiently handle almost any level of information complexity and analysis"[29]

Come è possibile capire da questa affermazione, e come è già stato accennato nell'introduzione all'adozione del BIM e alla sua conoscenza, l'utilizzo di "nuove" tecnologie e nuovi processi progettuali ha come obiettivo lo sviluppo di un metodo di lavoro cooperativo.

La generazione di un modello che "fonde" tutti gli ambiti AEC e connette gli stakeholder nel processo di costruzione, progettazione e management di un bene è di cruciale importanza.

Il BIM contribuisce a una pianificazione trasparente e una identificazione preventiva delle discrepanze, degli errori progettuali, delle interferenze (Becker, R. et al., 2018).

Uno studio di Josephson, P.E. & Hammarlund[30] dimostra come il 62% degli errori di progetto possono essere ricondotti a un sistema di gestione delle informazioni non idoneo.

La limitazione degli errori durante la fase di progettazione migliora le performance di progetto e contribuisce a una più rapida consegna (Wong, J. K. W. et al., 2018). Molti studi confermano questi dati ma alcune questioni sul tema lasciano i ricercatori ancora perplessi.

La clash detection (CD) è un metodo importante per l'identificazione degli errori all'interno dei software BIM. Eastman, C. M. et al. (2011) evidenzia come la CD nel BIM può portare a un efficace risparmio dei tempi e dei costi, grazie alla identificazione in ambiente virtuale delle collisioni e dei contrasti tra diversi sistemi (e.g. collisioni tra modelli strutturali e impiantistici, etc.).

Sacks, R. (2004) evidenzia come i costi di elaborazione possono essere approssimativamente ridotti dell'80% - 84% attraverso l'uso di modelli 3D parametrici.

[29] Khalil, H. B. (2017)

[30] Josephson, P. E. et al. (1999)

Nella ricerca svolta in Cina da Wong, J. K. W. et al. (2018) sono stati selezionati sette fattori chiave che siano possibili **indicatori di riduzione degli errori progettuali**:

1. **Clash detection (CD)**
2. **Design Coordination (DC)**
3. **Human Error (HE)**
4. **Drawing Error (DE)**
5. **Teamwork & Cooperation (TC)**
6. **Constructability & Practicality (CP)**
7. **Knowledge & Information (KI)**

Table 3: Results of design error reduction (DER) indicators.

Construct	Code	Items description	Mean	SD
Clash detection	CD	Early detection of collisions via BIM substantially reduced design error and subsequent rework	4.41(1)	0.66
Design coordination	DC	Integrating and coordinating all the design systems with the goal of avoiding conflicts and enhancing collaboration	4.29(2)	0.76
Human error	HE	Human error could be reduced through the implementation of BIM	3.92(5)	0.87
Drawing error	DE	Drawing errors/omissions could be greatly ameliorated through BIM implementation	4.17(3)	0.78
Teamwork and cooperation	TC	BIM could enhance TC in the early design phase with the purpose of enhancing communication and facilitating design process	3.88(7)	0.90
Constructability & practicability	CP	BIM could substantially improve the efficiency and effectiveness of delivery processes and the constructability of a facility	4.03(4)	0.83
Knowledge & information sharing	KI	KI could be sufficiently interchanged and applied among construction practitioners, thus to discover and alleviate problems in the early design phase	3.88(6)	0.83

Fig. [31] Risultati degli indicatori di Design Error Reduction (DER) riportati dall'analisi svolta (fonte: Wong, J. K. W. et al., 2018)

Tra tutti gli indicatori la CD e il DC hanno ottenuto i risultati più alti di valore, dando i maggiori benefici nella minimizzazione degli errori derivanti dall'applicazione del BIM. Al contrario viene messo in evidenza che il BIM non permette una riduzione dell'errore umano.

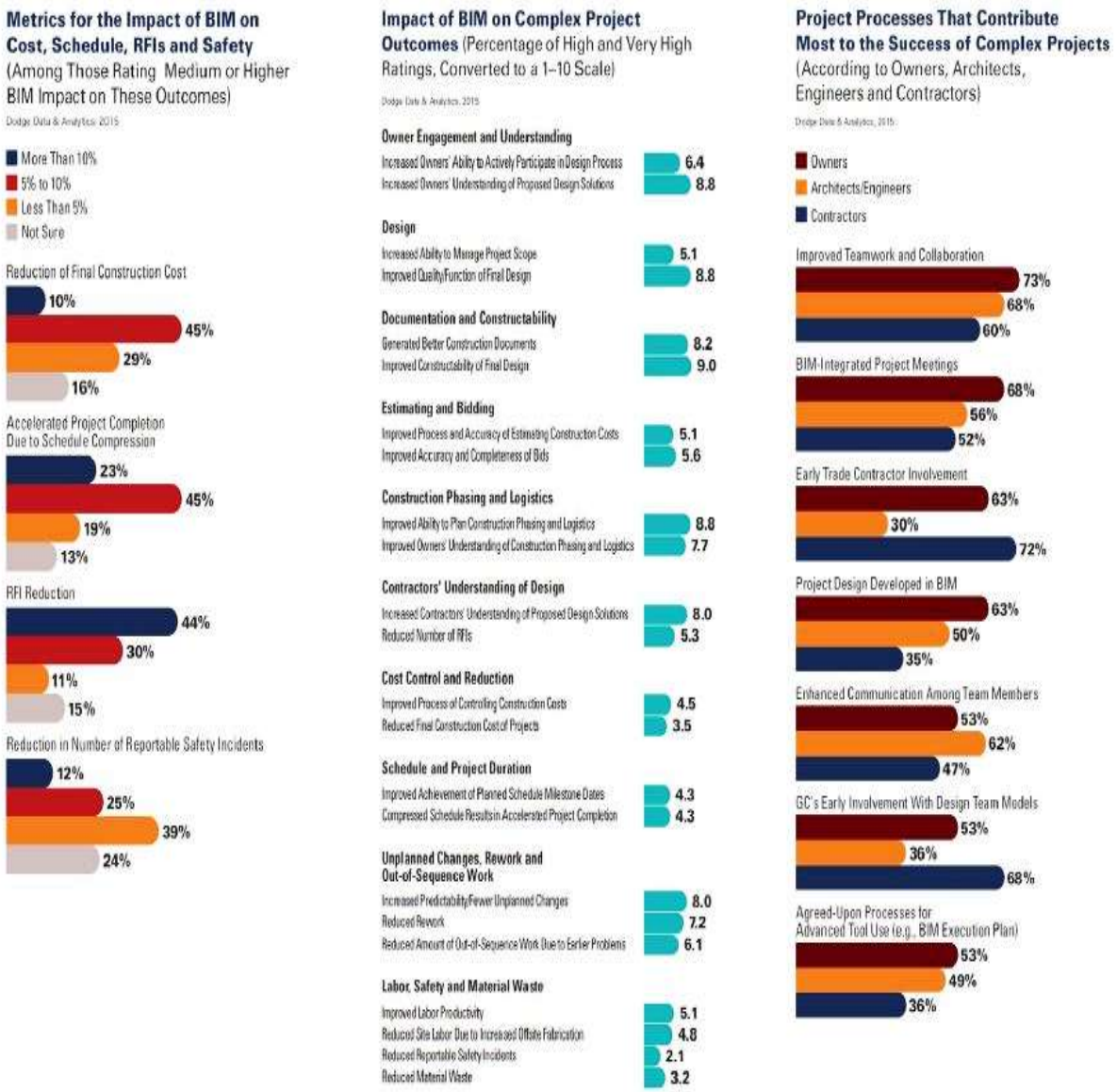


Fig. [32] Valutazioni sull'impatto del BIM sui processi di costruzione secondo una ricerca svolta da DODGE Data & Analytics (fonte: DODGE Data & Analytics, Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings. SmartMarket Report, 2015)

7.1. Benefici per i committenti

Il BIM non è rivolto soltanto agli "addetti ai lavori". È importante che il progetto sia seguito, monitorato e approvato nei vari step anche dal proprietario, per non incorrere in "misunderstanding" e per raggiungere congiuntamente gli obiettivi prefissati.

Approfondiamo quanto accennato nelle pagine precedenti focalizzando la questione sui benefici per il committente/proprietario che derivano dall'adozione del BIM (Eastman, C. M. et al., 2011; Caputi, M. et al., 2015):

- **Fattibilità:** si può determinare se il progetto è significativamente al di sopra del budget di progetto attraverso un modello dell'edificio collegato a un database dei costi.
- **Incremento delle performance dell'edificio e della qualità del progetto:** sviluppare un modello schematico prima di generare un modello dettagliato dell'edificio permette una più attenta valutazione di quanto proposto, per determinare se soddisfa le esigenze funzionali e di sostenibilità.
- **Miglioramento della collaborazione attraverso l'uso dell'IPD**[31]: attraverso sistemi di condivisione dei dati si migliora la progettazione e la comprensione delle esigenze di progetto. Il proprietario è costantemente aggiornato sugli ultimi sviluppi e può interagire in modo efficiente e tempestivo con il team di progettazione.

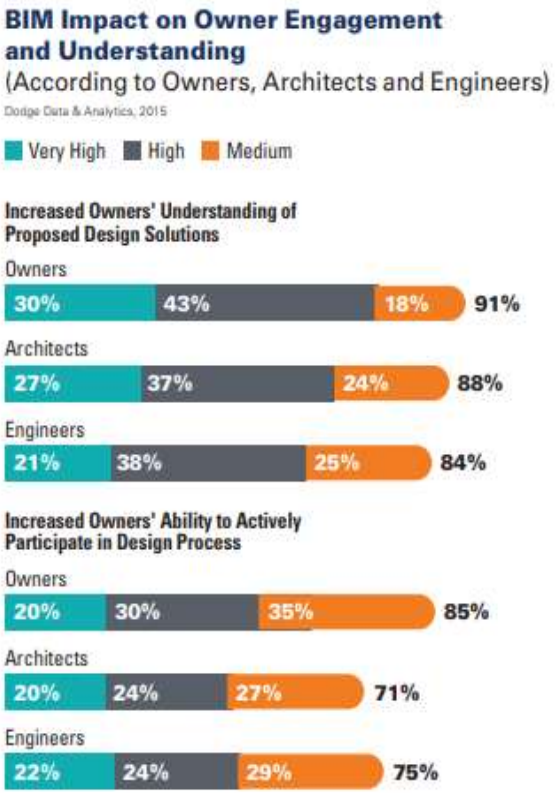


Fig. [33] Impatto del BIM sul coinvolgimento e sulla comprensione del progetto da parte del committente secondo una ricerca svolta da DODGE Data & Analytics (fonte: DODGE Data & Analytics, Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings. SmartMarket Report, 2015)

[31] Integrated Project Delivery, vd. Glossario.

7.2. Benefici per i progettisti

Il BIM nasce per cercare di dare una risposta e una soluzione a problemi che da molto tempo affliggono il settore delle costruzioni, problemi che portano aumenti dei costi di realizzazione, errori progettuali, cattiva gestione e scarsa sostenibilità dei progetti.

I progettisti sono i protagonisti del processo di realizzazione, sono responsabili delle scelte e, soprattutto nei progetti molto complessi, necessitano di strumenti idonei ad affrontare tutte le situazioni e le sfide del lavoro.

Il BIM in questo può contribuire con alcuni benefici (Eastman, C. M. et al., 2011; Caputi, M. et al., 2015):

- **Visualizzazione del progetto più veloce e più accurata:** il modello 3D generato in ambiente BIM è progettato per permettere la visualizzazione degli spazi, grazie a render in real-time che rappresentano i materiali, e la visualizzazione dei dettagli tecnici e delle stratigrafie dei componenti edilizi.
- **Visualizzazione delle varie fasi di progetto:** alcuni BIM tools permettono di fare previsioni e simulazioni temporali. Le tecnologie di mobile mapping e i sistemi di rilevamento possono connettersi ai modelli per consentire un monitoraggio più accurato delle attività nel cantiere.
- **Aggiornamento automatico degli elaborati in seguito a cambiamenti progettuali:** gli oggetti sono controllati da regole parametriche che garantiscono l'allineamento delle modifiche in tutti gli elaborati, cosicché i cambiamenti sul progetto non richiedono più lunghi tempi di modifica.
- **Generazione di disegni 2D e rappresentazioni tridimensionali accurate e coerenti in qualsiasi fase della progettazione:** Si possono creare automaticamente tagli di sezione, elevazioni, dettagli e schemi in aggiunta alle proiezioni ortogonali e a modelli 3D all'interno della stessa piattaforma. Questo permette di risparmiare tempo nell'esecuzione degli elaborati e di ridurre gli errori che incorrono nella generazione dei disegni.
- **Collaborazione tra le diverse discipline:** viene facilitato il coordinamento del lavoro simultaneo di diverse professionalità evitando di lavorare su modelli

totalmente diversi e non coordinabili. Questa modalità di lavoro abbrevia i tempi di progettazione e riduce significativamente gli errori e le omissioni.

- **Verifica facilitata della coerenza del progetto rispetto agli obiettivi:** questa qualità si evidenzia soprattutto nella progettazione di edifici "tecnici" (laboratori, ospedali, aeroporti, etc.). I propositi del progetto sono facilmente e efficacemente quantificabili, le esigenze qualitative possono essere supportate da valutazioni automatiche e simulazioni.
- **Estrazione del computo dei costi:** in qualsiasi fase del progetto è possibile estrarre un'accurata lista delle quantità e dei volumi che può essere usata per la stima dei costi.
- **Miglioramento dell'efficienza energetica e della sostenibilità:** il collegamento del modello a strumenti di analisi energetica permette la valutazione del rendimento durante tutte le fasi di progetto. Questo non è possibile se si usano strumenti di rappresentazione 2D. La possibilità di sottoporre il modello a vari tipi di analisi permette di migliorare la qualità del progetto.

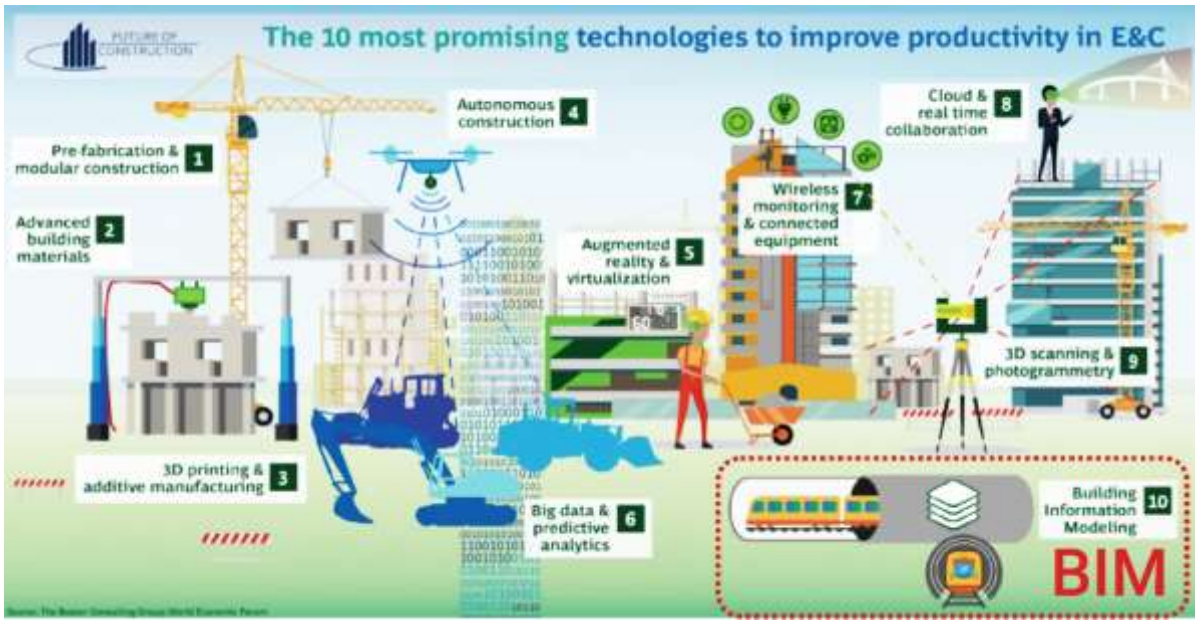


Fig. [34] Mappa concettuale delle 10 tecnologie per il miglioramento della produttività in Engineering & Construction

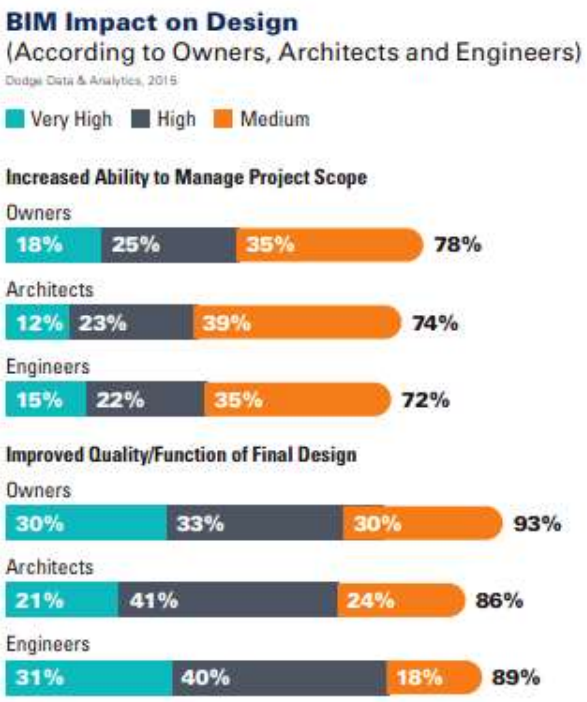


Fig. [35] Impatto del BIM sull'attività di progettazione, una ricerca svolta da DODGE Data & Analytics (fonte: DODGE Data & Analytics, Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings. SmartMarket Report, 2015)

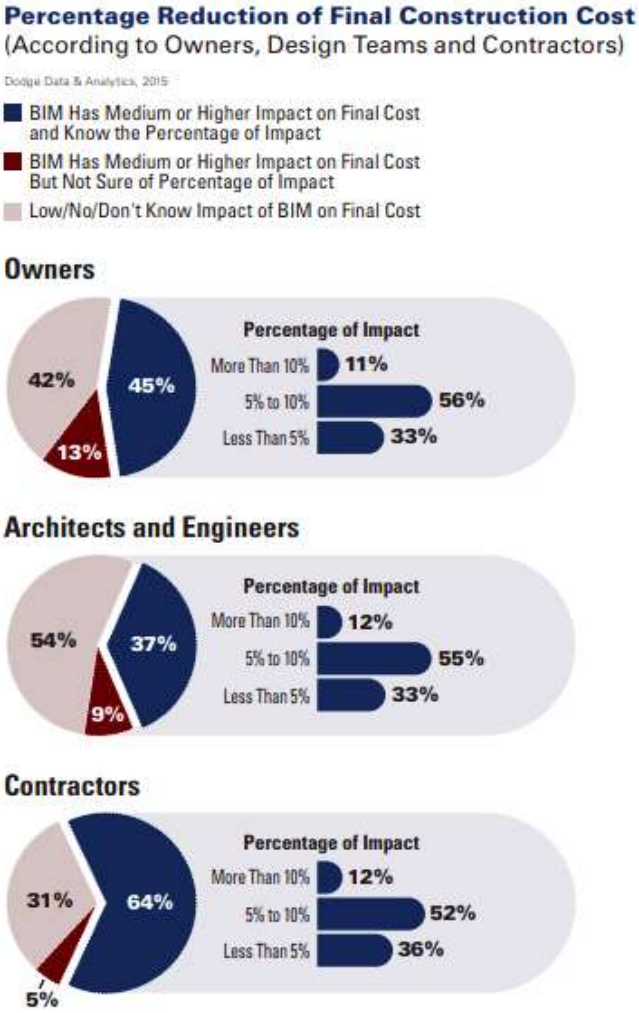


Fig. [36] Impatto del BIM sui costi finali di costruzione, secondo una ricerca svolta da DODGE Data & Analytics (fonte: DODGE Data & Analytics, Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings. SmartMarket Report, 2015)

8. Problematiche e condizioni sfavorevoli

Nelle primissime pagine di questo elaborato è stato affermato che l'introduzione del BIM comporta una "rivoluzione" di tutto il sistema tradizionale di approccio alla progettazione e alla gestione degli immobili e delle infrastrutture. È facile comprendere come tale rivoluzione possa essere ostacolata dalla difficoltà ad abbandonare atteggiamenti consolidati che non cambiano gli obiettivi e i procedimenti.

"In factor, BIM is the starting point of the digital revolution in construction and local companies are not a prepared to embrace it adequately, as a survey conducted by Fraunhofer Italia in 2015 demonstrates."[32]

La questione relativa agli strumenti e alle procedure non può essere ridotta a un problema di "personalizzazione" del processo progettuale (Della Torre, S., 2016).
Per fare in modo che questo cambiamento epocale dei processi porti effettivi benefici a tutta la filiera, gli esperti sostengono, che sia necessario avviare ragionamenti e iniziative che portino alla transizione dal metodo tradizionale di rappresentazione verso modelli digitali di tipo parametrico contenenti informazioni.
In molti settori mancano accurate ricerche e sperimentazioni sul BIM di conseguenza il ruolo di queste soluzioni tecnologiche non è stato ancora ben delineato.
La percezione di quanto "user-friendly" sia il BIM dipende dall'esperienza che l'utente ha acquisito nell'uso di applicazioni che servono a creare i modelli (Counsell, J. et al., 2017). Le iniziali difficoltà nella comprensione dei software possono portare alla ritrosia ad iniziare nuove procedure di lavoro e abbandonare i sistemi tradizionali.
Un'altra questione molto importante riguarda il rischio portato dall'utilizzo di sistemi che si basano sull'adozione di informazioni in forma quasi totalmente digitale-virtuale: la questione del "digital divide" (Counsell, J. et al., 2017).

[32]Ratajczak, J. et al., (2015); Malacarne, G. et al., (2018).
Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l. è una società fondata a Bolzano nel 2009 come organizzazione no- profit di ricerca applicata alle piccole e medie imprese del territorio negli ambiti Automation and Mechatronics Engineering e Process Engineering in Construction. https://www.fraunhofer.it/

Il **divario digitale o** "**digital divide**" è il divario esistente tra chi ha accesso effettivo alle tecnologie dell'informazione (in particolare personal computer ed internet) e chi ne è escluso, in modo parziale o totale. I motivi di esclusione comprendono diverse variabili: condizioni economiche, livello d'istruzione, qualità delle infrastrutture, differenze di età o di sesso, appartenenza a diversi gruppi etnici, provenienza geografica, etc.[33]

Questo rischio è attribuito soprattutto ai centri urbani più isolati all'interno dei quali gli occupanti e le comunità sono costituite da residenti con fasce di età molto alte, diversa provenienza, persone con scarse competenze e conoscenze degli strumenti ICT[34] (Counsell, J. et al., 2017).

Il digital divide generalmente è dovuto non tanto alla mancanza di informazioni o di capacità di ricerca ma quanto semmai alla disponibilità di accessi internet.

Questo potrebbe comportare una non equità nella partecipazione ai progetti creati in forme digitali e diffusi su piattaforme online, per ovviare ai predetti problemi di digital divide sono necessari sistemi "ibridi" che consentano a tutti possibilità di accesso alle informazioni (Counsell, J. et al., 2017).

Ci sono ancora dei problemi per quanto riguarda l'estrapolazione dei dati e delle quantità, non sempre i risultati sono ottimali. Gli strumenti disponibili attualmente non sono ancora sufficientemente sviluppati per ottenere un processo completamente automatico (Malacarne, G. et al., 2018).

Il processo di automazione e l'interoperabilità di questi sistemi (peculiarità potenziale del BIM) in generale non è ancora lineare, rimane ancora molto frammentato e poco intuitivo (Becker, R. et al., 2018; Murphy, M. et al., 2013).

Le **difficoltà di automazione** sono legate a:

- **Scarsa interoperabilità:** per la maggior parte dei software l'interoperabilità è ancora largamente unidirezionale. Ne consegue che nel momento in cui si devono fare dei cambiamenti è necessario produrre nuova documentazione e nuovi modelli specifici per gli obiettivi. Ci sono inoltre limiti di interoperabilità tra software non sviluppati all'interno dello stesso anno solare.

[33] Fonte: Rice (2002) da Autori di Wikipedia, "Digital divide", Wikipedia, L'enciclopedia libera.

[34] Information and Communication Technologies, vd. Glossario.

- **Assenza di un processo integrato e circolare:** solo i software più sofisticati supportano un processo integrato e molti di questi non sono facilmente utilizzabili dalle locali SMEs[35] per motivi economici o difficoltà di training.
- **Capacità di disegno parametrico:** la comprensione delle interfacce di progettazione parametrica degli elementi non è di facile comprensione. Alcune software house mettono a disposizione plugin, (e.g. Dynamo per Autodesk Revit) che permettono lo sviluppo di oggetti parametrici molto sofisticati e logaritmi di programmazione temporale, ma anche in questo caso purtroppo sono richieste consolidate capacità di disegno parametrico.
- **Necessità di molteplici software:** il numero di soluzioni software utilizzati durante il processo di progettazione, restituzione e programmazione temporale in ambiente BIM è un fattore critico. Si richiedono più soluzioni di software per raggiungere l'obiettivo di progetto e ogni software ha specifiche modalità e tool di modellazione, calcolo, visualizzazione con caratteristiche molto diversificate.
- **Assenza di efficaci soluzioni per il riconoscimento automatico degli oggetti:** soluzione che diventa molto utile per consentire l'interpretazione delle informazioni e la programmazione temporale.
- **Mancanza di procedure standardizzate:** è evidente la frammentazione dell'intero processo progettuale nella mancanza di procedure standard generalmente riconosciute. Al momento gran parte delle imprese di costruzione sviluppa la propria personale procedura, non sempre condivisibile e interoperabile, basandosi sull'esperienza.
- **Eccessivo tempo di elaborazione:** le operazioni di creazione e gestione del modello richiedono ancora molto tempo per raggiungere il livello di dettaglio richiesto. In progetti piccoli o con budget limitato la generazione del modello determina ancora costi maggiori rispetto ai benefici. Allo stesso tempo vi è la richiesta di un impegno eccessivo per lo sviluppo di modelli dettagliati al fine della sola visualizzazione.
- **Costi eccessivi** delle tecnologie hardware e software così come del necessario training all'utilizzo dei sistemi BIM.

[35]Small and medium-sized enterprises

Nella gestione di un modello 3D una importante riflessione riguarda l'accuratezza che il modello deve avere. L'accuratezza del modello segue generalmente il principio della convenienza (COBIM project 2012, Series 1): nella fase iniziale di progettazione quando le dimensioni e la forma dell'edificio rimangono poco chiare è appropriato usare un livello di accuratezza non eccessiva.
La precisione delle dimensioni degli elementi dell'edificio potrebbe essere associata alle intenzioni d'uso del modello stesso. Per esempio, se abbiamo un BIM architettonico, usato per l'analisi termica, risulta importante avere tutti i muri connessi tra loro negli angoli, poiché anche un piccolo gap potrebbe significativamente interferire con la simulazione.

Per quanto riguarda la **gestione del budget** e la **programmazione degli obiettivi** sono ambiti per i quali l'uso di documenti separati è spesso la migliore forma di gestione. Attualmente esistono solo pochi strumenti adeguati a questi propositi e le soluzioni sono fatte su misura per ciascuna organizzazione e ciascun operatore.

La **gestione di un elevato numero di dati digitali** può comportare dei problemi. I modelli possono arrivare ad assumere dimensioni tali da compromettere la fluidità di elaborazione da parte delle applicazioni, impedendo l'utilizzo in personal computer con specifiche tecniche di medio e basso livello.
La dimensione limite massima che un file di modello dovrebbe avere è determinata da una combinazione di fattori che includono il software usato, l'hardware disponibile, il CDE[36] e le possibilità di network.
I network sono di fondamentale importanza per la gestione del processo collaborativo sul quale il BIM ha posto grande attenzione, siano essi locali o all'interno di Cloud.
Le possibilità di collaborazione in rete dipendono quindi dalla velocità della connessione, bande larghe e appropriate configurazioni di network sono essenziali soprattutto se il team di lavoro è geograficamente disperso (Historic England, 2017).

Il BIM è uno strumento utile anche successivamente alle fasi di progettazione e realizzazione, quando il fabbricato viene completato i dati che lo riguardano comprendono quelli di

[36]Common Data Environment. Questo argomento viene analizzato nel dettaglio nei capitoli a seguire.

gestione e manutenzione. Il modello e i dati devono essere nel tempo aggiornati con le successive modifiche e con l'annotazione di tutti gli interventi. Il mancato o parziale aggiornamento dello stesso pregiudica la sua **attendibilità** e può condurre a possibili errori oppure a una manutenzione inappropriata e dispendiosa.
Beneficiare dei vantaggi del BIM implica il fatto che sia continuamente **aggiornato**, quindi è necessario un processo di mantenimento del modello e di "cura" delle informazioni (Historic England, 2017).

Con l'implementazione nei processi della filiera del BIM si sono "alterate" le relazioni di lavoro tra le varie parti coinvolte, con conseguenti **implicazioni legali** (Historic England, 2017).
Le forme di contratto esistenti non riescono a ricoprire perfettamente tutta la gamma delle relazioni che comporta l'utilizzo del BIM. Il protocollo BIM assicura generalmente che tutte le parti conservino la proprietà intellettuale del loro contributo (IPR - Intellectual Property Rights) ma allo stesso tempo fornisce una licenza di accesso a tutti i membri del progetto e l'uso di queste informazioni.
Gli aspetti legali e l'attribuzione di responsabilità lasciano ancora molte questioni irrisolte ed i termini legali possono essere complessi.

9. Un nuovo workflow

In questa parte dell'elaborato si entra più nel dettaglio nelle caratteristiche del nuovo flusso di lavoro del Building Information Modelling, specificando le caratteristiche dell'interoperabilità e le professionalità che sono nate in conseguenza all'adozione del processo all'interno dei team di progettazione e delle aziende. Infine, un accenno ai principali software BIM e alle caratteristiche degli oggetti BIM.

"Effective use of BIM requires that changes be made to almost every aspect of a firm's business (not just doing the same things in a new way). It requires some understanding of BIM technology and related processes and a plan for implementation before the conversion can begin. A consultant can be very helpful to plan, monitor and assist in this business (not just doing the same things in a new way). It requires some understanding of BIM technology and related processes and a plan for implementation before the conversion can begin. A consultant can be very helpful to plan, monitor and assist in this brushes." [37]

Il BIM basa l'intero workflow di progettazione, realizzazione e gestione su tecnologie "real-time" (web, 3D parametrico etc.). Il passaggio dai sistemi tradizionali al BIM non avviene solo integrando software BIM a quelli 2D-3D non BIM o apprendendo esclusivamente i metodi di modellazione geometrica. L'implementazione avviene tramite una serie di cambiamenti nell'intera filiera e nel sistema di affidamento degli incarichi per la realizzazione o ristrutturazione di un immobile (Caputi, M. et al., 2015).

[37]Eastman, C. M. et al. (2011)

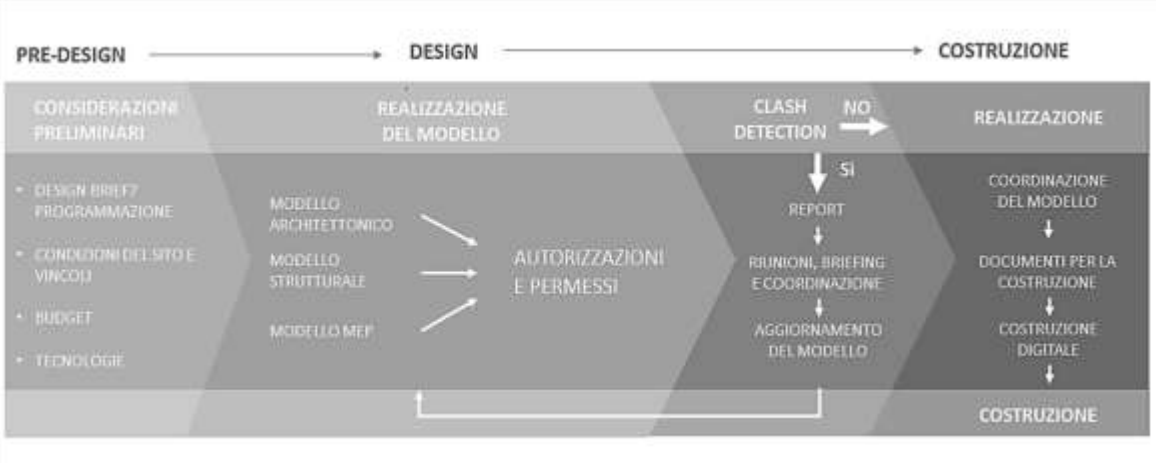


Fig. [37] Nel seguente schema vediamo il workflow di scambio dei dati e delle informazioni a partire dalle prime fasi di valutazione del progetto fino alla costruzione e consegna (elaborazione personale delle informazioni contenute in Eastman, C. M. et al., 2011)

Sinteticamente alcuni interventi da eseguire per una corretta l'implementazione (Eastman, C. M. et al., 2011; Pavan, A. et al., 2017):

- Sviluppo di un piano di adozione all'interno del team che riguardi tutti gli aspetti del business aziendale e la determinazione delle responsabilità.

  A livello pratico una delle prime attività che guidano il processo prevede una attenta analisi dei metodi di identificazione e classificazione di dati e informazioni: è necessario rivedere il sistema di denominazione dei file e di classificazione degli oggetti, spesso legata a metodi datati predigitali. L'identificazione e la caratterizzazione degli oggetti digitali parte dagli attributi degli oggetti, il software verifica congruenza e completezza del dato in relazione ai dati di sistema.

Fig. [38] Attributi nella programmazione per oggetti e loro genesi/uso nei diversi documenti del processo

- Creazione di un **team interno di manager** responsabili dell'applicazione del piano.
- Iniziare l'implementazione **introducendo il BIM in uno o più progetti piccoli** per produrre documenti tradizionali del modello dell'edificio. L'introduzione delle tecnologie e dei processi BIM, un poco alla volta, permetterà di osservare benefici e criticità.
- Usare i risultati iniziali ottenuti dalle prime sperimentazioni per **educare e guidare all'adozione continuativa del BIM** con un training dello staff.
- Estendere l'uso del BIM ai nuovi progetti e iniziare a lavorare con i membri interni al progetto in un **approccio collaborativo nuovo.** Le piattaforme CDE non si devono utilizzare in un singolo progetto solo per la gestione della commissione ma come piattaforma "centrale" dove il committente o altri utenti possano gestire i dati di ciascun singolo CDE/ appalto.
- Integrare le capacità del BIM per **gestire le collaborazioni aziendali e contrattuali** con clienti e partners.
- **Pianificare nuovamente e periodicamente il processo di utilizzo del BIM** per apportare le necessarie modifiche, riflettendo sui benefici e sui problemi osservati.

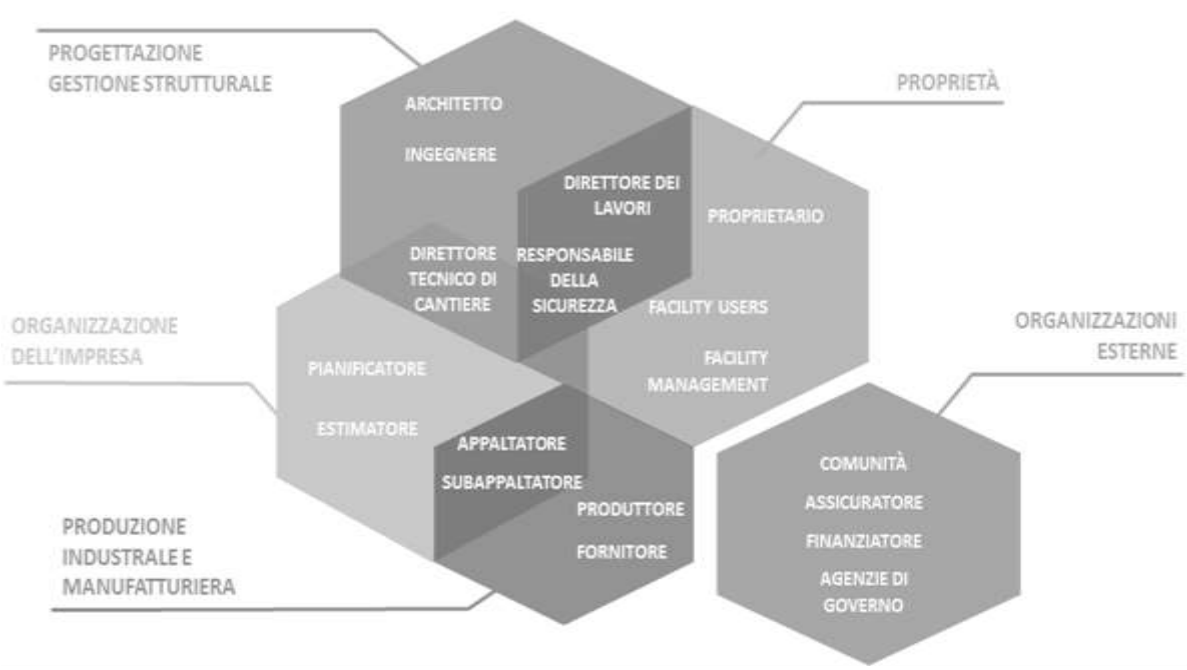


Fig. [39] Schema degli stakeholder dell'intera filiera

9.1. Open BIM e Closed BIM

Durante il periodo iniziale di sperimentazione e introduzione del BIM come obiettivo vi era la generazione di un unico modello, un unico repository di tutte le informazioni sul bene. Un unico modello informatico concepito come unico database sia grafico sia testuale documentario.

Successivamente questo obiettivo è stato abbandonato per evidenti difficoltà di varia natura, una delle principali riguarda proprio gli ambienti di authoring dei software che, essendo molteplici e di varia tipologia in relazione alle diverse competenze per le quali nascono, rendeva difficoltoso uniformare tutto il sistema ad un unico standard. L'idea di un modello unico e dell'utilizzo di un singolo software 3D BIM è andata naufragando (Caputi, M. et al., 2015).

Tuttavia, l'esigenza di forme di comunicazione e connessione tra le molteplici realtà operative e disciplinari rimane al centro del problema e l'unica strada favorevole a uno sviluppo della collaborazione ha richiesto sistemi idonei per lo scambio dei dati.

I formati di scambio aperti e liberi (detti "open") nascono per garantire la compatibilità tra i vari software permettono di slegarsi dai vincoli imposti dalle software house, la possibilità di scelta è lasciata in mano all'utente che potrà scegliere in base alle sue competenze e possibilità economiche.

Da un'analisi generale si nota come il mercato delle tecnologie in questi anni si è diversificato tra due direzioni opposte (Caputi, M. et al., 2015):

1. **Open BIM:** gli utenti possono utilizzare per i propri progetti i software che più gradiscono, in base alla loro capacità e ai costi, con un unico vincolo: le applicazioni devono contenere comandi di import/export in accordo con le sintassi di tipo Open. Lo standard per lo scambio delle informazioni di tipo Open più importante sviluppato a livello internazionale è *l'Industry Foundation Classes (IFC)*.

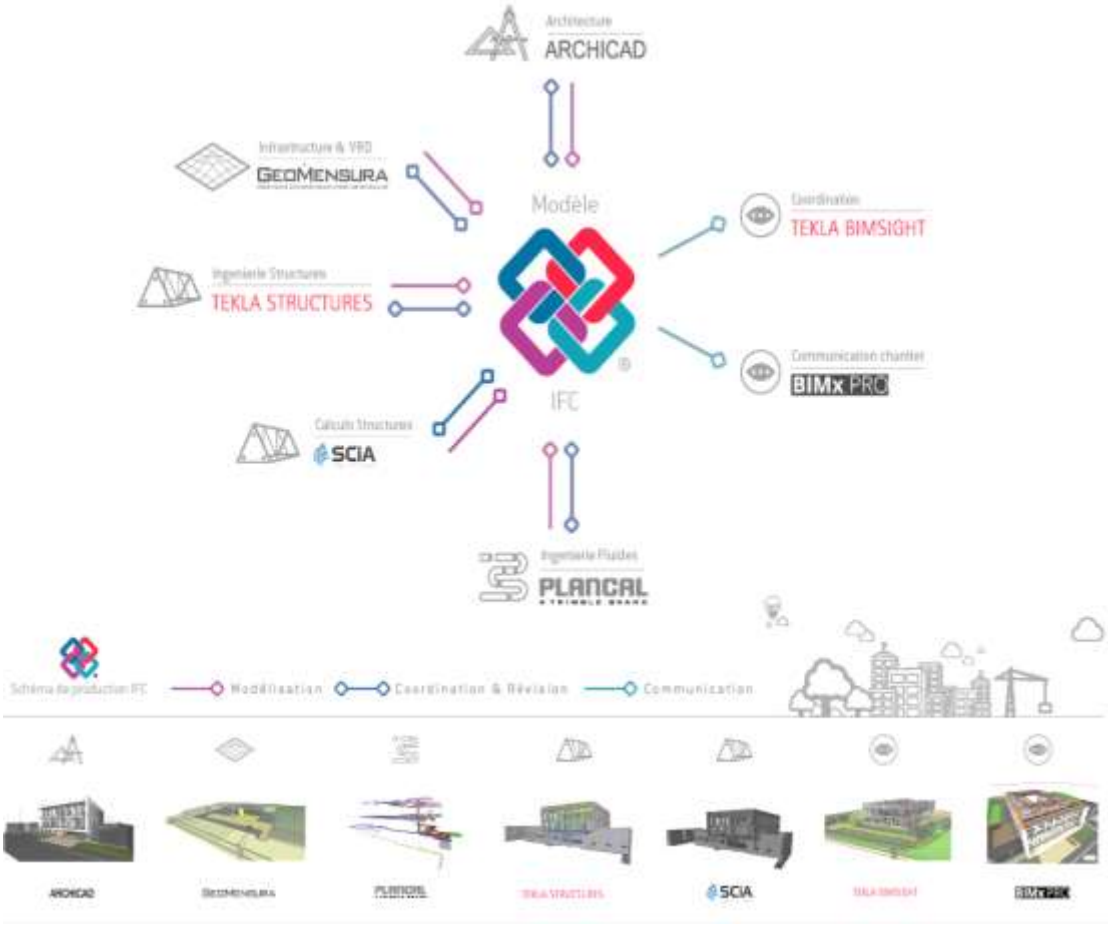


Fig. [40] Flussi di scambio dati tramite modelli IFC sulla modellazione (viola), coordinazione e revisione (blu), comunicazione (azzurro) per le diverse piattaforme (fonte: https://openbim.fr/openbim/)

2. **Closed BIM:** gli standard per lo scambio dei dati sono di proprietà di specifiche software house, i formati sono quindi interni. Il rischio principale di questo metodo di condivisione è che i dati non siano editabili e gestibili da organizzazioni terze, limitando la compatibilità e obbligando nella scelta delle applicazioni e degli strumenti utilizzabili.

9.2. Interoperabilità: BIM e i formati di scambio

L'interoperabilità è l'abilità di scambiare dati tra applicazioni. Lo scambio dei dati alleggerisce il workflow e può facilitare le operazioni di tipo automatico.

Tradizionalmente lo scambio di dati si limitava a una condivisione tramite formati che trasferivano la sola geometria, esempi noti sono i formati DXF (Drawing eXchange Format) e IGES (Initial Graphic Exchange Specification). Prima del 2010, le persone che desideravano scambiare osservazioni, proposte e richieste di modifica nei modelli erano costretti a scambiarsi l'intero modello accompagnato da un "bulk data", ovvero un set di dati in massa in formato open[38].

I sistemi di interoperabilità più vecchi sono basati su API (Application Programming Interface[39]) e sono stati introdotti negli anni '80. Permettevano ai modelli di dati di essere sviluppati per supportare lo scambio dei prodotti e degli oggetti della modellazione tra differenti settori. Per favorire lo scambio venivano usati gli ISO-STEP international standard[40].

Per rendere la condivisione nel workflow BIM più efficace e "smart" è stata poi proposta l'idea di sviluppare uno standard aperto che permettesse la comunicazione tra diversi strumenti software.

---

[38] "L'insieme completo di un set di dati. I dati sono disponibili in massa (bulk) se l'intero insieme può essere scaricato per ulteriori elaborazioni sull'hardware dell'utente. I bulk download devono quasi sempre essere offerti in open data, ma può essere poco pratico in caso di "big data" o di dati in tempo reale" (fonte: http://opendatahandbook.org/glossary/it/)

[39] Con l'acronimo API si intende una serie di convenzioni adottate dagli sviluppatori di software per definire il modo con il quale va richiamata una determinata funzione di un'applicazione. L'impiego di API comuni ha lo scopo di rendere più omogenea l'interfaccia e di facilitare l'interazione di programmi che diversamente risulterebbero molto differenti e distanti fra loro. (De Agostini Editore S.p.A., "API", Enciclopedia online Sapere.it).

[40] L'ISO 10303, nome ufficiale STEP (STandard for the Exchange of Product model data - "Norme per lo Scambio dei dati dei Prodotti"), è uno standard contenente una serie di regole per l'integrazione, la presentazione e lo scambio di dati (via computer); può essere usata per trasferire dati tra i seguenti sistemi: CAD, CAM, CAE, PDM/EDM. L'obiettivo è una descrizione senza ambiguità, che può essere adattata a tutti i sistemi informatici. Permette anche l'archiviazione dei dati a lungo termine e la creazione di basi di dati centralizzate. (Autori di Wikipedia, "ISO 10303", Wikipedia, L'enciclopedia libera)

Al centro delle ricerche e dello sviluppo degli ultimi anni c'è di conseguenza la generazione di linguaggi e sintassi di tipo Open. Questo approccio è orientato alla realizzazione di sistemi Open Source basati sul Bim Collaboration Format (BFC)[41].

Gli standard hanno sempre giocato un ruolo di fondamentale importanza nelle attività delle imprese. I ricercatori al riguardo hanno cercato di sviluppare l'interoperabilità all'interno delle diverse discipline fornendo diversi tipi di linguaggi (EXPRESS, BPMN, XML ...) che supportassero lo scambio di protocolli.

SQL[42] è stato il primo e principale schema di definizione dei linguaggi per i database, ha generato migliaia di tipi di schema.

ISO-STEP ha sviluppato un linguaggio sui dati di modellazione, EXPRESS, base per una vasta gamma di tecnologie per la modellazione e di schemi, incluso lo standard IFC (AIA 2010) e CIS/2 (2007).

Intergraph è stato uno dei primi sistemi sviluppati per la condivisione dei dati tra gli anni '70-'80, usato da gran parte dei sistemi CAD. Successivamente la NASA, in conseguenza alla fondazione di due compagnie (Boeing e General Electric) che usavano e vendevano CAD, iniziò ad adottare un altro standard di scambio (IGES) col supporto del National Bureau of Standards (conosciuto ora come NIST) e dell'U.S. Department of Defense (DoD).

A partire dal 1988, l'U.S. Department of Defense ha richiesto che tutte le informazioni digitali sulla fabbricazione di prodotti (Computer-Aided Engineering), relative ai contratti per armamenti venissero pubblicati in formato IGES. Qualsiasi venditore di software CAx[43] che avesse voluto commercializzare il proprio prodotto a sub-fornitori del Dipartimento della Difesa e ai loro partner doveva supportare il formato file IGES sia in importazione che esportazione.

Oltre al formato IGES una larga parte degli scambi di dati è supportata dal linguaggio XML (eXtensible Markup Language), un'estensione di HTML il linguaggio base del web.

---

[41] La seconda generazione di BFC è stata definita da BuildingSMART nel 2015, vd. Glossario.

[42] Structured Query Language: è un linguaggio per interrogare e gestire basi di dati mediante l'utilizzo di costrutti di programmazione denominati "query". Con SQL si leggono, modificano, cancellano dati e si esercitano funzioni gestionali ed amministrative sul sistema dei database. La maggior parte delle implementazioni dispongono di interfaccia alla riga di comando per l'esecuzione diretta di comandi, in alternativa alla sola interfaccia grafica GUI. (Autori di Wikipedia, "Structured Query Language", Wikipedia, L'enciclopedia libera).

[43] Computer-aided technologies, vd. Glossario.

I differenti tipi di schema XML permettono lo scambio di diversi tipi di dati tra le applicazioni. Nel settore AEC gli schemi XML includono: BACnet, AEX, AECxml (versione XML dello schema IFC), cityGML (usato per la rappresentazione degli edifici all'interno del formato GIS). Con l'avvento dei dispositivi elettronici mobili come lo smartphone che permettono il trasferimento di file multimediali sono stati sviluppati formati GSM, GPRS e WAP, applicati anche per i dati sugli edifici.

Una volta definito lo schema e il linguaggio dello schema lo scambio può avvenire secondo tre principali modalità:

- Link diretti,
- Formati di scambio proprietari delle applicazioni,
- Formati di scambio open del modello di dati.

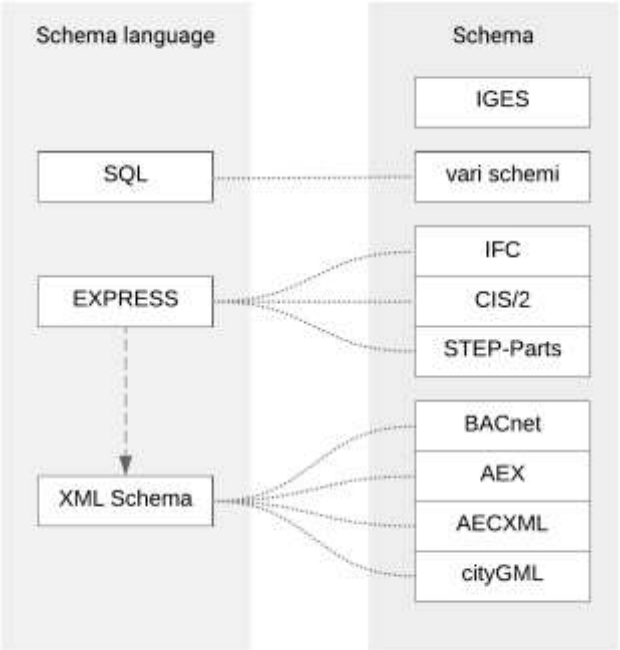


Fig. [41] Tabella sugli schemi e il linguaggio degli schemi nei formati per lo scambio dei dati (rielaborazione personale dei dati provenienti da Eastman, M. C. et al., 2011)

I due principali schemi di modellazione dei dati sono:

- **IFC:** viene usato nella progettazione degli edifici, nel design, nel management.
- **CIS/2:** viene usato principalmente nel settore produttivo e nell'ingegneria strutturale.

I formati di scambio IFC e CIS/2 sono pubblicamente e internazionalmente riconosciuti come standard ed è probabile che diventeranno gli standard più usati per lo scambio dei dati e per

l'integrazione nelle attività industriali di costruzione degli edifici. Questi due modelli presentano differenti tipi di relazioni geometriche, processi, performance e altre proprietà necessarie alla progettazione e alla produzione.

Il formato IFC è un "open data exchange format" supportato da gran parte dei software BIM, è stato definito dallo standard ISO 16739:2013 come il formato dati per la condivisione all'interno dell'industria delle costruzioni e del facility management.

Mentre lo scambio dei dati geometrici e morfologici presenta procedure ormai ben collaudate (ricordiamo l'uso diffuso di formati DXF, IGES e SAT legati a sistemi di tipo CAD) lo stesso non si può dire della condivisione dei dati sulle relazioni tra gli oggetti e delle informazioni in essi contenute. Il building information exchange è caratterizzato dallo scambio di diverse tipologie geometriche, di relazioni, di attributi e di proprietà che si relazionano a diversi comportamenti.

Con l'evoluzione dei software e delle capacità di calcolo dei computer nella modellazione 2D e 3D si sono moltiplicate anche le tipologie di dati che possono essere rappresentati. La crescente ricchezza di dati e di informazioni riguardanti un edificio hanno spostato il focus delle questioni sullo scambio dati dall'accuratezza della conversione verso il filtraggio delle informazioni necessarie e la loro qualità.

Qui sotto uno schema sommario dei formati di scambio dati più comuni all'interno dell'AEC, sono inclusi i formati per immagini raster 2D, formati vettoriali 2D, superfici 3D e formati per la descrizione di solidi geometrici (Eastman, M. C. et al., 2011).

TIPO DI FORMATO	FORMATO	CARATTERISTICHE
Immagine (Raster)	JPG, GIF, TIFF, BMP, PNG, RAW, RLE	I formati raster variano in base alla compattezza, al numero di possibili colori dei pixel, alla trasparenza e alla compressione con o senza perdita di dati.
Vettori 2D	DXF, DWG, AI, CGM, EMF, IGS, WMF, DNG, PDF, ODF, SVG, SWF	I vettori variano per quello che riguarda la compattezza, il format delle linee, il colore, la suddivisione in layer e in tipi di curve. Alcuni sono basati su file altri usano XML.

Superfici 3D e Forme	3DS, WRL, STL, IGES, SAT, DXF, DWG, OBJ, DNG, U3D PDF, PTS, DWF	Variano a seconda del tipo di superficie e dei bordi che sono rappresentati, rappresentano sia superficiali che solidi, proprietà materiche (colore, immagine bitmap, texture map ...), o informazioni sulla vista. Possono includere illuminazione, camera e altri controlli sulla vista. Alcuni sono in formato di file e altri in XML.
Oggetti 3D	STP, EXP, CIS/2, IFC	I dati rappresentano la geometria a seconda del tipo 2D o 3D rappresentato, contengono inoltre dati riguardanti il tipo di oggetto e le proprietà principali così come le relazioni tra gli oggetti. Sono i formati più "ricchi" di contenuti e informazioni
	AecXML, Obix, AEX, bcXML, AGCxml	Schemi XML sviluppati per lo scambio di dati riguardanti gli edifici. Variano a seconda delle informazioni scambiate e del workflow supportato.
	V3D, X, U, GOF, FACT, COLLADA	Grande varietà di formati file di gioco che variano a seconda del tipo di superfici, che riportano una struttura gerarchica, tipi e proprietà dei materiali, texture e rilievi, animazioni e pelle.
	SHP, SHX, DBF, TIGER, JSON, GML	Informazioni di sistemi geografici che variano da quelle 2D a 3D, a seconda dei collegamenti supportati e dei formati file o XML.

Fig. [42] Tabella dei formati di scambio e loro caratteristiche (rielaborazione personale dei dati provenienti da Eastman, M. C. et al., 2011)

Per concludere l'excursus sui formati di scambio all'interno dell'industria delle costruzioni e nella progettazione è necessario parlare anche del formato COBie.

Il COBie (Construction-Operations Building information exchange) è un formato sviluppato da USACE[44], definito come sottoinsieme del formato IFC. Le informazioni sono contenute all'interno di fogli di calcolo di formato "neutrale". Permette di revisionare e validare le informazioni secondo conformità, continuità e completezza, al fine di evitare perdite di dati ed asimmetrie informative. Consente di recepire e archiviare i dati durante le diverse fasi del processo edilizio in base a cinque livelli di compilazione e momenti di restituzione delle informazioni definiti "Data Drops" (Bonanomi, M. et al., 2016).

[44] US Army Corp of Engineers

Il governo della Gran Bretagna ha scelto questo formato di scambio per il BIM di livello 2[45]. L'uso di questo formato nel sistema dell'industria delle costruzioni anglosassone è delineato dal decreto BS 1192-4:2014 (BSI 2014a).
Il formato IFC nasce per cercare di dare una risposta al problema dell'interoperabilità, ma rimane il problema delle modalità di trasmissione delle osservazioni sui problemi che vengono riscontrati. L'IFC connette dati alle geometrie della costruzione e pertanto non è adatto per la documentazione delle osservazioni sul flusso di lavoro e delle note di revisione.

9.3. Piattaforme di scambio dei dati: il Common Data Environment (CDE)

"A CDE provides the framework used to support interdisciplinary collaboration through BIM."[46]

La piattaforma web diventa uno strumento di coordinazione fondamentale all'interno del workflow BIM. La gestione di molteplici modelli si realizza usando il Common Data Environment come sistema di coordinamento.
La normativa inglese PAS 1192 (2013) e prima ancora la BS 1192-2 (1990) introduce il concetto di ambiente di condivisione dei dati del progetto.
Con la parte 9 della normativa UNI 11337 anche in Italia si introdurranno le caratteristiche che le piattaforme collaborative devono avere, con l'obiettivo di mettere in rete le conoscenze di progettisti e imprese e contribuire allo scambio multidisciplinare (Pavan, A. et al., 2017).
Lo scambio di questi dati cioè l'interoperabilità dei sistemi può avvenire a vari livelli come interazione tra tre tipi di gerarchie: **tools, platform e environment**[47].

1. **Tool ↔ platform:** è la forma di scambio più comune, avviene tra la piattaforma e gli strumenti (di analisi, di estrazione dati, di programmazione etc.) che la piattaforma può supportare. Si definiscono quali sono i dati necessari e si inseriscono nel formato

[45] Livello di maturità del BIM, argomento nei capitoli a seguire
[46] Historic England (2017)
[47] Le caratteristiche di ciascuna gerarchia sono state descritte precedentemente nel capitolo 3 di questo elaborato.

appropriato. É possibile che il tool apporti modifiche automatiche all'interno della piattaforma (e.g. clash detection e ricerca degli errori). Non sempre lo scambio tra le due parti è lineare e semplice, a volte l'estrazione dei dati richiede più conversioni di formato e un certo livello di competenza da parte dell'utente (e.g. computo dei costi, analisi strutturale e simili).

2. **Platform ↔ platform:** se prendiamo in considerazione piattaforme come Revit, Archicad e similari, utilizzate principalmente per la progettazione, e piattaforme come Tekla, usate per la produzione, ognuna di esse gestisce il dato secondo apposite regole e incorporando determinati tipi di dati. Se lo scambio tra piattaforme non supporta strumenti di aggiornamento automatico è necessario fare questa operazione manualmente per ogni modifica. Questo è un problema frequente nelle relazioni platform-platform, soprattutto nel caso di piattaforme non BIM, che influenza di conseguenza la coordinazione dei progetti.

3. **Tool ↔ tool:** gli scambi avvengono in maniera più semplice rispetto ai casi precedenti però sono più limitati a causa delle limitate possibilità di esportazione dei dati da parte degli strumenti di esportazione. Un esempio di scambio tool-tool è l'estrazione della stima dei costi a partire da dati quantitativi, altro esempio è l'uso di strumenti di visualizzazione geometrica che possono essere usati anche come interfaccia per strumenti di simulazione dell'illuminazione o per la clash detection.

All'interno del workflow BIM di progettazione e realizzazione i dati che vengono condivisi sono di varie tipologie:

- tipo documentale (disegni, documenti scritti, tabelle, specifiche tecniche etc.);
- tipo non grafico (database);
- modelli grafici espressi in formato IFC corrispondenti ai vari modelli BIM.

Il **CDE** si può considerare come un'evoluzione dei tradizionali metodi di documentazione del progetto con alcune implementazioni rispetto ad essi (Caputi, M. et al., 2015):

- Nuove strutture logiche e funzionali.
- Dati "strutturati" ovvero misurabili e interoperabili per più strumenti informatici.

- Standardizzazione dei processi di documentazione, controllo dell'approvvigionamento e controllo della programmazione temporale.
- Interfaccia 3D di supporto per la selezione dei dati in supporto ai classici tabellari e ai fogli di calcolo.
- Backup della documentazione riguardante le revisioni del progetto, consultabile in qualsiasi momento (utile nel caso di contenziosi legali per esempio).

Con il CDE si stabiliscono protocolli che devono essere rispettati da tutti i membri del team di progetto, per questo può essere considerato un sistema di gestione informatica dei documenti (EDMS[48]). Il CDE gestisce gli accessi ai dati in apposite aree di sharing e publishing. Per garantire il rispetto dei protocolli concordati nelle prime fasi della progettazione (pre-design) e per garantire la proprietà dell'informazione (che spetta al "creatore" della stessa), viene istituita la figura del "manager del CDE".

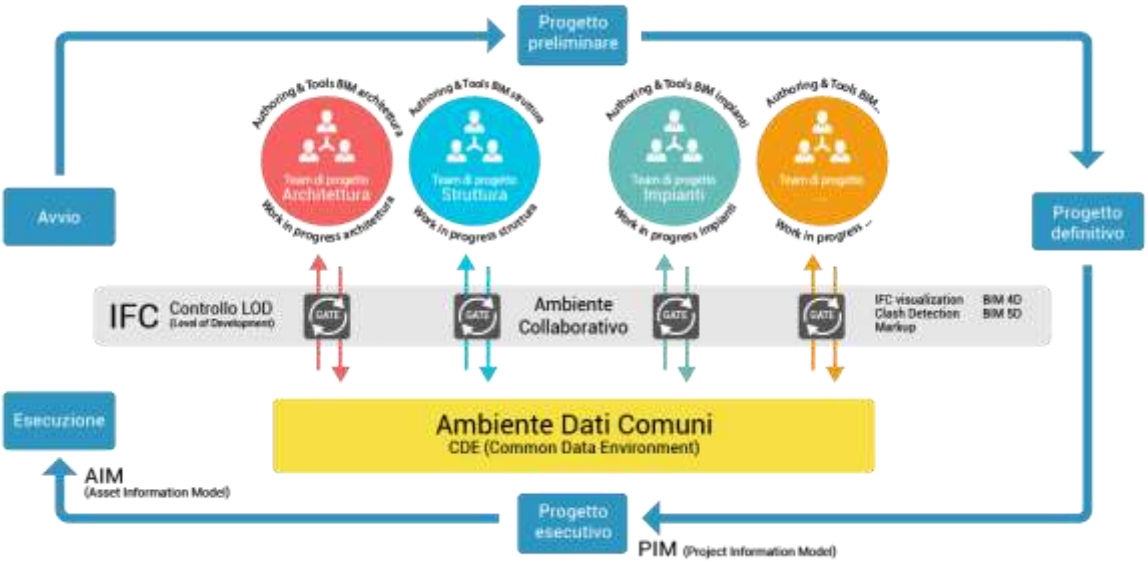


Fig. [43] Infografica sui processi del CDE (fonte: https://www.acca.it/bim-collaboration-platform)

[48]Engineering Data Management Systems, vd. Glossario.

9.4. Livelli di maturità del BIM

Il concetto di CDE si ricollega a quello di "maturità" del BIM. Possono essere definiti quattro livelli di maturità del modello basati sul livello di integrazione delle informazioni e sulla loro connessione, coordinamento e condivisione. Il concetto di "livello di maturità" è stato introdotto nel 2013 dal British Standards Institution (BSI) con l'obiettivo di definire una scala del livello di integrazione del BIM nei processi edilizi. Si tratta di una classificazione in quattro diversi livelli (dal Livello 0 al Livello 3) che mirano a definire pietre miliari riconoscibili nel processo di adozione del BIM. Questi livelli passano dalla progettazione CAD 2D al lavoro collaborativo "completo" e corrispondono a diversi miglioramenti da un punto di vista tecnico e collaborativo.

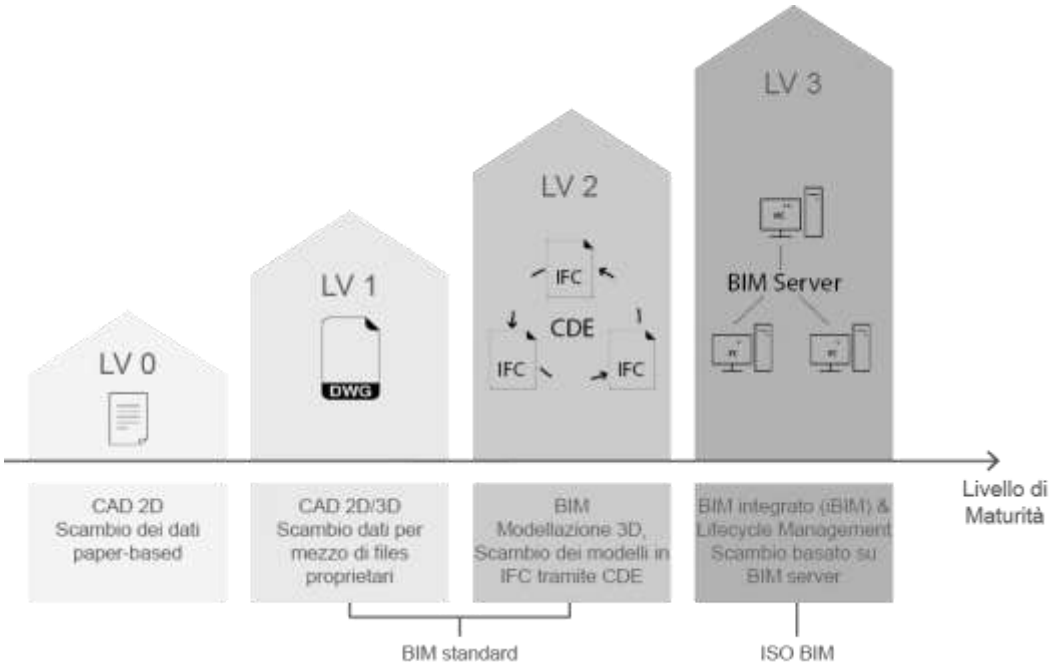


Fig. [44] Livelli di maturità del BIM

- **Livello 0:** i disegni sono di tipo tradizionale, CAD 2D e cartacei, i dati sono scambiati tramite copie cartacee e digitali. In questo livello non esistono forme di adozione del BIM

- **Livello 1:** vengono usati formati CAD 2D e 3D insieme per cercare di migliorare le rappresentazioni ma non vi è integrazione di dati commerciali e oggetti semantici all'interno dei modelli. Le informazioni vengono scambiate e create in modo autonomo rispetto al modello pur cercando di creare un ambiente collaborativo.

- **Livello 2:** i modelli usati sono di tipo BIM 3D e vengono usati anche per operazioni 4D e 5D. Si diversificano in base alla disciplina, ogni settore produce il proprio modello di lavoro. I modelli vengono condivisi con un approccio standardizzato all'interno di un CDE, includendo dati di tipo economico e commerciale. Questo livello è richiesto per tutte le opere edili e infrastrutturali pubbliche in Gran Bretagna già dal 2016.

- **Livello 3:** i modelli BIM sono usati oltre che per tutte le altre dimensioni 4D e 5D (livello 2) anche per tutte le dimensioni superiori (6D, 7D, 8D). Si può gestire la programmazione dei lavori e tutte le attività relative al ciclo di vita del bene. Il processo è completamente aperto e completamente interoperabile. La condivisione dei dati si basa su formati open tipo IFC resi disponibile tramite un "hub" online (BIM Model Server[49]). La piattaforma centrale permette al committente e agli altri utenti di riunire e gestire i dati di ogni CDE[50].

[49]Soluzione software (installata su un server locale o in cloud) che permette di collocare e gestire in modo centralizzato Modelli Multidisciplinari. I Server per Modelli sono una tipologia di Ambienti di Modellazione Federata e solitamente sono legati all'uso di formati non proprietari come l'Industry Foundation Classes (IFC) (B.Succar, S.Dodsworth, "Model Server", BIMDictionary sviluppato da ChangeAgents AEC p/l (CA), https://bimdictionary.com/).

[50]Approfondimenti e plug-in su http://bimserver.org/; https://www.nationalbimlibrary.com/en/

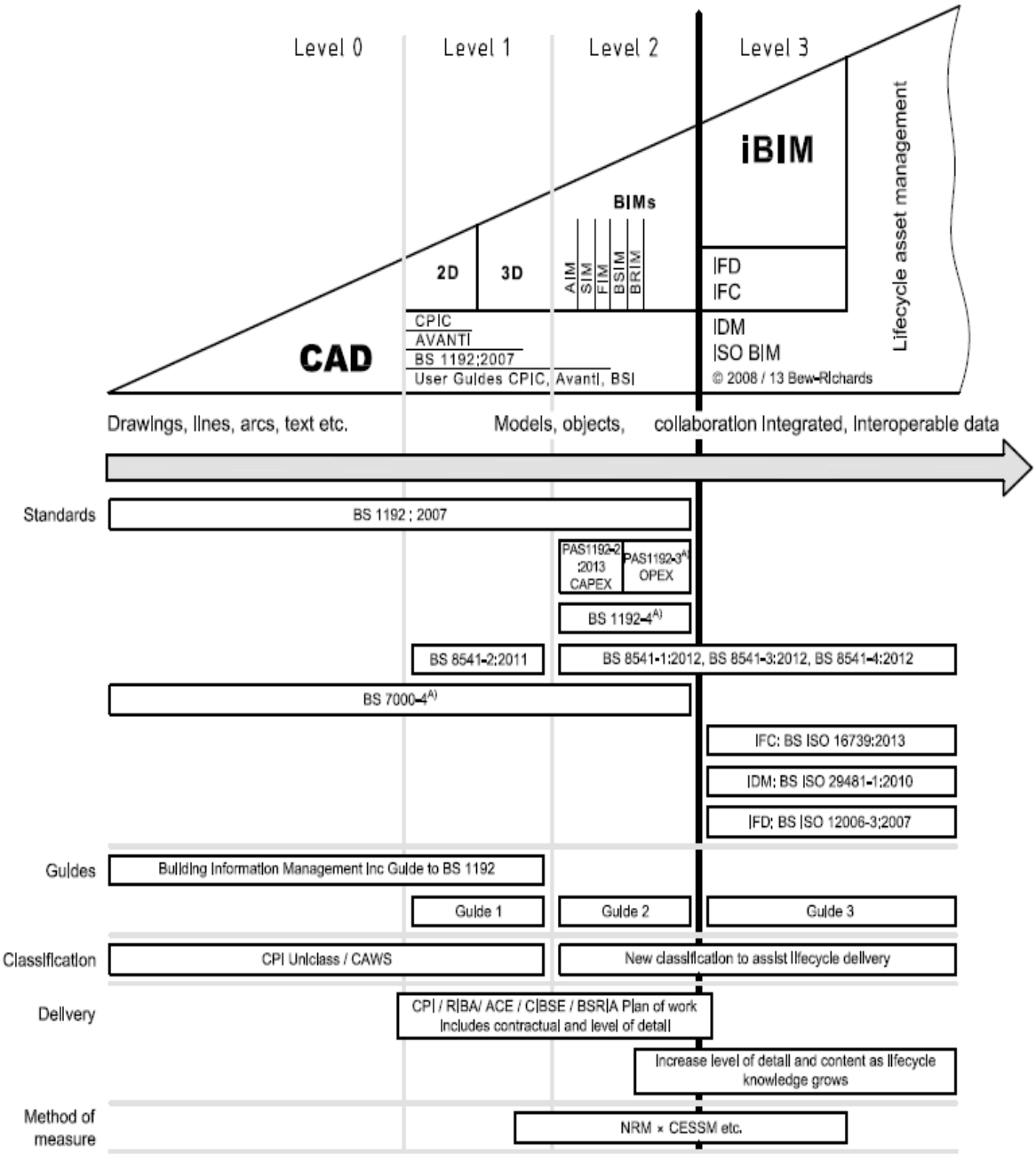


Fig. [45] Bew-Richards "BIM Wedge" Maturity Model (fonte:B/555 Roadmap, June 2013 Update. Design, Construction & Operational Data & Process Management for the Built Environment)

9.5. La nascita di nuove professionalità: BIM Manager, BIM Specialist e BIM Coordinator

I cambiamenti portano a volte un senso di instabilità, nel caso dell'implementazione del BIM spesso si nota un atteggiamento incerto e dubbioso e atteggiamenti di ritrosia che allontana dall'approfondimento di queste metodiche. In altri casi la ricerca di risposte alle questioni di validità, efficacia e convenienza del cambiamento è ancora in corso.

L'evoluzione delle tecniche e dei flussi di lavoro, introdotte dal BIM, coinvolge soprattutto la gestione del progetto e i rapporti tra i suoi protagonisti. I ruoli tradizionali coinvolti in queste attività vengono ridefiniti e nuove figure professionali vengono istituite.

Le nuove figure professionali si inseriscono in questo contesto come "completamento" di quelle già esistenti, i compiti che svolgono all'interno del workflow è fondamentale per la coesione dell'intero sistema.

Il BIM Manager

I suoi compiti si riconducono proprio al management sia del modello BIM che dello staff.

Si occupa della gestione delle attività, del workflow e di tutte le procedure che vengono applicate in relazione alle esigenze del cliente e alle caratteristiche del progetto. Il BIM Manager è garante della collaborazione tra le parti, prende in considerazione le esigenze del team e valuta le capacità e l'esperienza dei singoli collaboratori. Ha quindi un ruolo chiave e di supervisione generale.

In quanto "guida" per lo svolgimento delle varie attività si può trovare in ogni settore e disciplina internamente al team o come consulente esterno. Per chiarire, possiamo pensare per esempio a un BIM manager dei progetti strutturali, a uno dei progettisti impiantistici, un BIM manager dell'impresa, etc.

In sintesi, ecco alcuni dei suoi compiti principali:

- coordinare e organizzare i ruoli e le fasi di attività previste;
- ottimizzare i processi e individuare le interferenze;
- verificare il rispetto delle tempistiche;
- verificare che le condizioni stabilite nel BEP (BIM Execution Plan) siano rispettate.

Il BIM Specialist

Questa figura si occupa della gestione del modello 3D, dalla creazione allo sviluppo di tutta la documentazione 2D, compresi i dati di computo. Chi riveste questo ruolo ha competenza ed esperienza nell'uso dei software legati al BIM e sa svolgere anche analisi tecniche, supporta le attività del BIM Manager.

Il BIM Coordinator

É un ruolo molto importante che deve essere presente all'interno del team di progetto. Il suo compito è quello di fare da "coordinator" a tutti i BIM Specialist coinvolti oltre a molti altri compiti:

- Nelle fasi iniziali specifica gli obiettivi del progetto BIM e verifica la disponibilità di dati per il lavoro.
- Garantisce l'applicazione degli standard e dei processi.
- Sviluppa e aggiorna i contenuti BIM (librerie e standard).
- Assicura la coerenza delle coordinate e delle quote.
- Esegue test di compatibilità per verificare l'assenza di conflitti.
- Determina i tipi di modelli necessari e i responsabili della loro creazione.
- Si assicura che i modelli BIM richiesti siano stati realizzati.

10. Software e Plug-in

Non esiste un tipo di applicazione, un software o un plugin adatto per realizzare a qualsiasi tipo di progetto e per qualsiasi disciplina. La scelta del software da utilizzare, tra i molti esistenti, influenza le pratiche di produzione, l'interoperabilità e la capacità funzionale dei progettisti di eseguire determinate operazioni di progettazione, gestione e analisi.

Le versioni dei software e le estensioni sono in continuo aggiornamento, di anno in anno vengono introdotti sul mercato nuovi prodotti in risposta alle diverse necessità. Per scegliere il software da utilizzare è necessaria un'attenta valutazione delle esigenze, delle possibilità operative, dei costi. È importante tenersi sempre aggiornati attraverso articoli scientifici e riviste specializzate per ottimizzare il proprio workflow.

Le piattaforme possono essere valutate secondo queste caratteristiche generiche e basilari:

- **Scalabilità:** è la capacità di gestire le operazioni a più scale di progetto e a differenti livelli di dettaglio della modellazione. Il sistema deve essere reattivo e sensibile a un gran numero di oggetti parametrici 3D all'interno del progetto.
- **Strumenti di interfaccia:** essendo una piattaforma di tipo BIM deve essere in grado di presentare e gestire un gran numero di informazioni: geometriche, proprietà degli oggetti e dei materiali, relazioni che li legano e così via. Le informazioni devono poter essere trasmesse ad altri software.
- **Librerie di oggetti BIM:** ogni piattaforma ha diversi tipi di librerie predefinite che contengono oggetti disponibili per l'importazione. Più oggetti sono predefiniti meno si presenta la necessità di dover realizzare da zero i propri oggetti.
- **Coerenza delle interfacce utenti:** le interfacce presentano un'organizzazione legata a diversi tipi di scenari per i quali vengono usate. La coerenza tra gli strumenti è molto importante ma è ancora una sfida a causa del gran numero di funzionalità che vengono supportate dai software.
- **Estendibilità:** questa capacità è direttamente collegata alla possibilità della piattaforma BIM di dare un supporto per lo scripting (linguaggi interattivi che aggiungono funzionalità o automatizzano delle operazioni).

- **Interoperabilità:** i dati del modello generati vengono condivisi con altre applicazioni per fare studi di fattibilità del progetto, per collaborazioni con vari tipi di consulenti e professionisti. Più in generale dipende dalle capacità di importazione e esportazione dei dati in formati open di scambio.
- **Contesto multiutente:** alcuni sistemi supportano la collaborazione tra diversi team di progettisti. La piattaforma può permettere a più utenti di creare e modificare parti del medesimo progetto direttamente da un singolo file così come gestire gli accessi degli utenti a diversi tipi di informazioni.
- **Gestione delle proprietà:** le proprietà degli oggetti devono essere gestite e modificate in modo facile per poter corrispondere all'oggetto reale preso in considerazione.

Un altro importante fattore da non sottovalutare riguarda le specifiche hardware delle workstation a disposizione. Le prestazioni dei software sono influenzate in maniera consistente dalla capacità e velocità di elaborazione dei computer, di conseguenza lo è la fluidità del flusso di lavoro.
Generalmente i software BIM lavorano su computer dalle alte specifiche tecniche, soprattutto per quanto riguarda la memoria RAM e la velocità di processamento. Possono essere utilizzati anche computer dalle prestazioni minori in funzione del software che si deve usare, ogni software infatti presenta dei requisiti minimi per un workflow fluido riportati dalla casa produttrice. Anche la dimensione dei file e la quantità di dati da elaborare influenzano le prestazioni del programma e le tempistiche di elaborazione del computer.

10.1. Gli oggetti parametrici

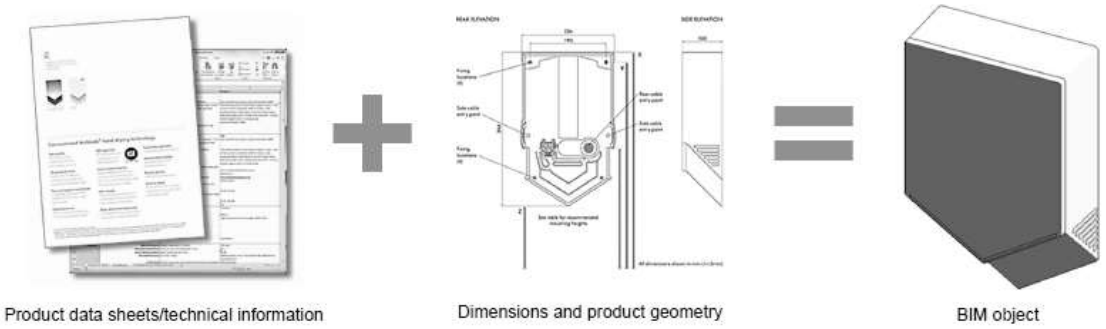


Fig. [46] Definizione dell'oggetto BIM come insieme di parametri e regole che determinano il comportamento (fonte: National Building Specification (NBS) Library)

"BIM can be described as the assembling of parametric objects within a virtual environment, these objects which represent building components are then used to create or form an entire building. The parametric building objects are not defined singularly but as systems using interaction with other objects and their own values (shape, texture, etc.) within a BIM."[51]

La modellazione parametrica differisce dalla modellazione standard 3D CAD per il fatto che gli oggetti sono associati a parametri e variabili che possono istantaneamente cambiare la loro morfologia oppure che interessano le loro proprietà. I parametri e le regole legate all'oggetto possono essere complessi e di vario tipo.

La comprensione della differenza tra un oggetto BIM e un oggetto 3D tradizionale è fondamentale. È innanzitutto necessario tenere a mente alcuni punti importanti riguardanti le caratteristiche di un oggetto parametrico:

- Sono oggetti costituiti da parametri geometrici associati a dati e regole.
- I dati sono integrati in modo non ridondante e coerente.
- Le regole parametriche degli oggetti modificano automaticamente le geometrie a cui sono associati.
- Si possono definire diversi livelli di aggregazione degli oggetti (per esempio definire un muro con i suoi relativi componenti).
- Gli oggetti possono essere definiti e gestiti a diversi livelli gerarchici.

[51]Murphy, M. et al. (2013)

- È possibile esportare, diffondere e ricevere set di attributi a cui gli oggetti sono associati (materiali strutturali, i dati acustici, i dati energetici e così via).
- I dati sono condivisibili con altre applicazioni e modelli.

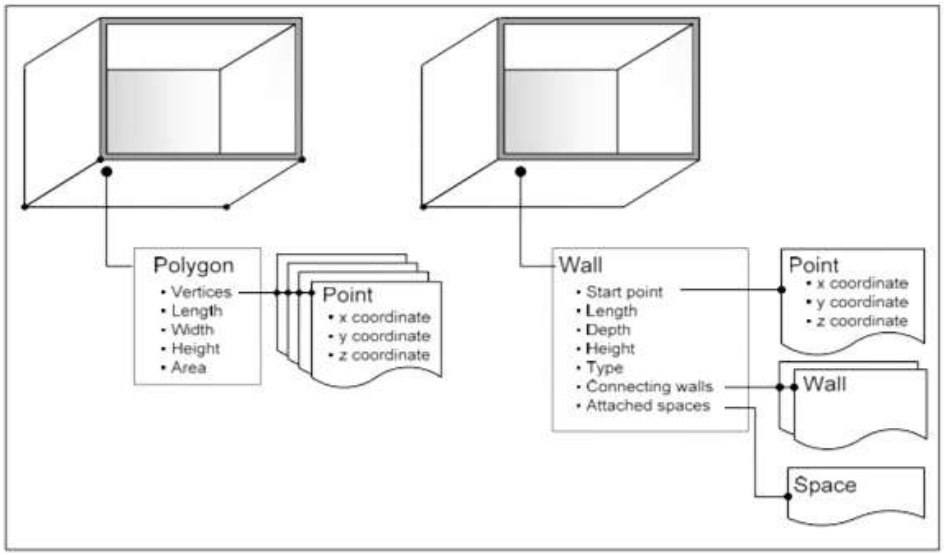


Fig. [47] Geometrie CAD vs Elementi BIM (fonte: Sabol, L., 2008)

Un certo tipo di tecnologia che permette la creazione di oggetti BIM (ovvero oggetti parametrici) può essere considerata, presupponendo che l'interoperabilità dei formati di scambio sia certificata[52], una tecnologia BIM.

Il BIM può essere pensato come un assemblamento di oggetti parametrici "intelligenti", i cui parametri base sono forma e volume, e che rappresentano componenti dell'edificio all'interno di un ambiente virtuale. I parametri basilari sono legati a coordinate e orientamento del modello nello spazio.

Gli elementi del modello possono essere ripetuti identici dal punto di vista morfologico ma presentare al loro interno delle variazioni legate alle istanze che ne gestiscono il comportamento e la posizione.

I parametri e gli attributi di vario tipo aggiunti al modello dell'oggetto lo arricchiscono in modo strutturato, definendone l'uso, la tipologia, le relazioni, i metadati di creazione, il livello di dettaglio e altro ancora.

[52]La certificazione dell'interoperabilità viene garantita da appositi enti, come per esempio BuildingSMART, che verificano l'efficacia di condivisione tramite formati IFC

Le librerie

I software BIM contengono librerie di oggetti parametrici predefiniti che sono utili per la creazione dei principali elementi dell'edificio e possono essere utilizzati molteplici volte variandone i parametri.

Per quanto riguarda l'architettura storica la costruzione di librerie di oggetti parametrici interattivi spesso viene creata a partire dall'uso di sistemi di mappatura spaziale come le scansioni laser scanner e ricostruzioni fotogrammetriche.

10.2. I software

Nel mercato della produzione di software BIM si trovano una gran quantità di prodotti. Alcuni software vengono detti di *authoring*[53] e sono pensati per la realizzazione di modelli in molteplici settori (progettazione architettonica, strutturale, infrastrutturale, impiantistica, etc.), altri sono costituiti da strumenti di supporto a determinati tipi di processi (pianificazione delle attività, contabilità, gestione, tracciabilità, project management, coordinazione...) infine troviamo strumenti di revisione per il controllo interdisciplinare che si riconducono a procedimenti di clash detection e verifica dei risultati.

Non vi è una separazione netta tra queste categorie, in quanto spesso lo stesso software mette a disposizione più strumenti rispondenti a diverse necessità. La scelta del software è determinata dal tipo di professione, dalle esigenze di progetto, dalla tipologia di dati da trattare, dalle opzioni di licenza, dalle capacità del software e dai requisiti di interoperabilità.

Il problema dell'interoperabilità tra le applicazioni coinvolte nel processo deve essere testato e risolto prima dell'inizio del progetto per ottenere un workflow BIM efficiente.

Le versioni dei software che vengono adottate sono anch'esse importanti, possono infatti esserci problemi di compatibilità tra le release[54].

---

[53]Gli applicativi d'autore (authoring systems) sono quei software verticali (software applicativi che rispondono alle specifiche esigenze di un singolo mercato o di un mercato strettamente definito) che consentono la realizzazione di una comunicazione multimediale, articolata e riproducibile su personal computer. (fonte: Wikipedia, l'Enciclopedia Libera)

[54]La release del software (letteralmente in inglese "uscita") è indicata da un numero, spesso progressivo, che permette di distinguere quelle precedenti da quelle successive e future. Si parla di major release, quando sono state fatte sostanziali evoluzioni delle funzionalità del software rispetto alla versione precedente, e minor release,

In linea generale è possibile valutare le capacità del software in base a (Eastman, M. C. et al., 2011):

- Interfaccia utente.
- Strumenti di disegno.
- Facilità di sviluppo di oggetti parametrici.
- Modellazione di superfici curve complesse.
- Velocità di processamento.
- Capacità grafiche di renderizzazione.
- Altre capacità strumentali come clash detection, estrazione delle quantità, gestione delle problematiche, inclusione di specifiche relative a prodotti e processi produttivi etc.

Principali software presenti sul mercato ad oggi

AUTODESK REVIT

Autodesk Revit® è il software più conosciuto a livello mondiale ed è sviluppato in diverse tipologie a seconda che si parli della progettazione strutturale, architettonica e impiantistica. Il software è di produzione Autodesk ed è stato introdotto sul mercato nel 2002. L'ultima release sul mercato è la 2019 che è stata migliorata rispetto alla precedente con l'obiettivo di fornire strumenti per una modellazione coerente, coordinata e completa per architetti, ingegneri strutturisti ed energetici, costruttori etc. Si tratta di una piattaforma completamente separata da AutoCAD® con un differente codice base e una strutturazione dei file diversa.
Il software è disponibile sia per la versione Windows sia per Macintosh attraverso l'uso del plugin Windows BootCamp®. Per quanto riguarda l'interoperabilità tramite l'importazione e l'esportazione IFC, Revit supporta l'ultimo standard IFC4.

quando le differenze riguardano correzioni di malfunzionamenti del software detti bug. Problemi di compatibilità e lettura dei formati per esempio sono riscontrati tra differenti major release. (fonte: Wikipedia, l'Enciclopedia Libera)

Dynamo
Computational Design for BIM

Autodesk Dynamo® è un'interfaccia di programmazione grafica che consente di personalizzare il flusso di lavoro relativo alle informazioni edilizie. Piattaforma di programmazione visiva open source per progettisti, una volta installato è avviabile dall'interno della piattaforma Revit, nasce infatti per interfacciarsi con questo applicativo, consentendo di progettare geometrie parametriche BIM altamente flessibili con parametri sono sempre modificabili all'interno della catena di nodi in cui i dati sono strutturati[55].

GRAPHISOFT
ARCHICAD

La casa produttrice è Graphisoft, primo marchio che ha prodotto software BIM, conosciuta anche per altri applicativi di modellazione 3D (e.g. Rhinoceros®). Il software è supportato sia da Os Mac che Windows e l'ultima release porta il nome di ARCHICAD 22®. Una ulteriore novità introdotta nell'ultima release è l'aggiornamento del motore CineRender® di Maxon (R19), che fornisce rendering stereoscopici o sferici a 360°.

ALLPLAN
A NEMETSCHEK COMPANY

Allplan 2018 è l'ultima versione del prodotto di casa statunitense Nemetschek per il BIM. Esistono diverse versioni del software: Allplan Architecture®, Allplan Engineering® e Allplan BIMPlus® piattaforma Open BIM (basata su cloud) per la collaborazione interdisciplinare. La prima novità introdotta nella versione 2018 è una nuova "Actionbar" che permette di avere sempre a portata di mouse gli strumenti più adatti per ogni attività.

VECTORWORKS
A NEMETSCHEK COMPANY

Viene inizialmente introdotto nel 1985 con il nome di MiniCad da Diehl Graphsoft per piattaforme Mac Os. A partire dal 1999 viene cambiato il nome in Vectorworks® e l'azienda viene inglobata dal gruppo Nemetschek (Vectorworks Inc.).

[55]Negri, R., autore su "Bim Portale online" (fonte: https://www.bimportale.com/autodesk-dynamo/)

Fornisce diversi tipi di software a seconda del settore di produzione, attualmente Vectorworks Fundamentals® (Basic nell'edizione italiana), Vectorworks Architect®, Vectorworks Landmark®, Vectorworks Machine Design® (non più commercializzato dalla versione 2011), Vectorworks Spotlight®, Vectorworks Designer®.

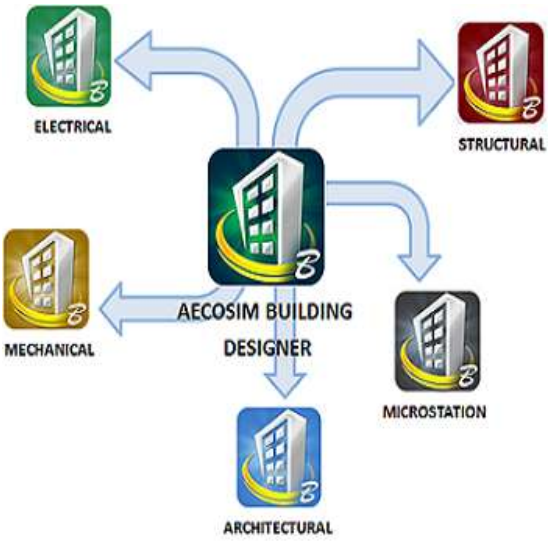
Questi applicativi sono versatili, disponibili sia per Os Windows che Mac. Interoperabile con Archicad®, SketchUp® e Artlantis Studio®, supporta file di tipo DXF/DWG, IFC, SketchUp, 3DS, Revit, OBJ, Shapefile/SHP, JPG, TIF, EPS, GIF, e BMP. Offre inoltre la possibilità di inviare modelli alle stampanti 3D ed alle macchine a prototipazione rapida. Si può condividere il modello 3D direttamente sul web tramite un comune browser ed è possibile avere una visione 3D stereoscopica, con un dispositivo come i Google Cardboard ed uno smartphone si visualizzare il modello in modalità Virtual Reality.

Trimble Tekla®

Questo software nasce come evoluzione di Xsteel, prodotto da un'azienda finlandese fondata nel 1966, la Tekla Corp. per la progettazione di dettagli in acciaio e strutture in calcestruzzo. La piattaforma è attualmente di proprietà di Trimble Navigation, azienda nata nel 1978 che fornisce prodotti nei settori land survey, costruzioni, agricoltura, trasporti, delle telecomunicazioni, mapping, utilities, mobile resource management. Garantisce un workflow integrato per Revit. La novità sicuramente più importante nell'edizione 2018 è la possibilità di collegare le nuvole di punti ai modelli BIM di Tekla Structures®.

Bentley® MicroStation

Bentley Systems offre una grande quantità di prodotti per l'architettura, l'ingegneria, le infrastrutture e la costruzione. MicroStation® di Bentley Systems è una piattaforma per integrare le fasi di lavoro in progetti legati a costruzioni, ingegneria civile, impianti e GIS. Disponibile solo per Windows, MicroStation® genera oggetti 2D/3D di grafica vettoriale e rappresenta un fiore all'occhiello per Bentley Systems.



AECOsim Building Designer di Bentley Systems è una piattaforma unica per la progettazione interdisciplinare, in quanto contiene in un'unica applicazione integrata tutti gli strumenti che servono per realizzare i documenti necessari per la progettazione architettonica, strutturale, impiantistica termomeccanica ed elettrica e per la costruzione e gestione di strutture/edifici[56].

Fig. [48] AECOsim Building Designer di Bentley Systems57.

Edificius® è prodotto da di Acca casa produttrice italiana. Il software è per la progettazione architettonica 3D, integra real time rendering che permette rendering fotorealistici di immediata realizzazione. Edificius® fornisce all'utente tutti gli elementi necessari per lavorare in conformità con il nuovo contesto normativo definito dalla European Union Public Procurement Directive (EUPPD), la direttiva europea che introduce il software BIM negli appalti pubblici, e il nuovo Codice degli Appalti (D. Lgs.50/2016). Si integra in maniera dinamica con Sketchup®, per consentire la massima libertà di espressione nella creazione di modelli solidi 3D di qualsiasi tipo e forma. Il modello BIM di Edificius® può essere importato da SuoNus®[58], il software Acca per la progettazione, la verifica e la classificazione dell'isolamento acustico degli edifici.

Questo software è usato come strumento "model checker" ovvero per il test della qualità del modello. È molto conosciuto negli stati in cui si è maggiormente diffuso il BIM come metodo

[56]Negri, R. autore su "Bim Portale online" (fonte: https://www.bimportale.com/aecosim-building-designer/)

[57]Fonte: https://aia.edu.sg/training/bentley/aecosim-training

[58]Fonte: https://www.acca.it/software-requisiti-acustici-passivi-edifici

di cooperazione, permette infatti di evidenziare gli errori e i problemi controllando tutte le componenti. In questo modo mette in luce le incongruenze, i punti deboli e i contrasti tra gli elementi. Importa senza problemi modelli direttamente da ArchiCAD, supporta i file in formato IFC, IFC compresso e DWG. Il dialogo con SMC Information Takeoff conferisce a ciascun membro del gruppo di lavoro la facoltà di intervenire per modificare i parametri segnalati come incongrui dalla verifica del programma.

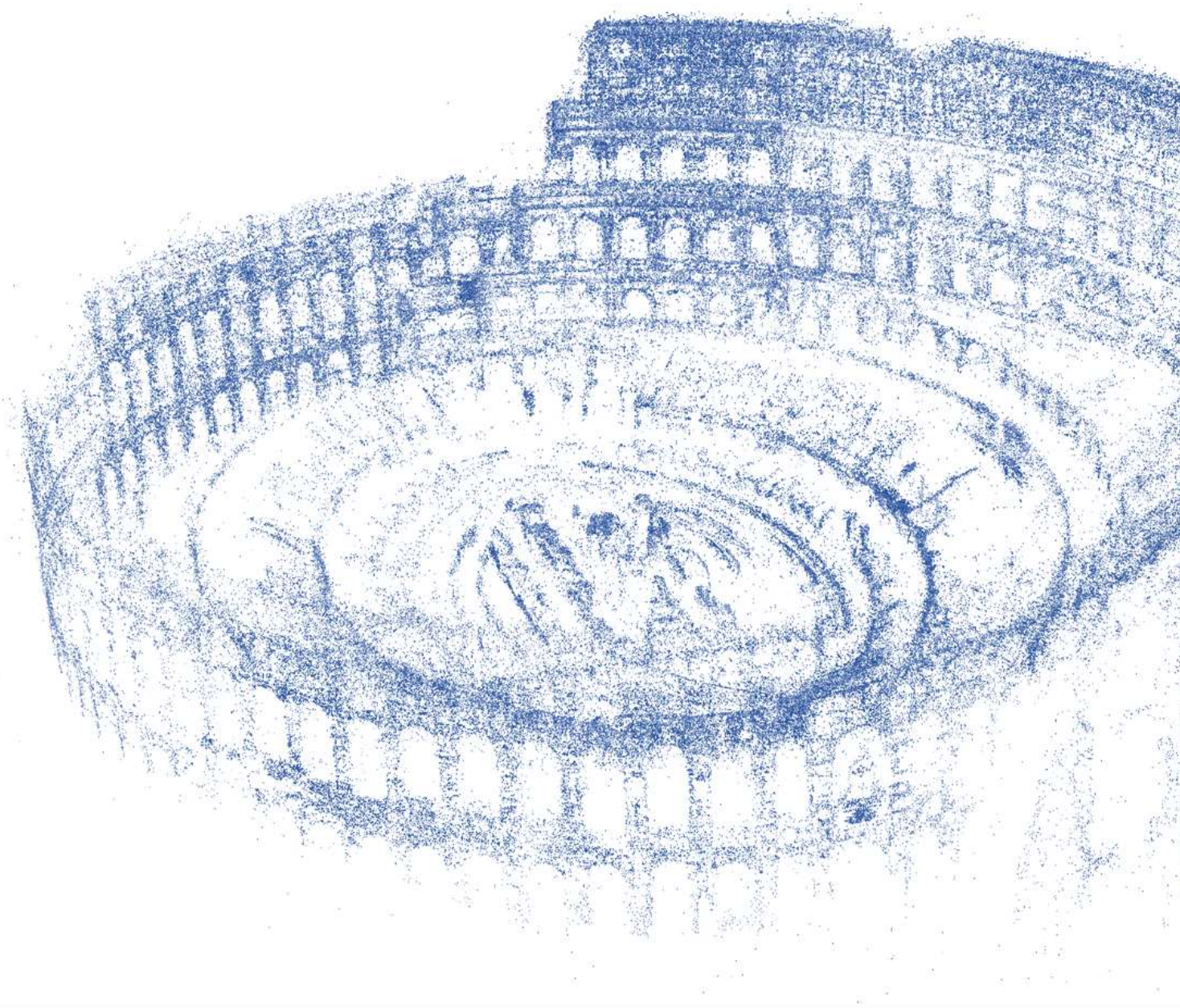
Synchro PRO® è utilizzato per la programmazione 4D e la simulazione virtuale. Prodotto da STR (marchio leader da più di trent'anni nel campo dei software gestionali per l'edilizia) per TeamSystem (che lo ha acquisito nel 2004). Questa applicazione è dedicata alla gestione BIM 4D, il project management.

Si utilizza sia su disegni 2D sia a modelli 3D con dati BIM integrati.

Plug-in a complemento della suite Synchro CS® sono Synchro Workgroup Project® (per la gestione del progetto in team di lavoro online); Synchro Scheduler® (software di pianificazione lavori Gantt 2D con funzionalità di Collaborative Project Management), Synchro Site® (app per device vari per la consultazione in remoto del progetto), Synchro Open Viewer® (visualizzatore di qualsiasi file creato con Synchro Pro®).

STR Vision CPM® è un software di produzione Team System per la gestione del listino prezzi, preventivazione, comparazione delle offerte, programmazione su Gantt, controllo sicurezza e contabilità nelle attività di cantiere (BIM 5D).

PARTE II – HBIM



1. Il BIM per l'esistente

In questa del lavoro di tesi viene analizzato con attenzione il tema del rapporto delle tecnologie BIM con i processi che riguardano fabbricati esistenti, il tessuto urbano storico, opere di valore storico-artistico.

A partire dai dati raccolti e dalle ricerche in corso si è ritenuto opportuno infatti fare una distinzione tra l'utilizzo del processo BIM per le nuove realizzazioni e ciò che invece accade per i gli edifici già presenti, per i siti di importanza artistica e culturale, per la ricerca sulla manutenzione, il mantenimento, il restauro, l'archiviazione e la gestione dei beni.

Il rapporto tra BIM e l'eterogeneo e complesso ambito dei beni appartenenti al patrimonio storico è al centro delle ricerche degli ultimi anni. A seguito del consolidato processo per la realizzazione di nuove costruzioni si è reso necessario disporre di un processo altrettanto valido per le costruzioni già esistenti sul territorio.

Le considerazioni che vengono riportate in questo elaborato cercano di ripercorrere alcune delle ricerche più importanti fatte in questi anni sul territorio nazionale e all'estero. Molte sono le questioni aperte e specifiche di questo ambito, molte le potenzialità fornite da questa tecnologia ma anche molte le problematiche e le questioni non ancora risolte del tutto.

Gli strumenti tecnologici del BIM sono stati sviluppati con l'obiettivo di progettare e assemblare le componenti edilizie secondo un'ottica di serialità e ripetizione degli interventi proveniente dal settore industriale.

Come ci si rapporta allora con l'eterogeneità e l'unicità dei "componenti" di un edificio storico?

Come vengono trattati e gestiti i criteri di autenticità?

Come si possono impiegare questi strumenti "industriali" per la tutela del patrimonio e per la ricerca storica, artistica e archeologica?

Come si possono creare e gestire database sui beni dalle caratteristiche uniche?

Esistono metodi per riproporre i valori intangibili?

1.1. L'evoluzione della ricerca del BIM sull'esistente nella letteratura

La distinzione tra BIM e HBIM è oggetto di molti studi ma non c'è una definizione universalmente valida per tutte le situazioni, le argomentazioni proposte nei vari studi sono ancora controverse e il campo di ricerca è relativamente nuovo e poco popolare, in termini di adozione, in molti paesi del mondo rispetto a quello del BIM per gli interventi di nuova costruzione.

Si può affermare che in generale l'acronimo H.B.I.M. fa riferimento a due significati:

- **Heritage** Building Information Modelling/Model
- **Historic** Building Information Modelling/Model

I significati di Heritage-BIM e Historic-BIM vengono a volte intesi in modo intercambiabile, riconducendoli al medesimo significato, altre volte si adotta esclusivamente un generico Historic-BIM che si riferisce all' "esistente" in senso lato, senza distinzioni di categoria, qualità e valore. Altre volte ancora viene fatta una distinzione "qualitativa" sui tipi di edifici esistenti ovvero con il termine Heritage si fa riferimento a quei beni architettonici caratterizzati da un "layer" aggiuntivo rispetto al semplice concetto di edificio già esistente. Questo layer contiene tutte le informazioni disponibili di importanza artistico-culturale, informazioni storiche, informazioni di conservazione e così via.

Come si può ben capire le informazioni di questo tipo hanno caratteristiche ben diverse dal quelle che normalmente si inseriscono all'interno di un consueto modello BIM per le nuove realizzazioni. Si possono distinguere due fondamentali tipi di informazione collegate ai componenti dell'edificio storico:

- Informazioni su ciò che *"è lì"*: elementi attualmente esistenti
- Informazioni su ciò che *"non è più lì"*: elementi che appartenevano all'edificio in passato e che al momento dell'analisi non sono più presenti perché sono stati tolti, oppure il bene è stato colpito da forme di degrado causate dal trascorrere del tempo, dall'incuria, da eventi del passato (incendi, eventi metereologici etc.)
- Informazioni su ciò che è intangibile: l'essenza di un sito, di un ambiente, di un'opera, il suo significato, il suo valore.

La documentazione sugli edifici presente negli archivi è generalmente molto varia: documenti cartacei, documenti digitalizzati con formati file molto vari, database territoriali e così via. Tutta questa documentazione è utile ai fini della corretta conservazione, del restauro consapevole, del monitoraggio, della gestione e del mantenimento.

La corretta rappresentazione di un artefatto storico richiede una grande quantità di informazioni, assunte in modo progressivo durante le varie fasi di investigazione e memorizzate in data repository dedicati (Simeone, D. et al., 2014).

Spesso in letteratura si incontrano altri tipi di acronimi per il BIM legato all'esistente, questi cambiano in funzione del campo di applicazione. A volte non coinvolgono solo gli edifici esistenti ma anche altri tipi di strutture, siti e realtà:

- **BHIMM:** Built Heritage Information Modelling/Management (Della Torre, S., 2016)[59]
- **EBIM:** Existing Building Information Modelling (Edwards, J., 2017)
- **B(H)IM:** Built (Heritage) Information Modelling (Simeone, D. et al., 2014)
- **BrIM:** Bridge Information Modeling. Specifico ambito che riguarda lo studio delle strutture a ponte, anche quelle esistenti (Costin, A. et al., 2018)
- **GBIM:** Green Building Information Modelling (Edwards, J., 2017). La ricerca si concentra sugli elementi "green" negli edifici, ovvero sull'architettura ecologica e sostenibile.
- … altri acronimi nati in relazione a determinate attività e progetti specifici

La ricerca è in corso e partorisce sempre nuovi collegamenti tra discipline e campi di indagine, le commistioni generano vocaboli nuovi, usati anche per indicare casi che sono unici nel loro genere.

[59] "*Il progetto BHIMM (Built Heritage Information Modelling/Management, ovvero Modellazione e Gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente), che ha coinvolto sei Unità di Ricerca, è stato finanziato dal MIUR come Progetto di ricerca di interesse nazionale sul bando 2010-2011. In partenza la bibliografia disponibile sull'applicazione di modelli informativi digitali a edifici storici era decisamente esigua. Ora, solo cinque anni dopo, gli sviluppi della ricerca sul tema sono a dir poco sorprendenti.*" (Della Torre, S., 2016)

Nel 2003 l'UNESCO propone la "Charter for the Preservation of Digital Heritage"60 afferma infatti che dove le fonti della ricerca sono di origine digitale non può esistere un altro formato se non quello digitale per la preservazione:

The digital heritage as a common heritage

*"**Art.1** - Scope: The digital heritage consists of unique resources of human knowledge and expression. It embraces cultural, educational, scientific and administrative resources, as well as technical, legal, medical and other kinds of information created digitally, or converted into digital form from existing analogue resources.* ***Where resources are "born digital", there is no other format but the digital object.***

Digital materials include texts, databases, still and moving images, audio, graphics, software and web pages, among a wide and growing range of formats. They are frequently ephemeral, and require purposeful production, maintenance and management to be retained.

Many of these resources have lasting value and significance, and therefore constitute a heritage that should be protected and preserved for current and future generations. *This ever-growing heritage may exist in any language, in any part of the world, and in any area of human knowledge or expression."*

In questo contesto il BIM, che è un valido strumento di progettazione e management delle informazioni nei vari settori dell'AEC, potrebbe diventare un utile strumento che aiuta i professionisti e i proprietari nella gestione degli edifici storici.

1.2. HBIM e il modello "As-Built" BIM

L'HBIM come il BIM è al centro di un dibattito molto intenso che coinvolge la comunità accademica, i progettisti delle varie discipline, gli enti e le istituzioni.

Le problematiche nella generazione dei modelli HBIM sono più complesse rispetto a quelle della generazione di modelli BIM per la realizzazione di edifici ex-novo. L'HBIM tratta

[60]Fonte: http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

situazioni, esigenze e problematiche molto ampie e disparate, spesso uniche nel loro genere e tante quante sono le specifiche peculiarità dell'architettura storica esistente.

Il BIM applicato all'esistente può avere le seguenti finalità:

- **Documentazione:** documentazione di tipo geometrico-morfologico tramite i dati di rilievo, documentazione fotografica, documentazione cartografica storica, materiale di ricerca
- Gestione per la **conservazione** e il **mantenimento** in uso del bene
- **Ristrutturazione e restauro**
- **Analisi** dell'edificio
- **Programmazione** degli interventi
- **Clash detection**
- **Monitoraggio**

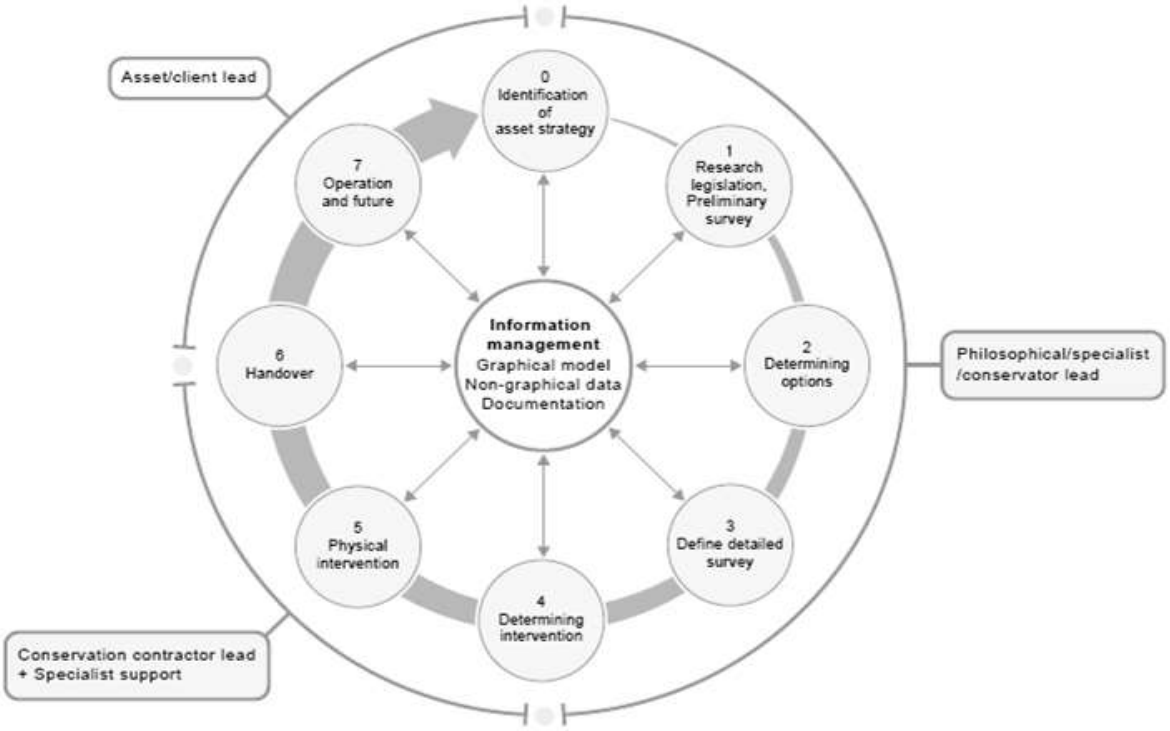


Fig. [49] Life cycle principle del BIM (fonte: Historic England 2017)

Nella realtà della progettazione esiste una netta differenza tra un processo per la creazione di nuovi edifici e uno che riguarda gli interventi su un edificio già esistente. Un'ulteriore differenza è riscontrabile tra interventi condotti su edifici esistenti di edilizia semplice, con caratteristiche diffuse e comuni tra immobile e immobile, e quelli appartenenti al patrimonio

storico, come i monumenti e i manufatti di comprovato valore artistico, storico e culturale, caratterizzati da elementi unici e complessi. Le differenze oltre che essere di tipo procedurale-tecnico sono anche di tipo semantico. La documentazione, le informazioni reperibili e i metodi di indagine su questi edifici sono gestiti come un caso per caso, soprattutto se si tratta di opere molto antiche, spesso uniche nel loro genere (pensiamo a cattedrali, rocche e fortezze, piazze storiche, reperti archeologici etc.) (Stovel, H. 2008).
Negli interventi sugli edifici esistenti e su quelli di pregio storico-artistico-culturale i software BIM tuttavia forniscono gli stessi strumenti utilizzati per gli edifici di nuova realizzazione. I tool dei software di authoring, per il momento, offrono le medesime capacità di elaborazione dei dati e di costruzione delle geometrie, non sempre sono disponibili strumenti aggiuntivi e appositi plug-in per raggiungere determinati risultati.

"The difference between common existing buildings and heritage ones is that heritage projects involve architectural, historic and archaeological documentation, so it involves the technical reproduction of a context, as well as an intellectual effort to describe the socio-cultural heritage setting."[61]

A questo punto è necessario puntualizzare meglio come un progetto HBIM possa descrivere lo "stato attuale" di un bene.
Il tema del tempo assume nuove sfaccettature nel campo dell'architettura storica, nuove considerazioni devono essere fatte in più rispetto a quelle che si fanno normalmente su un progetto di nuova realizzazione, in quanto non ci si può limitare a definire le fasi temporali di progetto e l'aggiornamento del modello in base a ciò che è stato realmente realizzato (il cosiddetto modello "As-Built" per nuove realizzazioni).
Nel caso in cui si voglia realizzare un modello **"As-Built"** di un edificio storico si pone da subito un fondamentale problema: cosa vuol dire fare un modello del genere per un edificio che esiste già in una forma di "As-Built" (letteralmente "come costruito")? Come si può differenziare il "già costruito" dal successivo "costruito" nel momento in cui vengono fatti degli interventi di restauro?

[61]Jordan-Palomar, I. et al. (2018)

A partire da questi quesiti pare opportuno fare una distinzione tra un modello che descrive le condizioni in cui si trova un edificio al momento del rilievo e quelle in cui si trova dopo essere stato sottoposto a un qualsiasi intervento, sia esso di manutenzione, restauro o ristrutturazione, che ha variato in parte o del tutto le caratteristiche correlate ai suoi elementi. Con il termine "As-Built" si descrive l'edificio, attraverso gli strumenti messi a disposizione del BIM, cercando, come detto prima, di fare una distinzione tra due tipologie (Dore, C. et al. 2017):

- **Modello "As-Built":** è quel modello che rappresenta l'edificio dopo la sua realizzazione. Nel caso di edifici storici il punto di partenza è lo stato in cui si trovano al momento del loro rilievo.
- **Modello "As-Is" o "Aggiornato":** è il modello aggiornato nel quale si rappresentano gli tutti gli interventi svolti (sostituzioni, riparazioni, manutenzione, etc.) e le analisi fatte a seguito di ristrutturazione o restauro (analisi del degrado, valutazioni statiche e simili).

Per creare il modello BIM di un edificio esistente ci sono in generale tre passaggi fondamentali (Hichri, N. et al. 2013):

1. **Acquisizione:** si svolge con una campagna di rilievo eseguito con vari tipi di strumentazioni (rilievo diretto con metodologia speditiva, scansioni con laser scanner, fotogrammetrico etc.).
2. **Segmentazione:** si attribuiscono le categorie, si codificazione gli elementi e si attribuisce una nomenclatura. È questa la fase di definizione semantica degli elementi.
3. **Modellazione:** durante questo passaggio si fa la modellazione geometrica delle componenti, si definiscono le proprietà dei materiali e le relazioni tra le parti.

L'approccio della tecnologia BIM alla gestione del patrimonio storico necessita di una continua gestione delle conoscenze provenienti da molteplici fonti e informazioni in modo più accurato possibile, soprattutto se il bene in questione è di valore artistico-storico-culturale.

La normativa nazionale, regionale e comunale introdusse il "**fascicolo del fabbricato**", una raccolta di documenti contenenti le informazioni principali ad esso associate, i disegni e i dati sugli interventi eseguiti. La raccolta di queste informazioni doveva costituire una base conoscitiva e amministrativa del bene (Garagnani, S. 2015a).

L'obiettivo era quello di possedere una mappatura di riferimento sullo stato di conservazione del patrimonio edilizio per poter programmare gli interventi e gestire gli usi che se ne possono fare. La conservazione del fascicolo doveva essere garantita dall'amministratore dell'immobile (amministratori di condominio, proprietari).
La redazione di tale documentazione è andata con il tempo decadendo poiché non ha mai incontrato grande condivisione di intenti a causa della presunta onerosità della sua redazione per i proprietari o addirittura per una possibile perdita di valore degli immobili.
Il fascicolo del fabbricato ricalca buona parte dei propositi per i quali si fa un modello HBIM di un edificio esistente. L'HBIM si avvantaggia però delle strumentazioni offerte dalla condivisione dei dati all'interno di ambienti virtuali, delle nuove tecniche di rilievo e della documentazione (che ottimizzano i tempi di raccolta dei dati oltre a permettere una verifica della loro accuratezza). Tutto questo ha come obiettivo quello di fornire uno strumento per acquisire tutta la documentazione utile per le ristrutturazioni e restauri, per le verifiche sismiche, le valutazioni di efficienza energetica e così via. Questo ottimizza la quantità di tempo che solitamente viene perso per la raccolta dei documenti, a fronte di un iniziale impegno nella realizzazione del modello stesso.
Il modello HBIM si configura quindi come una valida soluzione al problema del monitoraggio e dell'aggiornamento dei dati sempre disponibile per tutti gli attori della filiera.

1.3. Caratteristiche dell'HBIM

L'HBIM come il BIM per le nuove costruzioni si prefigge come obiettivo la replicabilità dei processi e il riutilizzo degli oggetti modellati all'interno di altri progetti, questo principio tuttavia si può scontrare con le caratteristiche di unicità proprie del patrimonio storico (Del Giudice, M. et al., 2016)
La creazione del modello HBIM richiede l'acquisizione di tutte le possibili informazioni disponibili, l'interpretazione di ciò che si rileva e la modellazione dei differenti elementi strutturali. Gli oggetti devono essere modellati secondo la scala di dettaglio necessaria ai fini del lavoro che deve essere eseguito e per la comprensione dell'edificio.
Un aspetto molto importante a tal proposito è la determinazione del LOD necessario, sia esso inteso come Level of Detail sia come Level of Development del modello che viene creato.

L'HBIM raccoglie al suo interno una quantità di informazioni enormemente varia, le fonti da cui derivano sono multiple, a volte uniche nel loro genere ed eterogenee nelle caratteristiche e nella qualità.

In generale è possibile dire che ci sono due tipologie di informazioni:

- **informazioni geometriche:** sono facili da riconoscere poichè riportano caratteristiche di tipo morfologico degli elementi del modello (dimensioni lineari e angolari, aree, volumi, proporzioni geometriche), coordinate spaziali, nuvole di punti.
- **informazioni non geometriche:** esse possono essere riferite a caratteristiche fisiche del fabbricato (materiali, condizioni e stato di conservazione, aspetto), a dati di tipo commerciale e finanziario, informazioni sui requisiti, modalità di mantenimento, attività svolte, finalità e utilizzo degli elementi, performance etc. Nei beni di valore storico-culturale troviamo anche informazioni intangibili riguardo la loro storia, report sul valore architettonico, lo stile, il significato, registrazioni audio e video, fotografie, registri di ispezione e altri tipi di documenti digitali e cartacei.

Per quanto riguarda le informazioni di tipo geometrico ancora molte sono le limitazioni imposte alla modellazione da parte dei tool dei principali software, contrariamente a ciò che succede per gli elementi che costituiscono gli edifici nuovi, non esistono molte librerie di oggetti storici, anche a causa delle caratteristiche di unicità di questi componenti.

Già dal 2009 molti ricercatori si sono dedicati all'ampliamento di queste librerie con oggetti parametrici rappresentanti elementi costruttivi storici. Le prime sperimentazioni per la progettazione di questi oggetti partivano dall'analisi dei manoscritti di Vitruvio, Palladio e dei "*Pattern Books*" di architettura del XVIII secolo (Historic England 2017; Dore, C. et al. 2017). Queste fonti storiche sono state la base per la determinazione delle principali regole geometriche che ne determinano la forma. Gli elementi storici digitalizzati vanno a nutrire una sorta di "vocabolario architettonico" con regole che determinano una vera e propria "grammatica delle forme" (Dore, C. et al. 2017).

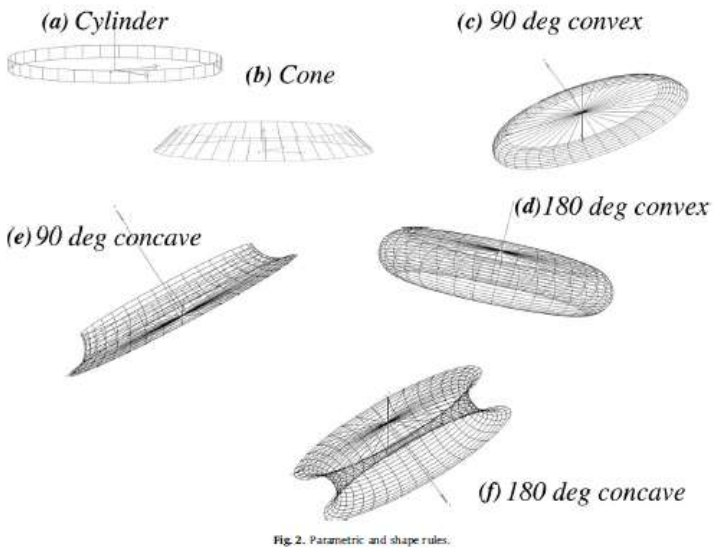


Fig. [50] Regole parametriche delle forme geometriche (fonte: Murphy, M. et al. 2013)

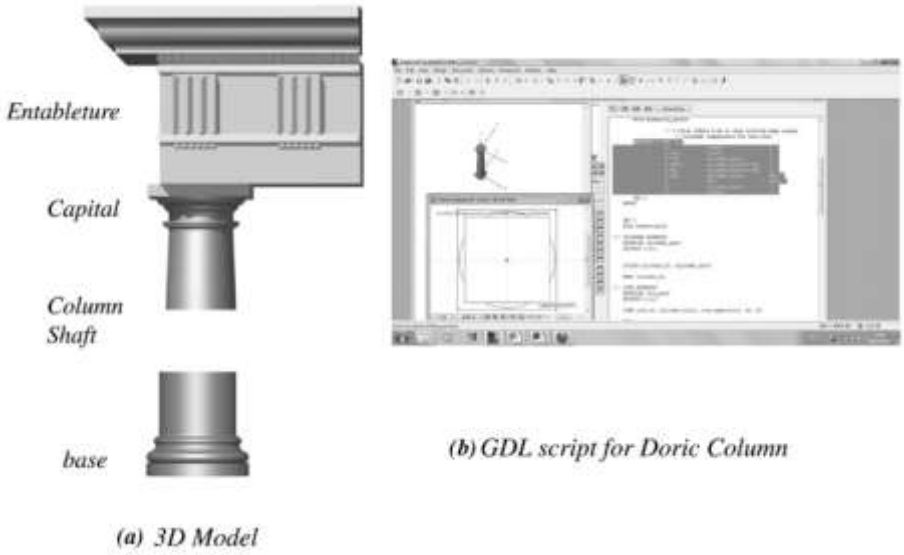


Fig. [51] Creazione di una colonna dorica parametrica (fonte: Murphy, M. et al. 2013)

L'uso di dati storici e degli studi già fatti nei secoli precedenti è la base da cui partire per comprendere meglio i metodi di costruzione, il comportamento dei materiali e il dettaglio di ciò che sta dietro la superficie. Questi studi permettono di ottenere informazioni fondamentali che altrimenti andrebbero ricercate con tecniche di analisi anche distruttive (che in molti casi risultano comunque necessarie per colmare vuoti informativi o per verificare l'attendibilità dei dati).

La motivazione per cui si rende necessaria la creazione di una libreria di oggetti parametrici storici è strettamente collegata al tentativo di automatizzare la documentazione da utilizzare per interventi di conservazione e per la redazione di disegni tecnici.

Tuttavia, molti professionisti ancora incontrano difficoltà nell'usare le nuove tecnologie (e.g. laser scanner, droni, sistemi mobili di scansione etc.) per la produzione di documenti oppure mancano del tutto delle conoscenze informatiche necessarie per l'utilizzo dei modelli. Questo aspetto inficia enormemente le possibilità che mette a disposizione il BIM, con il risultato che i lavori si limitano a creare strumenti di visualizzazione mentre le potenzialità di automazione rimangono inutilizzate.

Un ulteriore fattore importantissimo in processi che coinvolgono gli edifici esistenti è il concetto di **"completezza"**. Nel BIM per nuovi edifici essa si ottiene quando si rappresenta tutta l'intenzione progettuale. Nell'HBIM, al contrario, il concetto di completezza è ben diverso e sfaccettato: gli edifici storici, i siti archeologici, le infrastrutture storiche e i monumenti sono il risultato di una stratificazione temporale degli interventi, infatti si possono definire vari "layer", risulta quindi difficile dire quando un bene è "completo".

"The assembling of an HBIM resource will always be an ongoing project."[62]

Le stratificazioni all'interno di un contesto storico non permettono sempre di sapere cosa vi è esattamente al di sotto della superficie, occorre arrivare a delle approssimazioni.

Il lavoro di restauro richiede un certo livello di accuratezza e di dettaglio, cercando di limitare i rischi e evitando interpretazioni intuitive. Tutti i BIM per gli edifici storici ed esistenti richiedono infatti un significativo apporto di informazioni soprattutto nelle fasi iniziali per la documentazione e la gestione dei processi, la documentazione di input necessaria per la progettazione è da subito richiesta per l'avvio del processo, al contrario negli interventi di nuova costruzione questa documentazione viene redatta in maniera graduale durante la progettazione.

In generale i dati necessari per interventi sul patrimonio storico e per la loro documentazione sono (Edwards, J., 2017):

- **Disponibili** e rintracciabili da varie risorse e fonti.
- **Ottenibili** tramite il rilievo, la ricerca e l'investigazione.
- **Non disponibili e non ottenibili** (a causa di budget, tempo, accessibilità e altre limitazioni).

[62]Littlefield, D. (2017)

I dati che vengono raccolti a vari livelli da una pluralità di esperti e specialisti si affiancano a quelli prodotti dai professionisti che si occupano della realizzazione dei progetti. Il contributo delle indagini svolte da storici, archeologi, critici d'arte e vari altri professionisti è fondamentale per comprendere il valore e il significato del bene in esame, senza di esso aumenterebbe irrimediabilmente l'incertezza e le possibilità di errore.
L'HBIM si propone anche in questo ambito come strumento per l'ottimizzazione dei risultati ottenuti e il miglioramento della gestione dei dati e dei processi negli interventi per i quali viene creato sia per quelli futuri.
La gestione del dato si risolve all'interno della gestione dei database. Nel momento in cui viene fatta la scelta di ricorrere a modelli di tipo BIM per il rilievo, la modellazione, la documentazione e il restauro dell'architettura storica ne consegue la necessità di precisare le caratteristiche delle "famiglie" di oggetti da creare, i principi organizzativi dei dati storici, archivistici, di rilievo etc. in risposta a specifiche esigenze documentali (Centofanti, M. et al. 2016).

1.4. Le tecniche per il rilievo integrato

Prima di addentrarsi nel tema della modellazione delle strutture storiche è opportuno fare un accenno alle principali tecniche per il rilievo automatico.
Tra gli strumenti più utilizzati per il rilievo degli edifici e dei reperti archeologici troviamo sensori basati sull'uso della radiazione luminosa. Questi sensori si distinguono in funzione della natura della luce che viene impiegata per effettuare la misura (Russo, M. et al., 2011):

A. **Sensori "passivi":** usano luce naturale (tecnica fotogrammetrica, teodoliti, etc.).
B. **Sensori "attivi":** usano la luce codificata in maniera tale da svolgere un ruolo nel processo di misura (laser scanner, strumenti a proiezione di luce strutturata, radar, stazioni totali, etc.), permettono di ottenere direttamente la posizione spaziale della superficie o del punto rilevato, a volte accoppiata all'informazione del colore.

Uno strumento attivo che impiega luce laser viene normalmente chiamato range camera o laser scanner 3D (Russo, M. et al., 2011). La scansione laser terrestre (TLS) è un metodo di

imaging attivo (range-based) che acquisisce rapidamente nuvole di punti 3D accurate e dense.

I metodi detti image-based invece che sono basati sulla elaborazione metrica delle immagini. In questo caso dato un conveniente numero di fotografie di un oggetto, prese da punti diversi, è possibile ricostruire l'oggetto o determinate sue proiezioni[63].

Queste tecniche sono utilizzate all'interno di processi di **"reverse engineering"** ovvero processi che dall'acquisizione del dato reale portano alla generazione del modello digitale di ciò che è stato rilevato.

A prescindere dalla tecnologia dello strumento utilizzato, la fase di rilievo presuppone una serie di operazioni preparatorie e impostazioni che determineranno qualità e grado di dettaglio del rilievo. È importante determinare la strategia per l'acquisizione dei dati metrici, l'analisi dei dati esistenti ereditati, i sistemi di verifica e convalidazione dei risultati ottenuti.

La scelta della tecnica di rilievo da utilizzare avviene in funzione di diversi fattori:

- caratteristiche della superficie da rilevare,
- accuratezza e dettaglio geometrico richiesti,
- dimensioni dell'oggetto,
- collocazione spaziale,
- esperienza e conoscenza nell'uso della tecnica,
- costi del progetto,
- altro...

Attualmente le campagne di rilievo utilizzano più tecniche di acquisizione dei dati e molteplici tecnologie, questo ha portato alla complementarietà dei processi. Il modello digitale ottenuto alla fine del processo diventa il risultato della fusione di informazioni provenienti da tecniche e strumentazioni diverse.

Nei casi in cui l'obiettivo sia quello di generare un modello HBIM la strategia dovrebbe tenere di conto fin da subito delle peculiarità della modellazione, della dimensione dei file che devono essere generati e della coordinazione delle informazioni che questo tipo di metodo necessita, affinché si riesca a ricostruire un quadro coerente e completo di quanto rilevato, leggibile e condivisibile all'interno degli ambienti e delle piattaforme per il BIM.

[63]Fonte della definizione: https://thes.bncf.firenze.sbn.it/termine.php?id=3653

1.5. Scan to BIM

"Historic Building Information Modelling (HBIM) is a novel prototype library of parametric objects, based on historic architectural data and a system of cross platform programmes for mapping parametric objects onto point cloud and image survey data"[64]

Con il termine "Scan to BIM", ormai diventato di uso comune si intende quel flusso di lavoro che parte dalla pianificazione delle strategie di rilievo, passando poi per l'acquisizione e terminando con la restituzione dei dati sotto forma di modelli parametrici all'interno degli ambienti di condivisione del Building Information Model.

"The term 'scan-to-BIM' is used to describe these workflows, which involve a process of creating, manipulating and placing native BIM components by directly referencing the underlying point cloud."[65]

Fig. [52] Rappresentazione della modellazione dei dati di rilievo di una statua per ottenere il modello geometrico nel BIM (fonte: Historic England 2017)

[64]Murphy, M. et al. (2013)

[65] Historic England (2017)

Letteralmente "Scan to BIM" significa "dalla scansione al BIM". Nella maggior parte dei casi con il termine "scansione" si indica il file di output contenente una nuvola di punti.

"BIM consists of (2D and 3D) geometry, non-geometric information and associated documents and data. Model creation (typically) starts with the geometry."[66]

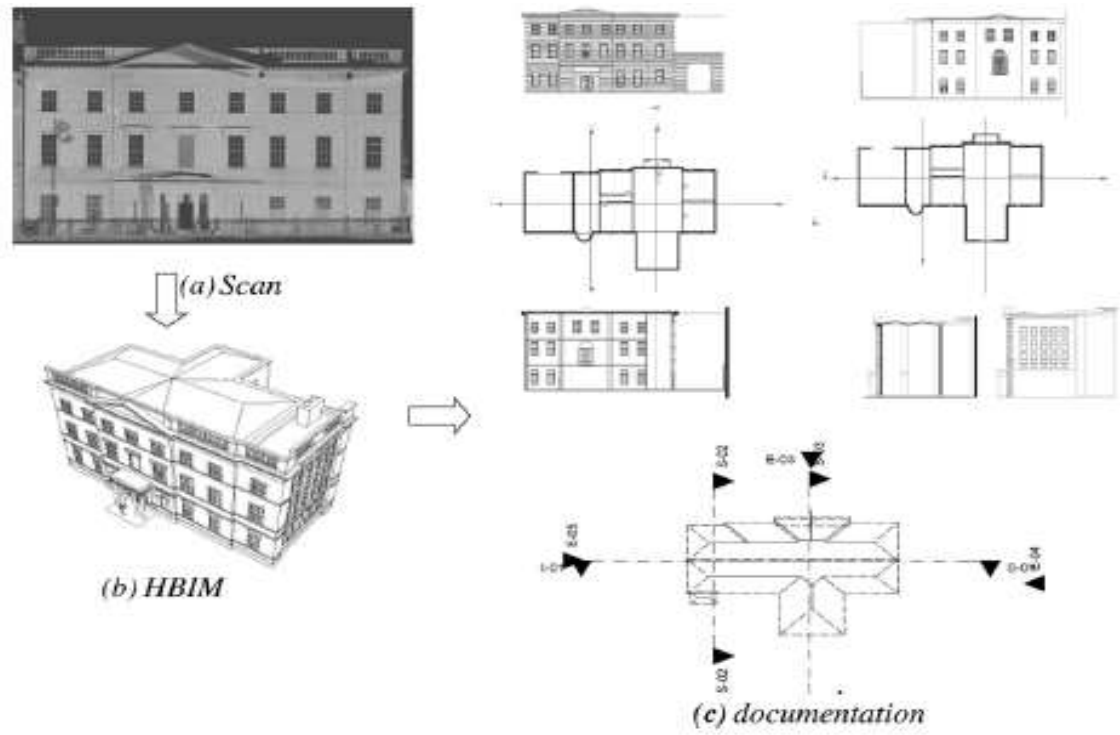


Fig. [53] Scan to HBIM dell'architettura (fonte: Murphy, M. et al., 2013)

Il processo che porta alla realizzazione del modello HBIM comincia proprio con il rilievo di dati di tipo geometrico e non geometrico per la realizzazione di librerie di oggetti avendo, dove è possibile, come base di riferimento librerie già esistenti.

I componenti che vengono scaricati dalle librerie disponibili online o nei software possono essere infatti arricchiti e personalizzati.

Sia le tecniche di rilevamento range-based che quelle image-based necessitano di passaggi di pre-processazione dei dati. Molte operazioni di filtraggio e allineamento dei sono eseguite ancora manualmente, con notevole "spreco" di tempo e incremento delle possibilità di errore. Sono in fase di sviluppo tecniche per l'automazione di diversi step di processazione, come il riconoscimento automatico degli oggetti a partire da una nuvola di punti (Dore, C. et al. 2017).

[66] Historic England (2017)

Alcuni esempi di applicazioni e plug-in sviluppati per facilitare la generazione delle forme da nuvole di punti automatizzando alcuni passaggi (Dore, C. et al. 2017; Garagnani, S. et al. 2013):

- Plug-in "Green Spider": *"is a little piece of code developed to narrow the gap between computational concept design, terrestrial laser scanning and Building Information Modeling. Even if it's still very primitive, GreenSpider is a free Autodesk Revit plugin developed by Simone Garagnani, taking advantage of Revit API, .NET libraries and C# programming language by translating key points from the point cloud into native reference snaps in Revit."* [67]
- ClearEdge3D (di cui esiste anche il plug-in per Revit): permette di automatizzare alcune procedure di riconoscimento dei punti complanari e di costruzione delle superfici a partire dai punti della nuvola. I principali esempi applicativi disponibili in rete ripropongono casi studio per la verifica degli impianti e per la costruzione di superfici di terreno
- Imaginit technologies[68]: i software di questa azienda si abbiano agli strumenti di Autodesk Revit per una migliore gestione dei dati provenienti da nuvole di punti.

Questi sono solo alcuni esempi di plug-in e software in supporto al processo "scan to BIM" ma ovviamente è corretto ipotizzare che vi siano molte possibili applicazioni e utilities che si stanno sviluppando e nuove release dei software che fanno passi in avanti nello sviluppo dei tool.

Dalla fase di acquisizione si ottiene la nuvola di punti (completa, allineata e coerente), successivamente si passa alla fase di segmentazione per la modellazione degli elementi. Esistono diversi approcci per fare la segmentazione: dividere le forme per similarità dei colori e per approssimazioni spaziali (Zhan, Q. et al., 2009), individuare le morfologie (Ning, X. et al., 2010), eseguire misurazioni tra superfici complanari (Dorninger, P. et al., 2007).

N. Hichri et al. (2013), afferma che la rappresentazione della forma dell'oggetto può essere classificata in relazione a tre dimensioni:

1. **parametrica o non parametrica:** la forma parametrica viene descritta usando una serie di parametri (e.g. altezza, lunghezza, raggio) quella non parametrica invece viene caratterizzata in altro modo (e.g. uso di superfici mesh).

[67]Fonte: http://www.tcproject.net/pivotx/?p=greenspider

[68]Fonte: https://www.imaginit.com/software/imaginit-utilities-other-products/utilities-for-revit

2. **globale o locale:** con la prima si intende che viene descritto l'intero oggetto mentre nella locale solo una porzione è caratterizzata (le forme complesse sono considerate locali quando vengono divise in più parti, allo stesso tempo però l'uso di mesh rende abbastanza flessibile la rappresentazione dell'intero oggetto che viene quindi considerata globale.
3. **esplicita o implicita:** la forma esplicita viene codificata direttamente (per esempio tramite mesh), all'interno di questo tipo si fa un'ulteriore distinzione tra rappresentazioni di superficie (per le quali si usano forme B-Rep) e rappresentazioni del volume (per le quali si usano forme CSG).

   Le forme implicite invece derivano da una codificazione indiretta attraverso l'uso di rappresentazioni intermedie come gli istogrammi di superfici normali.

Oltre alla rappresentazione della forma nei modelli parametrici è importante definire anche le relazioni tra gli oggetti e la rappresentazione dei loro attributi.

Il modello creato sia manualmente che automaticamente deve essere verificato per garantirne la qualità (Dore, C. et al., 2017). Alcuni strumenti nei software BIM e plugin possono essere usati per fare questa "verifica", fornendo un valore sull'accuratezza del modello prodotto dai dati di rilievo rispetto ai dati di partenza (nuvola di punti, ortofoto etc.). Questa operazione è simile a quello che si fa per gli edifici di nuova realizzazione quando viene svolta la clash detection.

Non tutti i modelli BIM di edifici storici sono realizzati a partire da nuvola di punti, un certo numero di ricerche e progetti hanno applicato approcci più convenzionali a partire da disegni 2D CAD. L'uso dei metodi "tradizionali" è abbastanza comune nel caso di strutture esistenti geometricamente semplici e adeguatamente documentati in formati CAD. Possono esserci tuttavia, in questo caso, delle limitazioni successive sul livello di dettaglio raggiungibile rispetto a un processo in cui si utilizzano dati provenienti da laser scanner.

1.6. LoD

Nei paragrafi precedenti è stato introdotto l'acronimo "LoD", generalmente ricondotto dalle normative a due diversi significati:

- **Level of Detail**
- **Level of Development.**

Il prof. Stefano Della Torre, presidente di BuildingSMART Italia afferma (Della Torre, S. 2016):

"Nel settore si usa l'acronimo LoD, che sta a significare "Level of Development" ma per il BIM degli edifici storici è passato a significare più spesso "Level of Detail", quasi che si concentrasse sulla accuratezza di rappresentazione invece che sulla fase di sviluppo di un progetto"

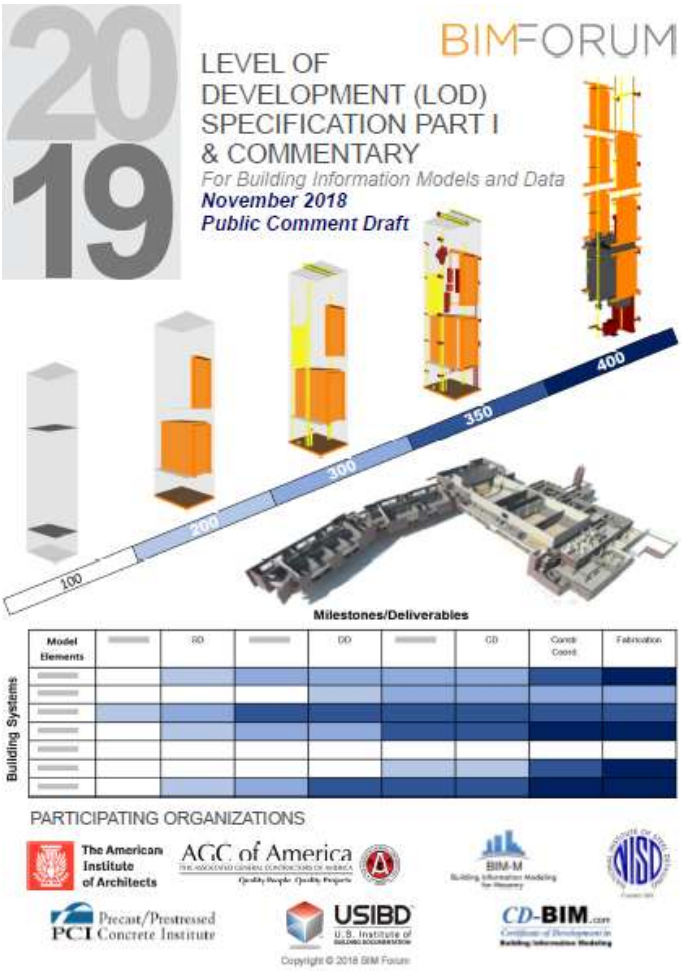
Si nota quindi questa sostanziale differenziazione di significato in relazione all'ambito di intervento, ciò si aggiunge alle interpretazioni fatte dalle normative italiane e internazionali.
La ricerca sull'approccio BIM applicato al patrimonio storico ha tra i suoi obiettivi principali quello di garantire una adeguata rappresentazione delle forme complesse e irregolari, senza un'eccessiva perdita di dettaglio. Le eventuali semplificazioni che si attuano nella fase di scan to BIM possono essere dovute a molteplici motivazioni, in relazione dell'oggetto, delle condizioni di rilievo e delle finalità della modellazione.
Un'eccessiva semplificazione degli elementi che caratterizzano l'edificio conduce a una riduzione dell'accuratezza e quindi dell'affidabilità e della coerenza del modello rispetto all'oggetto reale. Il modello non idoneo per le attività di restauro poiché potenziale fonte di errori, gli intenti del BIM vengono così vanificati.
Ci sono consistenti differenze interpretative del LoD tra normativa italiana e estera. Le due principali scale di riferimento con cui mettere a paragone i LoD italiani sono quelle statunitensi e britanniche[69]: la normativa statunitense fa riferimento al BIMForum Specification 2015[70] mentre quelle britanniche alla legge PAS 1192-2 e al NBS BIM Toolkit[71].
La regolamentazione dei LoD in Italia invece fa riferimento alla norma UNI 11337:2017 - Parte 4.

[69] Fonte: https://www.ingenio-web.it/18926-i-loi-nelle-scale-di-lod-usa-uk-ita

[70] Fonte: https://bim-international.com/wp-content/uploads/2016/03/LOD-Specification-2015.pdf

[71] The NBS definitions library, 2017 (fonte: https://toolkit.thenbs.com/)

Sistema statunitense: da LOD100 a LOD500



"The Level of Development (LOD) Specification is a reference that enables practitioners in the AEC Industry to specify and articulate with a high level of clarity the content and reliability of Building Information Models (BIMs) at various stages in the design and construction process. The LOD Specification utilizes the basic LOD definitions developed by the AIA for the AIA G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form[1] and is organized by CSI Uniformat 2010."[72]

I LOD (Level Of Develpment) statunitensi sono stati introdotti dall'AIA nel 2008 e fanno riferimento ai singoli elementi/categorie di elementi del modello ovvero agli oggetti digitali, e non al livello di sviluppo dell'intero progetto. I livelli di sviluppo definiti dalle specifiche BIMForum sono sei: dal LOD100 al LOD500 (LOD100, 200, 300, 350, 400, 500; dove il LOD350 è stato inserito successivamente nel 2011). Ogni LOD viene progressivamente dettagliato ed include le caratteristiche del livello precedente.

Dal LOD 200 ogni livello si divide in due parti:

1. attributi geometrici
2. attributi non geometrici.

[72]BIMForum, "Level of Development Specification", 2019

Due distinti documenti regolano la gestione degli attributi geometrici e non geometrici:

1. **Element Geometry:** definisce i requisiti geometrici degli elementi del modello, illustrandone graficamente il livello di dettaglio
2. **Associated Attribute Information:** riporta in un foglio di calcolo di tipo excel gli attributi non geometrici.

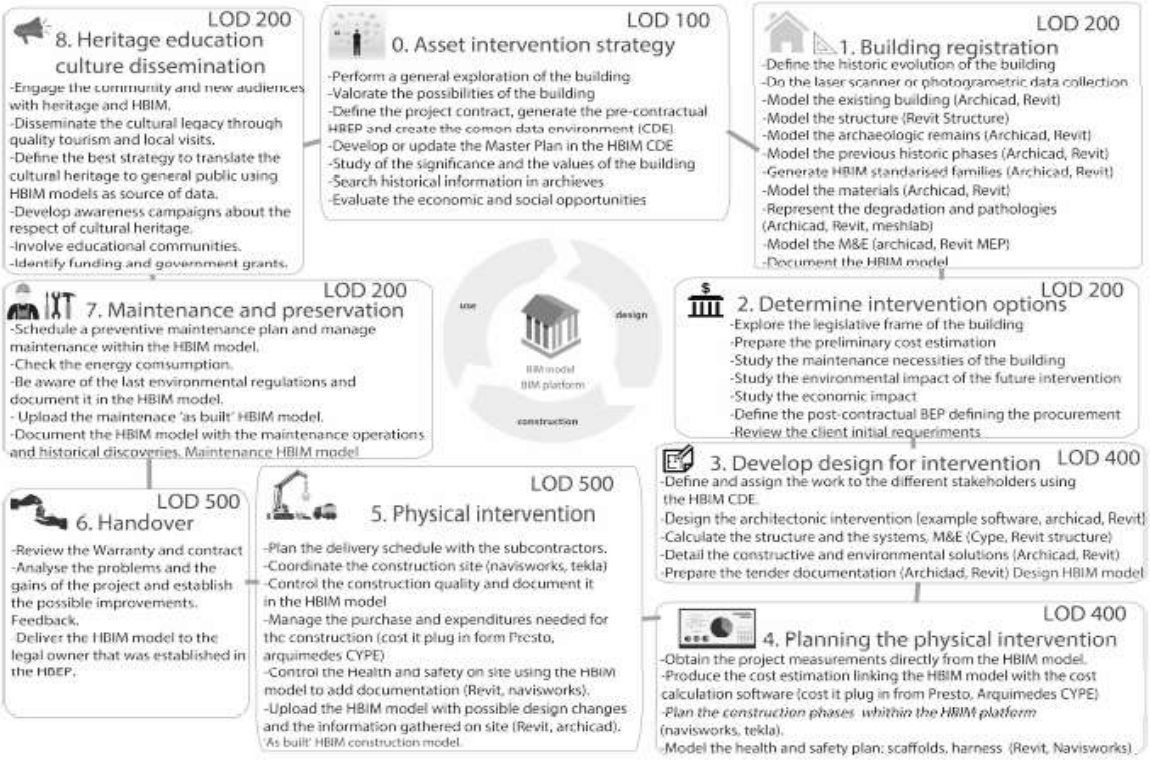


Fig. [54] LOD secondo il sistema statunitense nell'applicazione al patrimonio costruito (fonte: Jordan-Palomar, I. et al., 2018)

Sistema britannico: LOI e LOD da 2 a 5

In Gran Bretagna si distinguono due diversi livelli di scambio delle informazioni:

- il LOD (Level of model Detail) con il quale si descrive il contenuto grafico dei modelli in ciascuna delle fasi del progetto;
- il LOI, Level of Information Detail (del modello), le informazioni sono di tipo non grafico per ogni fase.

Nel PAS 1192-2:2013 sono descritti sette livelli di LOD. Dal 2015, il Technology Strategy Board ha sviluppato il NBS BIM Toolkit[73]. I LOD e i LOI decritti riguardano gli elementi del modello (oggetti) e non quelli dei modelli (progetto). Di conseguenza sono stati tolti i riferimenti al termine "model" ottendendo "Level of Detail" e "Level of Information" (Sattanino, E., 2018).
I LOD che interessano il processo di costruzione vanno da 2 a 5 mentre i LOI vanno da 2 a 6.

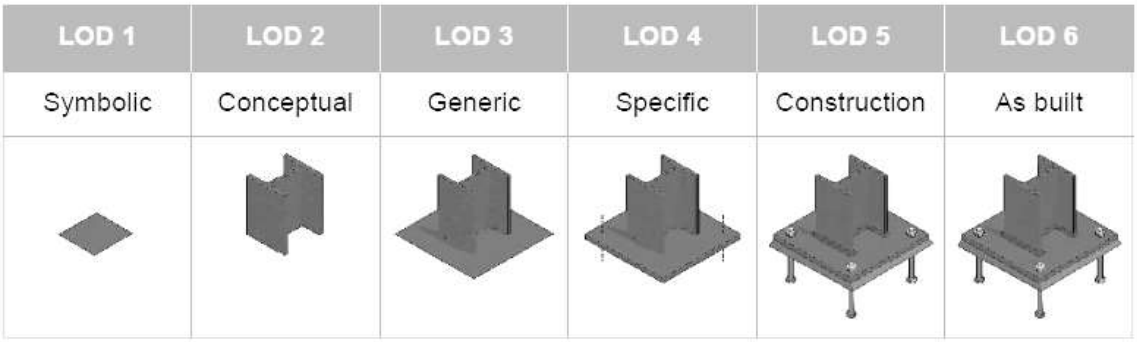


Fig. [55] Scala di LOD secondo la normativa anglosassone (fonte: Historic England 2017)

LOD 1 - Symbolic	
LOD 2 - Concept stage	**LOI 2 - Concept stage**
LOD 3 - Developed design	**LOI 3 - Developed design**
LOD 4 - Technical design	**LOI 4 - Technical design**
LOD 5 - Construction	**LOI 5 - Construction**
LOD 6 - As-built	**LOI 6 - Operation and maintenance**

Sistema italiano: LOD da A a G

La norma UNI 11337:2017-Parte 4 stabilisce le definizioni di LOD per l'Italia.
I LOD sono intesi come "livello di sviluppo degli oggetti digitali" e descrivono la qualità e la quantità delle informazioni in modo funzionale al raggiungimento degli obiettivi delle fasi (stadi) del processo. Per chiarire, il LOD di un elemento non corrisponde necessariamente ad

[73]Fonte: https://toolkit.thenbs.com/

una determinata fase del processo, gli "obiettivi" e gli "usi" dei modelli digitali BIM vengono definiti separatamente nella Parte 1 della norma.
Il committente definisce la scala di riferimento dei modelli di sviluppo degli oggetti impiegati nel processo all'interno del Capitolato Informativo (CI), in caso di particolari esigenze si possono definire classi intermedie di LOD identificate con la lettera inferiore di riferimento e un numero intero tra 1 e 9.
Il livello di sviluppo è misurato dalla natura, dalla quantità, qualità e stabilità delle informazioni e dei dati che caratterizzano l'oggetto, definiti dal collegamento stabile e strutturato dei suoi attributi (geometrici e non geometrici), espressi in forma grafica, in forma scritta e multimediale.
Le informazioni di tipo non geometrico sono correlate all'oggetto grafico come metadati usando per esempio schede informative. Nella scala di LOD quelli successivi consolidano e contengono tutti i dati dei livelli precedenti.

Gli oggetti vengono sviluppati secondo il seguente modello semplificato:

- **Scala generale di LOD** (edifici e interventi di nuova costruzione)
- **LOD per interventi di restauro**
- **LOD per interventi territoriali e infrastrutturali**
- **LOD per il cantiere** (mezzi e attrezzature)

I LOD sono sette, da LOD A a G.

- **LOD A** - oggetto simbolico
- **LOD B** - oggetto generico
- **LOD C** - oggetto definito
- **LOD D** - oggetto dettagliato
- **LOD E** - oggetto specifico
- **LOD F** - oggetto eseguito
- **LOD G** - oggetto aggiornato

	LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria	Elemento architettonico rappresentato mediante un simbolo 2D	Rappresentazione geometrica del foro architettonico verticale o pseudovertica le con forma, dimensione e posizione approssimata	Elemento architettonico verticale o pseudovertica le rappresentato con forma, dimensioni e posizione corretta	Elemento architettonico verticale o pseudovertica le con forma, dimensioni reali e posizione corretta. Sono rappresentati tutti gli elementi fisici che compongono il serramento e i componenti accessori	Stesse caratteristi-che geometriche del LOD precedente. Sono definiti i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture	Serramento finestra montato di una specifica marca. (rilievo di quanto eseguito, come LOD E)	Serramento finestra. Nuovi interventi: LOD F (con aggiornamenti) Manuten-zione e gestione su elementi esistenti: come LOD C o D (a partire da).
Oggetto	Grafica 2D (linee e campiture 2D)	Foro in un solido 3D	Solido 3D composito	Solido 3D complesso	Solido 3D complesso	Serramento finestra	Serramento finestra
Caratteri_ stiche	Posizionamento di massima	Semplice geometria d'ingombro Dimensioni Definizione requisiti termoacustici Definizione dei materiali	Numero di ante Tipologia di vetro Tipologia di apertura Prestazioni di trasmissione acustica Prestazioni di valori di isolamento termico Definizione del componente	Componenti accessori Tipo di oscuranti Finiture Dettagli dei componenti senza riferimenti a singoli prodotti	Trasmissione acustica con valore effettivo dichiarato dal fornitore Valore di isolamento termico dichiarato dal fornitore Schede di montaggio del fornitore Dettaglio dei componenti con singolo prodotto di una specifica marca Informazioni di montaggio Materiale di supporto Schede tecniche	Manuale di manuten-zione Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) Certificazioni di prodotto Certificato di omologa-zione	Data di manuten-zione

Fig. [56] Scala di LOD e descrizione degli attributi dell'oggetto finestra secondo la normativa italiana

Scala dei LOD per il restauro

Nella creazione di un modello BIM per i beni architettonici storici due concetti sono da tenere in particolare considerazione:

- **Tolleranza di modellazione**
- **Livello di dettaglio (LOD) informativo e geometrico**

Con tolleranza si intende il grado massimo di divergenza del modello dalla risorsa primaria ovvero dai dati di rilievo (generalmente si prende come termine di paragone la nuvola di punti se disponibile).

Nel caso di una complessità morfologica degli elementi molto elevata un livello di tolleranza basso può avere effetti negativi sulla fluidità del processo, aumenta notevolmente le dimensioni dei file da gestire e riduce le performance (Historic England 2017).

Al comma 5.3.2. della norma UNI 11337:2017 Parte 4 viene definita la scala dei LOD per il restauro.

"Le attività conservative sugli edifici esistenti dichiarati di interesse culturale presuppongono una continuità di gestione della conoscenza e quindi si basano su un livello di contenuto informativo e di dettaglio di rappresentazione quale risulta dal consuntivo scientifico del precedente intervento (LOD F) implementato nelle successive attività gestionali (LOD G).

Le singole attività specialistiche (analisi strutturali, energetiche, comportamentali, computazionali...) possono far riferimento ad opportune semplificazioni del modello informativo (corrispondenti a LOD D o E). Tuttavia, l'alto livello di dettaglio caratterizza la modellazione informativa per il patrimonio culturale, in quanto singolarità eventualmente ininfluenti per le singole attività tecniche possono assumere rilevanza decisiva per altre scelte progettuali."[74]

LOD A, B, C, D e E: tutti questi livelli informativi non sono idonei per interventi di restauro se non per opportune semplificazioni dei modelli fatti per analisi specialistiche.

[74]UNI 11337:2017-4 Cap.5 "Livello di sviluppo degli oggetti (LOD)"

LOD F: Gli oggetti virtuali sono creati per fini principalmente descrittivi, identificando i "sistemi", "subsistemi" e i "componenti". Gli oggetti del modello rappresentano lo stato in cui si trova l'edificio e gli elementi ad esso connessi al momento del rilievo ("as-built"). Se possibile, le caratteristiche quantitative e qualitative individuate dovrebbero essere riferite a raggruppamenti di oggetti simili o aggregazioni coerenti. Devono essere definiti gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione che possono riguardare gli oggetti per un periodo di tempo lungo in modo che si possa fare una programmazione.

LOD G: Questo livello ha finalità descrittive di conservazione del dato e di aggiornamento. Gli oggetti sono rappresentati nel loro stato di fatto in un tempo definito, sono rappresentazione storicizzata dello scorrere del tempo. Vengono annotati nei modelli tutti gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione che sono stati eseguiti. Oltre a questo, viene riportato lo stato di degrado.

1.7. Vantaggi e potenzialità

Come nel caso delle nuove realizzazioni anche gli interventi di restauro, ristrutturazione e manutenzione ordinaria e straordinaria sono caratterizzati da un processo inefficiente che porta a un eccessivo aumento dei costi, imprevisti, errori progettuali e addirittura fallimento dell'intervento. Anche in questo caso i flussi di lavoro tradizionalmente seguiti vedono i vari attori della filiera lavorare in parallelo senza lo scambio di sufficienti feedback e con scarsa condivisione delle informazioni utili e aggiornate. Tutto ciò ha come effetto negativo una consistente dispersione dei dati, produzione di documenti ridondante e inutile, informazioni incoerenti.

Nel caso degli edifici storici un problema basilare da risolvere riguarda la gestione dei dati sull'esistente. Lo sviluppo tecnologico ha messo a disposizione strumenti sempre più sofisticati e precisi in grado di esaminare materiali e strutture in modo approfondito. I dati prodotti dalle analisi e dai rilievi di questi strumenti si sommano a quelli già esistenti di tipo digitale e paper-based proveniente dagli archivi. Tutto questo bagaglio di informazioni nella pianificazione del flusso di lavoro deve essere preso in considerazione e incluso all'interno dei nuovi processi BIM.

Nel corso di questi ultimi decenni nel settore delle costruzioni gli interventi richiedono risultati sempre più precisi e sostenibili con una crescita sostanziale del numero di progetti che riguardano parti di tessuto urbano esistente, riqualificazioni e restauri (Jordan-Palomar, I. et al., 2018).

La comunicazione tra i modelli BIM e i dati d'archivio storici e archeologici può avvantaggiare i progettisti, i committenti e gli utenti sia per quanto riguarda la gestione dei beni sia per la condivisione delle informazioni e la comunicazione.

Di seguito un breve elenco dei vantaggi che si possono avere nell'adozione del processo BIM sugli interventi nel patrimonio artistico e culturale (Dore, C. et al., 2017; Fai et al., 2011, Oreni et al., 2014b; Barazzetti, L. et al., 2015b):

1. **Ottimizzazione dei tempi** di realizzazione e di produzione dei documenti
2. **Risparmio economico** (risparmio sui costi sugli ipotetici errori progettuali e errori nella realizzazione dei documenti)
3. **Condivisione dei dati coerente ed efficace**
4. **Aggiornamento e sincronizzazione** in tempo reale dei dati esistenti
5. **Rappresentazione temporale** delle fasi storiche in un sistema integrato[75]
6. **Creazione di librerie con elementi storici** rappresentati da manoscritti e pattern di architettura.
7. **Simulazioni 4D e 5D** per ridurre i conflitti e i cambiamenti durante la costruzione e gestione degli utenti e/o visitatori
8. **Pianificazione della tutela e management del bene**
9. **Archivio open source** di informazioni sulle qualità intangibili dei luoghi e dei siti e **repository delle informazioni** (tutte le informazioni sul mantenimento, riparazioni, sostituzioni, pulitura etc.)

Alla luce di questo l'HBIM si configura quindi in modo ulteriormente complesso rispetto al BIM per gli edifici di nuova realizzazione in quanto si fa carico della gestione, che finora rimaneva irrisolta, delle informazioni tangibili e intangibili dei luoghi, dei beni e dei sistemi edilizi.

L' ICOMOS e l'UNESCO sottolineano l'importanza del concetto di autenticità che è alla base delle qualità intangibili dei siti per la redazione dei documenti. Lo fanno con il rilascio nel

[75]Maxwell, I. COTAC BIM4C Integrating HBIM Framework Report; COTAC: London, UK, 2016.

1994 del *"Nara Document on Authenticity"*[76], nel 1996 con il documento "*The Declaration of San Antonio"*[77] e nel 2008 con "*Quebec City Declaration on the Preservation Of The Spirit of Place"*[78] (Stovel, H. 2008; Del Giudice, M. et al. 2016; Della Torre, S. 2016).

La documentazione realizzata con ricerche e archivio di informazioni accurate e complete viene inserita quando è collegata ai modelli BIM. Permette di pianificare i restauri, è base per il processo decisionale, per l'assistenza e la guida al mantenimento e al riuso. Altri benefici comprendono la possibilità di essere aggiornata e revisionata in remoto.

La gestione del parametro tempo, nata per intervenire sulle fasi dello stato di fatto, può essere utilizzata, nel caso degli edifici storici di cui si abbiano sufficienti dati, per visualizzare il modello nei vari momenti storici. È questo un altro vantaggio introdotto dal BIM ed aiuta infatti la comprensione dell'evoluzione del manufatto e i relativi valori storici, il modello rappresentare ricostruzioni di fasi antecedenti, criticamente ricondotte al rilievo attuale, unico documento di confronto.

In tutto questo la standardizzazione dei processi e dei protocolli permette una efficiente organizzazione del team di lavoro e del workflow generale ma molti ricercatori sottolineano l'importanza di non escludere dal processo anche professionalità non tecniche.

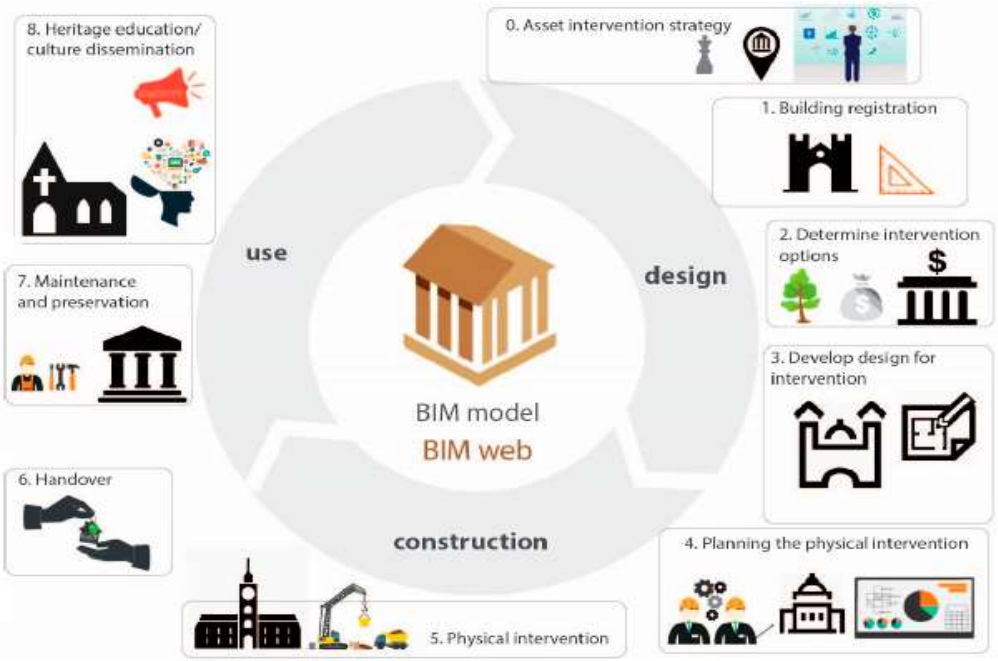


Fig. [57] Infografica sulle possibilità applicative del HBIM (fonte: Jordan-Palomar, I. et al., 2018)

[76]Fonte: https://www.icomos.org/charters/nara-e.pdf

[77]Fonte: https://www.icomos.org/en/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/188-the-declaration-of-san-antonio

[78] Fonte: https://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-646-2.pdf

1.8. Problematiche e prospettive di sviluppo

Le limitazioni presentate nel capitolo sul processo BIM in generale ovviamente si ripercuotono anche sui modelli HBIM. I protocolli per una corretta implementazione del BIM all'interno dei progetti di restauro sono ancora in fase di sviluppo. Tuttavia, le ricerche presentate dimostrano le potenzialità della metodologia per migliorare i flussi di lavoro esistenti anche nella gestione del patrimonio architettonico-artistico.
In sintesi, sono stati riscontrati i seguenti problemi ancora irrisolti, o in via di risoluzione:

- **Costi**
  Il problema economico è molto importante. Dopo un lungo periodo di crisi del settore gli investimenti nell'innovazione nelle piccole e medie imprese sono diminuiti drasticamente. É necessario che il processo BIM diventi più pratico, più diffuso, gli strumenti e i software meno onerosi, e le tecniche di rilievo più veloci. La velocità portata dall'automazione di certe operazioni semplifica il processo e ridimensiona i costi.

- **Difficoltà nella modellazione di geometrie irregolari e materiali non omogenei**
  L'elaborazione di elementi irregolari non è ancora ben supportata all'interno delle piattaforme BIM (Dore, C. et al. 2017). Spesso il modellatore è costretto a incorrere in espedienti per risolvere problemi formali (Oreni, D. et al., 2014a). In alcuni casi, in ambito di ricerca accademica, sono stati sviluppati plug-in appositi per la risoluzione di determinate esigenze che i software non potevano realizzare (Bruno, N., 2017).

- **Qualità del modello**
  La qualità del modello è influenzata dalla qualità dei dati utilizzati per la creazione. La qualità del dato può essere valutata in termini di completezza, coerenza, risoluzione e attendibilità. Spesso i dati non sono disponibili o sono soggetti a restrizioni nella fruibilità.

- **Attendibilità dei risultati ottenuti**

  Alcuni studi hanno verificato che possono esserci considerevoli differenze tra i risultati ottenuti a seconda della piattaforma utilizzata. Nelle simulazioni ambientali sono state rilevate differenze superiori addirittura al 35%, dovute alle differenze tra gli algoritmi di calcolo (Khalil, H. B., 2017). L'operatore che utilizza queste tecnologie deve essere capace di verificare i risultati ottenuti senza affidarsi esclusivamente alla macchina. Questa operazione può essere disattesa quando l'utente non è sufficientemente esperto nei sistemi e quando incorrono limitazioni di tempo e costi alle operazioni di revisione.

- **Mancanza di librerie degli elementi e materiali**

  Le librerie di oggetti storici sono importanti per facilitare l'arricchimento dei modelli. Ad oggi la disponibilità di materiali e elementi non strettamente legati alla logica industriale della serialità è scarsa. Gran parte dei lavori richiede una creazione da zero degli elementi necessari, aumentando costi e tempi di elaborazione (Oreni, D. et al., 2014a; Della Torre, S., 2016; Jordan-Palomar, I. et al., 2018).

- **Mancanza di strumenti idonei alla rappresentazione dei processi di degrado**

  La rappresentazione del degrado che i materiali e le strutture subiscono per azione del tempo e/o dell'uomo, degli interventi susseguitesi nel tempo, non ha ancora trovato nelle piattaforme BIM strumenti idonei. Gli oggetti parametrici per il momento non sono facilmente modificabili per rappresentare il degrado (Hichri, N. et al, 2013; Historic England 2017).

- **Idoneità del modello per determinati usi**

  I dati forniti e l'accuratezza geometrica potrebbero essere non sufficienti per poter utilizzare il modello per determinati scopi (Murphy, M. et al., 2013; Dore, C. et al. 2017). In questo caso sono necessarie indagini per colmare il gap informativo. Le operazioni di implementazione dei dati potrebbero richiedere tempi lunghi e costi aggiuntivi rilevanti, influenzando la sostenibilità del progetto.

- **Interoperabilità del modello**

  Ci sono diversi software che possono essere utili a questo scopo ma ci sono limitazioni per quanto riguarda lo scambio delle informazioni, volute principalmente dai diversi venditori di programmi. La ricerca accademica cerca di creare flussi di lavoro completamente interoperabili per garantire i "principi" per i quali il BIM è nato.

- **Obiettivi poco chiari**

  Mentre nel BIM per le nuove costruzioni gli obiettivi sono stabiliti nelle fasi iniziali di progettazione insieme al committente (fase indispensabile all'avvio del processo e regolata da contratti), nell'HBIM questa fase è molto più difficoltosa.

  Un bene già costruito ed in uso è definito da una quantità di informazioni che coinvolgono tutte le dimensioni del BIM (4D, 5D, 6D, 7D, 8D).

  I committenti e i proprietari non sempre sono capaci di comprendere le possibilità di utilizzo dei modelli, per cui gli scopi per i quali dovrebbero essere creati sono poco chiari. L'introduzione di nuovi strumenti di gestione in aggiunta (anche se creati come aiuto e appoggio) a quelli già esistenti può essere percepito più come un onere che un vantaggio.

- **Assenza di una normativa specifica per i modelli HBIM**

  La standardizzazione dei processi sugli edifici storici è molto complessa. La modifica dei flussi di lavoro già esistente è un'operazione delicata e spesso eseguita seguendo principi che non garantiscono il riutilizzo del sistema in altre situazioni. Gli interventi vengono eseguiti all'interno di un gap normativo che non lascia sufficienti punti fermi per lo sviluppo (Oreni, D. et al., 2014b). Le questioni principali sono ancora aperte, in attesa di indicazioni più precise e casi studio di riferimento.

Passando in rassegna le esperienze date dai casi studio analizzati, nonostante le difficoltà, è possibile dire che i modelli HBIM possono giocare un ruolo importante nella facilitazione dei processi di ammodernamento delle strutture storiche, riducendo significativamente i costi e i tempi per la modellazione geometrica (Khalil, H. B., 2017).

Le indagini del progetto DURAARK (2016)[79] suggerisce che il tempo impiegato per la modellazione in futuro sarà ridotta, i processi saranno semplificati, persino verranno generati modelli semantici BIM parzialmente automatici semplificati che possono servire da filtro e riferimento alla nuvola di punti.

L'automazione dei processi e il riconoscimento semantico automatico degli oggetti è la possibile risposta a molte problematiche (Dore, C. et al. 2017).

Sul tema del FM la questione si fa ancora più complicata, tuttavia sono in fase di sperimentazione sistemi per automatizzare la gestione dei dati contenuti nei sistemi CMMS (Computerized Maintenance and Management System) tramite piattaforme BIM. Le connessioni tra modelli HBIM e software CAFM (Computer-aided Facilities Management[80]) in futuro potrà fornire inventari delle apparecchiature più accurati e garantire un accesso tramite dispositivi mobili al BIM (Edward, J., 2017)

Per concludere ricordiamo come il World Monument Fund nel 2015 ha sottolineato che processi di preservazione del patrimonio sostenibili possono realizzarsi solo attraverso politiche locali[81]. Grazie all'uso di tecnologie a "basso costo" e all'HBIM ci si augura di fare un grande passo in avanti nella gestione sostenibile anche tramite le comunità (Counsell, J. et al., 2017).

Riprendiamo le parole di Simone Garagnani (articolo su Ingenio, 2015) per descrivere complessivamente la situazione e gli obiettivi da sviluppare:

"È naturale pensare che un cambiamento così radicale nel settore delle costruzioni, già avviato dall'introduzione del BIM in generale e dell'HBIM in particolare, non possa dipendere solo da nuove normative, innovazioni tecnologiche ed authoring di modelli digitali sempre più complessi, bensì da un'azione concertata tra committenti, pubbliche amministrazioni, istituzioni finanziarie ed immobiliari, in grado di attuare nuove politiche di sviluppo, diversi assetti procedurali e logiche finanziarie più lungimiranti."

---

[79]Progetto finanziato dall'Unione Europea. DURAARK sta sviluppando metodi e strumenti per la conservazione a lungo termine (Long-Term Preservation - LTP) della conoscenza architettonica, inclusi approcci a:

- Enrich Building Information Models con informazioni "as built" dalle scansioni
- Arricchire semanticamente modelli di edifici con set di dati aggiuntivi
- Conservazione dei modelli 3D per il riutilizzo futuro

Fonte: http://duraark.eu/

[80]Software possono essere utilizzati per pianificare la gestione degli spazi, la manutenzione preventiva, la standardizzazione dei servizi etc.

[81]Fonte: WFM (2015) https://www.wmf.org/downloads/Sample-2014%20-Watch-Nomination-Form.pdf

2. La normativa sul BIM

I sistemi di classificazione all'interno dell'Industria delle costruzioni sono molteplici e vengono applicati in maniera diversificata nei vari paesi del mondo (e.g. UniClass per la Gran Bretagna e OmniClass per il Nord America).

Con la diffusione applicativa del BIM si è ampliato anche il panorama delle varie classificazioni e, in contemporanea, nuove leggi e revisioni di quelle già esistenti hanno cercato di migliorare lo scambio di informazioni.

Gli effetti di questi cambiamenti e le iniziative nel mondo del BIM sono periodicamente analizzati, un esempio di riferimento sono i report della Dodge Data & Analytics[82] in collaborazione con il Department of Veterans Affairs degli Stati Uniti e National Building Specification (NBS).

Il numero di paesi che promuovono l'adozione del BIM è in crescita, ma anche il reale utilizzo del BIM nei progetti di costruzione e il livello di maturità e consapevolezza del suo uso sono in aumento.

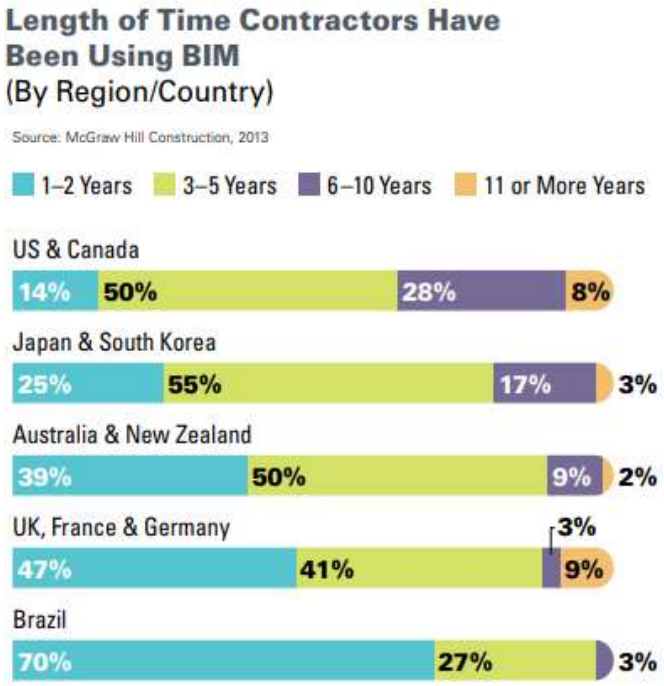


Fig. [58] The business value of BIM for construction in major global markets (fonte: McGraw Construction, 2014)

[82]Fonte: https://www.construction.com/toolkit/reports.

2.1. Normativa e standard internazionali

Gli standard ISO

Questi standard sono stati elaborati dalla commissione tecnica ISO su questioni attuali come la sostenibilità, l'accessibilità, la qualità, le prestazioni degli edifici e altri fattori definendo terminologie e processi. In Italia portavoce del tavolo di lavoro sul tema BIM è Alberto Pavan[83].

Il tavolo di lavoro sul BIM è detto ISO/TC 59/SC 13[84]. Qui un breve riepilogo degli standard pubblicati.

Standard e/o progetto sotto la diretta responsabilità del Segretariato ISO / TC 59 / SC 13 in via di sviluppo:

- ISO/WD 12006-3 [Under development] Building construction -- Organization of information about construction works -- Part 3: Framework for object-oriented information
- ISO/CD 19650-3 [Under development] Organization of information about construction works -- Information management using building information modelling -- Part 3: Operational phase of assets
- ISO/DIS 19650-5 [Under development] Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 5: security-minded approach to information management
- ISO/DIS 21597-1 [Under development] Information container for data drop -- Exchange specification -- Part 1: Container
- ISO/DIS 21597-2 [Under development] Information container for data drop -- Exchange specification -- Part 2: Dynamic semantics
- ISO/WD TR 23262 [Under development] GIS (Geospatial) / BIM interoperability

[83]Coordinatore del gruppo di lavoro UNI ed esperto italiano presso l'ISO/TC 59/SC 13/WG 13 e il CEN/BT/WG215. Fonte: http://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3408%3Abuilding-information-modeling-la-rivoluzione-silenziosa-nelle-costruzioni&catid=171&Itemid=2612

[84]Fonte: https://www.iso.org/committee/49070.html

- ISO/DIS 23386 [Under development] Building information modelling and other digital processes used in construction -- Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected dictionaries
- ISO/DIS 23387 [Under development] Building Information Modelling (BIM) -- Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset -- Concepts and principles

Standard e/o progetto sotto la diretta responsabilità del Segretariato ISO / TC 59 / SC 13 pubblicati:

- ISO 12006-2:2015 Building construction -- Organization of information about construction works -- Part 2: Framework for classification
- ISO 12006-3:2007 Building construction -- Organization of information about construction works -- Part 3: Framework for object-oriented information
- ISO/TS 12911:2012 Framework for building information modelling (BIM) guidance
- ISO 16354:2013 Guidelines for knowledge libraries and object libraries
- ISO 16757-1:2015 Data structures for electronic product catalogues for building services -- Part 1: Concepts, architecture and model
- ISO 16757-2:2016 Data structures for electronic product catalogues for building services -- Part 2: Geometry
- ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries -- Part 1: Data schema
- **ISO 19650-1:2018** *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 1: Concepts and principles*
- I**SO 19650-2:2018** *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 2: Delivery phase of the assets*
- ISO 22263:2008 Organization of information about construction works -- Framework for management of project information
- ISO 29481-1:2016 Building information models -- Information delivery manual -- Part 1: Methodology and format

- ISO 29481-2:2012 Building information models -- Information delivery manual -- Part 2: Interaction framework

Le ISO 19650 nelle parti 1 e 2 sono state realizzate prendendo in considerazione gli standard britannici (BSI) in particolare la PAS 1192-2 e PAS 1192-3. Queste due prime parti (la 3 e la 5 sono in fase di elaborazione) affrontano il tema del flusso informatico del processo edilizio. La parte 1 raccoglie questo flusso in un più ampio concetto definito "project management". La parte 2 si occupa soprattutto dei protagonisti della filiera definendo la loro collocazione all'interno del processo e le relazioni con gli altri protagonisti.

La legislazione europea

Il 28 marzo 2014 viene pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità Economica Europea la **Direttiva 2014/24/CE** sugli appalti pubblici. La direttiva abroga la precedente direttiva in materia, la 2004/18/CE.

L'articolo 22 comma 4 di questa direttiva fa riferimento al BIM:

"For public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as of building information electronic modelling tools or similar"[85]

che nella versione italiana della norma viene tradotto in:

"Per gli appalti pubblici di lavori e i concorsi di progettazione, gli Stati membri possono richiedere l'uso di strumenti elettronici specifici, quali gli strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi."

[85]Fonte: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024&from=IT

La direttiva invita i 28 Stati membri dell'UE a favorire, con specifiche misure legislative, l'uso del BIM come standard di riferimento per tutti i progetti pubblici entro il 2016.
Nell'articolo 22 comma 7 si fa riferimento invece ai formati di condivisione dati mettendo l'accento sulla necessità dell'interoperabilità (formati IFC):

"Per garantire l'interoperabilità dei formati tecnici nonché degli standard di elaborazione dei dati e di messaggistica, in particolare in un contesto transfrontaliero (...), in particolare per quanto riguarda l'uso della presentazione per via elettronica, i cataloghi elettronici e le modalità di autenticazione elettronica, solo se gli standard tecnici sono stati testati e hanno dimostrato un'utilità pratica."

L'intento di questa direttiva è quello di utilizzare il BIM per rendere più trasparenti e certe le procedure delle gare di appalto, ridurre gli sprechi economici associati alla costruzione di opere pubbliche e garantire la sostenibilità degli interventi.

Altre normative di riferimento

Ci sono anche altre normative di riferimento e esperienze di standardizzazione internazionali significative oltre che a linee guida ormai consolidate nel tempo:

- PAS 1192 parti 1-2-3-4-5 (Gran Bretagna);
- COBIM- Common Bim Requirements- 2012 (Finlandia);
- Statsbygg BIM Manual 1.2.1 (Norvegia);
- AIA Document E201-2013 Project Digital Data Protocol Form e AIA Document E203-2013 Buinding Iformation Modellin and Digital Data Exibitit (USA)
- Singapore BIM guide – Version 2.0;
- New York BIM Guidelines -2012;
- The VA BIM guide (USA Department of Veterans Affairs)

2.2. Normativa e standard italiani

D.Lgs. n.50/2016 e D.M. 560/2017

In Italia un grande passo in avanti nell'implementazione del BIM è stato fatto in seguito all'adozione del nuovo "**Codice dei contratti pubblici**" con il **D.Lgs. n.50/2016**.
Nell'articolo 23 al comma 13 è trattato il tema dei formati di scambio per **l'interoperabilità:**

"Le stazioni appaltanti possono richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici di cui al comma 1, lettera h). Tali strumenti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari, al fine di non limitare la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e il coinvolgimento di specifiche progettualità tra i progettisti. L'uso dei metodi e strumenti elettronici può essere richiesto soltanto dalle stazioni appaltanti dotate di personale adeguatamente formato."[86]

In questo modo le amministrazioni hanno la facoltà di richiedere l'adozione del BIM come strumento per garantire l'interoperabilità delle informazioni e per assicurare le specifiche richieste del comma 1 dell'art 23. Inoltre, è richiesto personale formato all'uso di tali metodologie e strumentazioni.
Queste regole legislative sono dettagliate nel **D.M. 560/2017**, ufficialmente pubblicato sul sito del MIT il 12 gennaio 2017. Il DM stabilisce le modalità e i tempi di implementazione dei metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture. Sono analizzate:

- caratteristiche dell'ambiente di condivisione dei dati,
- condizioni preliminari per le Stazioni Appaltanti (articolo 3),
- fruibilità delle informazioni e gestione dei flussi informativi (articolo 4)
- scadenze temporali per l'implementazione del BIM (articolo 6).

[86] D. Lgs. n.50/2016 comma 1 lettera h: "la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture"

La scaletta temporale delle scadenze prevede l'introduzione della metodologia a partire dal:

- **1° gennaio 2019** per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro
- **1° gennaio 2020** per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di euro
- **1° gennaio 2021** per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro
- **1° gennaio 2022** per le opere di importo a base di gara pari o superiore alla soglia di cui all'art. 35 del Codice dei contratti pubblici[87]
- **1° gennaio 2023** per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 1 milione di euro
- **1° gennaio 2025** per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara inferiore a 1 milione di euro

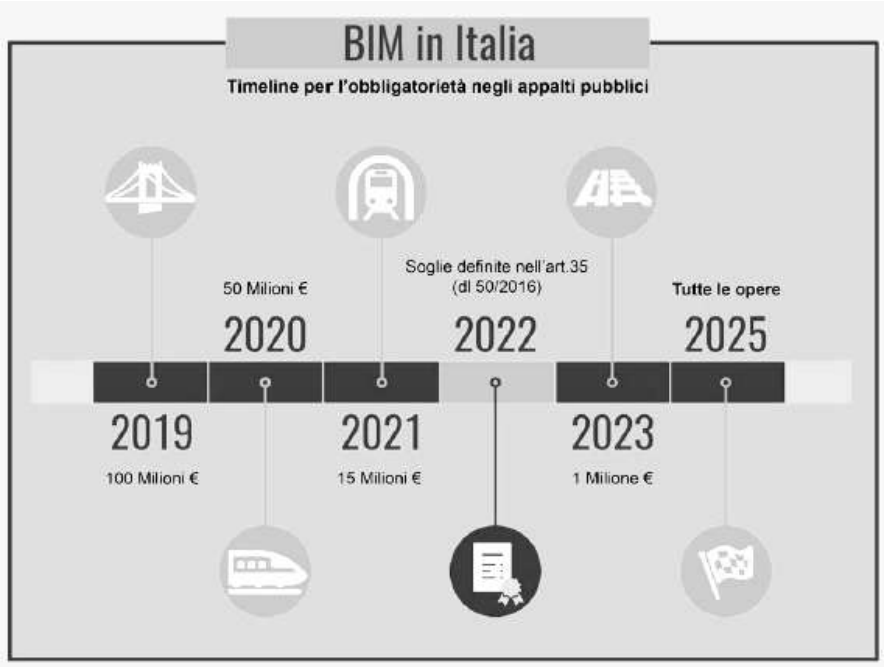


Fig. [59] Rappresentazione delle scadenze temporali per l'implementazione (fonte: D. Bruno; A. Pavan: Il programma INNOVANCE. La Piattaforma Italiana per le Costruzioni)

[87]Art. 35. - Soglie di rilevanza comunitaria e metodi di calcolo del valore stimato degli appalti

Il termine ultimo oltre il quale il BIM sarà richiesto obbligatoriamente per tutti i lavori pubblici è il 2025.

Con "opere complesse" si intendono tutte quelle opere che presentano caratteristiche tecnologiche sofisticate o che richiedono un elevato livello di conoscenza in ambito architettonico, strutturale e tecnologico per garantire il rispetto dei tempi e dei costi.

UNI 11337

L'UNI[88] ha pubblicato in questi ultimi due anni una parte delle norme sulla gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni raccolte sotto la voce UNI 11337.

Ad oggi sono state pubblicate le parti 1, 4, 5, 6 e 7.

L'obiettivo della norma è facilitare il passaggio dal processo standard al processo digitale, garantendo la corretta adozione della metodologia BIM. Gli argomenti trattati sono diversi per ciascuna parte, come rappresentato nello schema sottostante.

	Numero Norma	Titolo	In vigore
Parte 1	UNI 11337-1:2017	Models, documents and informative objects for products and processes / Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi	✓
Parte 2		Designation and classification criteria for models, products and processes / Criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi	
Parte 3		Models of collecting, organizing and recording the technical information for construction products / Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per prodotti da costruzione	
Parte 4	UNI 11337-4:2017	Evolution and development of information within models, documents and objects / Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e processi	✓
Parte 5	UNI 11337-5:2017	Informative flows in the digital processes / Flussi informativi nei processi digitalizzati	✓

[88]Ente italiano di normazione

Parte 6	UNI/TR 11337-6:2017	Guidance to redaction the informative specific information / Linee guida per la redazione del capitolato informativo	✓
Parte 7	UNI 11337-7:2018	Requirements of knowledge, skills and competence for the figures involved in the digital management of the information processes / Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa	✓
Parte 8		Integrated Processes of Information Management and Decisions / Processi integrati di Gestione delle Informazioni e delle Decisioni	
Parte 9		Gestione informativa in fase di esercizio (Piattaforma collaborativa e Fascicolo del fabbricato)	

UNI 11337-1:2017

Tratta gli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo:

- struttura dei veicoli informativi
- struttura informativa del processo
- struttura informativa del prodotto

Introduce il concetto che il BIM può essere potenzialmente applicato a qualsiasi opera di costruzione, sia esso un edificio o una infrastruttura o un processo.

I livelli di maturità del processo definiti nella norma sono cinque:

- **Livello 0:** NON DIGITALE. In tutti gli ambiti disciplinari il trasferimento dei contenuti avviene tramite elaborati non digitali, prevalentemente cartacei, derivabili da elaborati digitali o meno.
- **Livello 1:** BASE. Il trasferimento dei dati in tutti gli ambiti disciplinari avviene con elaborati sia digitali che non digitali, per contratto viene richiesto il supporto cartaceo.
- **Livello 2:** ELEMENTARE. Il trasferimento si attua tramite modelli grafici. In tutti gli ambiti disciplinari le informazioni che non vengono trasmesse tramite grafici sono trasferite tramite elaborati digitali.
- **Livello 3:** AVANZATO. Il trasferimento avviene per mezzo di modelli informativi grafici e elaborati digitali.

- **Livello 4:** OTTIMALE. Il trasferimento delle informazioni avviene per mezzo di modelli informativi che possono eventualmente essere affiancati da elaborati digitali per specifiche esigenze.

La struttura informativa del prodotto

Il prodotto risultante del settore delle costruzioni è un'opera o un complesso di opere: edifici, infrastrutture, interventi sull'ambiente naturale etc.

Secondo la norma il prodotto può avere aspetti tangibili e intangibili (e.g. processi). Il prodotto risultante è interconnesso al territorio.

La struttura informativa è costituita da:

- **Processo:** informazioni riguardanti le attività svolte durante lo sviluppo del progetto e la sua esecuzione, le risorse utilizzate.
- **Spazio:** informazioni sulle superfici e i volumi in relazione alla loro funzione e/o destinazione d'uso.
- **Sito:** informazioni sull'ambiente che accoglie le opere e sulle modifiche che subisce.
- **Edificio/infrastrutture:** informazioni sui manufatti realizzati, i relativi sistemi, subsistemi e componenti.

Fig. [60] Struttura informativa definita nella norma 11337:1

La struttura informativa del processo

Il "Processo informativo di costruzione" è ciclico ed è organizzato in quattro "stadi" (pianificazione, progettazione, produzione, gestione). Gli stadi sono suddivisi in otto "fasi" che descrivono la produzione e la gestione dei contenuti informativi nell'intero ciclo di vita del bene.

Ogni stadio inizia se quello precedente è terminato e approvato. Al contrario una fase può cominciare anche se quella precedente non è terminata (a patto che almeno sia iniziata).

Il punto di partenza sono le esigenze del committente, mentre quello finale sono tutte le opere di manutenzione e gestione necessarie a mantenere operativo il bene.

Al raggiungimento degli stadi costituenti lo sviluppo corrisponde un "*modello informativo del progetto*". Allo stadio di esercizio del bene corrisponde invece il *"modello informativo dell'opera"*.

Dalla fase o dai suoi obiettivi dipenderanno gli obiettivi e gli usi dei modelli (illustrati in altre parti della norma).

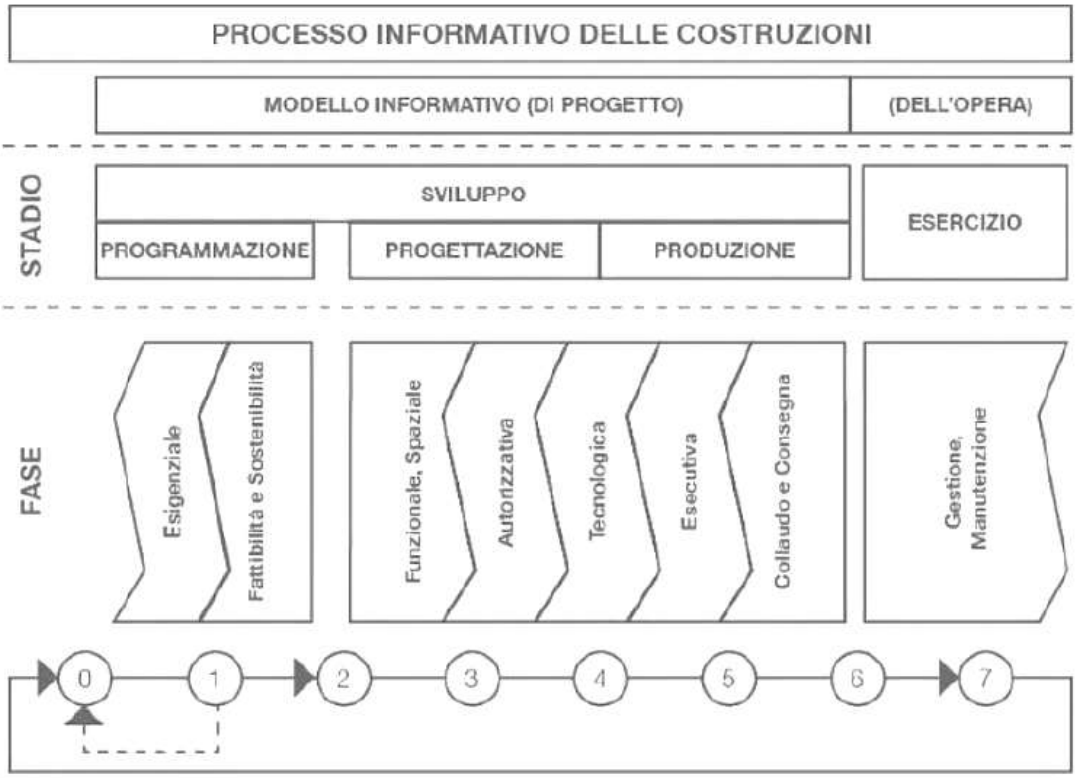


Fig. [61] Struttura delle fasi e degli stadi

UNI 11337-4:2017

Questa parte della norma serve a:

- Specificare le caratteristiche di qualsiasi fase del processo (dalla UNI 11337-1)
- Definire il livello di sviluppo (LOD) e l'evoluzione di modelli, elaborati e processi.

La "versione" italiana del LOD (definito nella normativa anglosassone "Level of Development") è acronimo di "*Livello di sviluppo degli Oggetti Digitali*".

Gli oggetti sono considerati strumenti atti al raggiungimento degli obiettivi delle fasi proposte nella Parte 1 della norma.

Il committente deve individuare gli obiettivi informativi di ciascuna fase del processo nel *"Capitolato Informativo"* (CI).

Lo standard italiano definisce sette livelli di LOD, indicati con lettere maiuscole da A a G.

UNI 11337-5:2017

Sono introdotte per la prima volta nel settore delle costruzioni italiane delle definizioni e una terminologia specifica per la metodologia BIM:

- coordinatore delle informazioni
- gestore delle informazioni
- modellatore delle informazioni
- capitolato informativo
- offerta per la Gestione Informativa (oGI)
- piano per la Gestione Informativa (pGI)
- analisi delle incoerenze (Code Checking)
- analisi delle interferenze geometriche (Clash Detection)

Questa parte definisce ruoli, requisiti e flussi di lavoro richiesti per la produzione, la gestione e la trasmissione di informazioni e la loro connessione e interazione nei processi di costruzione digitalizzati. Con l'introduzione di questi documenti la normativa italiana esprime una diretta dipendenza dalle PAS inglesi.

La gestione dei requisiti informativi si attua attraverso il Capitolato Informativo (CI), l'oGI e il pGI. Il CI è redatto dal committente. L'oGI è redatto dai soggetti che sono interessati,

documentando la loro offerta in relazione al CI. Il pGI è redatto dall'affidatario scelto prima dell'affidamento, come approfondimento dell'oGI.

Ulteriori contenuti riguardano i dati informativi e la loro gestione, il coordinamento dei modelli grafici, le verifiche dei dati, infine, la definizione delle tre principali figure professionali del processo (ruoli e compiti):

- Gestore delle informazioni *(BIM Manager)*,
- Coordinatore (*BIM Coordinator),*
- Modellatore delle informazioni *(BIM Modeler),*

UNI/TR 11337-6:2017

Scopo di questa parte della norma è quello di dare indicazioni procedurali e schemi generali per la compilazione del CI.

Il committente può prendere a titolo di esempio gli elaborati proposti nella norma per redigere il capitolato secondo le esigenze specifiche della sua richiesta. Il CI si può infatti considerare un documento contrattuale di commessa tra un soggetto proponente (committente) e un soggetto contraente (affidatario).

Il capitolato è strutturato secondo quattro parti:

1. Premesse,
2. riferimenti normativi,
3. sezione tecnica,
4. sezione gestionale.

Nelle prime due parti sono richieste le informazioni relative alla "identificazione del progetto" (nome del committente, titolo del progetto, tipologia di intervento, descrizioni, localizzazione, etc.). Oltre a questo, vengono definiti gli ambiti di applicazione del capitolato e specificati gli acronimi e la terminologia.

Nella parte tecnica devono essere descritte:

- "Caratteristiche tecniche e prestazionali dell'infrastruttura hardware e software": in questa sezione l'affidatario delinea gli strumenti e le tecnologie di cui può disporre.
- "Infrastruttura del committente interessata e/o messa a disposizione": il committente definisce la dotazione tecnica che può mettere a disposizione dell'affidatario.

- "Formati di fornitura dati messi a disposizione inizialmente dal committente": riguarda il formato dei file che dovranno essere scambiati tra le due parti.
- "Fornitura e scambio dati": viene distinta la fase di avvio da quella di sviluppo dell'incarico, secondo il flusso dei dati da e per il committente.
- "Sistema comune di coordinate specifiche di riferimento": il committente può indicare il sistema comune di riferimento per i modelli e l'unità di misura da utilizzare.
- "Specifica per l'inserimento di oggetti": in questa area devono essere descritte le modalità di inserimento di specifici oggetti.
- "Specifica di riferimento dell'evoluzione informativa del processo dei modelli e degli elaborati": il committente specifica le evoluzioni del processo e dei relativi modelli ed elaborati.
- "Competenze di gestione informativa dell'affidatario": il committente richiede all'affidatario di mostrare le esperienze pregresse in merito ai metodi di gestione informativa.

La sezione sulla gestione si avvale dei seguenti paragrafi e argomenti di interesse:

- Obiettivi informativi strategici e usi dei modelli e degli elaborati.
- Livelli di sviluppo degli oggetti e delle schede informative.
- Ruoli, responsabilità e autorità ai fini informativi.
- Caratteristiche informative di modelli, oggetti e/o elaborati messi a disposizione dalla committenza.
- Strutturazione e organizzazione della modellazione digitale.
- Politiche per la tutela e la sicurezza del contenuto informativo.
- Proprietà dei modelli.
- Modalità di condivisione di dati, informazioni e contenuti informativi.
- Modalità di programmazione e gestione dei contenuti informativi di eventuali sub-affidatari.
- Procedure di verifica e validazione dei modelli, oggetti e/o elaborati.
- Processo di analisi e risoluzione delle interferenze e incoerenze informative.
- Modalità di gestione della programmazione (4D).
- Modalità di gestione informativa economica (5D).
- Modalità di gestione delle esternalità (6D).

- Modalità di gestione informativa dell'opera (7D).
- Modalità di archiviazione e consegna finale di modelli, oggetti e/o elaborati informativi.

UNI 11337-7:2018

Questa ultima parte, pubblicata recentemente, si occupa di chiarire gli aspetti legati alle competenze, professionalità, abilità e conoscenze necessarie per la gestione e modellazione informativa.

Vengono descritti i compiti e specifiche attività svolte legandosi al Quadro Europeo delle Qualifiche (EQF[89]).

Le figure chiave individuate sono:

- CDE manager – Gestore dell'ambiente di condivisione dei dati
- BIM manager – Gestore dei processi digitalizzati
- BIM coordinator – Coordinatore dei flussi informativi di commessa
- BIM specialist – Operatore avanzato della gestione e della modellazione informativa

[89] European Qualification Framework. Ulteriori info: https://ec.europa.eu/ploteus/search/site?f[0]=im_field_entity_type%3A97#, vd. Glossario.

3. Casi studio analizzati di Heritage Building Information Modelling

Introduzione: il lavoro di ricerca e innovazione in Italia

Durante il lungo percorso di maturazione degli obiettivi di ricerca della tesi, in parallelo allo studio della letteratura scientifica di settore, è stato possibile entrare in contatto direttamente con gruppi di ricerca che hanno svolto in questi anni interessanti lavori sull'HBIM. Le ricerche presentate sono state sviluppate principalmente nei Dipartimenti di Ricerca delle principali università italiane.

Lo scambio di idee e di risultati ottenuti, l'attività di brainstorming e la presentazione dei lavori ha permesso di delineare una panoramica dello stato della ricerca nelle principali università italiane e le attività internazionali.

Il 10 maggio 2018, in occasione del ciclo di conferenze ed incontri organizzati per l'evento "Mantovarchitettura", si è svolto un incontro dal titolo "Geomatica e BIM: giovani ricerche", a cura di Andrea Adami, Francesco Fassi e Luigi Barazzetti con intervento introduttivo di Stefano Della Torre (presidente di BuildingSMART Italia). La giornata si inserisce nel programma di ricerca BIM4CH finanziato dal progetto SIR-MIUR. Sono stati esposti lavori e ricerche delle Università e di Imprese private.

Dopo questa esperienza si è ritenuto opportuno fare incontri di approfondimento delle tematiche emerse organizzando degli incontri (a porte chiuse) con i ricercatori del Politecnico di Milano del Dipartimento ABC[90] e ricercatori dell'Università degli Studi di Parma.

Il primo incontro si è svolto con il Dipartimento ABC del Politecnico di Milano presso la loro sede dipartimentale, alla presenza della prof.ssa Raffaella Brumana e del prof. Fabrizio Banfi, e ha evidenziato le innovazioni tecniche e i criteri metodologici di adozione del BIM per gli edifici del patrimonio storico-culturale. Il secondo incontro si è svolto con gli studiosi dell'Università di Parma presso la sede del DICEA dell'Università di Firenze, l'arch. Nazarena Bruno, il prof. Riccardo Roncella e il prof. Andrea Zerbi hanno riportato alcune interessanti ricerche sul tema dell'arricchimento semantico dei dati, della digitalizzazione delle informazioni e delle ontologie nell'HBIM. Obiettivo centrale di questi incontri è stato lo scambio delle opinioni sulle esperienze di ricerca. Il tema centrale è stato il rapporto del BIM con la geomatica, la conservazione dei beni culturali, le regole normative, le innovazioni tecnologiche e i futuri sviluppi previsti nella ricerca.

I casi studio analizzati nelle seguenti pagine sono stati selezionati in considerazione di quanto emerso durante questi incontri.

L'esperienza di questi mesi ha dimostrato ulteriormente il crescente interesse sul tema HBIM. I gruppi di ricerca sono interessati nella definizione di un flusso di lavoro BIM che coniughi l'industrializzazione del settore, la coerenza e la trasparenza dei processi con la tutela dell'unicità, della complessità e valore del patrimonio storico-culturale.

[90]Approfondimenti: http://www.abc.polimi.it/

3.1. La Basilica di Collemaggio a L' Aquila

La sfida dell'HBIM, un paradigma della complessità, degli strumenti e della conservazione

EDIFICIO E BENI OGGETTO DI STUDIO	Basilica di Santa Maria di Collemaggio, L'Aquila (AQ), Italia. Edificio religioso situato appena fuori le mura de L'Aquila. Risalente alla fine del XIII sec., simbolo della città e dichiarata monumento nazionale già nel 1902. La facciata è considerata esempio di massima espressione dell'architettura abruzzese, nonché uno dei punti più alti dell'architettura medievale italiana di stampo romanico-gotico. La basilica è stata rimaneggiata più volte nel corso dei secoli soprattutto a causa dei danni causati dai frequenti terremoti. Ultimo tra questi quello del 2009 che l'ha seriamente danneggiata, in particolare le parti colpite sono state la cupola centrale e i transetti, lesionati i pilastri ottagonali.
IL PROGETTO	Progetto di restauro "Re-start from Collemaggio", finanziato da ENIservizi. Ha come obiettivo centrale la conservazione del valore architettonico dell'edificio.
PERIODO	Dicembre 2012 - avvio del progetto "Re-start from Collemaggio" Febbraio-Giugno 2013 - campagne di rilievo 2013-15 - fasi preliminari, definitive ed esecutive del progetto di restauro 2015 - gara d'appalto
OBIETTIVI E RISULTATI	Il modello BIM generato è stato usato come supporto al processo decisionale, alle analisi (per fare delle diagnosi in varie discipline), alla progettazione e alla tutela di un edificio complesso e di immenso valore storico-artistico.

Per poter rispondere alle esigenze dei vari attori coinvolti e fornire tutte le informazioni necessarie a prendere delle decisioni,i il modello HBIM è stato realizzato con un elevato livello di dettaglio. Per riportare il tutto a una scala di riferimento è possibile dire che i LoD dei modelli vanno dal 3 al 5 (definiti secondo la normativa inglese, in quanto quella italiana non era ancora stata pubblicata).

Per raccogliere i dati necessari per la realizzazione del modello il rilievo è stato condotto attraverso l'utilizzo di più tecniche della geomatica e diverse strumentazioni: rilievo fotogrammetrico, rilievo con laser scanner, creazione della rete geodetica con stazione totale, uso di tecnologia UAV.

I vari elementi che costituiscono il modello HBIM sono stati elaborati tramite l'uso di molteplici software (Rhinoceros, Bentley Pointools, Revit Architecture, ...). Grazie alla interoperabilità dei formati, è stato possibile usare il modello come base per condurre analisi strutturali FEM (e.g. software Midas).

Un focus di questa esperienza è l'analisi dell'interoperabilità come strumento fondamentale per esplorare i dati, per ottimizzare i tempi e migliorare i processi in tutta la filiera.

Un esempio concreto è quello dell'analisi strutturale e geometrica sul danneggiamento subito dalle colonne della navata. Le pietre distrutte sono state restaurate o consolidate utilizzando le informazioni geometriche del modello BIM relative a ciascun concio.

REFERENCES

Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Barazzetti, L., Previtali, M. (2014). *Survey Turned Into Hbim: The Restoration And The Work Involved Concerning The Basilica Di Collemaggio After The Earthquake (L'aquila)*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5. ISPRS Technical Commission V Symposium, 23 – 25 June 2014, Riva del Garda, Italy; pp. 267-273

Brumana, R., Della Torre, S., Oreni, D., Previtali, M., Cantini, L., Barazzetti, L., Franchi, A., Banfi, F. (2017). *Hbim Challenge Among The Paradigm Of Complexity, Tools And*

Preservation: The Basilica Di Collemaggio 8 Years After The Earthquake (L'aquila). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 2017 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada; pp. 97-104

Fig. [62] Immagini della Basilica prima e dopo il sisma del 2009 e interventi di conolidamento delle strutture (fonte: Oreni, D. et al., 2014)

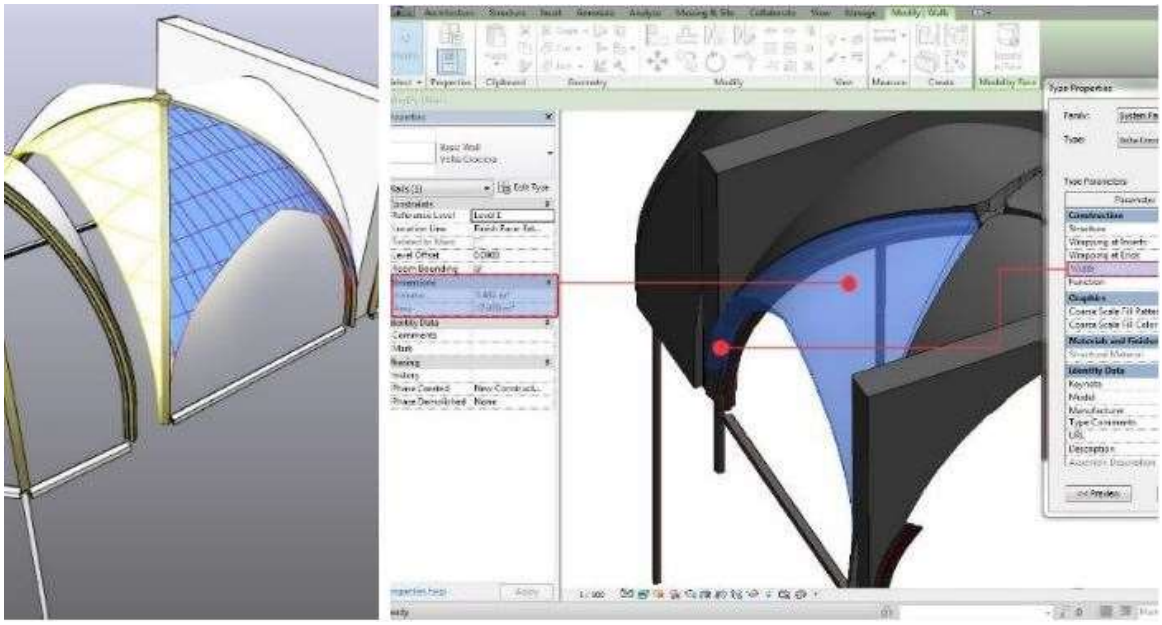


Fig. [63] Generazione di solidi ed elementi dell'edificio tramite l'uso di NURBS (fonte: Oreni, D. et al., 2014)

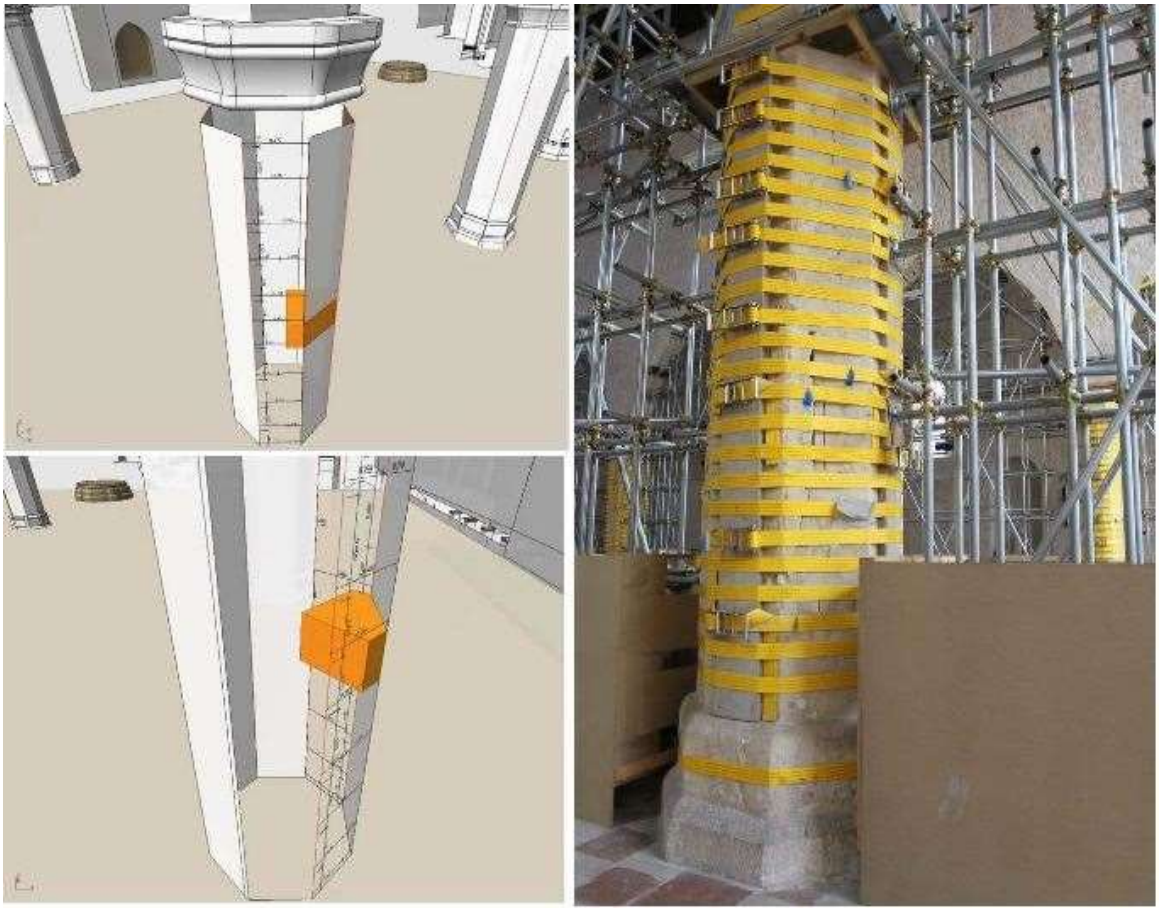


Fig. [64] Rappresentazione 3D dei conci di pietra delle colonne rilevati utilizzando sia il laser scanner che gli strumenti per il rilievo diretto (fonte: Oreni, D. et al., 2014)

3.2. Il ponte Azzone Visconti a Lecco

Non solo "Building" ... NURBS-based parametric modeling di un ponte medievale

EDIFICIO E BENI OGGETTO DI STUDIO	Ponte Azzone Visconti, Lecco (LC), Italia. Denominato anche con il nome di Ponte Vecchio, è stato costruito tra il 1336 e il 1338 sul fiume Adda per volontà di Azzone Visconti Signore di Milano. È uno dei monumenti della città di Lecco più famosi e testimonianza di ingegneria militare (anche se nel tempo ha subito molte modifiche che ne hanno variato le caratteristiche rispetto all'originale). Il ponte è stato citato anche ne "I Promessi Sposi" di Alessandro Manzoni. La struttura del ponte è realizzata in muratura di pietra con campate ad arco irregolari poggianti su pile di basamento dotate di rostri, con funzione di frangiflutti. Originariamente erano presenti: strutture difensive (spingarde e bombarde), due torri alle estremità con ponte levatoio annesso, un castelletto con torre centrale e una cappelletta dedicata alla Vergine Maria. Di queste strutture alcuni resti sono ancora visibili. Non ha subito danni durante le guerre del XX secolo. Negli anni '50 sono state aggiunte due passerelle pedonali a sbalzo alla struttura, demolite solo nel 2014 per interventi di manutenzione straordinaria. Al loro posto sono state posizionate le attuali barriere di protezione. Oltre alle indagini strutturali portate avanti dal Politecnico di Milano sono stati fatti interventi per la valorizzazione e il recupero del patrimonio edilizio esistente: la nuova illuminazione, l'istituzione del senso unico per il passaggio di mezzi motorizzati e la predisposizione di una pista ciclopedonale.

IL PROGETTO	Progetto di restauro e consolidamento strutturale del Ponte Azzone Visconti tramite rilievo metrico dettagliato e modello BIM. Collaborazione tra Comune di Lecco e Politecnico di Milano.
PERIODO	Maggio-Giugno 2015 - Indagini con georadar e altri tipi di indagini sulla struttura 2015 - Restituzione del rilievo metrico e modellazione dell'HBIM.
OBIETTIVI E RISULTATI	Il rilievo metrico è stato eseguito utilizzando diversi strumenti e diverse tecniche con precisione variabile. La complessità del ponte ha infatti richiesto un rilievo geometrico dettagliato con tecniche di scansione laser e fotogrammetriche. Durante il progetto sono state sfruttate le seguenti tecniche di misurazione: • una rete geodetica per fornire un sistema di riferimento stabile, • scansioni laser per acquisire nuvole di punti (77 scansioni registrate e la nuvola di punti finale è composta da 2,5 miliardi di punti), • fotogrammetria digitale per integrare le nuvole di punti e produrre prodotti metrici fotorealistici (più di 500 immagini acquisite) • livellamento geometrico per determinare i movimenti verticali del ponte durante le prove di carico. A partire dai risultati grezzi, ottenuti dall'elaborazione dei dati, devono essere generate le tipiche rappresentazioni 2D e 3D. La generazione di piani e sezioni è stata effettuata impostando specifici piani di taglio. In tutto, il progetto include 2 prospetti, 4 piante e 21 sezioni. L'obiettivo successivo al rilievo è la creazione di un BIM interoperabile per i diversi specialisti (ingegneri, architetti, etc.). L'indagine ha incluso infatti un'analisi storica, l'identificazione di

materiali, aspetti tecnologici, analisi stratigrafiche e informazioni da altre ispezioni.

La mancanza di software BIM in grado di fornire una rappresentazione parametrica di forme complesse e irregolari è stata superata con una procedura che consente la creazione di oggetti parametrici da curve e superfici NURBS.

La modellazione delle informazioni è stata effettuata dividendo i diversi oggetti strutturali. Attributi cronologici, materiali e stratigrafici sono stati presi in considerazione. Il BIM finale è stato generato nella piattaforma Autodesk Revit e A360 (per dispositivi mobili).

REFERENCES

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Previtali, M.,Roncoroni, F. (2016a). *Bim From Laser Scans…Not Just For Buildings: Nurbs-based Parametric Modeling Of A Medieval Bridge*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-5, 2016; XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, pp. 51-56

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Previtali M., Ronconi, F. (2016b). *Integrated Modeling and Monitoring of the Medieval Bridge Azzone Visconti*. 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), 5-8 July 2016, Spain, Bilbao. Pp. 5-8

Banfi, F., Barazzetti L., Previtali, M., Roncoroni, F. (2017a). *Historic Bim: A New Repository For Structural Health Monitoring*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-5/W1, 2017; GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 22–24 May 2017, Florence, Italy, pp. 269-274

Banfi, F. (2017b). *Bim Orientation: Grades Of Generation And Information For Different Type Of Analysis And Management Process*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 2017; 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada, pp. 57-64

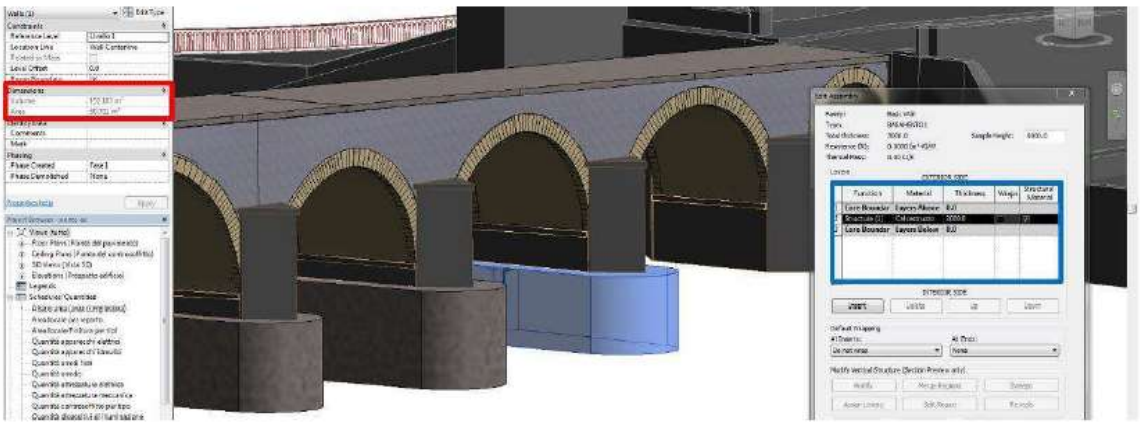


Fig. [65] BIM finale del ponte in Revit (fonte: Barazzetti, L. et al., 2016b)

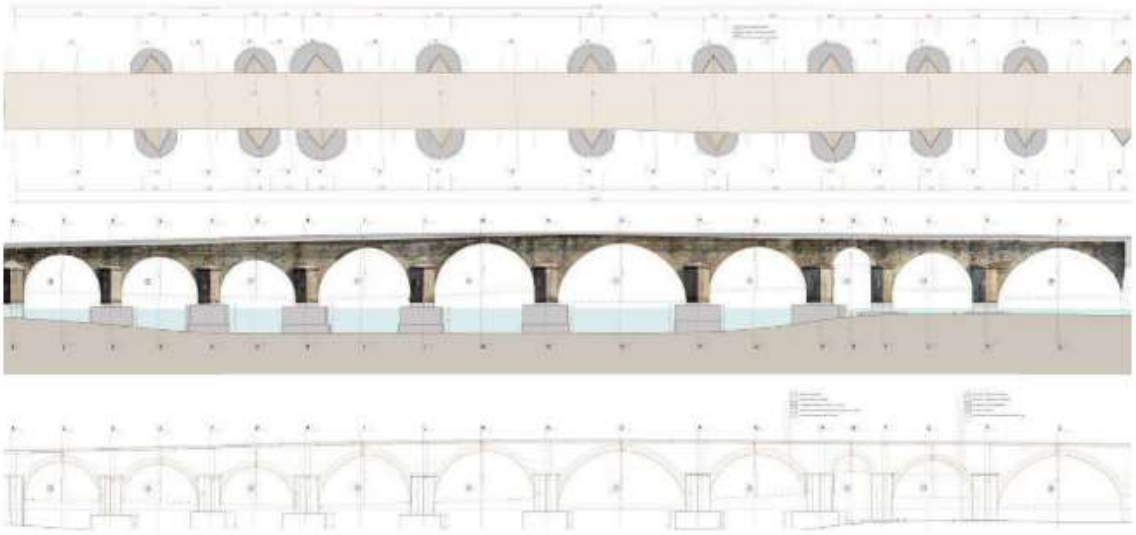


Fig. [66] Piante e sezioni del ponte (fonte: Barazzetti, L. et al., 2016b)

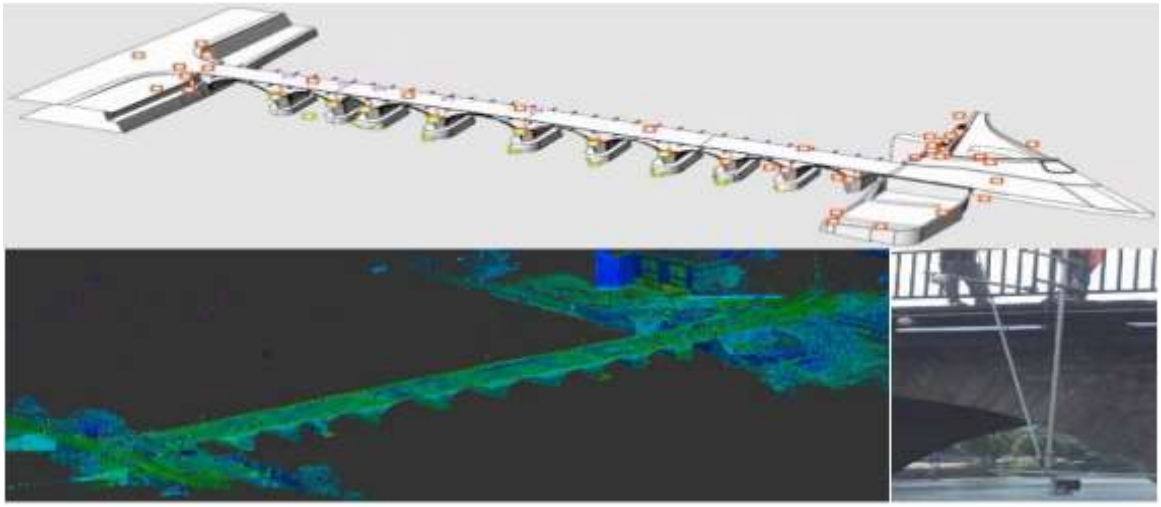


Fig. [67] Immagini del rilievo laser scanner e punti di acquisizione (fonte: Barazzetti, L. et al., 2016b)

3.3. La Cattedrale di Parma

Dal rilievo all'analisi per la gestione dei beni culturali...proposta per un database

EDIFICIO E BENI OGGETTO DI STUDIO	La Cattedrale di Parma fu costruita a partire dalla seconda metà del secolo XI e, durante la sua vita, è stata soggetta a cambiamenti, aggiunte, danni e lavori di riparazione. Allo stato attuale, la pianta della cattedrale è basata su una croce latina a tre navate, composta da sette campate. Sia la navata centrale che le navate laterali sono coperte da un sistema di volte a crociera, mentre la galleria da volte a botte. La sezione trasversale della struttura è completata dalle cappelle laterali, costruite durante il XVI secolo. La cripta è costruita sotto il transetto e il coro. Esternamente, la cattedrale è principalmente costruita in mattoni, anche se, come evidenziato da alcuni resti di intonaco, originariamente doveva essere interamente intonacata. Lesene e parti angolari sono invece realizzati in pietra, mentre gli abbellimenti decorativi hanno vari materiali, tra cui terracotta e marmo. Interventi sulla cattedrale sono testimoniati dal XVI secolo in poi. I problemi principali dell'edificio riguardano aspetti strutturale e di decadimento materico.
IL PROGETTO	Progetto condotto dall'Università degli Studi di Parma in collaborazione con la Fabbriceria del Duomo di Parma per la realizzazione di un sistema HBIM per la cattedrale di Parma. Il modello HBIM è finalizzato ad attività di manutenzione, conservazione e restauro. Il caso studio ha permesso di testare gli strumenti di archiviazione e gestione dei dati storici, di analisi e gestione del tempo, modellazione 3D di forme irregolari etc. Il caso studio cerca di delineare un flusso di lavoro applicabile in altri contesti simili.

DURATA

2014-2017 - Il lavoro svolto evolve durante questo periodo in relazione al lavoro svolto per il Dottorato di ricerca in Ingegneria Civile e Architettura dell'arch. Nazarena Bruno.

RISULTATI E OBIETTIVI

Nella realizzazione di un HBIM su un edificio storico molto importante come la Cattedrale di Parma i primi problemi sorgono già nella modellazione geometrica. Le irregolarità infatti non si adattano bene alla modellazione parametrica tipica dei software BIM.

Si evidenzia anche la mancanza di soluzioni flessibili e personalizzabili per l'organizzazione delle informazioni sull'edificio e per la gestione temporale (sistemi utilizzabili per analisi diacroniche).

Nel progetto presentato è stato implementato un database appositamente progettato in cui è possibile memorizzare tutti i dati relativi all'edificio storico. Il database è conforme alle normative italiane attualmente in vigore e consente di archiviare e recuperare informazioni utili per la manutenzione. L'applicazione è stata implementata con l'obiettivo specifico di fornire strumenti gestionali anche agli utenti non appartenenti ai settori AEC. Gli strumenti messi a disposizione sono utili per l'immissione dei dati, la modellazione degli elementi, la query degli attributi e la mappatura tematica.

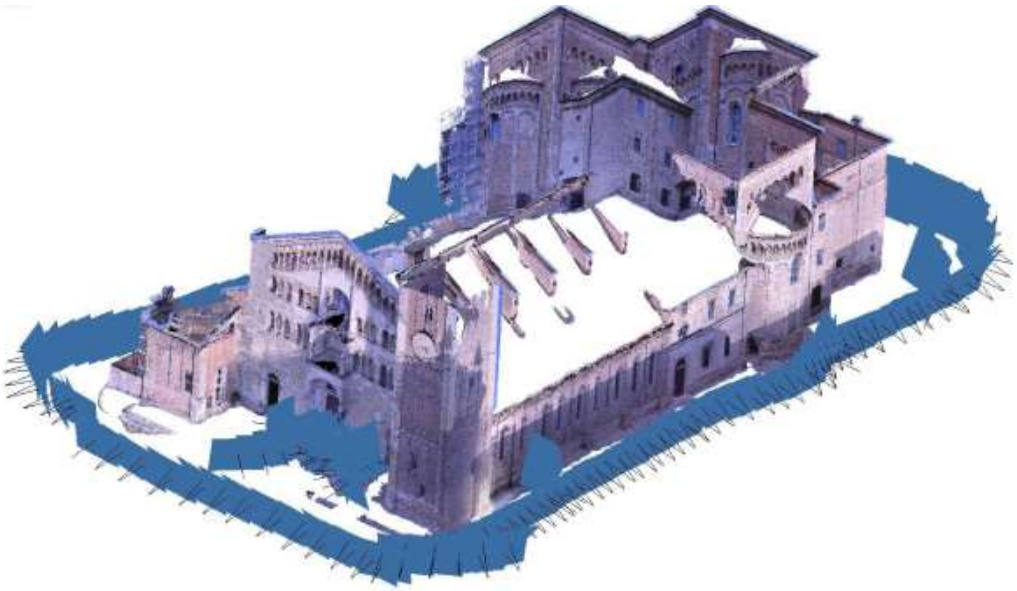
La restituzione è stata pianificata per la scala 1:50, riservando la scala 1:100 per le aree meno accessibili e 1:20 per alcuni dettagli particolari. Le tecniche di indagine sono integrate, multirisoluzione e scalabili.

REFERENCES

Bruno, N. (2017a). *From survey to analysis for Cultural Heritage management: a new proposal for database design in BIM.* Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura. Coordinatore: A. Carpinteri. Relatori: R. Roncella. Tutor: C. Achille, A. Zerbi. A.A. 2014-2017.

Bruno, N., Roncella, R. (2017b). *Il BIM per gli edifici storici, potenzialità e criticità. Il caso del Duomo di Parma*. Conferenza ASITA 2017, 21-23 Novembre 2017, Salerno.

Bruno, N. (2018). *Dal rilievo all'analisi per la gestione dei beni culturali: una nuova proposta per la progettazione del database in ambito BIM.* Conferenza Mantovarchitettura, Geomatica e BIM: giovani ricerche, 10 maggio 2018, Mantova.



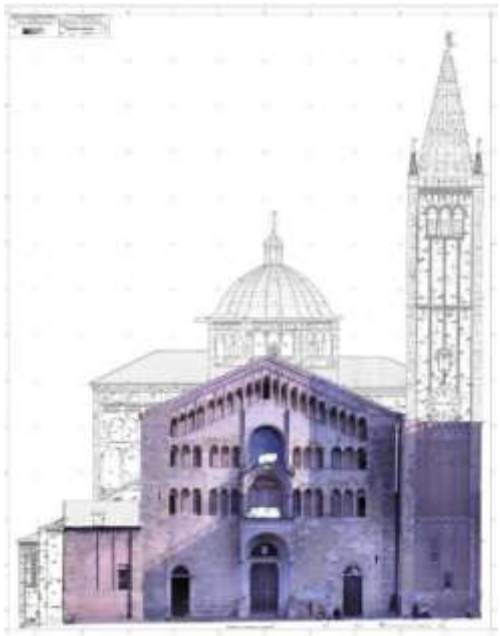


Fig. [68] Acquisizione delle ortofoto, riproduzione della facciata e della nuvola di punti (fonte: Bruno, N. 2018)

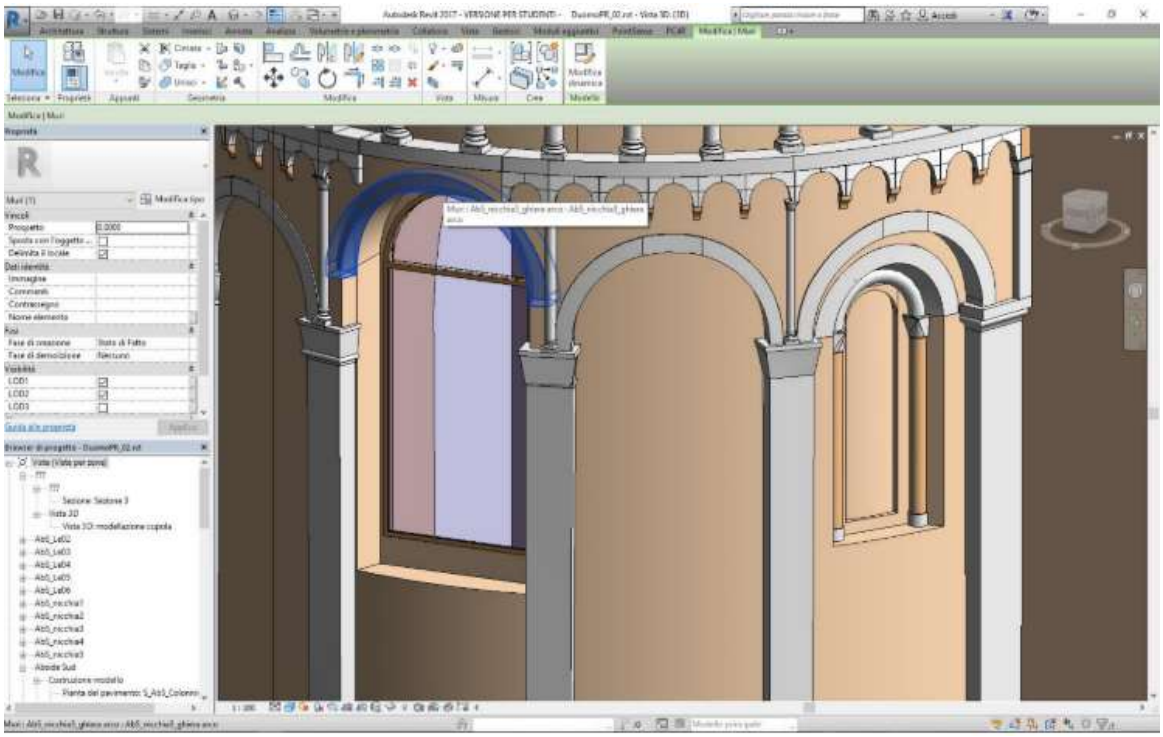


Fig. [69] Modello HBIM della Cattedrale (fonte: Bruno, N. 2017a)

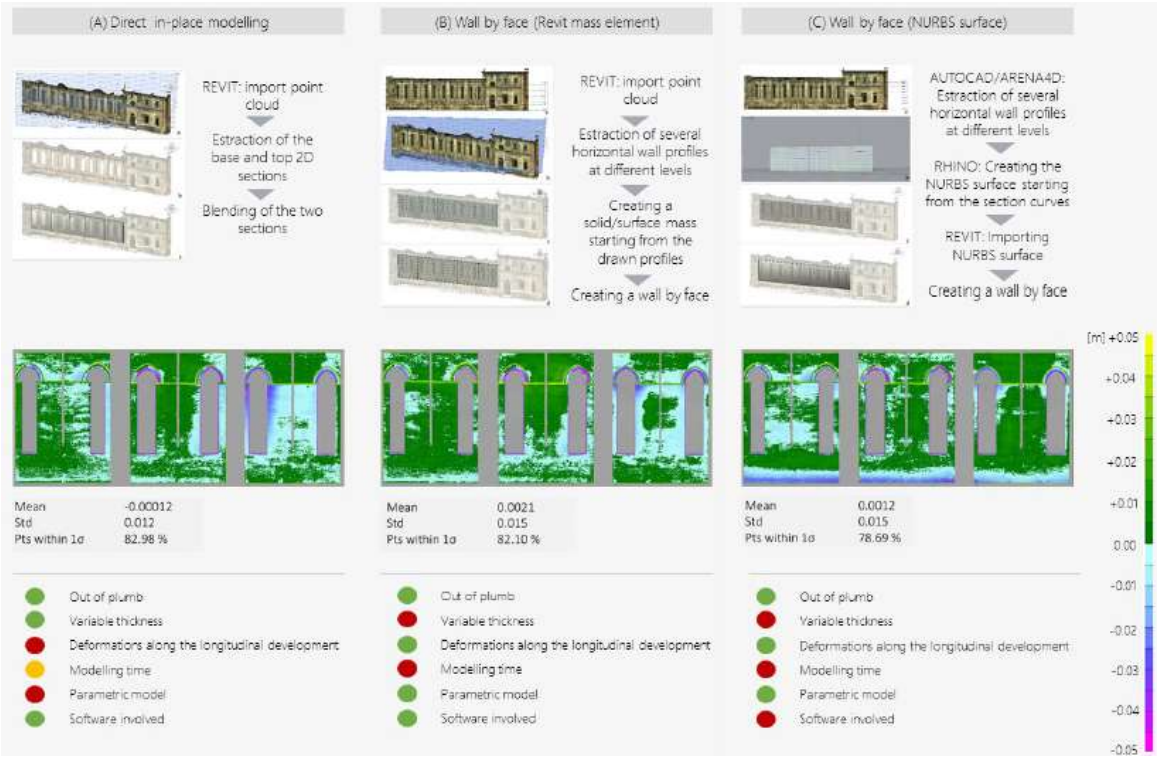


Fig. [70] Comparazione di tre flussi di lavoro per la creazione del modello BIM (fonte: Bruno, N. 2017a)

PARTE III – M-BIM

1. Introduzione al M-BIM per la gestione dei musei

Il Museo Galleria dell'Accademia di Firenze (FI, Italia) è stato scelto come caso studio sul rapporto tra BIM e edifici storici, tra BIM e Facility Management dei musei.

L'opportunità di indagare il tema è stata data dal recente sviluppo di un modello tridimensionale, realizzato su piattaforma BIM (Autodesk Revit Architecture 2018), dell'intero edificio della Galleria dell'Accademia. Il modello BIM creato dalla sezione Geomatica e Infrastrutture del Dipartimento DICEA dell'Università di Firenze aveva come finalità principale quella di fornire un modello idoneo per fare analisi strutturali FEM.

Le attività di rilievo svolte dal 2010 in poi hanno offerto una base informativa sufficiente ad avviare ipotesi sugli "usi alternativi" del modello. Trattandosi di un museo un lavoro di arricchimento del modello con le collezioni e gli oggetti di arredo è parsa la naturale prosecuzione di quanto fatto fino a quel momento.

L'interesse diffuso, soprattutto a livello accademico, nell'indagare i limiti e le potenzialità dei modelli HBIM è stato uno degli incentivi fondamentali per continuare le attività di studio su un complesso architettonico così interessante quale è la Galleria dell'Accademia di Firenze (Tucci, G. et al., 2019).

L'unione tra i modelli delle opere d'arte digitalizzate del museo e il modello HBIM dell'edificio crea un particolare tipo di modello che chiameremo M-BIM (Museum Building Information Model).

Per avviare le riflessioni sul rapporto BIM-Museo è innanzitutto opportuno comprendere le caratteristiche di questo particolare settore applicativo, a partire da ciò che il "museo" rappresenta.

Definizioni nazionali e internazionali di Museo…

"Un'istituzione permanente, senza scopo di lucro, al servizio della società e del suo sviluppo aperta al pubblico, che compie ricerche sulle testimonianze materiali dell'uomo e del suo

ambiente, le acquisisce, le conserva, le comunica e soprattutto le espone a fini di studio, di educazione e di diletto."[91]

"Struttura comunque denominata organizzata per la conservazione, la valorizzazione e fruizione pubblica di raccolte di beni culturali."[92]

Per una serie di ragioni in Italia la conservazione e la fruizione delle collezioni e raccolte dei musei sono state nel tempo regolate da leggi e norme più generalmente riferite al patrimonio artistico nella sua totalità (tutti i beni diffusi sul territorio). Le attenzioni specificamente rivolte al museo, quale *"istituto basato in un edificio ospitante cose da conservare ed esporre, e come tale dotato di requisiti irrinunciabili"* (D.M. 10 maggio 2001) sono state sviluppate non molto tempo fa (istituzione della Direzione Generale Musei - DPCM 29 agosto 2014, n. 171).
Il museo è uno spazio vissuto molto particolare. Per meglio comprendere questo concetto possiamo pensare di scomporre il museo nei suoi "elementi costituenti":

- un **contenitore:** gli elementi costituenti sono le strutture (immobili o mobili) che definiscono gli ambienti espositivi, gli ambienti di lavoro del personale e i servizi.
- un **contenuto:** ciò che viene esposto (oggetti d'arte, strumenti musicali, veicoli motorizzati, prodotti manifatturieri, reperti e testimonianze storiche, reperti archeologici e così via)
- un numero variabile di **persone** che interagisce con contenitore e contenuto: turisti, gestori, personale dipendente, studenti etc.

Il contenuto e il contenitore, in particolare, si relazionano secondo un rapporto simbiotico nel quale le esigenze dell'uno si riflettono sull'altro.

[91]ICOM, "Codice di deontologia professionale", adottato dalla 15.a Assemblea generale dell'ICOM riunita a Buenos Aires, Argentina, il 4 novembre 1986. La stessa definizione viene riportata nel DM 10 maggio 2001. Una definizione simile è poi ripresa anche nel Decreto Musei redatto dalla Direzione Generale Musei (DPCM 29 agosto 2014, n. 171): "Il museo è una istituzione permanente, senza scopo di lucro, al servizio della società e del suo sviluppo. È aperto al pubblico e compie ricerche che riguardano le testimonianze materiali e immateriali dell'umanità e del suo ambiente; le acquisisce, le conserva, le comunica e le espone a fini di studio, educazione e diletto, promuovendone la conoscenza presso il pubblico e la comunità scientifica."

[92]Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, D.Lgs. 29 ottobre 1999, n. 490, art. 99

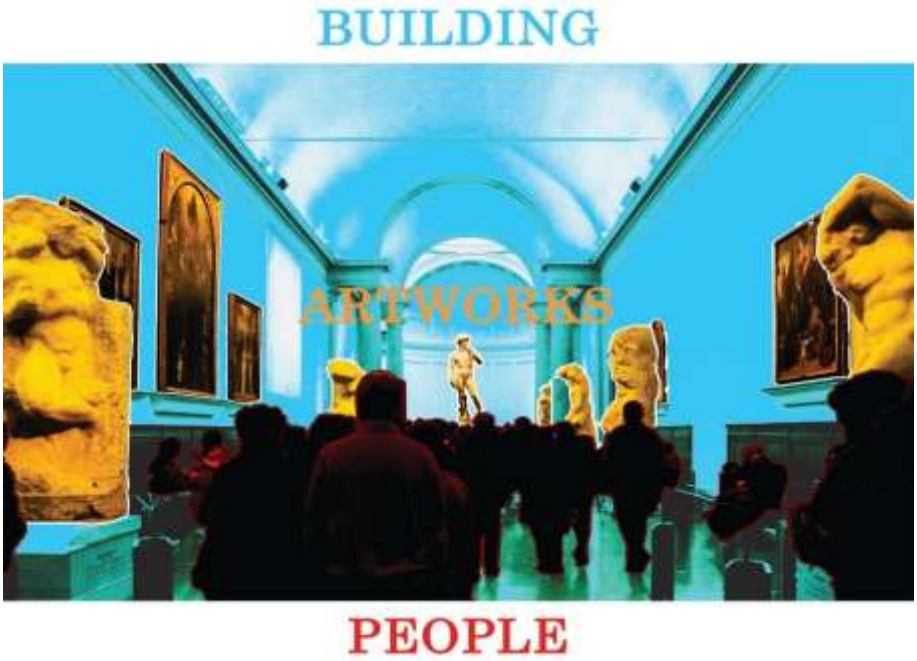


Fig. [71] I tre elementi costituenti: Building, Artworks, People

Il BIM nasce per essere strumento di condivisione delle informazioni e mezzo per lo scambio interdisciplinare, nel caso del BIM di un museo quindi non si poteva tralasciare l'influenza delle informazioni relative alle collezioni d'arte nel management complessivo.

A seguito delle riflessioni fatte sul "sistema museo" la tesi cerca di raggiungere i seguenti obiettivi generali:

- *Proporre* un sistema olistico di gestione delle informazioni per i musei (M-BIM).
- *Confrontare* le linee guida internazionali e italiane e la "good practice" sulla gestione dei musei.
- *Valutare* tutte le possibili applicazioni dell'utilizzo di un modello M-BIM facendo della Galleria dell'Accademia un caso studio di riferimento.
- *Sperimentare* il "riuso" di dati provenienti da più dataset informativi (ovvero banche dati e report informativi provenienti da interventi e indagini, fatte in diversi periodi temporali o da diverse strumentazioni) per l'elaborazione di differenti modelli nelle piattaforme BIM.

Il lavoro è stato svolto con il supporto informativo del team di management della Galleria dell'Accademia, in particolare è stato fondamentale il contributo dato dell'arch. Carlotta Matta per inquadrare gli aspetti principali e il management museale attualmente in uso.

Riguardo alle collezioni d'arte della Galleria dell'Accademia (che si compone principalmente di quadri, tavole dipinte e statue) e degli ambienti del museo le questioni emergenti per le quali il metodo BIM può dare un contributo sono:

- messa in sicurezza delle opere,
- reperibilità della documentazione sulle opere e sulle attrezzature,
- monitoraggio delle condizioni ambientali per il benessere delle persone,
- verifica degli effetti microclimatici sulle opere in presenza di specifiche condizioni,
- progettazione degli spazi espositivi e dei percorsi,
- monitoraggio del flusso di visitatori,
- gestione spaziale dei depositi,
- implementazione di CMMS[93] per programmare la manutenzione.

La Galleria dell'Accademia di Firenze evidenzia problemi legati alla mancanza di spazi per le attività di ufficio, servizi al visitatore (non vi è spogliatoio e caffetteria) e per il deposito delle opere non esposte. É ancora in fase di discussione un possibile ampliamento del museo nelle aree limitrofe di pertinenza di altre istituzioni. In questo caso il BIM può essere la base per fare simulazioni e progettare i vari spazi del museo per cercare di risolvere queste problematiche.

Il BIM come strumento di gestione delle informazioni nel settore AEC è ormai consolidato (Dore, C. et al., 2015; Dore, C. et al., 2017; López, F. J. et al., 2018).

Il management di un museo tramite l'uso del BIM è un ambito di ricerca in generale ancora poco sviluppato. Lo standard IFC consente a diversi operatori (proprietari, progettisti e consulenti di diverse discipline, costruttori, manager, etc.) di gestire in modo coordinato tutte le informazioni relative a un edificio e ai suoi componenti.

Sebbene ciò comporti maggiori investimenti economici e organizzativi nelle prime fasi di progettazione[94], una migliore comunicazione tra gli operatori porta a tempi e costi di realizzazione degli interventinti più brevi.

Nel 2015 è stato inaugurato il Coach Museum[95] a Lisbona. In questo caso, il BIM è stato utilizzato per il coordinamento del lavoro, in particolare per quanto riguarda il rilevamento

[93] Computer Maintenance Management System, vd. Glossario

[94]Si ricorda la curva di Mac Leamy sul processo BIM (vd. Parte I, cap. 5.3)

[95]Progetto di Paulo Mendes da Rocha e Ricardo Bak Gordon

di interferenze tra struttura e impianti, ma non ci sono riferimenti al suo utilizzo in relazione a FM o collezioni (Meireles, A. R. et al., 2019; Rangel, B. et al., 2019).

Un altro lavoro sul tema BIM e musei è stato presentato recentemente (Lo Turco et al., 2019a; Lo Turco et al, 2019b), riguarda la creazione di modelli 3D semanticamente arricchiti (chiamati Collection Information Models - CIM) e ipotizzano di poter analizzare il rapporto tra museo e oggetti all'interno dell'ambiente BIM. Bhowmik, S. (2015) ipotizza l'uso del BIM per la gestione integrata dell'edificio e delle collezioni del museo e per il coinvolgimento degli utenti, immaginando l'integrazione nel BIM di modelli digitali 3D per la creazione di un sistema digitale museale condiviso e collaborativo.

Nella modellazione HBIM di Palazzo Ferretti ad Ancona, che ospita il Museo Archeologico delle Marche (Moreira, A. et al., 2018), sono stati inseriti oggetti BIM costituiti da volumi semplificati (cilindri) per rappresentare i reperti archeologici, collegandoli a un database esterno contenente le informazioni (testi, immagini, modelli 3D) e esportandoli in formato IFC.

Un caso molto interessante è quello riportato da Atkinson, D. et al. (2019) sulla modellazione BIM delle informazioni riguardanti il vascello HMS Victory, conservata nel National Museum of the Royal Navy a Portsmouth (UK). All'interno di un VIM (Victory Information Model) sono stati modellati in 3D tutti i componenti della nave, associati a informazioni fisiche e storiche. L'obiettivo del VIM è quello di supportare il piano di conservazione e gestione della nave.

Questi studi sono una conferma della necessità di approcci integrati per la gestione dei musei e delle collezioni basati sulle nuove tecnologie

Un altro caso di studio sul Museo storico dell'archivio-Hydra (Hydra, GR) ha previsto la digitalizzazione dell'edificio in un modello HBIM e la digitalizzazione delle collezioni per la visualizzazione con strumenti AR/VR, ma non sono state approfondite le questioni sull'uso combinato delle due parti (Karadimas, et al., 2018).

É importante ricordare che la maggior parte dei musei del mondo si trovano in edifici storici o costruiti prima dell'adozione del BIM. Pertanto, le questioni relative all'HBIM degli edifici esistenti ricadono anche sulle strutture museali.

2. Analisi del sito

La Galleria dell'Accademia di Firenze è un museo che ha sede in un edificio storico collocato all'interno del tessuto urbano del centro della città, tra via Cesare Battisti, piazza San Marco, via Ricasoli e via degli Alfani. Il blocco urbano in cui si trova è stato oggetto di continui mutamenti e stratificazione di interventi svoltisi nei secoli. L'edificio museale non è stato risparmiato da profonde variazioni in pianta e in alzato causate da variazioni d'uso degli spazi e suddivisione degli ambienti tra le varie istituzioni. Ad oggi il museo confina con le aule, l'auditorium e le biblioteche dell'Accademia di Belle Arti, il Conservatorio Musicale Cherubini, gli ambienti della Scuola di Restauro Opificio delle Pietre Dure.
Le stratificazioni e la evidente complessità nella distribuzione spaziale rendono il modello digitale BIM dell'edificio un esempio di HBIM molto interessante. Il modello è stato un ulteriore banco di prova delle difficoltà che gli edifici complessi e irregolari creano agli strumenti di modellazione. Il modello è stato realizzato secondo un flusso di lavoro che parte da dati 2D per generare modelli 3D.

2.1. Il Museo Galleria dell'Accademia

Storia della sede del Museo

Il museo si trova nel cuore del centro storico fiorentino, prospetta su via Ricasoli e si sviluppa con più corpi di fabbrica su due cortili laterali. A breve distanza dall'edificio si trovano molti monumenti importanti della città: la chiesa di Santa Maria del Fiore con la famosa Cupola del Brunelleschi, il complesso monastico della chiesa di San Marco, lo Spedale degli Innocenti, la chiesa della SS. Annunziata, Palazzo Medici-Riccardi e molti altri luoghi importantissimi dal punto di vista storico, artistico e culturale.
I locali che costituiscono l'attuale museo si affiancano a quelli dell'Accademia di Belle Arti, al Conservatorio Luigi Cherubini e alla scuola di restauro Opificio delle Pietre Dure di Firenze.

La struttura è molto eterogenea e nasce sulla trasformazione di due complessi architettonici tardo trecenteschi: l'ex convento di San Niccolò in Cafaggio e l'ex ospedale di San Matteo.

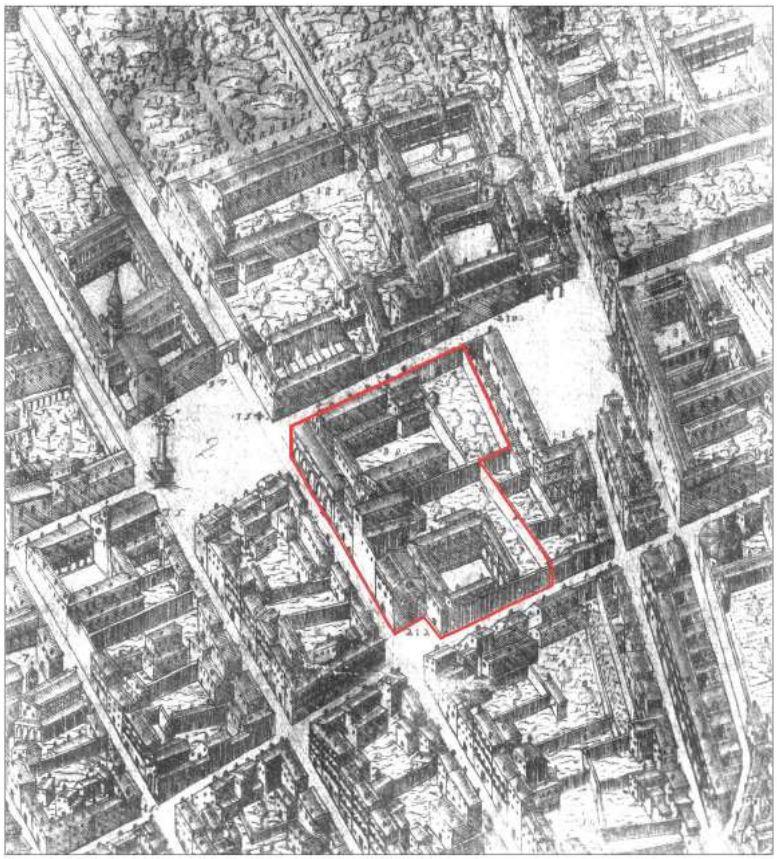


Fig. [72] 1584, Stefano Buonsignori, Pianta della città di Firenze. Particolare con evidenziato l"isolato comprendente i due complessi di San Matteo e di San Niccolò. (Mignani, D. 2009)

Qui di seguito un riassunto della storia dell'edificio e degli interventi più importanti (Mignani, D. 2009).

Le prime realizzazioni si hanno nel 1331-1340 con la realizzazione del vecchiomonastero di San Niccolò in Cafaggio in via del Cocomero (attuale via Ricasoli) nell'area denominata "Cafaggio".

Nel 1385 iniziano i lavori per la realizzazione del nuovo convento di San Niccolò sul lato sud e i lavori di realizzazione del nuovo ospedale di San Matteo, per volere di Guglielmo Balducci, sul luogo del vecchio convento di San Niccolò sul lato nord. I lavori terminano nel 1410.

Nel 1781 con la soppressione delle Corporazioni viene soppressa l'attività di ricovero dell'Ospedale di San Matteo.

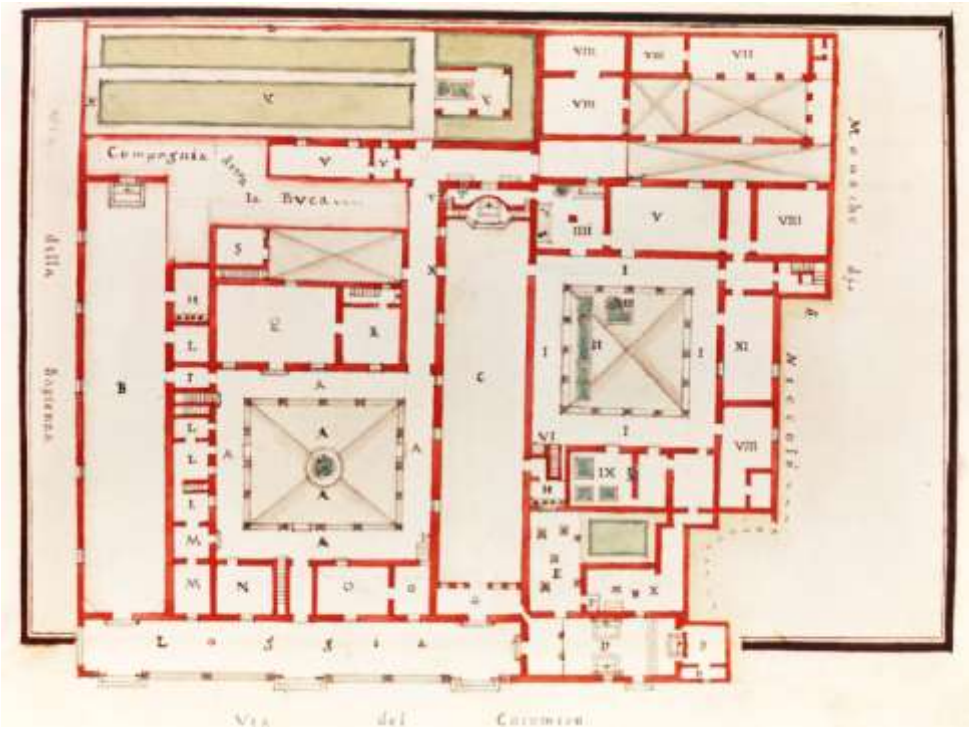


Fig. [73] Sec. XVIII, anonimo, pianta del piano terreno dell'ospedale di San Matteo prima della soppressione. Archivio di Stato di Firenze, Ospedale di Santa Maria Nuova, n.24, ins. 11,12 (Mignani, D. 2009)

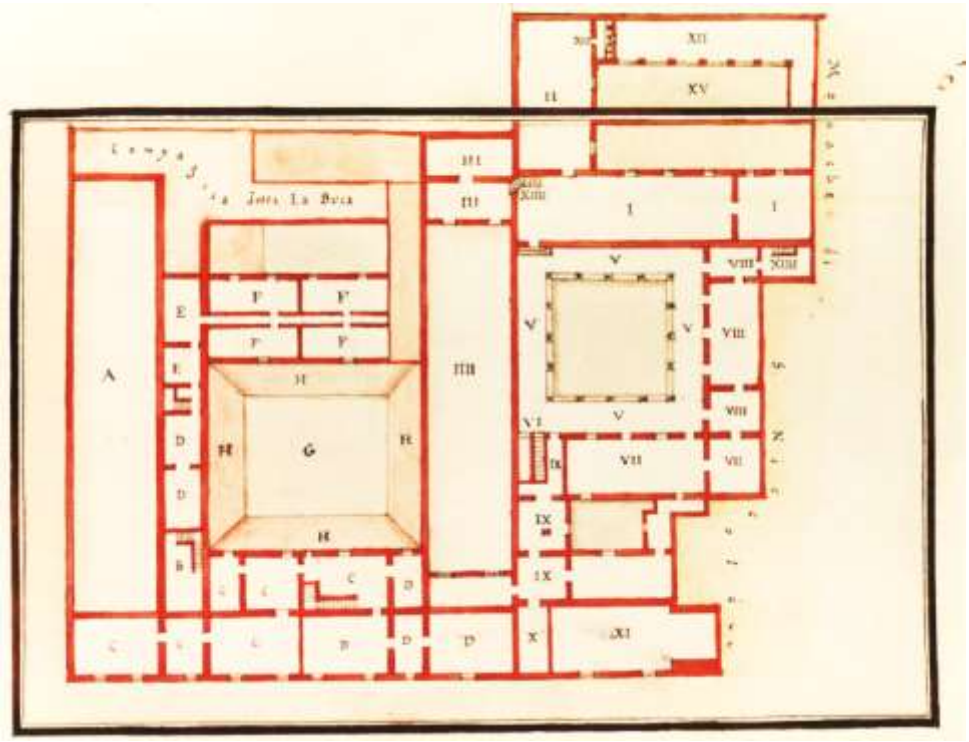


Fig. [74] Sec. XVIII, anonimo. Pianta del primo piano dell'ospedale di San Matteo prima della soppressione. ASF, ospedale di Santa Maria Nuova, n.24, ins.13 e 14. (Mignani, D. 2009)

Dal 1783 il vasto isolato compreso tra piazza San Marco, via Cesare Battisti, via Ricasoli e via degli Alfani fu interessato dal grande progetto lorenese di creazione di un unico complesso architettonico per la sede dell'antica Accademia delle Arti e del Disegno. Tutta la piazza di San Marco fu interessata da interventi edilizi.

Fig. [75] Il profondo rinnovamento edilizio evidente nel confronto delle vedute della piazza risalenti rispettivamente alla prima e alla seconda metà del Settecento (Mignani, D. 2009)

Nel maggio del 1784 iniziano i lavori per la ristrutturazione dell'antico fabbricato di San Matteo per adibirlo ad Accademia di Belle Arti. I lavori sono stati diretti dall'architetto Gaspare Maria Paoletti insieme agli architetti Bernardo Fallani e Giuseppe Salvetti.

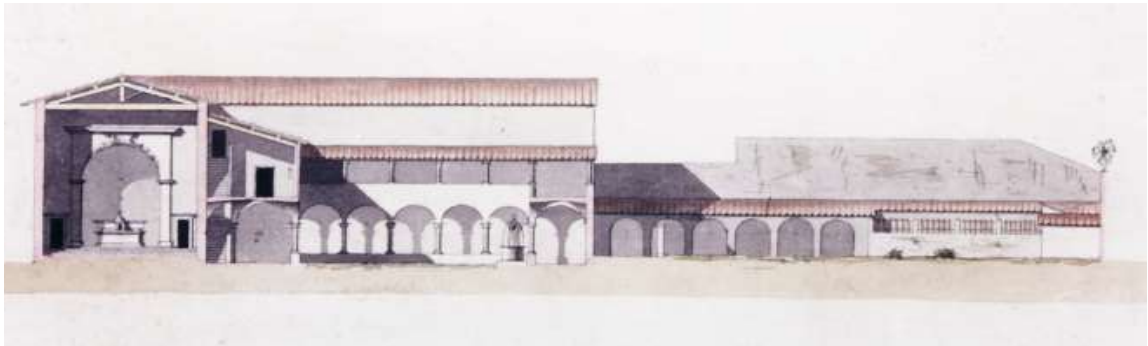


Fig. [76] Seconda metà XVIII sec, anonimo (attr. Bernardo Fallani), convento di San Niccolò, sezione sulla linea CD. Nel disegno è visibile lo spaccato della chiesa ed il prospetto del cortile centrale con il doppio loggiato. Archivio Museo Firenze com'era, cass.8, A, 302. (Mignani, D. 2009)

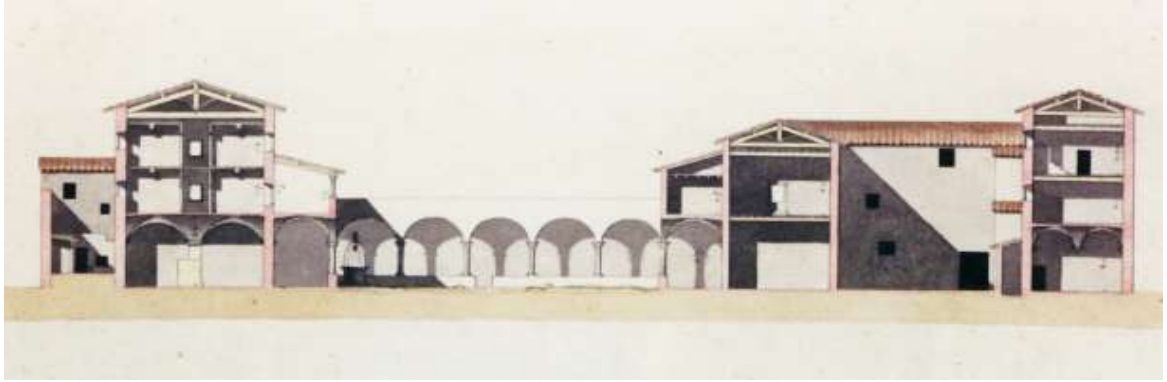


Fig. [77] Seconda metà XVIII sec., anonimo (attr. Bernardo Fallani), convento di San Niccolò, sezione lungo la linea AB. Nel disegno sono visibili lo spaccato del fabbricato a tre piani del refettorio con il soprastante dormitorio delle monache, il prospetto del cortile centrale con il loggiato e lo spaccato degli annessi di fattoria circostanti il secondo cortile. AMFCE, cass.8, A, 301. (Mignani, D. 2009)

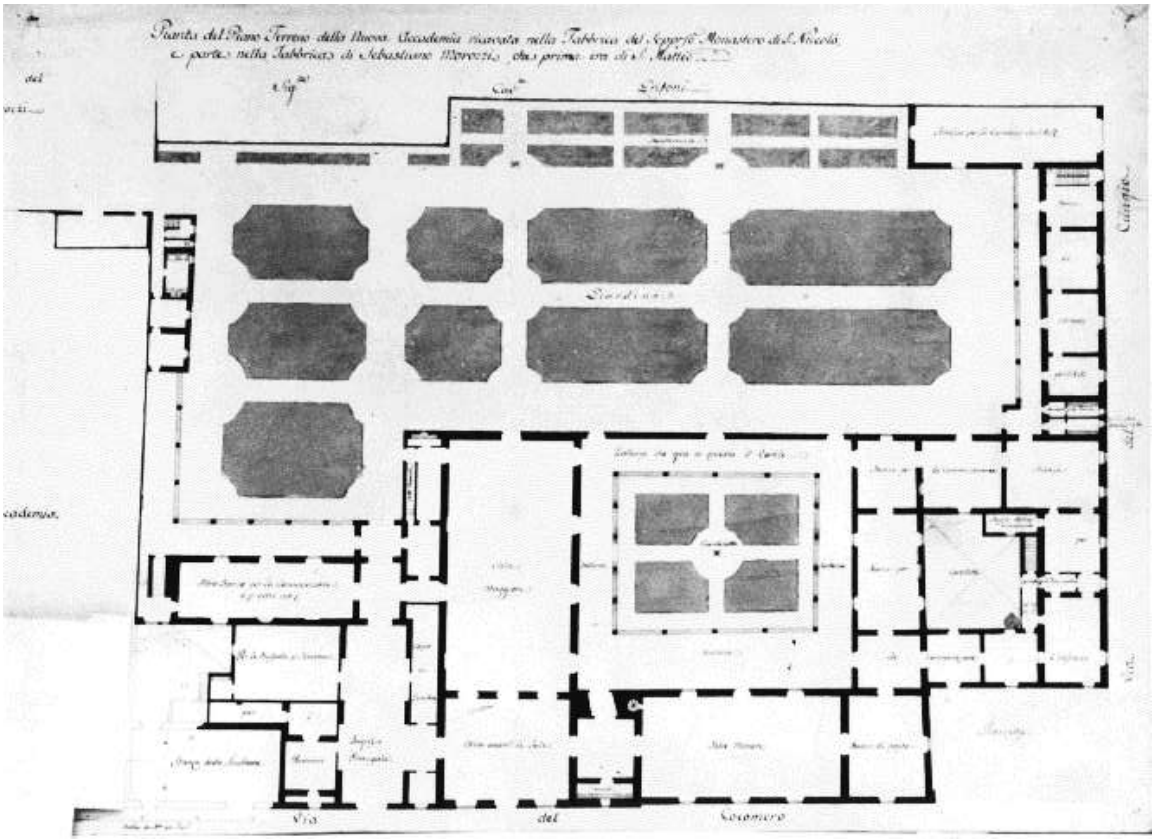


Fig. [78] Seconda metà XVIII sec., anonimo (attr. Bernardo Fallani). Pianta del piano terreno della nuova Accademia ricavata nel fabbricato del soppresso convento di San Niccolò. Progetto probabilmente definitivo. AMFCE, cass.8, A, n.284. (Mignani, D. 2009)

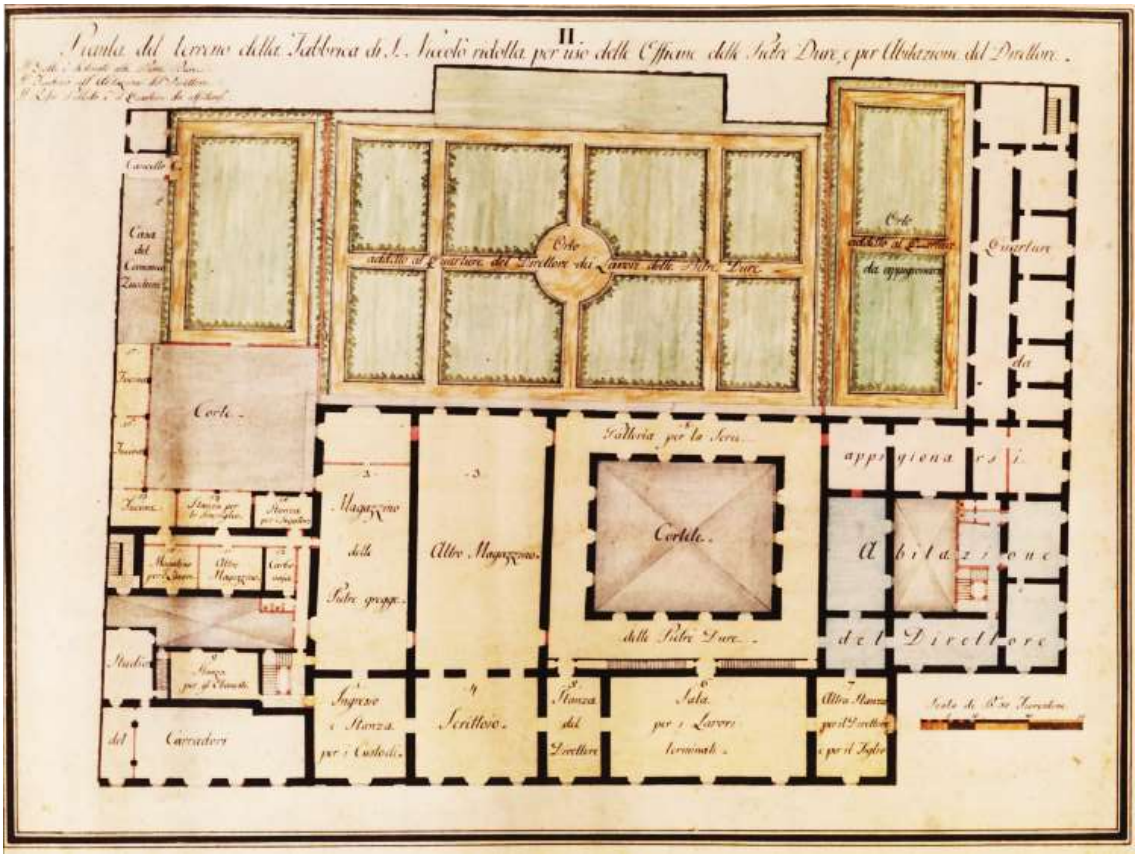


Fig. [79] Fine XVIII/inizi XIX sec., anonimo, pianta del piano terreno dell'ex convento di San Niccolò adibito a Opificio delle Pietre Dure. Il colore giallo indica gli ambienti destinati alle Pietre Dure, il colore azzurro l'abitazione del Direttore. ASF, Scrittoio delle regie possessioni, carte sciolte, n.544. (Mignani, D. 2009)

Il 3 ottobre 1784 si ha l'istituzione dell'Accademia di Belle Arti. Con questa istituzione inizia la raccolta di opere d'arte per quello che diventerà il museo Galleria dell'Accademia.

Nel 1797 l'Opificio delle Pietre Dure si trasferisce dagli Uffizi nell'ex convento di San Niccolò.

Nel 1853 l'architetto Francesco Mazzei progetta un intervento di ristrutturazione dell'intero complesso per realizzare una nuova sede da destinare all'Opificio delle Pietre Dure in via del Ciliegio, mentre gli ambienti già esistenti vengono destinati all'Istituto di Musica e alla Scuola di Declamazione.

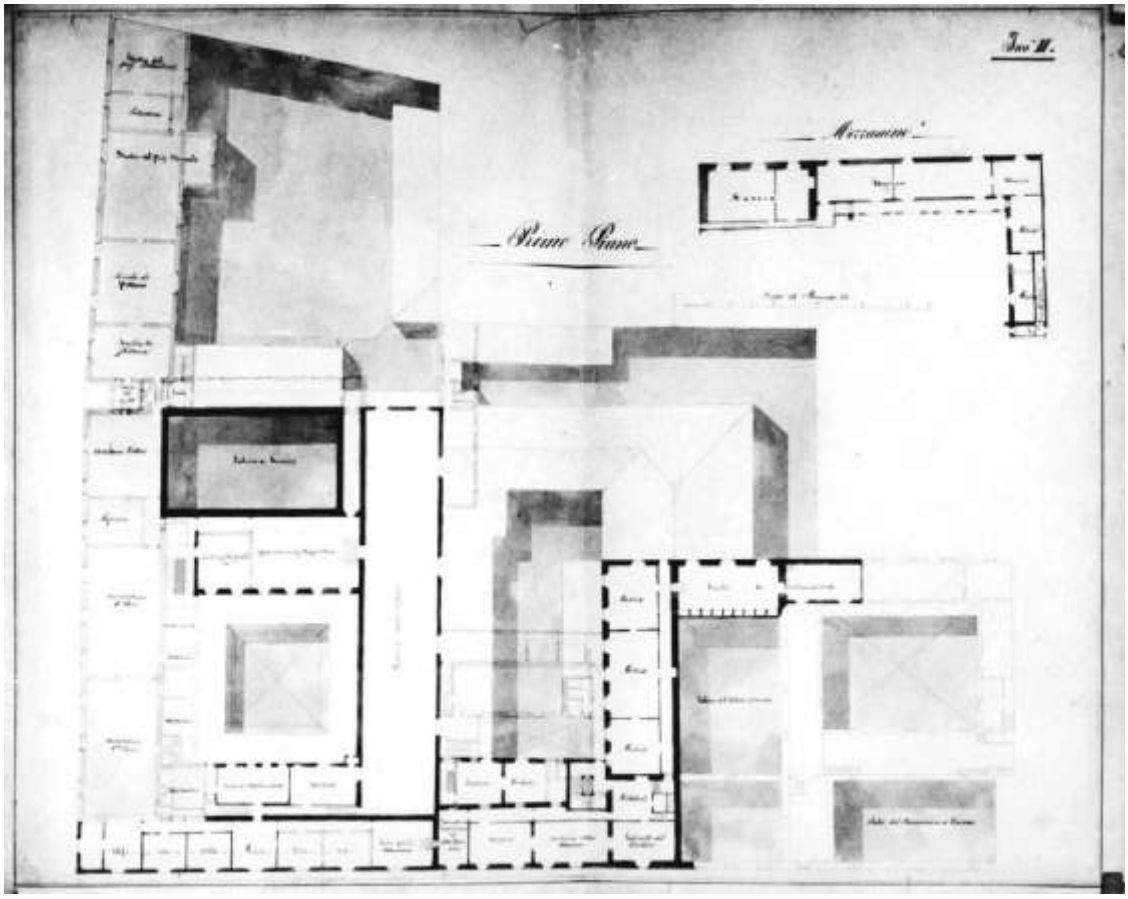


Fig. [80] Seconda metà XIX sec., anonimo. Sul retro del disegno è annotato Progetto del Mazzei da eseguirsi nel 1856. Progetto di Francesco Mazzei per trovare sede in San Niccolò alla scuola di musica. Pianta del primo piano. AMFCE, cass. 8, A, n.291. (Mignani, D. 2009)

Nel 1875 viene attuato un intervento per la costruzione dei transetti laterali della Tribuna, in occasione del quarto centenario della nascita di Michelangelo, allo scopo di creare degli ambienti adatti alla mostra delle riproduzioni in gesso dei suoi capolavori scultorei. Le statue vennero disposte intorno alla statua del David.

Tra il 31 luglio e il 4 agosto 1873 il David di Michelangelo viene spostato dalla sua collocazione originaria in piazza della Signoria e trasferito all'Accademia, in una sistemazione provvisoria, nel giardino retrostante via Ricasoli in attesa della creazione di una tribuna scenografica appositamente creata per ospitarlo.

Il 22 luglio del 1882 è la data di conclusione dei lavori e d'inaugurazione ufficiale dei locali del museo e della nuova Tribuna.

Negli anni successivi la separazione tra le aree dedicate al museo e quelle dell'Istituto di Belle Arti rese necessaria la realizzazione del nuovo ingresso al complesso su via Ricasoli, incamerando locali che erano appartenuti all'Opificio delle Pietre Dure.

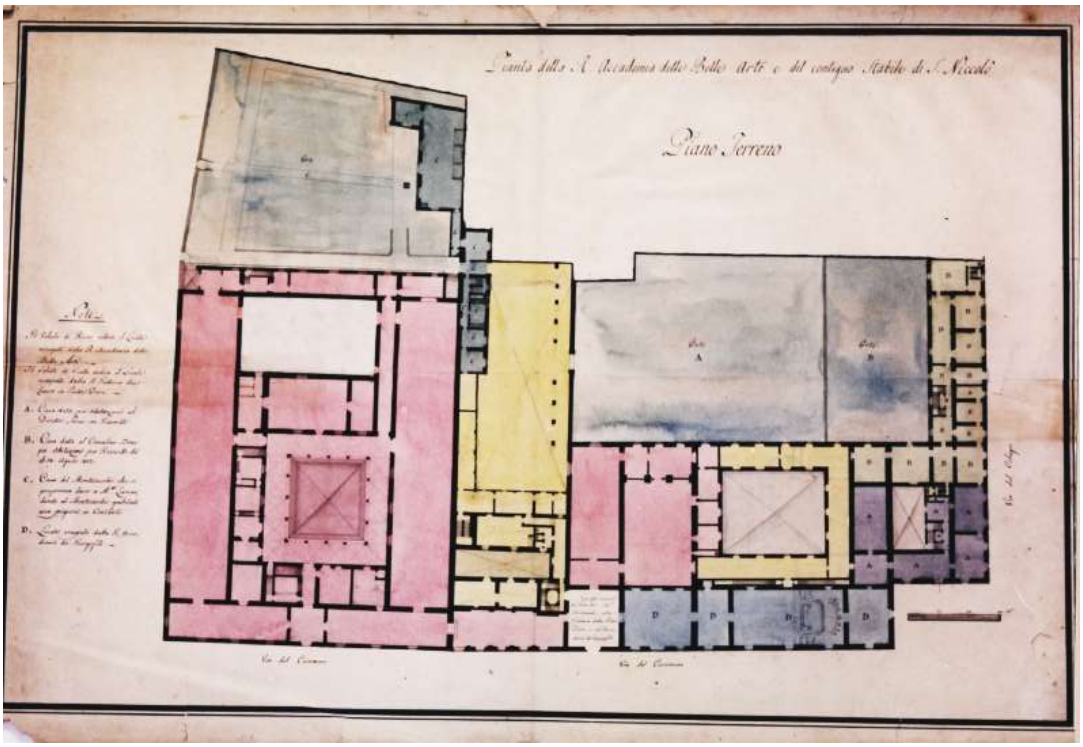


Fig. [81] Inizi XIX sec., anonimo, pianta del piano terreno della Accademia delle Belle Arti e del contiguo stabile dell'ex convento di San Niccolò. Per la prima volta i due fabbricati dell'ex ospedale di San Matteo e dell'ex convento di San Niccolò appaiono rappresentati unitamente, riuniti dalla comune destinazione. AMFCE, cass.8, A, n.303. (Mignani, D. 2009)

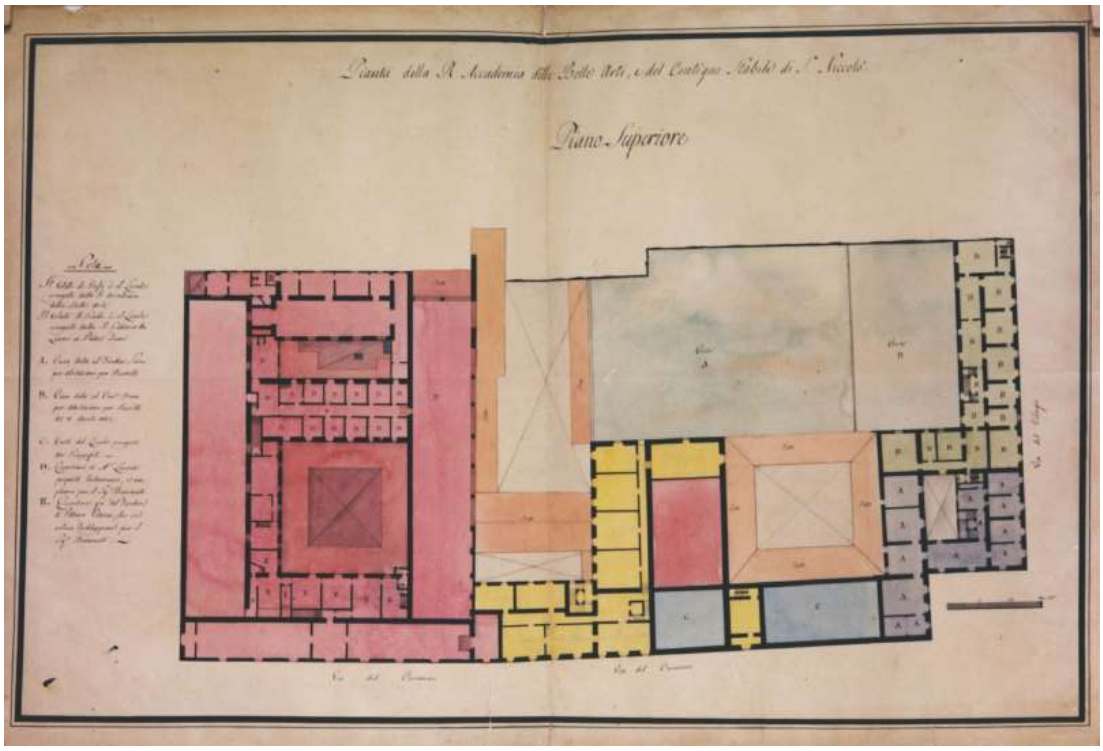


Fig. [82] Inizi XIX sec, anonimo, pianta del piano superiore della Accademia delle Belle Arti e del contiguo stabile dell'ex convento di San Niccolò. AMFCE, cass.8, A, n.304. (Mignani, D. 2009)

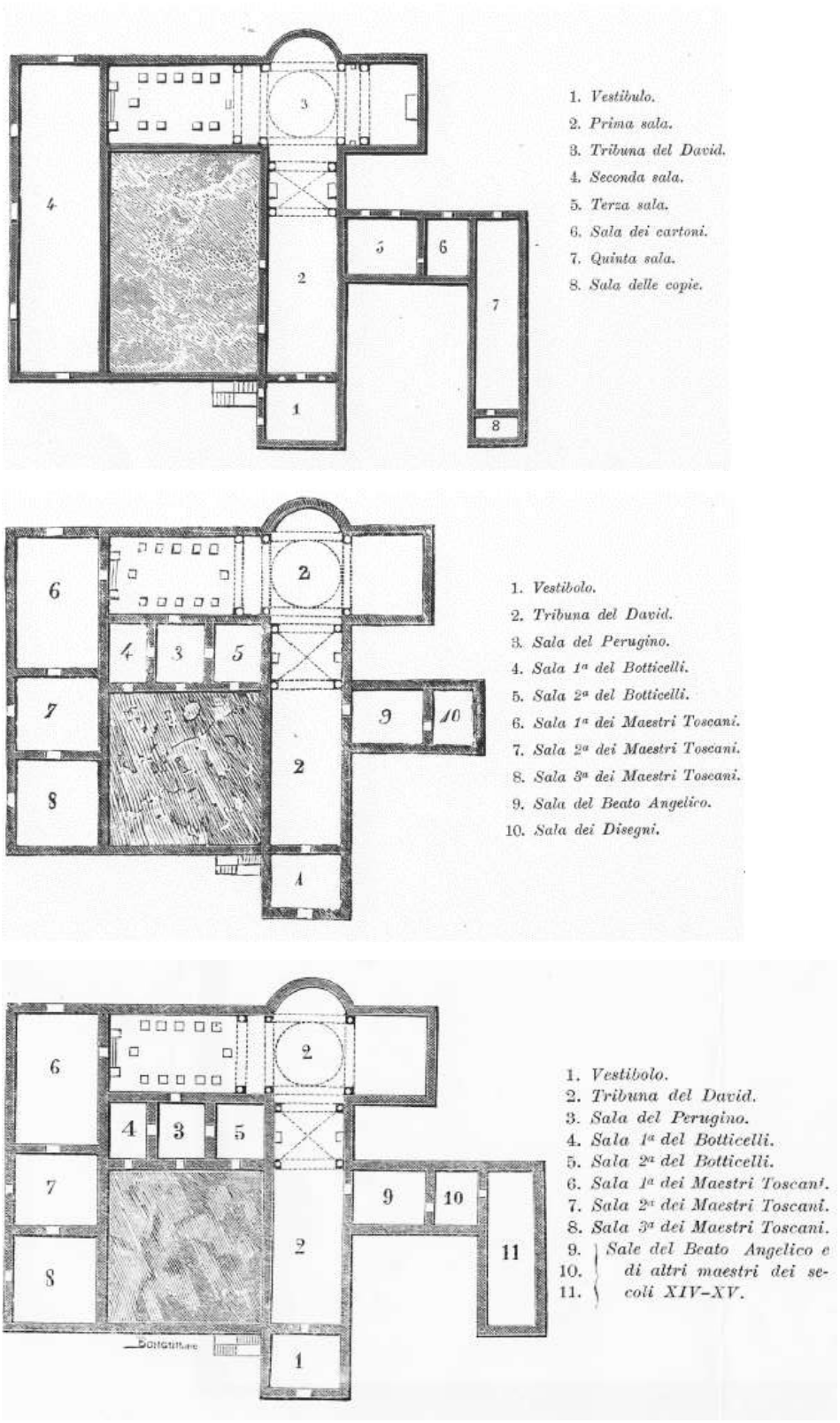


Fig. [83] Pianta del piano terreno della Galleria allegata all'edizione della "Guida della Reale Galleria Antica e Moderna e Tribuna del David" di Eugenio Pieraccini nelle edizioni degli anni 1884, 1893, 1901 (Mignani, D. 2009)

Nel periodo di ricollocazione delle opere del primo Novecento si interviene sugli spazi espositivi mettendo a disposizione del Museo tre nuove sale (sala del Duecento e primo Trecento, sala degli Orcagna e dei Giotteschi) sul lato sinistro della tribuna.

Nel 1904 La sala del Colosso diventa spazio espositivo.

Il restauro delle facciate del complesso, fatto tra il 1934 e il 1939, riporta alla luce i pietrami che componevano il portico tardo trecentesco dell'antico ospedale di San Matteo.

Dal 1972 al 76 si svolgono diversi lavori al primo piano della Galleria. Vengono modificate le falde dei tetti che diventano a doppia falda con nuove capriate lignee, vengono eliminati i lucernari e realizzate alte finestre a nastro. Vengono rimossi i tramezzi nella prima sala e rimossi gli intonaci (probabilmente anche le decorazioni neorinascimentali in stucco). I solai vengono rinforzati con travi in acciaio e le pavimentazioni sostituite.

Durante questi lavori viene restaurato anche il lucernario della Tribuna. Iniziano i lavori per gli impianti di condizionamento del museo.

I lavori sono condotti dalla Soprintendenza ai Monumenti di Firenze e Pistoia, soprintendente e probabile direttore dei lavori è l'architetto Guido Morozzi.

Fig. [84] Le sale del primo piano dopo il rifacimento delle coperture, durante i lavori di rinforzo dei solai. (Mignani, D. 2009)

Tra il 1975 e il 1979 il cassettonato ligneo della sala delle Toscane al piano primo viene restaurato in occasione dei lavori di ristrutturazione del vano soprastante, appartenente all'Accademia di Belle Arti.

Tra il 1980 e il 1983 si hanno interventi negli ambienti della Tribuna per la messa in opera dell'impianto di condizionamento dell'aria e di riscaldamento. In questa occasione il solaio della Tribuna nella parte circostante il David viene rilevato con documentazione grafica e fotografica.

Fig. [85] 1980-1983, lavori negli ambienti della Tribuna per la messa in opera dell'impianto di condizionamento. Archivio fotografico Soprintendenza per i Beni Architettonici, Paesaggistici, Storici, Artistici ed Etnoantropologici per le province di Firenze, Pistoia e Prato. (Mignani, D. 2009)

Tra il 1985 e il 1990, nella zona antistante la sala dei Prigioni e la biglietteria, vengono realizzati sedici bagni per i visitatori e la cabina elettrica in vani interrati. In un ambiente separato vengono realizzati gli spogliatoi e quattro bagni per il personale di custodia.

Nel 1991 viene realizzato il nuovo ingresso alla Galleria, ricavato dal vano situato sul retro del teatro del conservatorio Cherubini. Il nuovo ingresso al n.58 di via Ricasoli consente un percorso continuo al museo, con accesso dal n.58 ed uscita dal n.60. Il progetto è dell'arch. Paola Grifoni e dell'ing. Luciano Marchetti.

Nel 1998 si svolgono alcuni lavori nelle sale del piano primo: vengono realizzati i controsoffitti e i nuovi impianti di illuminazione e condizionamento, la pavimentazione delle sale viene rifatta con lastre di pietra serena. Sono realizzati anche i nuovi uffici della direzione del museo negli ambienti ricavati nelle soffitte soprastanti alla sala del Colosso. Sono realizzate tre stanze e due bagni di servizio per il piano. Il direttore dei lavori è l'ing. Luciano Marchetti.

Intorno al 2000 vengono recuperati gli ambienti al piano terreno adibiti ad alloggio del casiere, per farne spazio espositivo. L'intervento ha comportato la demolizione dei tramezzi in muratura ed il recupero degli antichi ambienti.

Nel 2001/2002 il lucernario della Tribuna del David viene restaurato. I lavori vengono condotti dalla Soprintendenza Speciale per il Polo Museale di Firenze, soprintendente ai lavori è il prof. Antonio Paolucci, la direttrice del museo di allora era la dott.ssa Franca Falletti, direttore dei lavori è l'arch. Maria Cristina Valenti.

L'anno successivo alla conclusione dei lavori vengono fatte delle indagini sulle lesioni presenti negli archi della Tribuna. Viene monitorato il quadro fessurativo ed eseguito un saggio sulle fondazioni della Tribuna. A partire dai dati raccolti per precauzione sono state apposte tre catene nei due archi della Tribuna e nell'arco della parete laterale del braccio destro.

Nel 2005 il corridoio di uscita viene ampliato e il bookshop trova una nuova sistemazione nel cortile all'interno di una nuova struttura tutta in acciaio.

L'anno dopo l'esigenza di realizzare un accesso, destinato ad accogliere i visitatori con prenotazione, porta alla realizzazione del nuovo ingresso al civico 58/A sostituendo una finestra esistente con una porta.

Nel 2009-2010 sono state fatte indagini statiche nella sala dei gessi di Lorenzo Bartolini monitorando le lesioni presenti nella parte alta della parete prospiciente il cortile.

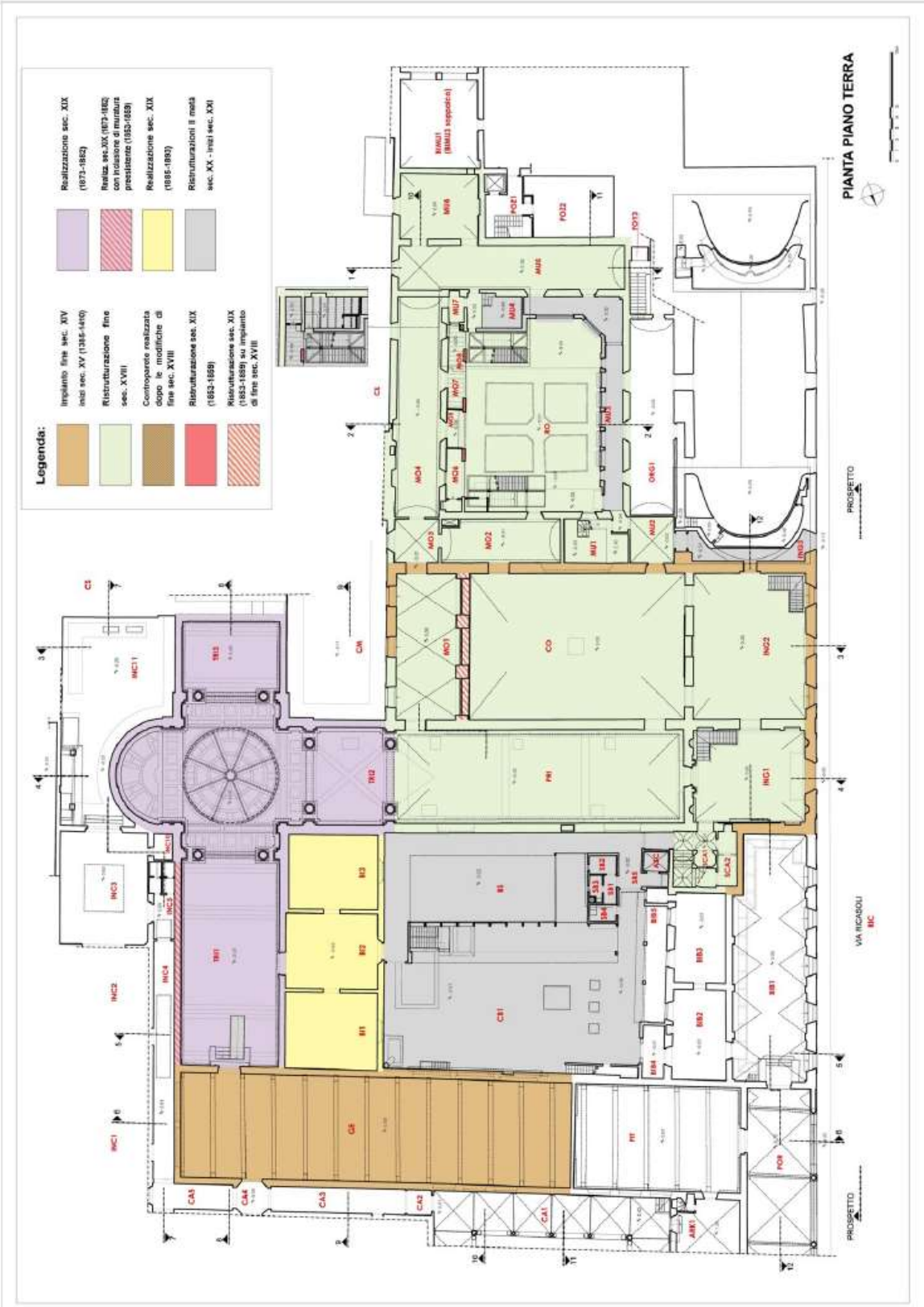


Fig. [86] Pianta piano terra della Galleria dell'Accademia. Tavola storica. (fonte: Magnani, D. 2010)

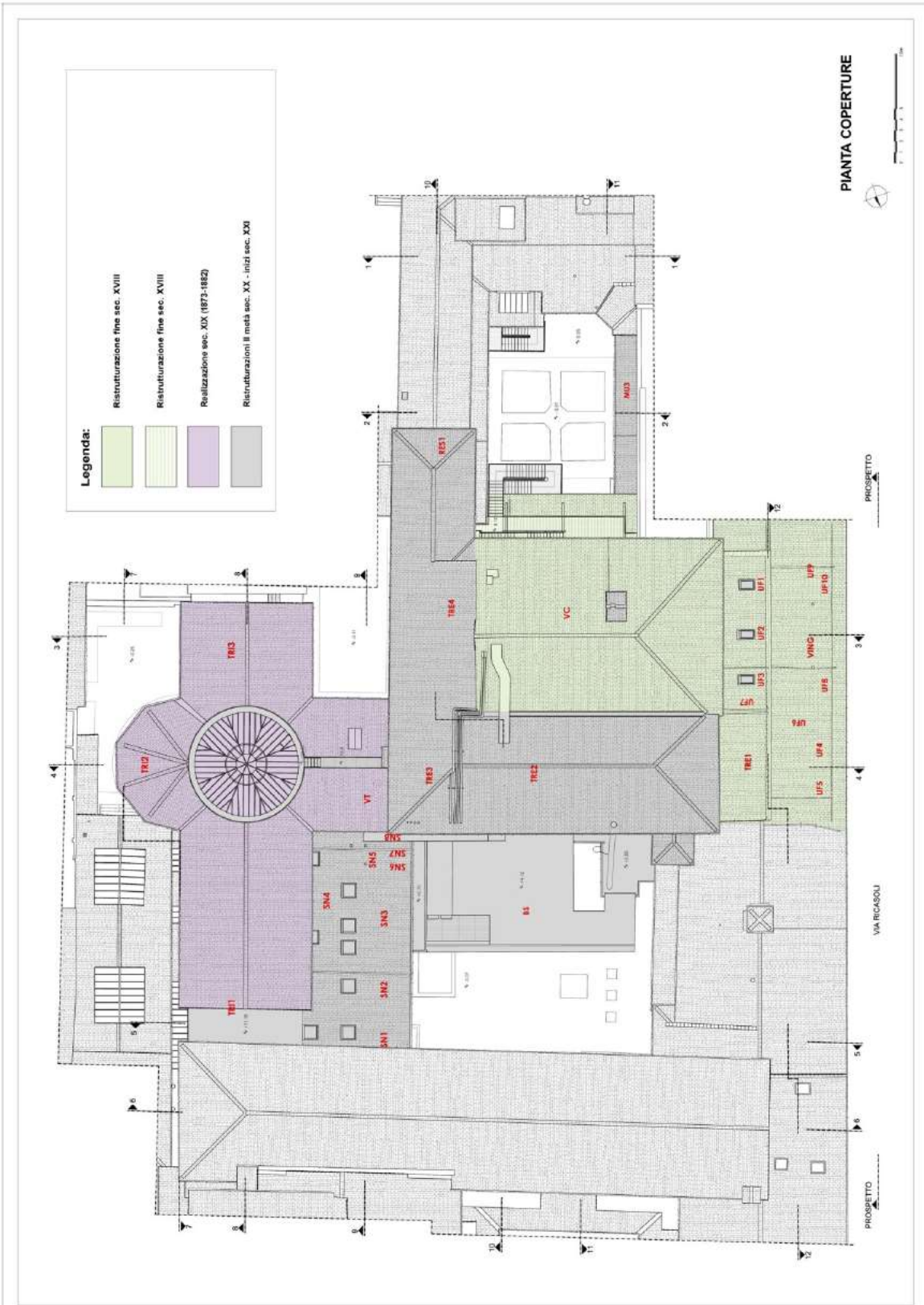


Fig. [87] Pianta delle coperture della Galleria dell'Accademia. Tavola storica. (fonte: Magnani, D. 2010)

Storia del museo e delle collezioni

La Galleria dell'Accademia è uno dei musei più importanti d'Italia per la ricchezza e l'importanza delle opere esposte. Al suo interno sono raccolte un considerevole numero di opere scultoree di Michelangelo Buonarroti, tra cui quella che possiamo considerare l'opera scultorea più famosa, il David.

Nel museo è esposta un'ampia raccolta di opere pittoriche su tavola e polittici a fondo oro, una preziosa collezione di gessi di Bartolini, il Ratto delle Sabine del Giambologna e il Museo degli strumenti musicali con pezzi derivanti dalla collezione del Conservatorio Luigi Cherubini. Le collezioni rappresentano principalmente l'attività della scuola toscana dal XIV al XIX secolo.

Non meraviglia certo se il museo è quarto in Italia come numero di visitatori con ben 1.461.185 registrati nel 2016[96].

La data di fondazione del museo risale al 1784, anno in cui il granduca Pietro Leopoldo di Lorena rifondò l'Accademia di Belle Arti nei locali dell'Ospedale di San Matteo e del convento di San Niccolò di Cafaggio. La funzione del museo doveva essere quella di raccogliere collezioni visitabili dagli studenti di arte per motivi di ricerca e ispirazione.

Questa prima collezione si è andata ampliando nel tempo integrando opere provenienti da conventi e monasteri soppressi dallo stesso granduca.

Altre opere importantissime sono state qui collocate da Napoleone, come per esempio le Maestà di Cimabue e di Giotto, la Sant'Anna Metterza di Masaccio e Masolino, l'Adorazione dei Magi di Gentile da Fabriano, il Battesimo di Cristo di Verrocchio e Leonardo, la Cena in Emmaus di Pontormo.

La collezione fu però anche soggetta a spoliazioni durante la dominazione napoleonica, tra il 1789 e il 1815, che comportò lo spostamento in Francia di alcune opere (e.g. la Pala Barbadori di Filippino Lippi, la Presentazione al tempio di Gentile da Fabriano).

Nel 1841 il presidente dell'Accademia, Antonio Ramirez de Montalvo, dispose secondo un ordine cronologico le opere che fino a quel momento erano state collocate in modo confusionale. Nel 1859 il granduca Leopoldo II acquistò quadri che saranno alla base della

[96]Rilevazione 2016 "Visitatori e Introiti dei Musei, Monumenti ed Aree Archeologiche Statali per Istituto" ad opera del MIBACT, Direzione Generale, Bilancio Servizio II, Ufficio di Statistica. Consegnato in data 05/01/2017

futura Galleria dei Quadri Moderni, inoltre stabilì che la Galleria fosse la sede per l'esposizione permanente delle opere premiate nei concorsi accademici.

Nella Galleria dei Prigioni vennero collocate le tavole di un gran numero di autori, talmente tante da arrivare fino al soffitto (Faletti, F. et al. 2015).

Con l'Unità d'Italia e Firenze capitale avvenne uno sconvolgimento museologico nella città. Nell'Accademia fu ampliato il settore moderno con l'aggregazione delle opere provenienti dalla Galleria Moderna di Palazzo della Crocetta (Faletti, F. et al. 2015). Tra il 1865-71 vennero infatti aggiunte alla sezione "moderna" ben 146 opere, collocate in sei stanze al primo piano. Questa grande acquisizione indusse a cambiare il nome del museo in "Galleria Antica e Moderna", diventando ufficialmente il primo museo di arte contemporanea dello Stato.

Nel 1872 viene trasferito nel museo l'opera scultorea per eccellenza di Michelangelo, il David, dalla precedente collocazione in Piazza della Signoria. L'architetto Emilio De Fabris costruì appositamente per la collocazione del David una nuova tribuna scenografica al termine della Galleria dei Quadri antichi (oggi Galleria dei Prigioni) che rese la scultura il vero centro focale del museo.

Nel 2000 si ha la nuova sezione espositiva dedicata agli antichi strumenti musicali. L'intervento ha comportato il restauro di alcune sale del Conservatorio Cherubini.

Nel 1875, in occasione del IV Centenario della nascita di Michelangelo, per esporre i calchi delle opere dell'artista, fu richiesta la trasformazione della Tribuna da ambiente a pianta quadrata in croce greca. L'involucro di legno intorno al David fu tolto e la statua diventò il centro della "composizione".

Nel 1882 attorno al David vengono collocati calchi dei sepolcri medicei, del Mosè, i calchi della Pietà vaticana, della Pietà Rondanini, del Cristo della Minerva e dei Prigioni.

La prima edizione della "Guida della Reale Galleria Antica e Moderna e Tribuna del David" di Eugenio Pieraccini viene pubblicata nel 1884. La Guida illustra l'esposizione delle opere.

Fig. [88] La Tribuna del David, post 1884-ante 1900, Archivio fotografico Fratelli Alinari, foto Brogi.

Fig. [89] La Tribuna del David, post 1911-ante 1930, Archivio fotografico Fratelli Alinari, foto Brogi.

Una seconda edizione verrà pubblicata nel 1893 e le opere risultano disposte secondo un nuovo allestimento.

Tra il 1906 e il 1909 pervengono gli originali dei quattro Prigioni provenienti dalla grotta del Buontalenti in Boboli, il San Matteo dall'atrio dell'Accademia di Belle Arti, la Vittoria dal museo del Bargello. Per tali collocazioni vengono fatti scavi e rinforzi nel pavimento e realizzate nuove basi in legno. Le nuove edizioni della Guida alla Reale Galleria illustrano puntualmente il nuovo allestimento.

Nel 1913 viene inaugurato il nuovo allestimento della sezione dei quadri moderni che occupa ora, oltre alle sei sale del primo piano, i due saloni terreni detti la sala e l'antisala del Colosso.

Nel 1936 esce la prima edizione della guida "La R. Galleria dell'Accademia di Firenze" di Ugo Procacci che riporta gli allestimenti. Tre anni dopo si aggiunge alla collezione la Pietà da Palestrina, proveniente da una cappella di palazzo Barberini a Palestrina.

Il 22 giugno 1985 apre il nuovo allestimento delle sei sale al primo piano e del salone al piano terreno dedicato ai gessi di Lorenzo Bartolini e Luigi Pampaloni.

Nel dicembre del 1998 viene inaugurato un nuovo allestimento nelle sale al primo piano accompagnato da alcuni interventi sull'edificio.

L'ultimo allestimento delle risale al 2015 ma già un'opera di risistemazione delle opere era avvenuta nel 2010. Gli interventi hanno saldato il percorso cronologico dell'esposizione.

Fig. [90] Organizzazione degli ambienti espositivi in relazione a un ordine cronologico (design by: Gordon, D., SACI Studio Arts College International.
fonte: http://www.galleriaaccademiafirenze.beniculturali.it/)

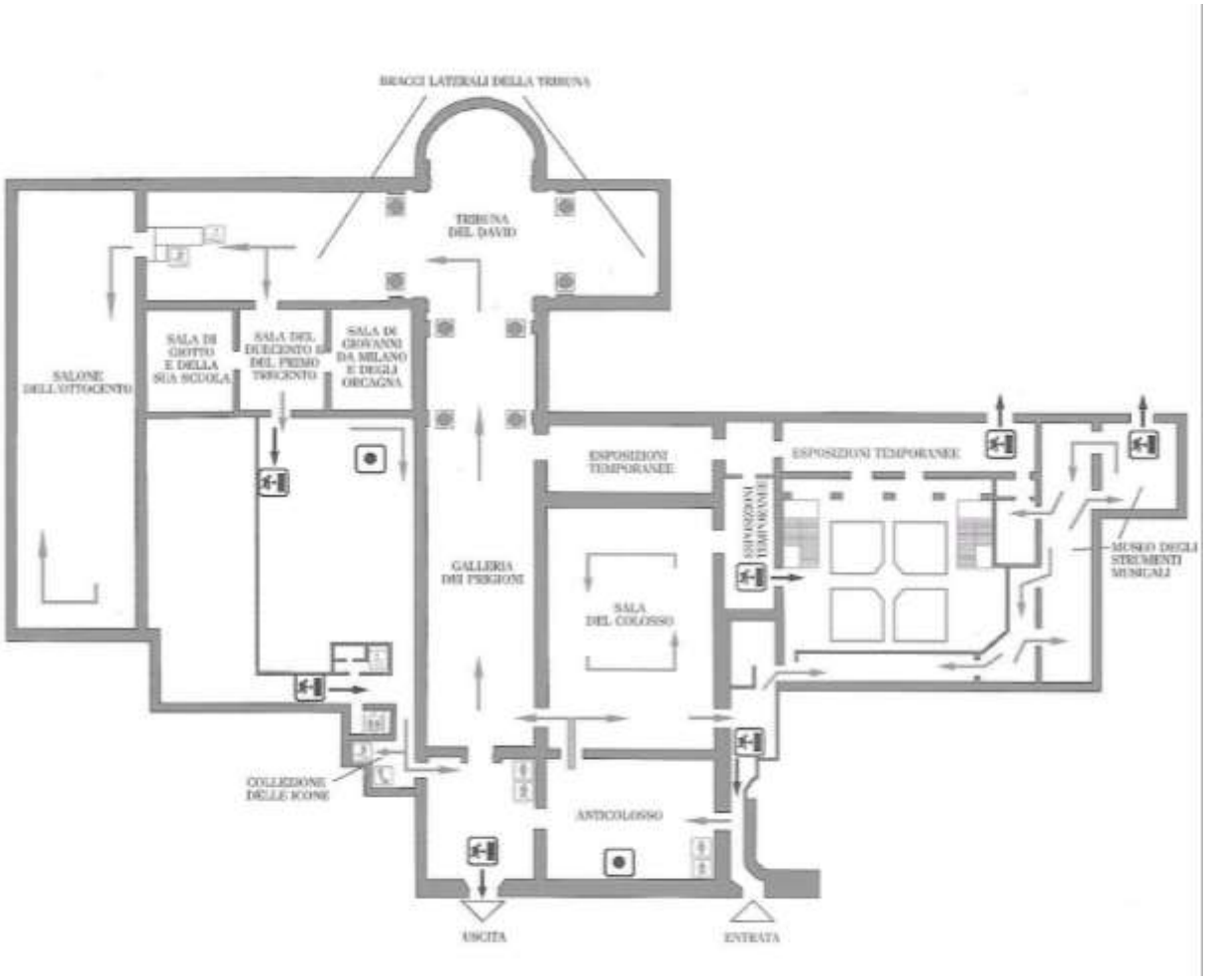


Fig. [91] Pianta del piano terra del museo. Denominazione delle sale aggiornate al 2015. (fonte: Faletti, F. et al. 2015)

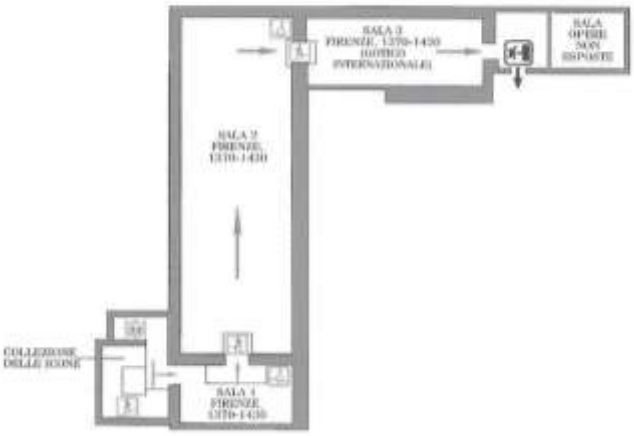


Fig. [92] Pianta del piano primo del museo. Denominazione delle sale aggiornate al 2015. (fonte: Faletti, F. et al. 2015)

Il modello HBIM della Galleria dell'Accademia

Il modello BIM degli ambienti della Galleria dell'Accademia è un esempio significativo per lo studio del rapporto tra "BIM e Heritage". Come risulta evidente nel paragrafo dedicato alle caratteristiche della sede del museo, l'edificio presenta una elevata complessità nelle stratificazioni degli interventi. Quello che vediamo oggi è un insieme di ambienti espositivi con caratteristiche molto diversificate, i rimaneggiamenti continui della struttura sono presenti sia in pianta che in alzato. Operazioni di ammodernamento, interventi di consolidamento strutturale e ristrutturazioni impiantistiche si sono susseguiti dalla fine del secolo scorso ad oggi.

La complessità dell'edificio ha permesso di affrontare all'interno dell'implementazione del BIM problematiche relative a:

- rappresentazione di forme irregolari,
- gestione di dati provenienti da molteplici set di dati,
- compatibilità dei formati di scambio tra diverse piattaforme e vari settori disciplinari.

Le basi fondamentali per la realizzazione del modello sono state fornite dai rilievi eseguiti negli anni precedenti, in particolare quelli del 2010-2011.

Non esiste un metodo di rilievo valido per qualsiasi situazione, le modalità di fruizione degli spazi infatti sono un fattore chiave per l'organizzazione del rilievo (Tucci, G. et al., 2014).

Nel caso della Galleria dell'Accademia le strumentazioni utilizzate per le attività di rilievo sono molteplici e le principali campagne sono state svolte e ripetute per finalità principalmente legate alla verifica di idoneità sismica e verifiche strutturali di vario genere.

I dati raccolti non si sono però limitati a registrare informazioni sulle strutture dell'edificio e sono stati ritenuti sufficienti per avviare altri tipi di indagine, ad esempio, l'implementazione dei modelli digitalizzati delle collezioni per creare un modello M-BIM.

2.2. Il rilievo metrico dell'edificio

I progetti di ricerca svolti sul complesso della Galleria dell'Accademia di Firenze sono iniziati nel 2010, esempio pilota voluto dalla Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici della Toscana per verificare quanto previsto dalle Linee Guida per la "Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale" (Tucci, G. et al., 2014). L'edificio della Galleria infatti è un bene di valore artistico e storico e contenente opere d'arte inestimabili. Per questi motivi è stato ritenuto un valido caso studio per implementare il BIM anche negli aspetti gestionali dell'edificio.

Lo studio e le campagne di rilievo sono stati svolti dal Dipartimento di Costruzioni e Restauro dell'Università degli Studi di Firenze, in particolar modo si è dedicata al lavoro svolto la "Sezione Costruzioni" del Dipartimento e il Laboratorio di Geomatica per l'Ambiente e la Conservazione dei Beni Culturali (Tucci, G. et al., 2019).

Per un rilievo strutturale esaustivo di un organismo così articolato è stato indispensabile, innanzitutto, conoscerne la geometria complessiva con particolare attenzione all'andamento degli elementi portanti verticali e orizzontali. Per consentire la verifica della natura e degli spessori delle strutture della Galleria, è stato necessario estendere il rilievo alle porzioni dei fabbricati confinanti, che con essa condividono murature verticali e solai.

Le operazioni di rilievo e l'elaborazione dei dati acquisiti per le indagini di vulnerabilità sismica[97] sono iniziati nel giugno 2011 e conclusi in luglio dell'anno successivo.

Nella progettazione delle varie fasi di acquisizione delle geometrie è stato necessaria una organizzazione onerosa e scrupolosa che tenesse conto della presenza di un numero considerevole di utenti all'interno dell'edificio (visitatori e staff) che frequenta questi ambienti per gran parte delle ore del giorno, dei problemi di accessibilità dovuti all'articolazione della struttura e del doversi relazionare con istituzioni che hanno le strutture murarie in condivisione con la Galleria. Un'altra problematica ulteriore è stata quella di garantire la tutela delle opere da qualsiasi rischio dovuto alle operazioni di rilievo (Tucci, G. et al., 2014).

[97] Le indagini fanno riferimento alle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" allineate alle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 14 gennaio 2008. La normativa prescrive tre livelli di valutazione supportati in modo inalienabile da un rilievo che permetta la conoscenza strutturale e per "definire la geometria del modello da usare nell'analisi sismica".

Altri fattori determinanti per definire le strategie sono stati: estensione dell'area di rilievo, problemi di accessibilità dovuti all'articolazione della struttura e condivisione dei confini con ambienti di altre istituzioni, interferenze con elementi che limitano la libertà operativa. Per l'organizzazione sono stati quindi necessari numerosi sopralluoghi, autorizzazioni specifiche per gli accessi e materiale grafico e cartografico.

L'area di rilievo è stata divisa in quattro aree comprendenti un totale di 260 ambienti codificati in modo univoco per tutto il materiale prodotto (scansioni laser, fotografie etc.).

I dati provenienti da scansioni laser di rilievi già esistenti, realizzate precedentemente su alcune parti degli spazi del museo da parte dell'ICR (Istituto Centrale per il Restauro) e resi disponibili dalla Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici della Toscana, sono stati valutati e verificati. Gli elaborati analizzati contenevano però alcune problematiche: errori e deformazioni, una referenziazione incoerente, una risoluzione insufficiente per le finalità del progetto, allestimenti non aggiornati.

Per questi motivi è stato ritenuto più idoneo realizzare acquisizioni ex novo dell'intero edificio.

L'integrazione dei metodi topografici classici a scansioni tridimensionali permette di creare un archivio interrogabile di dati metrici 3D, dal quale ricavare le informazioni necessarie. Di fondamentale importanza per la creazione del database spaziale è la comune referenziazione dei dati.

La prima fase di acquisizioni è stata quella topografica. La progettazione della rete ha tenuto conto dei vincoli imposti dalla geometria dell'oggetto del rilievo oltre alle condizioni per ottenere una configurazione ottimale. La rete si compone di più di 100 vertici con una distribuzione tale da garantire un buon livello di rigidezza, ciascuno dei quali materializzato permanentemente, in maniera non invasiva e monografato in modo accurato.

È stata individuata un'organizzazione gerarchica distinguendo:

- rete principale (prim'ordine),
- raffittimenti del second'ordine,
- raffittimenti del terz'ordine,
- sbracci (quart'ordine).

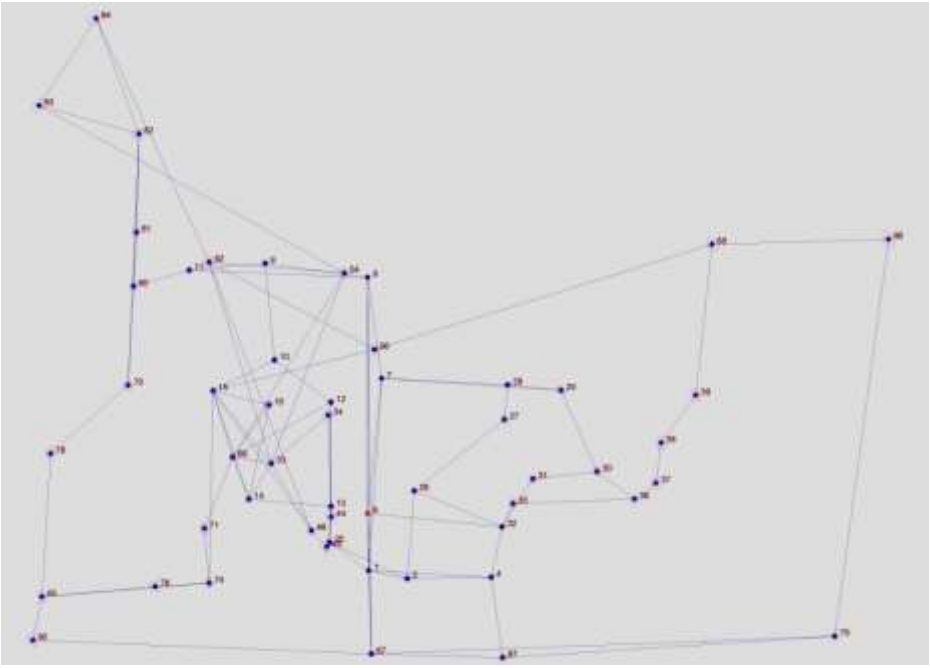


Fig. [93] Schema della rete di inquadramento. (fonte: Tucci, G. et al. 2014)

Le coordinate dei vertici sono state stimate compensando le misure con il metodo dei minimi quadrati. Inoltre, sono stati rilevati topograficamente 385 targets dei 600 complessivi posti sulla scena a supporto delle scansioni laser scanner. I rimanenti sono stati riconosciuti sulle scansioni e utilizzati per automatizzare gli allineamenti.

Parallelamente alle acquisizioni topografiche si è proceduto a quelle con laser scanner.

Sono stati utilizzati due scanner distanziometrici a differenza di fase (Leica HDS600, Leica HDS7000) ed uno scanner a tempo di volo (Leica C10) che, avendo una portata maggiore, ha consentito delle idonee acquisizioni soprattutto dalle coperture dei fabbricati.

Anche in questo caso, come già per la topografia, è stato necessario progettare la fase di acquisizione, verificando la copertura delle singole prese, redigendo schemi grafici di ogni singolo vano in cui riportare i punti di stazione ed i targets posizionati. Per ogni scansione è stata compilata una scheda in cui erano evidenziati tra l'altro, il codice del vano, la qualità e la risoluzione della scansione, i targets posizionati, distinguendo quelli rilevati topograficamente.

Per il rilievo della Galleria dell'Accademia sono state acquisite 416 range map con risoluzione sub-centimetrica per un totale di 13.912.467.757 punti. Questi dati numerici, solo per evidenziare che una simile mole di dati richiede degli accorgimenti particolari per superare sia i limiti imposti dalla strumentazione software e hardware, sia la necessità di una buona organizzazione dei dati e dei metadati.

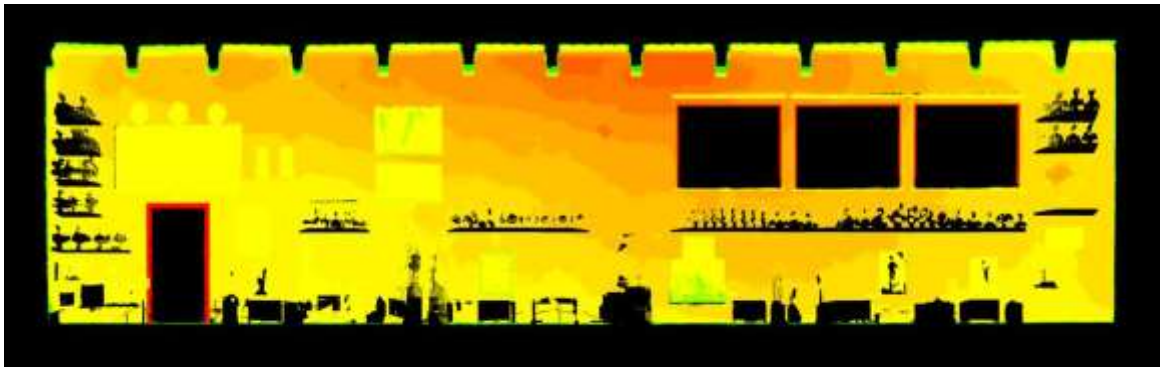


Fig. [94] Sala Gessi. Rappresentazione delle deformazioni della parete ottenuta valutando la distanza tra i punti rilevati ed un piano di riferimento verticale. (fonte: Tucci, G. et al. 2014)

Pre-elaborazioni *(Tucci, G. et al., 2014)*

I dati acquisiti sono stati poi elaborati secondo il workflow seguente:

- allineamento,
- ottimizzazione con ICP,
- organizzazione dei dati,
- editing,
- suddivisione in sotto-progetti.

Allineamento

Per avviare le operazioni di allineamento dei dati in parallelo al proseguire delle acquisizioni e per lavorare più agevolmente su database di dimensioni non eccessive, il rilievo è stato suddiviso in 35 blocchi selezionati in base alla loro distribuzione spaziale. Ognuno di essi è stato inizialmente allineato, tramite riconoscimento di target e punti naturali, in modo indipendente e referenziato nel sistema locale topografico.

Ottimizzazione dell'allineamento

Tutti i 35 allineamenti parziali sono poi stati collegati tra loro e globalmente con un algoritmo di tipo ICP (Iterative Closest Point). Per la sola ottimizzazione sono stati necessari 5 giorni di tempo macchina.

Organizzazione dei dati e editing

I dati allineati sono quindi stati suddivisi in layer, uno per ciascuna range map, in modo da poterla vedere separatamente dalle altre; nella successiva fase di editing sono stati eliminati dal modello alcuni elementi di scarso interesse, quali le aree circostanti non inerenti all'oggetto del rilievo, la vegetazione ed elementi derivanti da fenomeni di disturbo.

Suddivisione in sotto-progetti

Il modello complessivo finale risultava così pesante da non poter essere importato in altri programmi per l'estrazione dati; ne è conseguita la decisione di suddividerlo in 10 sotto-progetti.

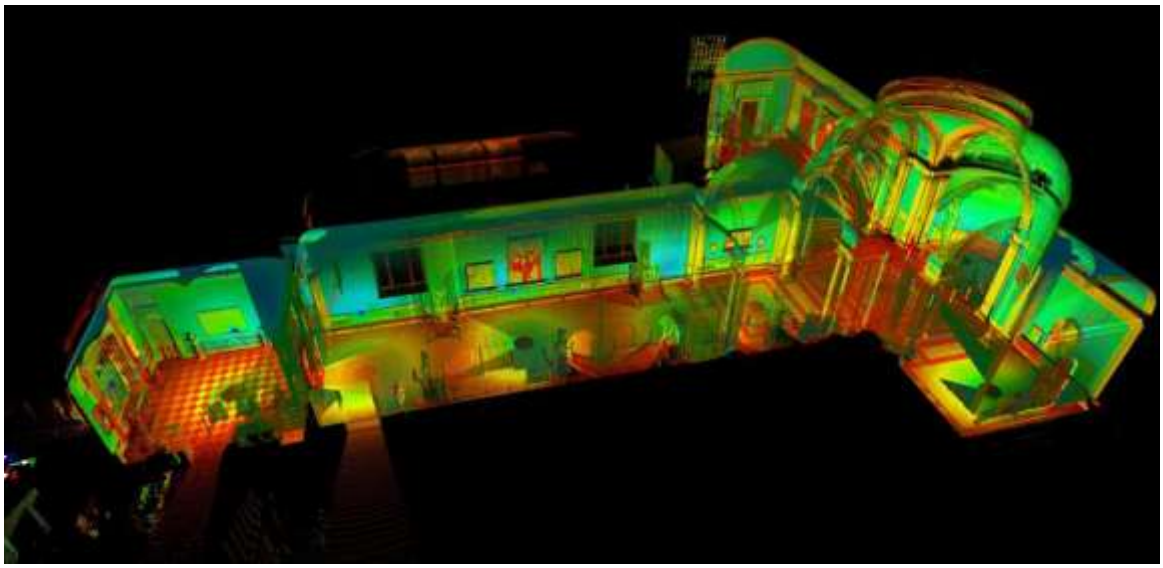


Fig. [95] Modello di punti del blocco "Galleria dei Prigioni - Tribuna del David" (fonte: Tucci, G. et al. 2014)

Output

Terminate le elaborazioni è stato possibile procedere con l'estrazione dei dati dal modello di punti.

Per la conoscenza della fabbrica e della sua geometria l'esito più idoneo è risultato ancora quello fornito dagli elaborati convenzionali, in proiezione ortogonale, tipici della rappresentazione dell'architettura (piante, prospetti e sezioni). È importante sottolineare che pur trattandosi di elaborati bidimensionali, le loro coordinate sono comunque referenziate ed espresse secondo un sistema di riferimento 3D e che la completezza del modello di punti consente comunque di estrarre ulteriori elaborati secondo qualsiasi piano di sezione

desiderato. Nello specifico sono stati realizzate 7 piante e 15 sezioni con il dettaglio della scala 1:20 ma riprodotte in scala 1:100 per ragioni di stampa.

Un archivio dati così ricco e complesso nel quale, in funzione del passo di campionamento delle scansioni e della precisione strumentale, è stato possibile raggiungere un livello di dettaglio elevato (sub-centimetrico), ha consentito altre possibilità di indagine strutturale come la lettura del quadro fessurativo grazie anche all'estrazione di orto immagini dal modello di punti. Nel caso specifico gli strutturisti hanno indicato due zone con criticità già evidenti ad una mera analisi visiva su cui effettuare tale lettura: la Sala dei Gessi, che accoglie la gipsoteca di Lorenzo Bartolini, e la volta a crociera che copre la parte terminale della Galleria dei Prigioni. Nel caso della Sala dei Gessi doveva essere indagato l'apparecchio murario ad est a confine con la Tribuna del David, la Sala di Giotto ed il cortile interno, mentre nel caso della volta a crociera era necessario mettere in relazione le lesioni presenti all'intradosso ed all'estradosso della medesima.

In ambedue i casi, sulle ortoimmagini estratte dal modello di punti sono state effettuate semplici elaborazioni radiometriche per enfatizzare le discontinuità della superficie e consentire un'immediata lettura del quadro fessurativo. Gli elaborati sono stati poi referenziati nei disegni CAD per evidenziare le relazioni tra il quadro fessurativo e gli altri elementi strutturali.

Inoltre, lavorando ancora esclusivamente sul modello di punti è stato possibile effettuare sulla medesima parete della Sala Gessi una valutazione sulle possibili deformazioni della struttura graficizzando con mappe di scostamento le distanze tra una geometria ideale (piani verticali) e quella rilevata su entrambe le facce della muratura. Questa modalità di analisi consente anche una verifica periodica (monitoraggio) confrontando acquisizioni, ripetute nel tempo, dello stesso oggetto.

Tutta la fase di acquisizione è stata accompagnata da documentazione fotografica, al fine di consentire la lettura di informazioni sull'oggetto difficilmente desumibili altrimenti. Ogni singolo vano (complessivamente circa 260) è stato documentato anche con immagini fotografiche. Inoltre, per gli ambienti espositivi del Museo sono stati realizzati panorami sferici esplorabili ed interrogabili.

Conclusioni

La rilevanza dell'esperienza presentata consiste soprattutto nella verifica della applicabilità delle tecniche topografiche e di scansione laser per il rilievo ad alta risoluzione, completo ed esaustivo, di un organismo architettonico grande ed articolato come la Galleria dell'Accademia. L'uso di queste tecnologie è ormai consolidato e sono ben noti gli ottimi risultati conseguibili, tuttavia molti casi di studio hanno finora riguardato architetture di minor complessità, oppure hanno mostrato le potenzialità dei metodi impiegati su singoli campioni significativi. Invece, il caso mostrato ha riguardato un intero organismo, dalle cantine ai sottotetti ed alle coperture, estendendosi anche a tutte le porzioni confinanti degli edifici adiacenti.

L'esperienza ha confermato come la finalità del rilievo non si esaurisca nel fornire un supporto grafico, anche se sempre più attendibile, per studi ed analisi compiuti da altri specialisti, ma anzi rappresenti di per sé un ruolo attivo di conoscenza dell'organismo edilizio nelle diverse componenti (spaziali, strutturali, tecnologiche, etc.), confrontandosi con gli altri metodi di indagine nel suggerire e nel verificare le diverse ipotesi.

Il caso esaminato, in cui l'attenzione era focalizzata sulla caratterizzazione delle strutture, ha messo in evidenza come l'accuratezza di un rilievo effettuato con tecniche geomatiche sia di un ordine di grandezza superiore rispetto a quello strettamente sufficiente a realizzare modelli per analisi e simulazioni con i software usati in campo strutturale. Tuttavia, anche in questo ambito, un rilievo ad alta risoluzione, da cui si possano ricavare un quadro fessurativo accurato e le deformazioni delle membrature, consente di verificare se le ipotesi svolte su modelli decisamente semplificati corrispondano con gli effetti riscontrabili nella realtà.

Rimangono comunque varie questioni che debbono trovare ancora soluzioni adeguate. Progetti delle dimensioni di quello presentato comportano la raccolta di enormi quantità di informazioni. I soli dati relativi alle scansioni ed alle loro elaborazioni occupano vari terabyte e, nonostante la scelta di suddividere il modello complessivo per agevolare le restituzioni, ogni consultazione risulta molto difficoltosa. Il complesso dei dati di grandi progetti (non solo quelli topografici e di scansione, ma ovviamente anche gli eidotipi, le fotografie, i documenti testuali, gli elaborati finali etc.) comporta problemi di gestione e di archiviazione. Necessita quindi, con urgenza, la definizione di strumenti gestionali e di standard che consentano il

mantenimento e la trasmissione di questi importanti dati d'archivio, in particolare per quanto riguarda i beni culturali ed il patrimonio pubblico.

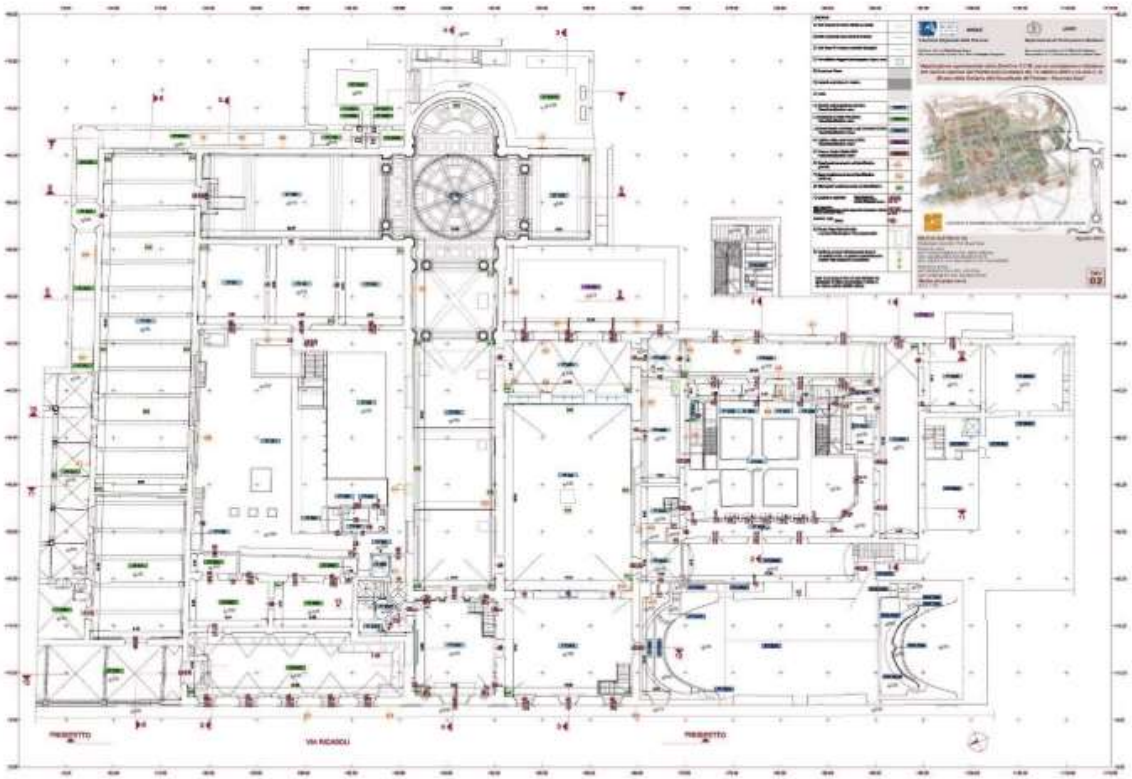


Fig. [96] Esempio di elaborato prodotto dalle indagini di questi anni e usato come base di partenza per la creazione del modello HBIM dell'Accademia. Pianta del Piano Terra dall'originale in scala 1:100 (fonte: Tucci, G. et al., 2014)

Tra gli ultimi interventi di rilevamento vi è un test svolto nel 2018 nel quale è stato condotto un test d'indagine con il sistema di mappatura mobile Trimble TIMMS (Campi, M. et al., 2018). Il rilievo con tecnologia SLAM[98] è stato fatto per verificare i risultati ottenuti dai rilievo precedenti e per documentare le nuove installazioni e la diversa disposizione delle opere. Grazie a questa tecnologia in poche ore di lavoro è stata fatta l'acquisizione di tutti gli spazi espositivi principali.

[98]Simultaneous Localization and Mapping, vd. Glossario.

2.3. Scan to BIM dell'edificio

Dopo la fase di rilievo che ha permesso di organizzare le informazioni e ottenere i dati geometrici dei vani e degli oggetti in essi contenuti è stato avviato un lavoro di digitalizzazione che ha come obiettivo la creazione di un modello BIM "as-built", ovvero un modello 3D contenente informazioni relative all'edificio per come si presentava al momento del rilievo.

Il processo di digitalizzazione dell'edificio tramite i software BIM può essere condotto secondo diversi approcci a seconda dei formati, dei software utilizzati e degli output richiesti. Uno di questi approcci consiste nel realizzare un modello 3D a partire da dati 2D. Per realizzare un modello HBIM della Galleria dell'Accademia erano già disponibili elaborati bidimensionali accurati e coerenti, di conseguenza è stato scelto questo di partire proprio da questi.

Le principali difficoltà in questa fase del lavoro sono quelle legate alla scarsità di strumenti per l'adeguata modellazione di strutture molto irregolari presenti negli edifici storici e il tempo che si deve impiegare per modellarle. In alcuni casi è necessario trattare i dati anche su altri software (e.g. Rhinoceros) per ottenere dei modelli geometrici idonei (Brumana et al. 2018).

Il modello HBIM della Galleria dell'Accademia aveva inizialmente come obiettivo quello di fornire le informazioni necessarie per fare simulazioni di tipo strutturale, pertanto rappresenta anche gli elementi strutturali di confine appartenenti agli edifici limitrofi, in quanto influenti nelle analisi.

Per fare verifiche statiche valide è stato necessario porre particolare attenzione al posizionamento dettagliato di tutti gli elementi verticali e orizzontali. In linea generale l'attenzione nella costruzione del modello è stata rivolta alla realizzazione degli elementi che avessero un ruolo strutturale o che in qualche modo influissero sulle sollecitazioni statiche.

Gran parte della modellazione è stata eseguita in Autodesk Revit Architecture secondo un processo, come si è già detto, CAD to BIM. Essendo il lavoro stato svolto dallo stesso gruppo di lavoro che ha prodotto i file CAD di riferimento vi era già una elevata familiarità con le informazioni disponibili e una pregressa conoscenza delle problematiche affrontate, tuttavia il workflow è stato valutato in linea generale potenzialmente inefficiente.

L'inefficienza si riconduce alla necessità di una fase intermedia di elaborazione dati, al fatto che il modello tridimensionale viene realizzato quando ormai anche gli elaborati CAD potrebbero non essere più aggiornati (è il caso per esempio degli allestimenti espositivi), infine va ricordato che il processo di produzione di elaborati CAD non essendo facilmente verificabili sono soggetti a frequenti errori che possono invalidare conseguentemente il modello BIM.

Il modello HBIM dell'edificio completo della Galleria dell'Accademia è stato quindi predisposto per l'implementazione di informazioni geometriche e semantiche per usi specifici.

3. Analisi FEM dal modello HBIM della Galleria dell'Accademia *(Tucci, G. et al., 2019)*

La tecnica degli elementi finiti (FE) è oggi tra i metodi più diffusi per valutare il comportamento strutturale nel contesto generale della meccanica computazionale e in particolare nel campo delle applicazioni in ingegneria civile (Pepper, D. W. et al., 2014). Particolarmente rilevante, negli ultimi anni, per i progetti a livello accademico e di ricerca è l'ambiente open source salome_meca: una piattaforma che contiene il codice code_aster[99], sviluppato dalla fine degli anni '80 da EDF (Elecricité de France) e diffuso sotto licenza LGPL sin dall'inizio degli anni 2000 (Pieraccini, M. et al., 2017 e Bartoli, G. et al., 2017).
Sono necessari due input principali per costruire in modo affidabile e coerente un modello FE:

- mesh
- informazioni aggiuntive da implementare all'interno degli elementi finiti (proprietà, carichi, condizioni limite etc.)

La superficie mesh può essere ottenuta da input geometrico di contenuto topologico, come una combinazione di forme primitive, o come prodotto da altre fonti, come la scansione laser (TLS) basata su output di punti nuvola (Bitelli, G. et al., 2016; Castellazzi, G. et al., 2017; Korumaz, M. et al., 2017). La precedente procedura è più compatibile all'interno di un contesto BIM o HBIM, in cui la disponibilità di dati o le procedure di memorizzazione dei dati possono aiutare a migliorare l'interoperabilità e recuperare facilmente le informazioni dagli stessi database. Tutto questo si traduce nella possibilità di ottenere sia la geometria che le informazioni necessarie per costruire il modello FE (Barazzetti, L. et al., 2015b).

Con il flusso di lavoro proposto è stato possibile:

- gestire la geometria dell'oggetto da costruire con Rhino e idealmente derivata dal modello BIM esterno;
- aggiungere informazioni sugli oggetti geometrici strutturali e idealmente ricavarli dal database BIM;

[99] https://www.code-aster.org

- esportare la geometria arricchita in una forma compatibile con salome_meca;
- importare la geometria arricchita nell'ambiente salome_meca;
- costruire il modello di elementi finiti di computazione ed eseguire l'analisi;

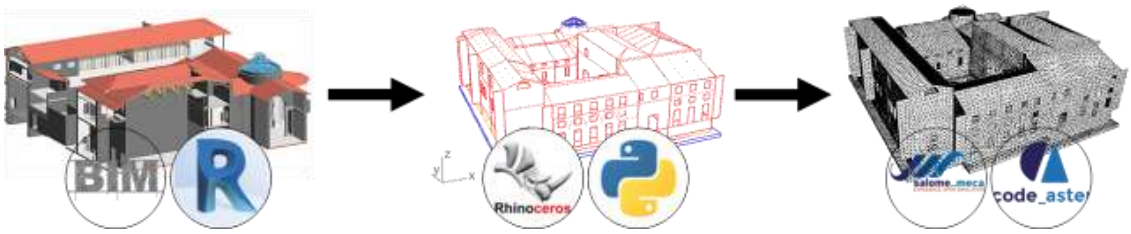


Fig. [97] Trasformazione del modello nel BIM, ambiente geometrico e FEM (fonte: Tucci, G. et al., 2019)

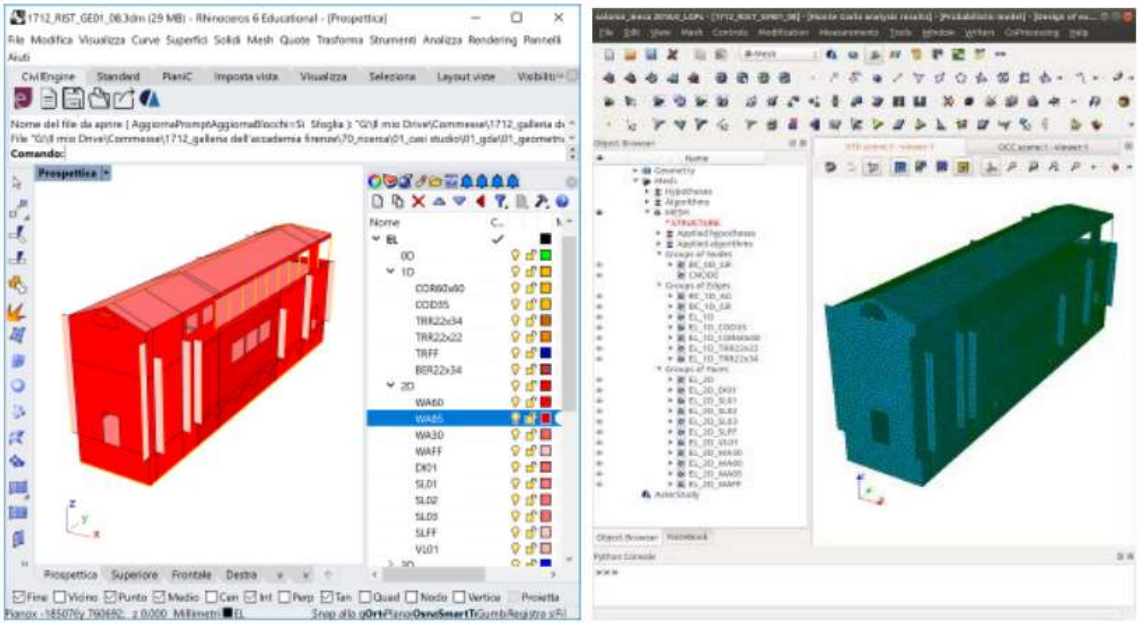


Fig. [98] Geometria e ambiente FEM (fonte: Tucci, G. et al., 2019)

La valutazione del comportamento dinamico

Il comportamento dinamico delle strutture può essere stimato come approccio di primo ordine eseguendo l'analisi dinamica modale lineare. La scarsità delle forme modali, o un numero elevato di forme modali sono necessarie per ottenere un fattore cumulativo di partecipazione modale, un indice che mostra principalmente la presenza di effetti locali piuttosto che globali: questo è particolarmente vero per la muratura e le strutture storiche

complesse, con diaframmi flessibili e in un contesto costruito aggregato (Betti, M. et al., 2014; Greco, A. et al., 2018). Come primo passo della ricerca in corso l'indagine si è concentrata su una parte del museo chiamata "Sala dei Gessi": un esteso edificio rettangolare, confinante con l'Accademia di Belle Arti sul lato occidentale e la "Tribuna" e la Biblioteca dell'Accademia sul lato NE e SE. Studi precedenti hanno valutato una performance sismica globale e locale scarsa per questo edificio, considerato come un oggetto isolato (De Stefano, M. et al., 2018). È stata condotta un'analisi parametrica modale per valutare il comportamento delle prime forme di modalità dell'unità "Sala dei Gessi" in un'ipotesi costruttiva aggregata, in cui i vincoli verticali locali sono stati rappresentati da un parametro di rigidità.

N.	E_wf = 0	E_wf = 200	E_wf = 10^6
1	**1.557**	**3.541**	**3.971**
2	**2.465**	**3.959**	**4.884**
3	3.055	4.083	4.983
4	3.779	4.669	5.710
5	3.946	4.712	6.022
6	4.021	5.121	6.502
7	4.332	5.269	6.635
8	4.678	5.606	6.955
9	4.866	5.806	7.277
10	5.271	6.202	7.369
11	5.349	6.342	7.524
12	5.656	6.482	7.824
13	6.001	6.927	7.840
14	6.315	7.120	8.035
15	6.414	7.178	8.044

Fig. [99] Tabella delle "frequenze di vibrazione delle prime 16 forme modali della "Sala dei Gessi", con differenti condizioni di contenimento (da isolate a completamente vincolate). Fonte: Tucci, G. et al., 2019)

Ciò ha messo in evidenza la natura locale della maggior parte delle forme modali [Figura 103], causata sia dalla conformazione irregolare di alcune parti strutturali sia dalle variabili condizioni di vincolo. La variabilità della frequenza è il principale parametro che influenza l'accelerazione che agisce sulle parti dell'edificio durante un evento sismico. Lo studio parametrico è infine stato campionato ed è stato possibile costruire una distribuzione dell'uscita di frequenza, basata anche su una prima valutazione dei parametri di input, come le proprietà meccaniche dei materiali, derivate dalle linee guida esistenti sulla valutazione della vulnerabilità (CNR, 2014).

Il flusso di lavoro presentato e discusso mira a istituire una procedura efficace per collegare la costruzione di un modello numerico ai dati dell'indagine TLS e interpretata dalle procedure BIM. Questa procedura potrebbe essere sfruttata non solo per la valutazione del

comportamento degli elementi strutturali all'interno di un complesso museale, ma anche per valutare la sicurezza delle opere all'interno.

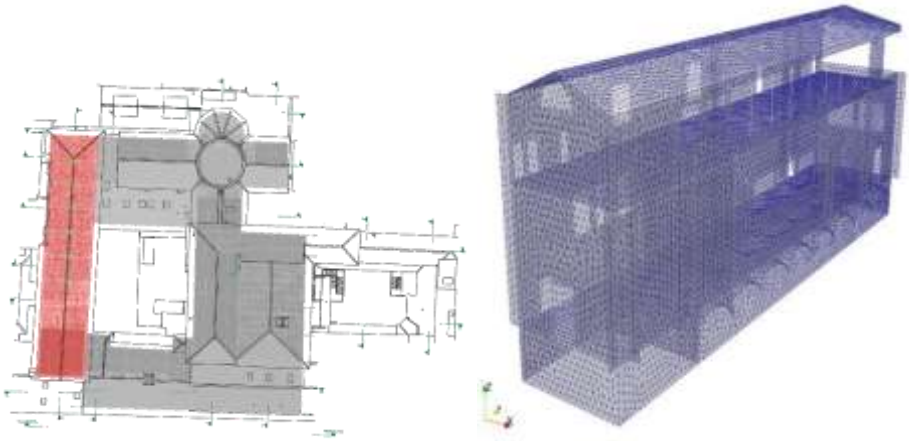


Fig. [100] Sovrapposizione della geometria FEM 3D in Rhinoceros® con il livello di disegno 2D (fonte: Tucci, G. et al., 2019)

Fig. [101] Mesh creata per il modello ad elementi finiti della "Sala dei Gessi" (fonte: Tucci, G. et al., 2019)

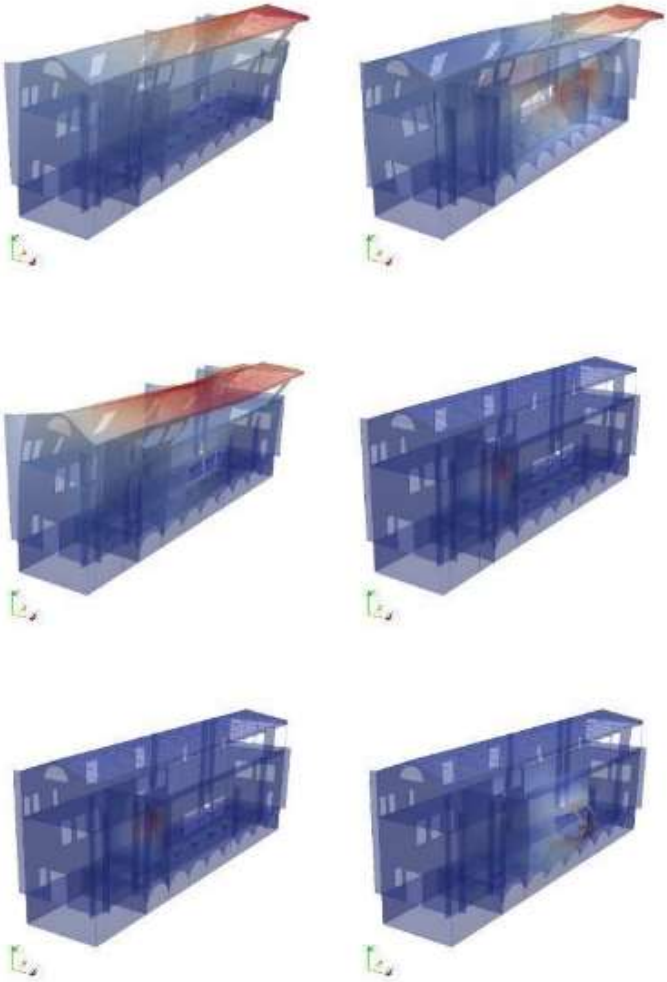


Fig. [102] Raffigurazioni delle prime due forme modali con diversi vincoli, da isolati a totalmente vincolata (fonte: Tucci, G. et al., 2019)

4. M-BIM per il FM della Galleria dell'Accademia di Firenze

In Italia le attività di Facility Management (FM) di un museo sono un ambito di ricerca di grande interesse grazie alla presenza sul territorio nazionale un numero considerevole di musei famosi in tutto il mondo contenenti opere di elevato valore storico-artistico.
Vista l'importanza di queste istituzioni e delle opere, tutelate in molti casi dall'UNESCO, l'ICOM (International Council of Museum) si esprime chiaramente con declaratorie sull'etica per i musei:

"Museums have the duty to acquire, preserve and promote their collections as a contribution to safeguarding the natural, cultural and scientific heritage. Their collections are a significant public inheritance, have a special position in law and are protected by international legislation."[100]

Il Codice ICOM delinea gli standard minimi per i musei. Questi standard vengono supportati da una serie di linee guida di "good practice". In alcuni paesi gli standard minimi sono definiti dalla legge o dalle normative governative. In altri l'orientamento e la valutazione degli standard minimi professionali possono essere disponibili sotto forma di "Accreditamento", "Registrazione" o schemi di valutazione simili. Laddove tali standard non sono definiti, l'orientamento può essere ottenuto attraverso il Segretariato ICOM, un Comitato Nazionale pertinente all'ICOM o un Comitato Internazionale dell'ICOM (ICOM 2017).
Il 4 aprile è stato pubblicato il Decreto Ministeriale del 21 febbraio 2018[101] su "Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del Sistema museale nazionale". La normativa si articola nel seguente modo:

- art.1 "Livelli uniformi di qualità per i musei",
- art.2 "Sistema museale nazionale",
- art.3 "Commissione per il Sistema museale nazionale",

[100]ICOM (2017)

[101]Svolto in attuazione dell'art.114 del Codice dei beni culturali e del paesaggio.

- art.4 “Coordinamento del Sistema museale nazionale con i sistemi di accreditamento o riconoscimento regionali e provinciali”,
- art.5 “Organismo regionale o provinciale di accreditamento”,
- art.6 “Accreditamento”,
- art.7 “Disposizioni finali e finanziarie”.

Il DM richiede chiaramente ai musei e ai luoghi della cultura non statali che intendono aderire al Sistema museale nazionale di presentare apposita istanza all'Organismo di accreditamento, il quale valuterà la rispondenza agli standard minimi previsti dai livelli uniformi di qualità per i musei per la registrazione.

In considerazione del "*dovere di acquisire, preservare e promuovere le proprie collezioni come contributo alla salvaguardia del patrimonio naturale, culturale e scientifico*" (ICOM, 2017) e delle esigenze di conservazione preventiva, i musei dovrebbero garantire un ambiente adatto all'accesso, alla salute, alla sicurezza e alla protezione dalle catastrofi, assicurazioni e indennità.

In Italia per la regolamentazione in merito alla conservazione preventiva nei musei si fa riferimento al D.M. 10/05/2001 che stabilisce i criteri per la definizione dei livelli di qualità e gli standard e il D.M. 113/2018 specifica gli standard minimi dei livelli uniformi di qualità su:

- **Organizzazione:** status giuridico, contabilità e finanze, struttura, attività, personale
- **Collezioni:** monitoraggio periodico dello stato conservativo del patrimonio, gestione e controllo formalizzati dalle procedure di movimentazione, incremento del patrimonio, registrazione, documentazione e catalogazione del patrimonio, esposizione permanente, esposizione temporanea, programmi e attività di studio e ricerca, organizzazione dei depositi
- **Comunicazione e rapporti con il territorio:** rapporti con il pubblico e comunicazione, rapporti con il territorio e con gli stakeholder

La norma italiana "Linee guida per la valutazione e la mitigazione del rischio sismico degli edifici del patrimonio culturale" (MIBAC, 2008) inoltre indica per gli edifici storici uno "stato limite di danno al patrimonio artistico" (SLA) che riguarda il danno alle decorazioni e il rischio per le opere, che può essere elevato anche in situazioni in cui non vi sono danni strutturali importanti per l’edificio.

Lo spazio museale è un'area in continuo mutamento, pensiamo per esempio alle esposizioni temporanee e alle mostre che possono cambiare un ambiente anche solo per pochi giorni, e così lo sono di conseguenza le attività gestionali. L'interazione tra gli oggetti che compongono le collezioni, intese nella loro consistenza fisica, e gli edifici in cui si trovano è quindi della massima importanza.

Esistono sistemi digitali di gestione dei dati nei musei, tuttavia questi sistemi sono progettati basandosi su pratiche e metodi del passato (addirittura di origine rinascimentale) e la gestione delle informazioni richieste in questo momento storico non riesce a relazionarsi perfettamente ad essi. Molti sistemi in uso rendono la digitalizzazione e l'innovazione dei servizi un lavoro molto impegnativo (Ekosaari, M. et al., 2019).

	# of problems / category by group of experts						Max # of problems/category
Category	Curator	Exhibit	IT	Director	All	Avg.	#
Content	5	3	4	2	14	3,50	14
Legal issues	2	2	4	4	12	3,00	5
Organizational culture	2	3	3	4	12	3,00	11
Usability	1	6	1	1	9	2,25	16
Communication	2	2	2	2	8	2,00	5
Lack of resources	4	2	0	2	8	2,00	10
Technical issues	2	2	3	1	8	1,25	9
Capabilities	0	1	1	2	4	1,00	6
Missing functionality	1	1	1	0	3	0,75	13
Political issue	0	0	1	1	2	0,50	7
Technical infrastructure	0	0	1	1	2	0,50	7
Attitude	1	0	0	0	1	0,25	7
Total	20	20	20		80	20,00	110

Fig. [103] Problemi percepiti da parte di diversi gruppi di esperti come più significativi utilizzando l'Information Technology (IT) del museo (fonte: Ekosaari, M. et al., 2019)

Il management museale richiede pratiche internazionali nel caso di prestito delle opere ad altri enti e musei. La documentazione richiesta prevede la stesura di rapporti sullo stato di conservazione delle opere (condition report) e report che descrivono la situazione presente negli ambienti in cui le opere vengono esposte (facility report). I report devono contenere tutti i dati utili per valutare le caratteristiche fisiche, ambientali, di gestione, di sicurezza di un museo e i rischi a cui può essere esposta un'opera prestata (AAM-RC, 1998; Green, D. et al., 2009; UKRG, 2015).

Solitamente queste attività non sempre sono svolte con metodologie condivise e in forme digitalizzate. I processi per coordinare le mutazioni continue degli ambienti museali spesso non adottano sistemi condivisi o si affidano all'esperienza del proprio personale

(procedimenti paper-based secondo metodi personali consolidati nel tempo dal gestore del servizio).

La tecnologia a disposizione è in continua evoluzione e CMMS differiscono tra loro in dipendenza di numerosi fattori (e.g. esigenze della struttura museale, possibilità di investimento, caratteristiche delle collezioni, etc.) (Green, D. et al., 2009).

Per la gestione dei dati sulle collezioni museali esistono programmi commerciali e open source. Molti di essi sono compatibili con le procedure specificate dallo standard Spectrum (definito dall'organizzazione inglese Collection Trust[102]) e adottati anche da istituzioni di altri paesi. Spectrum specifica 21 procedure di management delle collezioni. Oltre all'inventario e alla catalogazione (che a sua volta può seguire altri standard, come ICCD[103] o CIDOC-CRM[104]), le procedure riguardano i seguenti aspetti: controllo della posizione e del movimento, prestiti in entrata e in uscita, controllo delle condizioni e valutazione tecnica, cura e conservazione delle collezioni, piani di emergenza, gestione di danni e perdite, etc.

Nonostante tutta l'attività normativa e le tecnologie disponibili sul mercato la conservazione preventiva delle opere e dell'edificio è spesso disattesa.

Le cause di questa inadempienza sono molteplici e specifiche di ciascuna istituzione. Tra le cause che possono incorrere troviamo:

- assenza di investimenti adeguati a interventi di miglioramento della sicurezza, della prevenzione del rischio e sostenibilità ambientale, (soprattutto nel caso di edifici di grandi dimensioni);
- ostacoli all'esecuzione degli interventi per la presenza di opere che non possono essere movimentate e conseguente necessità di un apposito studio di fattibilità delle operazioni;
- renitenza a prolungati periodi di chiusura;
- assenza di spazi adeguati allo stoccaggio temporaneo e protetto delle opere;

[102]Fonte: https://collectionstrust.org.uk/spectrum/

[103] Schede che seguono gli standard di catalogazione definiti dall'Istituto Centrale per la Catalogazione e la Documentazione (ICCD). Informazioni aggiuntive al sito: http://www.iccd.beniculturali.it/

[104] Il International Committee for Documentation (CIDOC) - Conceptual Reference Model (CRM) fornisce definizioni e una struttura formale per descrivere i concetti impliciti ed espliciti e le relazioni utilizzate nella documentazione del patrimonio culturale. Informazioni aggiuntive al sito: http://www.cidoc-crm.org/

- limitazioni imposte da altri regolamenti che contrastano e influenzano gli interventi da realizzare;
- mancanza di personale qualificato per le attività di monitoraggio e tutela richieste.

Queste elencate sono solo alcune motivazioni ma molte altre sono presumibilmente riscontrabili direttamente, caso per caso, presso i vari musei sul territorio nazionale (differenziati per dimensioni, rilevanza, attrattività, tematismi dei percorsi, tipologie di opere conservate etc.).

Per quanto riguarda la promozione delle collezioni le tecniche per l'ottimizzazione della gestione, la simulazione dei percorsi e degli allestimenti, la progettazione della segnaletica divulgativa e altre attività di management si appoggiano solitamente a strumentazioni paper-based, non condivisibili, prive di un sistema valido di verifica qualitativa del progetto da parte della committenza.

Fatte tutte queste premesse e analizzate le potenzialità e le criticità dei sistemi BIM attraverso la letteratura esistente e i casi studio analizzati è possibile stabilire delle ipotesi applicative anche per il FM dei musei.

In linea generale sono state riscontrate le seguenti possibilità applicative per il miglioramento dei sistemi gestionali durante tutto il "ciclo di vita" del museo:

- **Raccolta di dati** e informazioni sulle collezioni, sul loro stato di conservazione, sulla loro localizzazione e sulle attività di monitoraggio periodico.
- **Progettazione degli spazi** espositivi per garantire comfort, accessibilità e sicurezza ai visitatori e ai lavoratori.
- **Progettazione dei percorsi** tematici divulgativi e segnaletica per la valorizzazione delle opere.
- **Progettazione delle attività di movimentazione** delle opere, prevenzione del rischio.
- **Registrazione, documentazione e catalogazione delle nuove acquisizioni.**
- **Organizzazione dei depositi.**
- **Programmazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria** dell'edificio, tenendo in considerazione le opere in esso contenute.
- **Organizzazione del lavoro** e delle attività di ricerca.

- **Ottimizzazione del consumo energetico** e monitoraggio delle esigenze climatiche degli ambienti

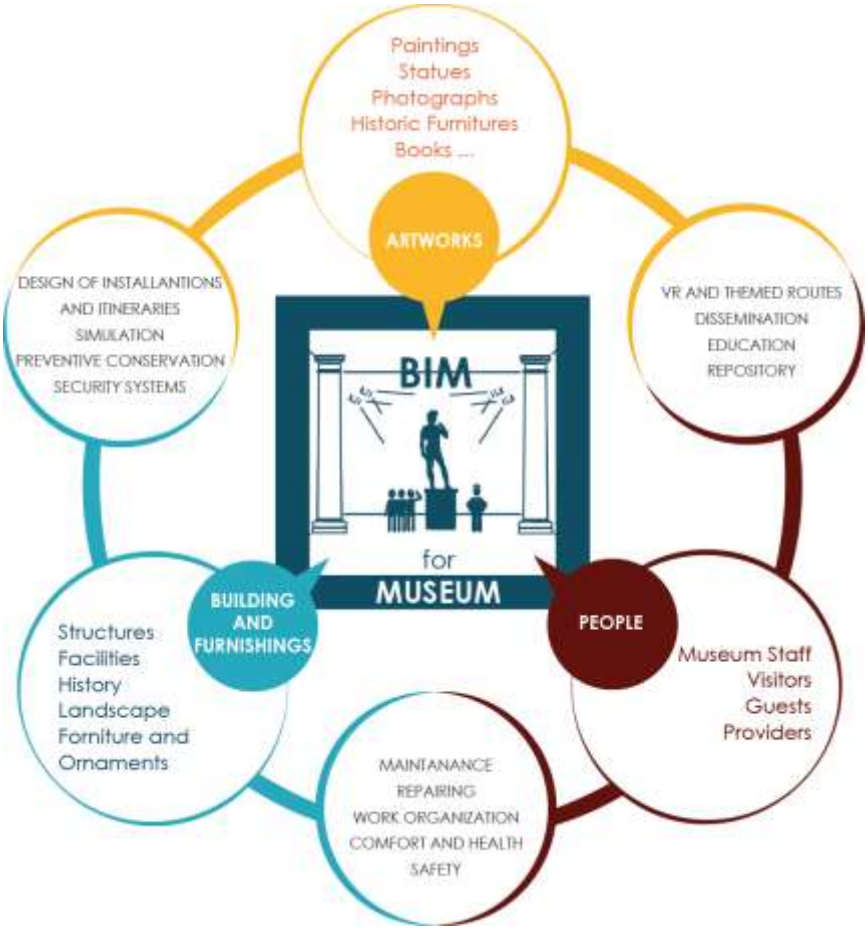


Fig. [104] Diagramma delle interazioni tra le tre macro-aree (opere d'arte, edificio e arredi, persone) in cui il museo si distingue e che determinano tutte attività

Molti studi sono stati condotti sulla consapevolezza dell'importanza dell'impatto dei fattori ambientali negli edifici che ospitano musei introducendo standard per minimizzare il rischio di ripercussioni sul patrimonio. I fattori considerati sono per esempio gli effetti della luce, della temperatura, dell'umidità dell'aria, dell'inquinamento e i loro effetti cumulativi (Lucchi, 2018). Questi studi servono come riferimento per tecnici e conservatori per la conservazione preventiva nei musei.

Il controllo microclimatico degli ambienti può essere svolto con l'ausilio di piattaforme BIM (Pasini, D. et al., 2016; Bonora et al., 2018).

Le informazioni utili per le varie funzioni di management sono raccolte sotto forma di dati molto eterogenei semanticamente e formalmente. I dati spesso sono output provenienti da diversi processi e strumenti e presentano vari livelli di attendibilità. Lo standard IFC consente

a diversi operatori (proprietari, progettisti e consulenti di diverse discipline, costruttori, manager, etc.) di gestire in modo coordinato tutte le informazioni relative a un edificio e ai suoi componenti, associati alla loro rappresentazione 3D.
Il BIM si presta quindi come mezzo di connessione tra professionalità e contribuisce alla riduzione dell'errore nel momento in cu le informazioni vengono strutturate in modo organico e coerente, rispondendo a specifici standard e classificazioni.
Le classificazioni e le tipologie di dati inseriti sono risultato un lavoro di pre-design dell'informazione.
Il punto di partenza per una riflessione su tutte le possibili applicazioni dei modelli BIM passa dall'indagine dei sistemi già in uso e delle informazioni disponibili, dalla validazione dei dati e dal ripensamento delle tecnologie esistenti[105].

4.1. Scan to BIM delle collezioni

Il modello HBIM dell'edificio della Galleria dell'Accademia è stato popolato da modelli digitali delle opere d'arte che vi sono esposte. Dato l'elevato numero di opere presenti nell'intero museo si è scelto di limitare la sperimentazione a tre aree espositive, sviluppando un flusso di lavoro per sculture, dipinti e installazioni che potrebbe essere esteso e adattato in futuro ad altre categorie di oggetti esposti nella Galleria o in altri musei.
Le sale scelte per la sperimentazione sono quelle che apparentemente ricoprono un ruolo di maggiore attrattività per il pubblico e che contengono alcune delle opere più famose dell'intera collezione (tra di esse il David di Michelangelo, che ricopre un ruolo da protagonista). Si tratta della Sala del Colosso, della Galleria dei Prigioni e dalla Tribuna del David.

[105]La sperimentazione è in linea con quanto espresso nei Principi di Siviglia del 2011 soprattutto con i principi 1 (Interdisciplinarità), 2 (Scopo) e 3 (Complementarietà).
Fonte:http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles

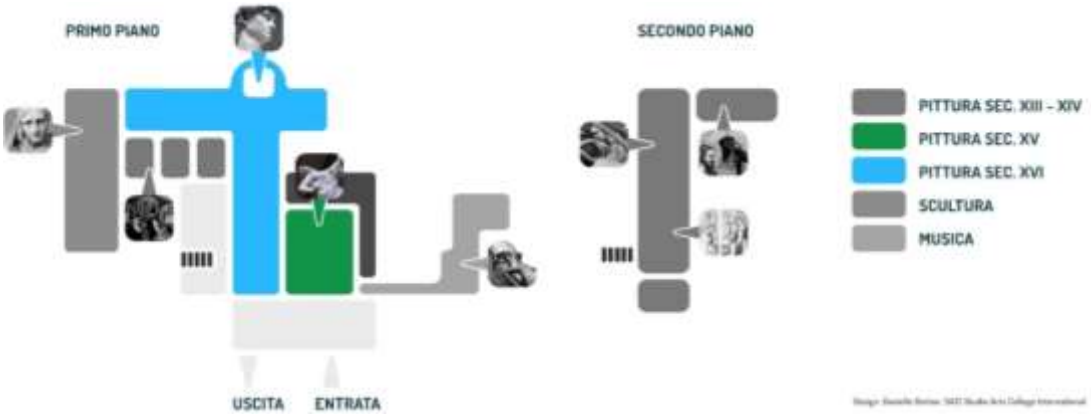


Fig. [105] Le sale espositive utilizzate per la sperimentazione: sala del Colosso (verde), Galleria dei Prigioni e Tribuna del David (azzurro) (design by: Gordon, D., SACI Studio Arts College International, fonte: http://www.galleriaaccademiafirenze.beniculturali.it/)

La sala del Colosso è il primo ambiente che i visitatori incontrano all'ingresso del percorso espositivo, riallestita nel 2013, ospita dipinti su tavola lignea relativi al Quattrocento e al primo Cinquecento. Al centro della stanza, come perno distributivo delle opere, è posizionato su un piedistallo il modello del Ratto delle Sabine del Giambologna.

La Galleria dei Prigioni, adiacente alla sala del Colosso e ad essa collegata, introduce il visitatore al lungo corridoio che ha come fulcro prospettico, sul fondo, il David di Michelangelo. Le statue dei Prigioni, San Matteo e la Pietà di Palestrina (opere "non finite" di Michelangelo) sono disposte ritmicamente lungo i lati maggiori dell'ambiente e negli intervalli di spazio, sulle pareti, si trovano alcuni dipinti su tavola. Al centro dell'area della Tribuna del David si trova la statua omonima, posta su un enorme piedistallo e sormontata da un grande lucernario delimitato dall'incrocio tra la Galleria dei Prigioni e i transetti laterali della Tribuna. Nei transetti lungo la parete trovano posto altre opere pittoriche relativi al Cinquecento fiorentino.

I modelli 3D delle opere che popolano il BIM della possono essere ottenuti in diversi modi:

A. con progetti di acquisizione ad hoc;
B. riutilizzando modelli precedentemente prodotti (e.g. modelli realizzati per i musei virtuali);
C. utilizzando le nuvole di punti dalle scansioni eseguite durante i progetti di rilievo dell'edificio.

I casi A e B restituiranno modelli completi e già elaborati con una risoluzione adeguata ma non saranno georeferenziati. L'attività richiede investimenti di tempo e costi maggiore.
Il punto C è il più "economico" perché vengono utilizzate le stesse informazioni acquisite per la restituzione delle geometrie dell'edificio.
Può però accadere che le acquisizioni dell'edificio non siano idonee per la restituzione degli arredi o delle opere per gli scopi prefissati (e.g. buchi nella nuvola, risoluzione non idonea e simili), si può cercare allora di integrare le informazioni con dati provenienti da altre fonti per colmare le mancanze o, in alternativa, decidere di condurre un rilievo come al punto A.
Come si può capire l'usabilità dei modelli è un punto determinante: le relazioni tra la quantità di informazioni implementate, la scalabilità della risoluzione geometrica, la dimensione complessiva dei file, variano in base allo scopo del sondaggio.
Le fasi del lavoro di digitalizzazione svolto nel caso del M-BIM della Galleria dell'Accademia possono essere riassunte nel seguente schema:

- **Analisi e selezione dei dati:** ricerca di dati completi, coerenti e con risoluzione sufficiente per la creazione dei modelli BIM
  Formato di input: .ptx
- **Segmentazione della nuvola di punti:** suddivisione delle nuvole dense degli ambienti (file di grandi dimensioni) in porzioni di spazio (pareti, aree limitate, oggetti con intorno etc.) per ridurre l'elaborazione software alla sola area di interesse.
  Software utilizzato: MeshLab®
  Formato di output per lo scambio dati: .ply
- **Suddivisione nelle parti costituenti l'oggetto:** la nuvola di punti viene ulteriormente segmentata in tante parti quante sono le componenti costituenti l'oggetto (cornice, tavola dipinta, piedistallo, statua, elementi di supporto e così via).
  Software utilizzato: MeshLab®
  Formato di output per lo scambio dati: .ply
- **Realizzazione delle superfici mesh e decimazione**
  Software utilizzato: MeshLab® + Geomagic Studio® 2013
  Formato di output per lo scambio dati: .obj
- **Estrazione dei profili dalla superficie mesh:** sezionando gli oggetti si ottengono i profili geometrici dell'oggetto. I profili vengono verificati e corretti (in questo caso

per fare la verifica si è ricorso a fotografie di dettaglio di ogni oggetto eseguite appositamente)

Software utilizzato: McNeel Rhinoceros® 5

Formato di output per lo scambio dati: .dwg

- **Creazione degli oggetti:** nell'ambiente di creazione degli oggetti parametrici sono importati i profili per la modellazione parametrica o le superfici mesh. Gli oggetti BIM seguono una nomenclatura decisa nella fase di rilievo.

  Software utilizzato: Autodesk Revit Architecture® 2018

  Formato di output per lo scambio dati: .rfa

- **Realizzazione degli oggetti BIM:** utilizzando gli strumenti messi a disposizione dell'Editor delle Famiglie in Revit.

  Software utilizzato: Autodesk Revit Architecture® 2018

  Formato di scambio dati: .rfa

- **Parametrizzazione degli oggetti:** i parametri possono essere di tipo dimensionale (lunghezza, larghezza, volume), attributi materici (peso, densità etc.), parametri testuali informativi (dati sull'oggetto, metadati, paradati), collegamenti a database, documenti di teto, siti web, immagini e così via.

  Software utilizzato: Autodesk Revit Architecture® 2018

  Formato di scambio dati: .rfa

Fig. [106] Workflow per la creazione degli oggetti BIM: piattaforme e formati di file

In questo flusso di lavoro se le superfici mesh presentavano piccoli spazi vuoti e/o errori topologici, i modelli venivano corretti e integrati. Nel caso di fori di grandi dimensioni, il modello è stato chiuso con superfici piane. I metadati contengono tutte le informazioni sulla realizzazione del modello.

Sono stati ipotizzati diversi utilizzi dei modelli degli oggetti BIM creati:

- documentazione degli allestimenti;
- rappresentazioni in VR/AR;
- simulazioni strutturali;
- prevenzione del rischio e conservazione preventiva;
- progettazione degli allestimenti;
- altri usi ...

Sono stati seguiti criteri diversi di realizzazione dei modelli in funzione delle caratteristiche dell'oggetto, per esempio sono state fatte delle considerazioni diverse tra dipinti geometricamente semplici, dipinti con elementi geometricamente complessi e nel caso delle statue.

Le opere scultoree sono state elaborate importando nell'Editor di Revit superfici mesh completamente chiuse.

Le opere pittoriche sono tutte tavole lignee dipinte con eventuale cornice annessa. In questo caso sono state fatte distinzioni tra oggetti geometricamente "semplici e "complessi":

- *Oggetti complessi:* per realizzare questi modelli è stata importata nell'Editor delle Famiglie di Revit una superficie mesh che rappresentasse l'intera tavola oppure la cornice del dipinto (se la complessità geometrica si limita alla cornice). Il volume del pannello della tavola dipinta è stato invece realizzato direttamente in Revit tramite profili di sezione.
- *Oggetti semplici:* la modellazione dei volumi delle geometrie in Revit è avvenuta attraverso i profili di sezione dell'oggetto.

Infine, per le opere pittoriche, con lo strumento Decalcomania è stato possibile abbinare l'immagine pittorica della tavola alla superficie creata in Revit.

Per il caso studio sono state digitalizzate:

- 80 opere pittoriche,
- 10 opere scultoree,
- Parte degli arredi interni alle sale.

Nel caso di oggetti contenenti mesh, per fini di sperimentazione e di verifica di vari risultati, (e.g. la "pesantezza" del modello e la facilità di consultazione) sono state create due "versioni" del medesimo oggetto:

- un modello ad *alta risoluzione* per eventuali usi di visualizzazione delle opere (es. realtà virtuale).
- un modello a *risoluzione* geometrica più *bassa* cercando di limitare la pesantezza del file per favorire una maggiore gestibilità nella piattaforma

Fig. [107] Oggetti ottenuti dal processo di reverse engineering di una cornice morfologicamente complessa a partire da nuvola di punti (a sinistra: mesh della cornice, a destra: foto dell'opera, in basso: ingrandimento della superficie mesh)

Fig. [108] Visualizzazione wireframe del modello di una cornice del modello BIM (nativo Revit), sezione della cornice

Fig. [109] Confronto tra oggetto BIM (cornice) modellato in Revit (sinistra) e fotografia di dettaglio dell'oggetto (destra)

Fig. [110] San Matteo e Schiavo giovane. A sinistra: foto delle statue, centro: modello BIM wireframe, destra: modello BIM realistico

Fig. [111] Render degli ambienti della Tribuna del David del modello M-BIM (software usato: Autodesk Revit Architecture 2018)

Fig. [112] Render degli ambienti della Sala del Colosso del modello M-BIM riproducente l'allestimento precedente al 2015 (software usato: Autodesk Revit Architecture 2018)

1)

2)

3)

Fig. [113] La Galleria dei Prigioni. 1) fotografia storica post 1950–ante 1965 (collezione D. Mignani); 2) Fotografia durante una visita del 2018; 3) Render del modello M-BIM (software usato: Autodesk Revit Architecture 2018)

4.2. La semantizzazione dei modelli delle opere d'arte

L'elemento qualificante di un BIM è la ricchezza data dalla "I" (Information) associata alla rappresentazione geometrica. Grazie alla presenza dell'informazione il BIM diventa mezzo di "comunicazione" tra professionalità appartenenti a diversi settori disciplinari.

La raccolta delle informazioni da trasmettere deve essere svolta in modo che siano "*verificate, accurate e che tengano in adeguata considerazione i gruppi e i pareri rappresentati*" inoltre deve essere fatta una "*completa identificazione e descrizione di ciascun articolo, le sue associazioni, provenienza, condizione, trattamento e posizione attuale. Tali dati dovrebbero essere conservati in un ambiente sicuro e supportati da sistemi di reperimento che consentono l'accesso alle informazioni da parte del personale del museo e di altri utenti legittimi* " (ICOM, 2017).

Solo una piccola parte delle organizzazioni che applicano pratiche di mantenimento e gestione dei beni storici e non storici ha un sistema di gestione degli immobili basato sulla coordinazione computerizzata, alcune non hanno nessun sistema di gestione computerizzato, altre ancora gestiscono le informazioni attraverso delle raccolte di fogli di calcolo (Centofanti, M. 2016).

Le informazioni devono quindi essere strutturate all'interno dei modelli e dei database ad essi collegati. Per evitare la duplicazione dei dati, è stato valutato come più appropriato includere all'interno del BIM solo le informazioni principali, mentre gli altri dati, già strutturati in database esterni o in CMMS, possono essere collegati al modello e richiamati attraverso appositi URL.

I dati implementati nei modelli possono così essere usati per query, compilazione di report, analisi specialistiche, catalogazione, computi, tabulati excel e molto altro ancora.

Le informazioni implementabili nel progetto e nei singoli oggetti BIM che lo costituiscono possono essere molto diverse e inerenti diversi ambiti:

- Parametri dimensionali quali lunghezze, volumi e superfici.
- Proprietà dei materiali (meccaniche, termiche, elettriche etc.).
- Proprietà di visualizzazione e grafica.
- Informazioni storiche, analisi artistiche.

- Informazioni amministrative e giuridiche.
- Coordinate geografiche e localizzazioni.
- Interventi sull'oggetto, stato di conservazione.
- Altri tipi di parametri.

Le proprietà e le informazioni dei modelli non si devono limitare a descrivere le caratteristiche dell'oggetto rappresentato ma devono anche fornire le caratteristiche dei modelli digitali nella forma di metadati e paradati. L'inserimento dei metadati e dei paradati è necessario perché il processo sia in conformità alla "trasparenza scientifica" descritta nei Principi di Siviglia[106] a proposito della visualizzazione computerizzata dei beni culturali.

I modelli creati per la Galleria dell'Accademia contengono sia informazioni che riguardano l'oggetto digitalizzato che metadati e paradati di processo.

La quantità di **informazioni** che contengono è aggiornabile e modificabile in maniera del tutto libera, alcune di queste sono ricavate da documenti e sistemi di catalogazione già in essere, come le schede ICCD[107]:

- Numero di catalogo e/o di inventario.
- Codice ID.
- Nome e autore dell'opera.
- Foto a bassa risoluzione.
- Tipo di oggetto (pittura, statua, moneta, arredi, etc.).
- Componenti (ad esempio cornice, tela, tavola dipinta, base, etc.).
- Dati metrici e generali (lunghezza, larghezza, profondità, volume, peso etc.).
- Componenti materiali e dati fisici (materiali, densità, rivestimenti, peso).
- Conservazione (presenza di clima-frame, sistemi di supporto, etc.).

[106]Ampliamento delle condizioni di applicabilità della Carta di Londra che definisce i principi per l'uso dei metodi della visualizzazione digitale in relazione all'integrità intellettuale, all'affidabilità, alla documentazione, alla sostenibilità e all'accessibilità. Il principio 7 tratta il tema della "trasparenza scientifica" ovvero della possibilità da parte di altri ricercatori e professionisti di poter verificare la validità del lavoro svolto e la confutazione dei risultati ottenuti. Al punto 7.3: "*The incorporation of metadata and paradata is crucial to ensure scientific transparency of any virtual archaeology project. Paradata and metadata should be clear, concise and easily available. In addition, it should provide as much information as possible. The scientific community should contribute with international standardization of metadata and paradata.*" Fonte: http://www.londoncharter.org/

[107]Le schede ICCD contengono informazioni sulle opere presenti nel territorio nazionale, sono liberamente consultabili dal sito ufficiale e sono utilizzare come riferimento generale per la catalogazione delle opere nei vari musei. Non sono però le uniche forme di catalogazione museale, ogni ente utilizza nelle attività operative (restauro, prestito, amministrazione etc.) sistemi interni di catalogazione, schede specifiche sulle attività etc. (e.g. schede conservative, facilty report, condition report). Fonte: http://www.iccd.beniculturali.it/; http://www.polomuseale.firenze.it/archivi/; http://catalogo.uffizi.it/

- Standard di settore dell'oggetto secondo l'AEC (titolo OmniClass, numero OmniClass, etc.).

Metadati e paradati:

- Data di acquisizione (dati di origine).
- Modalità di acquisizione (tecnica / dispositivo).
- Risoluzione dell'acquisizione (per esempio campionamento preimpostato e finale nel caso di nuvola di punti).
- Autore delle acquisizioni (operatore, istituzione, etc.).
- Data di creazione del modello BIM.
- Workflow di modellazione.
- Operatore.
- ID oggetto (codice di sondaggio, nome del file, etc.).
- Tipo di modello (mesh, parametrico, misto, etc.).
- Risoluzione finale (numero di poligoni, tolleranza, etc.).
- Dati di origine (quali dati sono stati usati per creare il modello, che risoluzione hanno questi dati).
- Proprietario del modello (cliente, operatore, ente, etc.).
- Ultima revisione.
- Note varie (problemi, specifiche).

Per questa sperimentazione le famiglie Revit possono essere create all'interno dell'Editor a partire da template predefiniti forniti dal software. Nel caso delle tavole dipinte modelli sono "arredi metrici a muro" mentre per altri oggetti e le statue è stato scelto il template "arredo metrico". La principale differenza tra le due tipologie di famiglie è legata al fatto che, come nel caso degli arredi metrici a muro, gli oggetti appartenenti a questo tipo di famiglie vengono posizionati nel progetto se esiste l'elemento ospitante, detto "host" (in questo caso il muro), mentre nel caso degli arredi metrici possono essere posizionati liberamente all'interno del progetto. La tipologia di famiglia scelta in partenza per la creazione dei modelli è in un certo modo vincolante è quindi opportuno scegliere accuratamente che tipo di modello di famiglia utilizzare fin dalle prime fasi di organizzazione del lavoro.

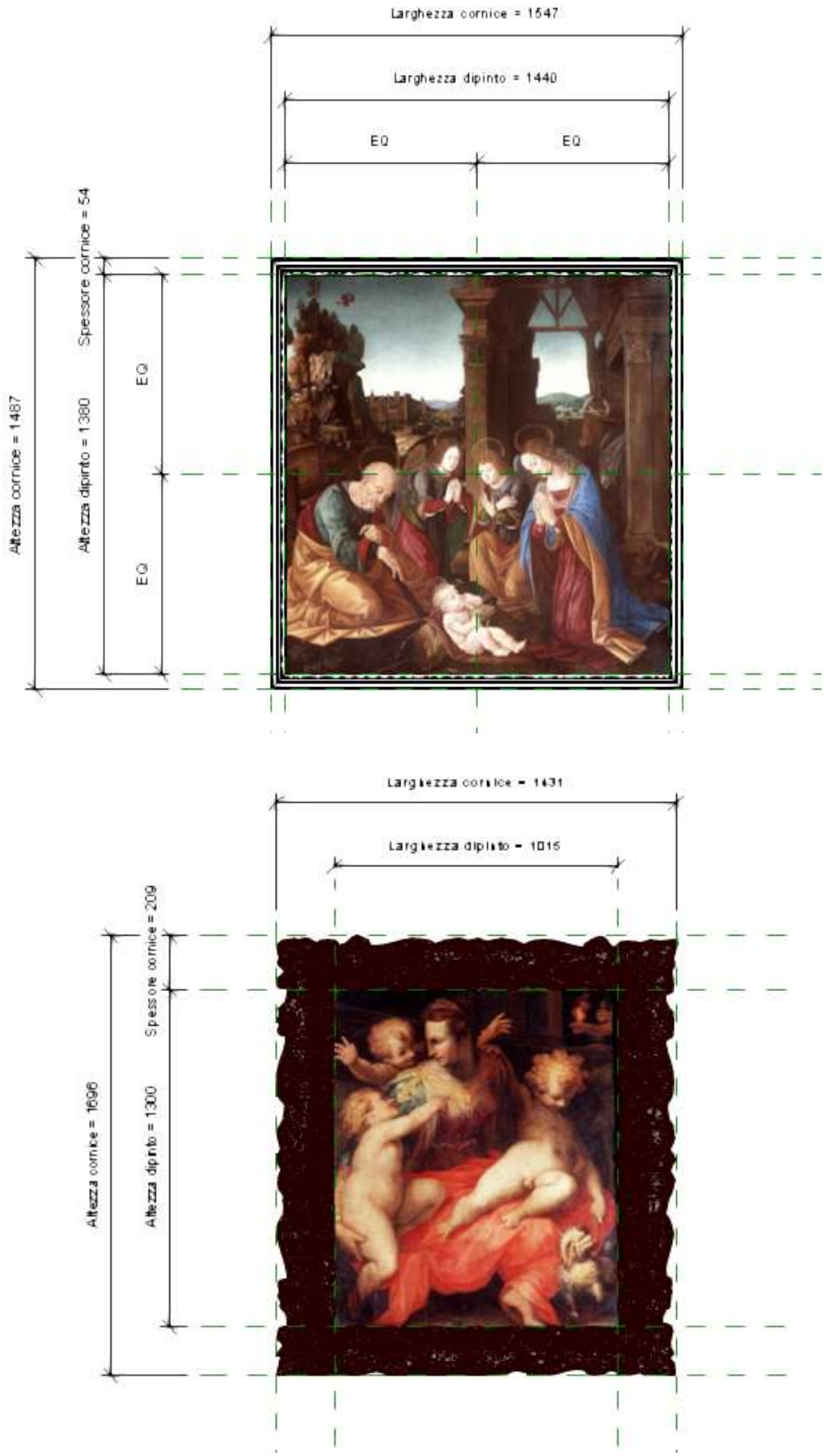


Fig. [114] Quadri parametrizzati e tabelle degli attributi. In alto: cornice e dipinto nativi Revit, in basso: cornice mesh importata in Revit e quadro nativo Revit

4.3. Repository degli allestimenti

Con sondaggi che documentano la coerenza del museo in diversi periodi e i modelli digitali delle opere d'arte, è possibile ricostruire la posizione di ogni oggetto o arredamento nell'edificio in un determinato periodo temporale.

La documentazione degli allestimenti permanenti delle collezioni è prevista negli standard minimi dal DM 113/2018[108].

Autodesk Revit Architecture 2018 mette a disposizione strumenti di gestione temporale degli oggetti e delle strutture. Per ogni oggetto importato o creato nel progetto si può possono definire il momento di "creazione" e il momento di "demolizione", intesi come limiti temporali che definiscono l'esistenza dell'oggetto in quello specifico stato e in quella specifica condizione.

Queste applicazioni di gestione temporale sono generalmente usate per la progettazione del cantiere o per la documentazione dell'evoluzione temporale degli edifici storici. Lo strumento per la gestione delle viste temporali si chiama "Fase". È possibile definire viste in pianta e in sezione nelle quali visualizzare gli oggetti presenti in una determinata fase temporale o creare "viste" di comparazioni tra una fase temporale e un'altra.

Grazie a queste possibilità di cui il software BIM dispone si ipotizzare la creazione di "archivi" digitali degli allestimenti susseguitisi nel tempo: un repository degli allestimenti.

Le fasi temporali influenzano anche gli abachi degli oggetti, si possono infatti ottenere tabelle Excel corrispondenti a una specifica fase e quindi ottenere informazioni sul posizionamento degli oggetti.

In sintesi, applicando delle fasi alle viste del modello, alle Famiglie e agli oggetti è ipoteticamente possibile:

- tenere un archivio temporale degli allestimenti delle opere d'arte che si sono susseguiti nel tempo;
- fare un database delle modifiche apportate ad ogni singola opera;
- analizzare tramite raffigurazioni comparative le trasformazioni subite dagli ambienti;
- ottenere tabulati degli oggetti presenti nei locali in ogni fase;

[108]Allegato del DM 113/2018, Ambito II Collezioni, Punto 5

Il lavoro svolto per la sala del Colosso, la Galleria dei Prigioni e la Tribuna del David ha permesso di osservare i mutamenti subiti dagli allestimenti in due diverse fasi temporali: l'allestimento del 2011 e l'allestimento del 2018.

Le due fasi sono state comparate sia da un punto di vista grafico sia mettendo a confronto gli abachi.

I risultati ottenuti hanno permesso di osservare:

- Gli spostamenti delle opere d'arte in caso di riallestimento, restauro, deposito etc.
- La modifica degli arredi di ogni ambiente (e.g. sedute, insegne, pannelli informativi, impianti elettrici e di climatizzazione etc.)
- Attività e interventi svolti sulle singole opere (e.g. sostituzione o eliminazione delle cornici)

1)

2)

3)

Fig. [115] Medesima sezione del modello MBIM in Revit rappresentante diverse fasi temporali: 1) Stato di fatto, allestimento dai dati di rilievo del 2011; 2) Allestimento del 2018; 3) Filtro comparativo, sovrapposizione delle fasi relative all'allestimento del 2011 e del 2018

4.4. Il DB delle opere d'arte: un modello concettuale

Le informazioni che riguardano il museo sono molteplici. Possiamo provare a farne un elenco che comprenda tutte le fonti di informazioni possibili sul museo:

- *Informazioni sulle collezioni:*
    - informazioni di inventario e amministrative (e.g. schede ICCD e altri sistemi di catalogazione);
    - riferimenti fotografici d'archivio;
    - condition report e schede di restauro;
    - informazioni sulle esigenze microclimatiche;
    - informazioni storiche;
    - altre informazioni specifiche sulle opere.
- *Informazioni sull'edificio:*
    - facility report per gli allestimenti;
    - informazioni sugli impianti (elettrico, idrico, di ventilazione, etc…) e loro rendimento energetico;
    - informazioni sui sistemi di sicurezza;
    - vie di esodo e sistemi di gestione delle emergenze (antincendio, allagamento, sisma, etc.);
    - monitoraggio delle condizioni di umidità e temperatura;
    - informazioni sulla struttura portante;
    - informazioni sulle finiture e sui decori;
    - attrezzatura e arredi;
    - percorsi espositivi e monitoraggio dell'affollamento;
    - dati da archivio storico;
    - dati da archivio fotografico;
    - dati di geolocalizzazione e informazioni provenienti da GIS
    - altre informazioni …

Il sistema BIM che aggiunge a queste informazioni metadati e paradati riguardanti i modelli prodotti.

In generale il BIM consente di descrivere gli elementi delle costruzioni e il suo database concettuale mira a:

- Definire gli oggetti di interesse come classi astratte, indipendentemente dalle geometrie e dalle condizioni di geolocalizzazione, che potrebbero cambiare nel tempo e nello spazio.
- Definire le relazioni tra contenuto e contenitori degli oggetti.
- Definire una connessione verso standard esterni cataloghi o dizionari.
- Definire un repository principale che potrebbe connettersi al web.

In conseguenza a queste considerazioni è stata fatta un'analisi dei requisiti specifici ed è stato formalizzato uno schema applicativo dei dati concettuali del modello. Per l'analisi è stato utilizzato l'UML (Unified Modeling Language) per la formalizzazione in base al modello INSPIRE Consolidated UML della direttiva INSPIRE[109]. In effetti, il caso studio della Galleria dell'Accademia di Firenze è stato modellato come caso d'uso delle specifiche sui dati INSPIRE relative al tema "Protected Sites" (INSPIRE ANNEX II)[110].

La modellazione dei dati è stata fatta per cercare di mantenere l'indipendenza dall'approccio BIM, ma allo stesso tempo aggiungere ulteriori informazioni al fine di:

- evitare la replica dei dati da diverse fonti;
- consentire la connessione con cataloghi open data (e.g. il catalogo ICCS RDF);
- consentire la connessione tra diversi modelli BIM relativi alla stessa opera d'arte o localizzati nello stesso edificio;
- gestire la posizione temporanea di un'opera d'arte nel tempo;
- associare diversi tipi di modelli, inclusi differenti aspetti geometrici o dettagli, a un una specifica opera d'arte grazie al collegamento delle geometrie dell' "ISO Spatial Schema" (ISO/TC211 19107, 2003);
- associare a ciascuna opera d'arte una geolocalizzazione nel rispetto dei principi e dei temi di INSPIRE for "Protected Sites";

[109] La direttiva INSPIRE mira a creare un'infrastruttura dei dati territoriali dell'Unione europea secondo i propositi delle politiche ambientali dell'UE o delle attività che possono avere un impatto sull'ambiente. Questa "European Spatial Data Infrastructure" ha come obiettivi la condivisione di informazioni ambientali e spaziali tra le organizzazioni del settore pubblico, l'accesso pubblico facilitato alle informazioni spaziali e la definizione di politiche comuni. Ulteriori informazioni al sito: https://inspire.ec.europa.eu/

[110] https://inspire.ec.europa.eu/Themes/117/2892

- definire un modello di dati in una piattaforma indipendente da implementare secondo standard di interoperabilità e un approccio “open data”.

Per il momento non esiste una struttura fisica che permetta di implementare tutti i contenuti insieme, né un'applicazione di interfaccia che permetta un facile accesso a tutte le informazioni senza avere competenze informatiche e di gestione dei database molto approfondite.

Il test sul modello concettuale è stato fatto prendendo in considerazione diversi software. L’esperimento è servito come banco di prova e avvio per future ricerche, per cercare di implementare un'interfaccia unica che interroghi i diversi modelli o gli ambiti di informazione, rispondendo a query fatte dagli specialisti di un settore disciplinare, utilizzando protocolli standard di servizi Web e set di dati interoperabili.

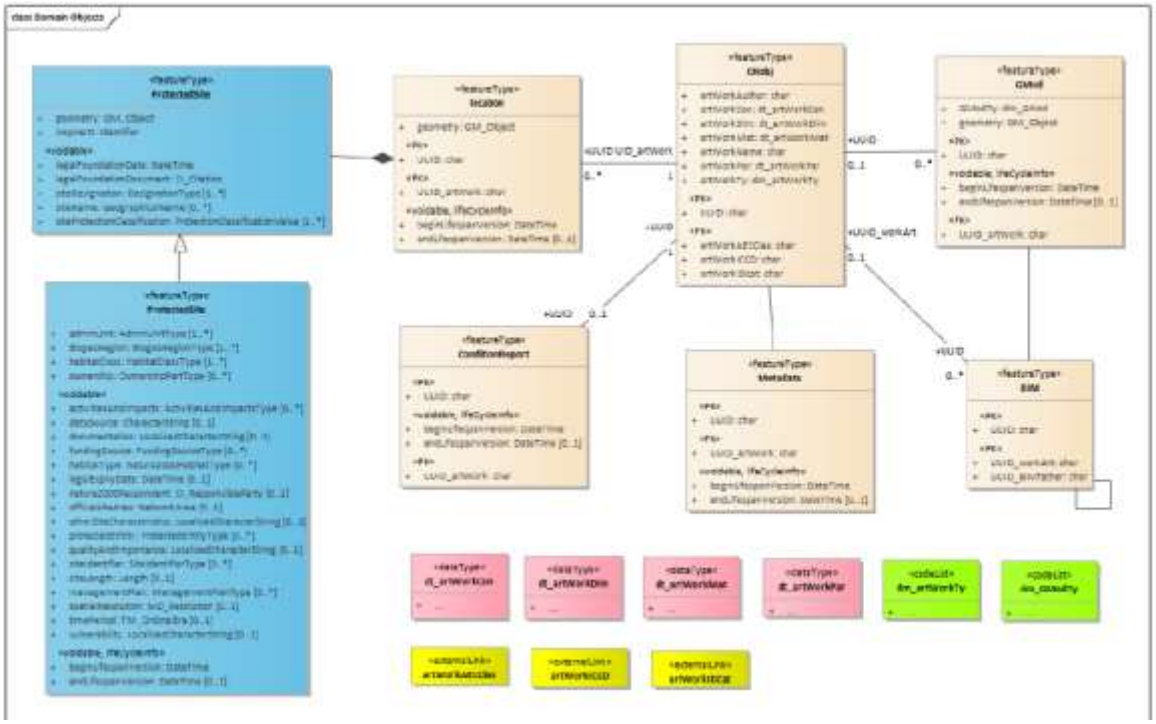


Fig. [116] Modello concettuale del database. Legenda: blu → da INSPIRE; rosa → DB principale delle collezioni; rosa → tipo di dati; verde →lista di codici

5. X-Reality dal modello M-BIM della Galleria dell'Accademia

"Museums have an important duty to develop their educational role and attract wider audiences from the community, locality, or group they serve. Interaction with the constituent community and promotion of their heritage is an integral part of the educational role of the museum."[111]

Attività educative e di disseminazione sono necessarie e fondamentali per raggiungere forme di interazione con la comunità e per tramandare le conoscenze.
Le attrezzature che sono generalmente dedicate al "gaming" possono essere sfruttate con l'obiettivo di stimolare queste interazioni e introdurre nuovi sistemi di approccio del patrimonio culturale (Barazzetti, L. et al., 2017b).
La generazione di ambienti immersivi e interattivi basati sulla VR e AR può essere un valido mezzo di comunicazione (Bhowmik, S., 2015). Questi sistemi richiedono rappresentazioni geometriche tridimensionali che i software BIM sono in grado di fornire, inoltre i dati contenuti negli elementi possono essere utilizzati a scopo informativo anche per utenti esterni come turisti e studenti.
Alcuni casi studio hanno dimostrano le possibilità di impiego che i modello BIM ha all'interno di applicazioni per smartphone e tablet (Barazzetti, L. et al., 2017b) e nell'allegato al DM 113/2018 si raccomanda l'uso di VR per attività divulgative.
Le esperienze di AR/VR sono sempre più diffuse così come è in crescita l'uso delle tecnologie dell'IoT (Internet of Thing[112]) di ogni giorno e in quelle lavorative.
Si può quindi ipotizzare la realizzazione di un ambiente in X-reality tramite l'uso del modello M-BIM della Galleria dell'Accademia per molteplici scopi:

- Creare percorsi tematici e visite guidate alle sale del museo;
- Management delle collezioni;

[111] ICOM, 2017

[112] Fonte:https://www.digi-capital.com/news/2016/07/virtual-augmented-and-mixed-reality-are-the-4th-wave/#.WaZrI5CzG31

- Progettazione degli ambienti e degli allestimenti;
- Tour e ricostruzioni temporali degli ambienti.

Sono state fatte alcune sperimentazioni sul modello M-BIM arricchito degli allestimenti e si sono ottenuti dei risultati preliminari aprendo la strada a future indagini.

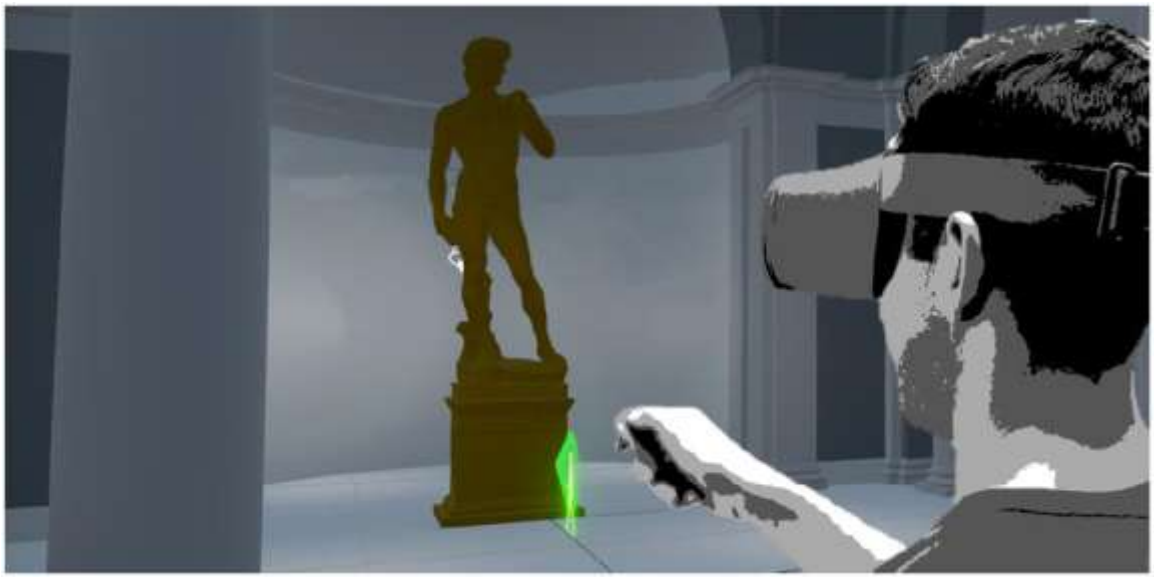


Fig. [117] Prova di visualizzazione del modello M-BIM della Galleria in VR

6. Conclusioni

I risultati ottenuti dall'attività di ricerca nella bibliografia e dalle sperimentazioni svolte per il caso studio della Galleria dell'Accademia di Firenze hanno evidenziato le potenzialità dei workflow BIM come forma di condivisione dei dati e base per la standardizzazione dei processi.

I principali limiti riscontrati sono di tipo tecnico, legati generalmente alle possibilità strumentali che il singolo software mette a disposizione per la risoluzione dei problemi o alle capacità hardware dei sistemi e delle workstation utilizzate.

Lo scambio dei dati tra le diverse piattaforme utilizzate non è ancora fluido, ci sono difficoltà nella lettura e nello scambio delle informazioni, inoltre sono richieste ancora molte conversioni di file da un software all'altro per arrivare al risultato desiderato. Un esempio sono le elaborazioni fatte per l'inserimento in Autodesk Revit delle superfici mesh e il processamento dei dati delle nuvole di punti.

Gli strumenti di modellazione forniti da Autodesk Revit risultano limitati e insufficienti e non consentono una modellazione reality-based. Un esempio pratico è dato dalla necessità di dover creare la superficie mesh in Rhinoceros e poi importarla in Autodesk Revit per rappresentare delle superfici complesse senza impiegare eccessivo tempo nella modellazione all'interno dell'Editor delle Famiglie di Revit (Moreira, A. et al., 2018).

Le categorie degli oggetti BIM sono in gran parte dipendenti dalle classificazioni fatte nel settore AEC per le nuove costruzioni e si coniugano con difficoltà alle ontologie di un edificio storico. L'inserimento delle informazioni inerenti alle collezioni d'arte è un ambito ancora più specifico che non trova riscontro immediato nei parametri di default disponibili nel software.

I modelli creati per il BIM hanno messo in evidenza le difficoltà di gestione per il software nel momento in cui si inseriscono un numero elevato di oggetti e di mesh. La "pesantezza" di ciascun modello è ancora molto elevata ed è necessario fare compromessi tra accuratezza della rappresentazione e gestibilità del modello.

Allo stesso modo, è necessario ottimizzare la gestione delle fasi: le installazioni sono frequentemente aggiornate e il software, creato per gestire un numero di fasi temporali non eccessivamente elevato, come quelle di trasformazione degli edifici, ipoteticamente avrebbe delle difficoltà a gestire così tante informazioni in un unico modello.

Per queste attività e per altre operazioni sui musei mancano ancora delle linee guida comuni per avviare progetti tra loro coerenti. Gli approcci finora analizzati e le ricerche svolte seguono il principio del caso per caso, in funzione dei sistemi di management in uso, delle capacità informatiche degli utenti e dei modellatori, dei tempi di elaborazione dei risultati richiesti e degli strumenti tecnologici a disposizione.

Altre questioni riguardano gli attuali CMMS dei musei:

- molti dati risultano non ancora digitalizzati;
- i dataset disponibili possono essere incompleti e non validati;
- processi paper-based sono ancora quelli più diffusi e applicati;
- i sistemi di archiviazione sono diversi da museo a museo.

In queste situazioni oltre alla necessità di rivedere i sistemi di gestione esistenti sarebbe opportuno seguire dal principio le regole di registrazione date dagli standard e dalle good practice locali e internazionali.

La prospettiva futura emersa per l'implementazione del BIM nel FM dei musei vede comunque protagonista la tecnologia dell'IoT.

La formazione del personale sarà uno dei cardini del successo dei progetti di implementazione.

Sistemi informatici più intuitivi e infrastrutture hardware e software più idonee allo scopo permetteranno ai curatori di manipolare oggetti 3D per progettare e simulare scenari.

Tramite l'uso dei sensori che trasmettono dati in real-time e dei sistemi di collegamento tra ambiente BIM e sistemi impiantistici è possibile gestire la domanda energetica in modo ottimale.

Il monitoraggio degli ambienti e la raccolta dei dati sulle condizioni delle opere in sistemi BIM-based contribuiranno alla conservazione preventiva e alla messa in sicurezza dei beni.

La Realtà Aumentata e/o Virtuale (X-Reality) permetterà di fare esperienze educative e conoscitive accattivanti degli ambienti e delle collezioni e possibili simulazioni di scenari per la progettazione e il management delle opere d'arte.

L'implementazione del BIM richiede una visione a lungo termine e se i dati vengono raccolti correttamente in futuro le limitazioni, soprattutto quelle tecniche, potrebbero dissolversi, offrendo modi più efficienti di gestire i beni del patrimonio costruito e delle collezioni custodite nei musei.

Glossario*

AEC	Architecture, Engineering and Construction - Espressione comunemente utilizzata in ambito internazionale per indicare il settore delle costruzioni.
AIA	American Institute of Architects – www.aia.org
AIM	Asset Information Model - Nell'ambito del processo BIM, i vari team di progetto creano i relativi modelli informativi che si arricchiscono al progredire delle fasi del progetto, fino alla consegna del modello completo (federazione dei modelli) al proprietario o utente finale. Il modello di dati assume il nome di "Modello Informativo del Bene" o AIM, una volta che il progetto è consegnato e completo. L'AIM è per gestire, mantenere e far funzionare il bene realizzato.
AIR	Asset Information Requirements - Documento che indica i requisiti dei dati o delle informazioni relativi a un bene. Gli AIR sono generalmente inseriti all'interno dell'Asset Information Model e costituiscono parte degli EIR (Employer's Information Requirements).
AR	Augmented Reality (Realtà Aumentata) - Esperienza interattiva di un real-world environment in cui gli oggetti che risiedono nel mondo reale sono migliorati da informazioni percettive generate dal computer, a volte attraverso molteplici modalità sensoriali, tra cui visivo, uditivo, tattile, somatosensoriale e olfattivo.
BEP	BIM Execution Plan - Si tratta di un documento redatto a cura dell'appaltatore che illustra nel dettaglio come gli aspetti del modello informativo del progetto saranno portati in conto nello svolgimento delle fasi progettuali e realizzative; in altri termini, il BEP è la risposta dell'appaltatore ai requisiti contenuti nell'EIR. Operativamente dovranno essere redatte due tipologie di BEP: il BEP pre-contratto (da parte di ciascun offerente) e il BEP post-contratto (ad opera del vincitore della gara d'appalto).
BFC	BIM Collaboration Format - Uno schema utilizzato per lo scambio di informazioni e punti di vista sul modello indipendentemente dagli strumenti software utilizzati. Implementato sia come formato file XML (bcfXML) che come API RESTful webservice (bcfAPI), il formato Open BCF) viene in genere utilizzato per evidenziare i problemi rilevati durante le revisioni del modello. Lo schema consente lo scambio di commenti e immagini collegati a specifici componenti del modello tramite i loro Global Unique ID (GUID).
BIM	Building Information Modelling/Model/Management – Acronimo il cui significato è andato evolvendosi nel corso del tempo. L'accezione oggi universalmente accettata fa riferimento al processo di progettazione, costruzione e gestione di un edificio (o una infrastruttura – più generalmente un'opera di ingegneria) svolto utilizzando informazioni elettroniche object-oriented.
bSI	building SMART International – Organizzazione internazionale senza scopo di lucro, aperta e indipendente. L'associazione è strutturata in "Capitoli Regionali" (in rappresentanza di stati o gruppi di stati), e riunisce professionisti imprenditori, proprietari e/o gestori di patrimoni immobiliari, produttori di software e di materiale da costruzione, agenzie governative, enti di ricerca, etc. La sua mission è incidere sullo sviluppo dell'economia dell'industria delle costruzioni attraverso la creazione e la diffusione di standard aperti e condivisi, che facilitino lo scambio dei dati relativi alle costruzioni tra i vari operatori del settore. Promotrice dello standard IFC. Nata

	con il nome di International Alliance of Interoperability (IAI), ha successivamente cambiato la sua denominazione. www.buildingsmart.org – www.buildingsmart-tech.org
BSI	British Standard Institution – Ente di normazione della Gran Bretagna. Fondato nel 1901, è il più antico ente di normazione al mondo – www.bsigroup.com
CAD	Computer Aided Design/Drawing/Drafting – Settore dell'informatica che si occupa dello sviluppo di tecnologie software finalizzate a supportare l'attività di redazione di disegni tecnici o, in senso più generale, della progettazione. (progettazione assistita dal computer // disegno tecnico assistito dall'elaboratore).
CAPEX	CAPital Expenditure – Spese per capitale. Per un operatore economico rappresenta il flusso di cassa in uscita per la realizzazione di investimenti in attività immobilizzate di natura operativa (investimenti in capitale fisso). In altre parole, si tratta dell'impegno finanziario che occorrerà sostenere per la costruzione di un bene immobile.
CAx	In informatica e ingegneria meccanica con esso si intende l'espressione inglese "Computer-aided technologies", termine generico che descrive l'uso della tecnologia informatica per aiutare nella progettazione, l'analisi e la fabbricazione dei prodotti, riferibile quindi al completo ciclo di vita del prodotto, cominciando dalla sua ideazione.
CD	Clash Detection - indica l'attività di rilevamento che aiuta a identificare dei conflitti, ispezionare e segnalare le interferenze in un modello di progetto. Viene utilizzato per controllare il lavoro concluso o in corso e serve a ridurre il rischio portato dall'errore umano durante le ispezioni del modello. Il rilevamento dei conflitti è necessario perché diversi modelli (strutturali, MEP, etc.) vengono integrati tra loro. Con il rilevamento delle interferenze, gli errori che normalmente sarebbero stati scoperti sul sito possono essere identificati in ufficio.
CDE	Common Data Environment - Univoca fonte di informazioni per un determinato progetto o immobile. È un ambiente informatico strutturato utilizzato per raccogliere, gestire e distribuire tutti i dati relativi al progetto o al bene di interesse.
CI	Capitolato Informativo - Il documento che fornisce una descrizione generale minima in merito alle Specifiche Informative richieste e finalizzate alla razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso l'uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture (art.23 c.13 D.Lgs. 50/2016). Lo stesso costituisce l'atto propedeutico ed indispensabile alla redazione dell'Offerta per la Gestione Informativa (pre-contract BIM Execution Plan) contenenti la metodologia che il concorrente intende utilizzare e che in caso di aggiudicazione dovrà rendere esecutiva nel Piano di Gestione Informativa (BIM Execution Plan).
CIC	Construction Industry Council – Ente rappresentativo di organismi professionali, organizzazioni di ricerca e associazioni d'impresa del settore delle costruzioni britannico. Fondato nel 1988 ricopre un ruolo rilevante per ampiezza di rappresentanza e per impegno nello sviluppo del BIM in Gran Bretagna. – www.cic.org.uk
CIDOC	ICOM's International Committee for Documentation

CMMS	Computerized Maintenance and Management System - Sistema computerizzato della gestione della manutenzione, è il termine con il quale si identifica un'applicazione software che supporta il sistema informativo per la gestione della manutenzione spesso integrata con l'Enterprise Resources Planning (ERP) aziendale.
COBie	Construction Operations Building information exchange - Format per lo scambio di informazioni non grafiche, necessarie alla fase di gestione del patrimonio immobiliare costruito. Definito nel 2007, ha avuto un aggiornamento approvato nel 2010 (COBie2); nel 2011 è stato inserito dal NIBS all'interno del National BIM Standard (NBIMS-US). Dispone di formati atti alla lettura automatica e umana; questi ultimi sono proposti come fogli di calcolo Excel, disponibili su www.wbdg.org/resource/cobie.php.
COTAC	Council On Training in Architectural Conservation - Costituito nel 1959, gli obiettivi del Consiglio sono quelli di promuovere l'istruzione e la formazione di tutti coloro che sono coinvolti nella protezione e conservazione dell'ambiente storico di valore culturale, architettonico o storico.
DXF	Drawing eXchange Format - Formato di file utilizzato per esportazione e importazione di dati tra programmi CAD
EDMs	Engineering Data Management systems - Si tratta di sistemi che permettono di lavorare e condividere le informazioni in rete e stabiliscono modalità e priorità di accesso agli archivi condivisi da parte di un gruppo di lavoro. In certi casi si parla anche di Electronic Data management Systems, in un'accezione analoga ma riferibile anche a settori diversi dall'AEC.
EIR	Employer's Information Requirements - Documento pre-gara, redatto dalla committenza, in cui sono definite le relative esigenze specificatamente all'aspetto della produzione e consegna delle informazioni, cui dovrà dare risposta l'appaltatore; non è pertanto, equivalente al Documento Preliminare alla Progettazione. In alcuni appalti banditi in Italia ha assunto il nome di "Capitolato Informativo".
ERP	Enterprise Resource Planning - Tipologia di software rivolto alla pianificazione delle risorse d'impresa e finalizzato ad un efficientamento dei processi decisionali all'interno di un'azienda. In generale, in tali software è possibile integrare tutte le principali procedure aziendali: dalle vendite, alla gestione degli acquisti, del magazzino, dei clienti, alla gestione contabile e fiscale, etc.
EQF	Quadro Europeo delle Qualifiche
EU	European Union - Unione Europea
FM	Facility Management - Tratta la gestione del patrimonio immobiliare nella sua accezione più ampia, vale a dire sia dal punto di vista materiale (manutenzione ordinaria e straordinaria di strutture ed impianti) sia immateriale, vale a dire dei servizi e processi (pulizia, portineria, etc.) ai fini della sua adeguata fruizione e del mantenimento del valore e/o del reddito esprimibile.
IAI	International Alliance of Interoperability - Acronimo oggi superato, utilizzato dall'attuale "buildingSMART International" (bSI). Derivato dal nome dell'associazione alla sua nascita (1995 - "Industry Alliance of Interoperability"), assunse poi il significato di "International Alliance of Interoperability" a seguito di una prima modifica della denominazione dell'associazione stessa, avvenuta nel 1996.

ICCD	Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione
ICT	Information and Communication Technologies – Tecnologia dell'Informazione e della comunicazione.L'insieme delle tecnologie che forniscono l'accesso alle informazioni attraverso le telecomunicazioni. A differenza dell'Information Technology, l'ICT è più focalizzata sulle tecnologie di comunicazione, come internet, reti wireless, telefoni cellulari e altri mezzi di comunicazione.
IDM	Information Delivery Manual - Sviluppato da buildingSMART International, è una metodologia per la definizione dei processi e relativi flussi di informazioni durante l'intero ciclo di vita di una costruzione.
IFC	Industry Foundation Classes - Modello strutturato di dati (edito da building SMART International), object oriented, aperto, pubblico e indipendente da qualsiasi produttore di software. Recepito nella norma ISO 16739 è il più diffuso formato di scambio dati tra applicativi BIM.
IFD	International Framework for Dictionaries - Sviluppato da buildingSMART International, è un dizionario internazionale il cui scopo è chiarire univocamente definizioni e relativi significati di entità, prodotti e processi dell'industria delle costruzioni.
IoT	Internet of Things - è una rete di oggetti "smart" contenenti chip, software e sensori. Questi oggetti possono essere collegati tra loro e possono scambiare dati con operatori e reti/sistemi fatti ad-hoc (e.g. smartphone, tablet, webcam, pc, macchine fotografiche etc.)
IPD	Integrated Project Delivery - è un rapporto contrattuale con un approccio "più equo" nella distribuzione di rischi e benefici tra i principali partecipanti al progetto. L'IPD si basa su diversi principi chiave, tra cui: rischio/compensi condivisi, coinvolgimento precoce dei partecipanti chiave e sistemi di scambio delle informazioni aperti.
IPR	Intellectual Property Rights - In diritto, indica l'apparato di principi giuridici che mirano a tutelare i frutti dell'inventiva e dell'ingegno umano
ISO	International Organization for Standardization - Ente Normativo Internazionale, non governativo e indipendente, costituitosi a Londra nel 1946; attualmente la Segreteria Centrale ha sede a Ginevra. L'ISO è un network composto esclusivamente di organismi di normazione nazionale, uno per ciascun paese, e conta in questo momento 163 membri. – www.iso.org
IT	Information Technology - Si riferisce alla Tecnologia dell'Informazione in senso lato.
ITC	Information Technologies in Construction - Tecnologie dell'Informazione nel settore delle Costruzioni
LF	Life Cycle - Ciclo di vita di un bene
LOD	Level Of Definition/Detail - Indica il livello di dettaglio/sviluppo del modello sia sulla base degli attributi grafici che di quelli non grafici

LOI	Level Of Information - Livello Informativo del Modello, indica il contenuto NON grafico del modello ad ogni fase prevista del suo sviluppo
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing – Espressione comunemente utilizzata in ambito internazionale per indicare gli aspetti impiantistici negli interventi di ingegneria civile
MVD	Model View Definition - Sviluppato da buildingSMART International e oggetto di certificazione internazionale da essa rilasciata, la "vista del modello" definisce un sottoinsieme del formato IFC che è necessario implementare nei software per soddisfare i requisiti di scambio dati di un definito processo o attività, descritto nel "manuale per lo scambio di informazioni" (IDM).
NBIMS-US	National BIM Standards-United States - Linee guida e d'indirizzo statunitensi, redatte dall'NBIMS-US Project Commitee, un'iniziativa di buildingSMART Alliance
NIBS	National Institute of Building Science - Il National Institute of Building Science è un'organizzazione non governativa senza scopo di lucro statunitense, autorizzata dal Congresso degli U.S. nel 1974. L'istituto ha sede a Washington D.C. e riunisce rappresentanti del governo, delle professioni, dell'industria e dei consumatori con lo scopo di identificare e risolvere i problemi o potenziali problemi che ostacolano la realizzazione di costruzioni sicure e a costi accessibili per uso civile, industriale e commerciale. L'istituto è organizzato in una serie di consigli e commissioni permanenti, tra cui si annovera "buildingSMART Alliance" – www.nibs.org
NIST	National Institute of Standards and Technology - Agenzia del Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti. Frequentemente ricordata per un documento, emanato nell'agosto del 2004 (Cost Analysis of Inadequate Interoperability in U.S. Capital Facilities Industry) relativo ai costi dell'inadeguata interoperabilità tra i diversi ambiti nell'industria delle costruzioni statunitense, citato in numerosissimi seminari e convegni sul BIM, a suffragare la convenienza economica della sua adozione. – www.nist.gov
OGC	L'Open Geospatial Consortium (OGC) - Organizzazione internazionale no profit impegnata a creare standard aperti di qualità per la comunità geospaziale globale. Gli standard OGC sono utilizzati in una vasta gamma di settori, tra cui: geoscienze e ambiente; difesa; Smart Cities, tra cui IoT e Sensor Web, tecnologia mobile e 3D & Built Environment; emergenza e gestione dei disastri; aviazione; energia e tanti altri.
OIR	Organizational Information Requirement - I dati e le informazioni necessari a un'organizzazione per soddisfare requisiti richiesti e raggiungere gli obiettivi. In un contesto di gestione delle risorse gli OIR sono gli Asset Information Requirements.
oGI	offerta per la Gestione Informativa - Documento nel quale il concorrente all'affidamento, esprime e specifica la propria modalità di gestione informativa del processo, in risposta alle richieste della committenza formulate nel Capitolato Informativo precedentemente citato, corrispondente del BIM Execution Plan pre-conctract award (BEP pre-conctract award)
PAS	Publically Available Specification – Norme britanniche emanate per fornire una risposta rapida a specifiche esigenze di determinati settori produttivi. Le PAS della serie 1192 (parte 2, 3, 4, 5) sono concepite come sviluppo ed evoluzione della BS 1192:2007+A3:2016, sono state pubblicate in risposta all'esigenza del governo britannico di implementare l'adozione della metodologia BIM nell'industria delle costruzioni. Sono liberamente scaricabili da: http://shop.bsigroup.com/Browse-by-Sector/Building–Construction/BIM-/

pGI	piano per la Gestione Informativa - Esplicitazione definitiva ed operativa della modalità di gestione informativa del processo predisposta dall'affidatario (vincitore della gara di affidamento) ed equivalente al BIM Execution Plan (BEP)
PIM	Project Information Model – Nell'ambito del processo BIM, i vari team di progetto creano i relativi modelli informativi che si arricchiscono al progredire delle fasi del progetto, fino alla consegna del modello completo (federazione dei modelli) al proprietario o utente finale. Il modello di dati assume il nome di "Modello Informativo della Costruzione" o PIM durante la fase di progettazione e costruzione.
RIBA	Royal Institute of British Architects – www.architecture.com/RIBA
ROI	Return of Investment – Ritorno sugli investimenti. Indice di redditività sul capitale investito
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping): si intende il processo per cui uno strumento si muove in un ambiente sconosciuto, costruisce la mappa di tale ambiente ed è capace di localizzarsi all'interno di quella mappa.
SMEs	Small and Medium-sized Enterprises
STEM	Science, Technology, Engineering, and Math
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, fondato nel 1921, è un'associazione privata senza scopo di lucro riconosciuta dallo stato e dall'unione Europea. UNI rappresenta l'Italia presso le organizzazioni di normazione europea (CEN) e mondiale (ISO). www.uni.com
VR	Virtual Reality (Realtà Virtuale) - termine utilizzato per indicare una realtà simulata grazie a sistemi hardware e software
XR	X-Reality o Cross Reality - Comprende un'ampia gamma di hardware e software, compresi i sensori di interfaccia, le applicazioni e le infrastrutture, che consentono la creazione di contenuti per Realtà Virtuale (VR), Realtà Mista (MR), Realtà Aumentata (AR), Realtà Cinematica (CR). Con questi strumenti, gli utenti generano nuove forme di realtà portando gli oggetti digitali del mondo fisico nel mondo digitale.

* *Fonti principali per la creazione del Glossario:*

- https://bimdictionary.com/
- http://bim.acca.it/tutti-gli-acronimi-del-bim/
- http://biblus.acca.it
- https://it.wikipedia.org

Bibliografia

[1] AAM-RC (1998). Registrars Committee of the American Association of Museums. Standard Facility Report adopted 1998. Disponibile dal sito: http://sceti.library.upenn.edu/dreyfus/docs/Standard_Facility_Report.pdf

[2] Atkinson, D., Campbell-Bell, D., Lobb M. (2019). The Conservation and Management of Historic Vessels and the Utilization of 3D Data for Information Modelling J. K. McCarthy et al. (eds.), 3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology, Coastal Research Library 31, Springer

[3] Azhar, S., Khalfan, M., Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): now and beyond. Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12 (4). Pp. 15-28

[4] Baik, A., Alitany, A., Boehm, J., Robson, S. "Jeddah Historical Building Information Modelling "JHBIM". Capitolo 11, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 133-153

[5] Banfi, F. (2017a). BIM orientation: Grades of Generation and Information for different type of analysis and management process. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5. Pp. 57-67

[6] Banfi, F., Fai, S., Brumana, R. (2017b). BIM Automation: Advanced Modeling Generative Process for Complex Structures. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-2/W2, 2017 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada. Pp. 9-16

[7] Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Gusmeroli, G., Oreni, D., Previtali, M., Roncoroni, F., Schiantarelli, G. (2015a). BIM from Laser Clouds and Finite Element Analysis: Combining Structural Analysis And Geometric Complexity, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W4. Pp. 345-350

[8] Barazzetti, L., Banfi, F., Bruman, R., Previtali, M. (2015b). Creation of Parametric BIM Objects from Point Clouds Using Nurbs. The Photogrammetric Record, The Remote Sensing and Photogrammetry Society and John Wiley & Sons Ltd. Pp. 339–362

[9] Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Previtali M., Ronconi, F. (2016). Integrated Modeling and Monitoring of the Medieval Bridge Azzone Visconti. 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), 5-8 July 2016, Spain, Bilbao. Pp. 5-8

[10] Barazzetti, L., Banfi, F., (2017a). Bim and Gis: When Parametric Modeling Meets Geospatial Data. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-5/W1, 2017 Geospace 2017, 4–6 December 2017, Kyiv, Ukraine

[11] Barazzetti, L., Banfi, (2017b). F. Cap. 9: Historic Bim For Mobile Vr/Ar Applications. Estratto da M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann, G. Papagiannakis. Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage. Springer International Publishing AG. Pp. 271-290

[12] Bartoli, G., Betti, M., Biagini, P., Borghini, A., Ciavattone, A., Girardi, M., Lancioni, G., Marra, A.M., Ortolani, B., Pintucchi, B. (2017). Epistemic uncertainties in structural modelling: a blind benchmark for seismic assessment of slender masonry towers. ASCE's Journal of Performance of Constructed Facilities; 31(5)

[13] Becker, R., Falk, V., Hönen, S., Loges, S., Stumm, S., Blankenbach, J., Brell-Cokcan, S., Hildebrand, L., Valée, Dirk. (2018). BIM – Towards the entire lifecycle. International Journal of Sustainable Development and Planning. 13. 10.2495/SDP-V13-N1-84-95.

[14] Betti, M., Galano, L., Vignoli, A. (2014). Comparative analysis on the seismic behaviour of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms. Engineering Structures, 61. Pp. 195-208

[15] Bhowmik, S. (2015) The Parametric Museum: Integrating a Museum's Building Information Model with Its Digital Collections, In: Journal of the National Institute of Building Sciences.3, 3

[16] Bitelli, G., Castellazzi, G., D'Altri, A.M., De Miranda, S., Lambertini, A., Selvaggi, I. (2016). Automated voxel model from point clouds for structural analysis of cultural heritage. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B5. Pp. 191-197

[17] Bonanomi, M., Talamo, C., Paganin, G. (2016). La gestione delle informazioni per i processi manutentivi in ambiente BIM. Convegno Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM, Politecnico di Milano, 21-22 giugno 2016.

[18] Bonduel, M., Bassier, M., Vergauwen, M., Pauwels, P., Klein, R. (2017). Scan-to-BIM Output Validation: Towards a Standardized Geometric Quality Assessment of Building Information Models Based on Point Clouds. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W8, 2017 5th International Workshop Low Cost 3D–Sensors, Algorithms, Applications, 28–29 November 2017, Hamburg, Germany. Pp. 45-52

[19] Bonora, A., Fabbri, K., Pretelli, M. (2018). Study of the indoor microclimate for preventive conservation and sustainable management of historic buildings. The case of Villa Barbaro, Maser. In: Energy Efficiency in Historic Buildings Tor Broström T. et al. eds, Uppsala University, Department of Art History. Pp. 381-390

[20] Brumana, R., Della Torre, S., Oreni, D., Previtali, M., Cantini, L., Barazzetti, L., Franchi, A., Banfi, F., (2017). Hbim Challenge Among The Paradigm Of Complexity, Tools And Preservation: The Basilica Di Collemaggio 8 Years After The Earthquake (L'Aquila). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 2017 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada. Pp. 97-104

[21] Bruno, N. (2017). From survey to analysis for Cultural Heritage management: a new proposal for database design in BIM. Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura. Coordinatore: A. Carpinteri. Relatori: R. Roncella. Tutor: C. Achille, A. Zerbi.

[22] Bruno, N., Roncella, R. (2018). A restoration oriented HBIM system for cultural heritage documentation: the case study of Parma Cathedral. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium "Towards Photogrammetry 2020", 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy. Pp. 4-7

[23] Campi, M., Di Luggo, A., Monaco, S., Siconolfi, M., Palomba, D. (2018). Indoor and outdoor mobile mapping system for architectural surveys. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42(2).

[24] Caputi, M., Odorizzi, P., Stefani, M., (2015). Building Information Modelling – BIM - Valore, gestione e soluzioni operative. Maggioli Editore S.p.A. Santarcangelo di Romagna, Italia.

[25] Carneiro, T. M., Lins, D. M. O., Neto, J. P. B. B. (2012). Spread of BIM: a comparative analysis of scientific production in Brazil and Abroad. 20th Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 2012), San Diego, California.

[26] Castellazzi G., D'Altri A. M., De Miranda S., Ubertini F. (2017). An innovative numerical modeling strategy for the structural analysis of historical monumental buildings, Engineering Structures, 132(1). Pp. 229-248.

[27] Centofanti, M., Brusaporci, S., Maiezza, P. (2016). Tra "Historical BIM" ed "HeritageBIM": Building Information Modeling per la Documentazione dei Beni Architettonici. ReUSO 2016, Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela paesaggistica. Edifir, Edizioni Firenze. Pp. 1-7

[28] Ciribini, A. L. C., Tagliabue, L. C., Mastrolembo Ventura, S. (2016). Elux Lab: digitalizzazione dei comportamenti delle utenze all'interno del cognitive campus. Convegno Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM, Politecnico di Milano, 21-22 giugno 2016.

[29] COBIM project. COBIM: Common BIM Requirements 2012, Series 1_General part.

[30] Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2014. CNR-DT 212/2013, Istruzioni per la Valutazione Affidabilistica della Sicurezza Sismica di Edifici Esistenti, Roma. Online: www.cnr.it/documenti/norme/IstruzioniCNR_DT212_2013.pdf

[31] Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., Chen, S. S., (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations, Automation in Construction, Volume 94. Pp 257-281

[32] Counsell, J., Arayici, Y. "Introduction". Capitolo 1, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 1-5

[33] Counsell, J., Nagy, G. "Participatory sensing for community engagement with HBIM". Capitolo 17, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 190-202

[34] De Amicis, R., Riggio, M., Badr, A. S., Fick, J., Sanchez, C. A., Prather, E. A., (2019). Cross-reality environments in smart buildings to advance STEM cyberlearning. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). Pp. 331–348

[35] Del Giudice, M., Osello, A. (2016). Bim Methodology for Historical Buildings. Convegno Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM, Politecnico di Milano, 21-22 giugno 2016.

[36] Della Torre, S. (2016). Un Bilancio del Progetto BHIMM. Convegno Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM, Politecnico di Milano, 21-22 giugno 2016.

[37] De Stefano, M., Cristofaro M. T. (2018) 3.2 Final evaluation of the seismic response of the Galleria dell'Accademia complex in Florence and evaluation levels LV1, LV2 and LV3. In: The evaluation of seismic risk in the complex of the Galleria dell'Accademia of Florence. An experimental application of the MiBACT Guidelines for the evaluation and reduction of seismic risk of cultural heritage (2009-2013), G. Giorgianni ed.

[38] D.M. 10/05/2001 Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei GU Serie Generale n.244 del 19-10-2001 - Suppl. Ordinario n. 238. Online: https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1310746917330_DM10_5_01.pdf

[39] D.M. 23.12.2014 Organizzazione e funzionamento dei musei statali. GU Serie Generale n.57 del 10-03-2015

[40] D.M. 560 del 01/12/2017. Decreto BIM. Online:http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/normativa/201801/Decreto%20Ministro%20MIT%20n.%20560%20del%201.12.2017.pdf

[41] D.M. 113/2018 Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del Sistema museale nazionale. GU Serie Generale n.78 del 04-04-2018. Online: http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1523359335541_REGISTRATO_D.M._21_FEBBRAIO_2018_REP._113.pdf

[42] Dore, C., & Murphy, M. (2015). Historic building information modelling (HBIM). In Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation. IGI Global. Pp. 233-273

[43] Dore, C., Murphy, M. (2017). Current State of the Art Historic Building Information Modelling. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 2017 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada. Pp. 185-192

[44] Dorninger, P., Nothegger, C. (2007). 3D segmentation of unstructured point clouds for building modelling. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol 35. Pp 191–196

[45] Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2nd Edition. 2011, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.

[46] Edwards, J. "It's BIM-but not as we know it!". Capitolo 2, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 6-14

[47] Ekosaari, M., Pekkola, S. (2019). Pushing the Limits beyond Catalogue Raisonnée: Step 1. Identifying digitalization challenges in museums. In Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. Pp. 3171-3180

[48] Fai, S., Graham, K., Duckworth, T., Wood, N. and Attar, R. (2011). Building Information Modelling and Heritage Documentation, XXIII CIPA International Symposium, Prague, Czech Republic, 12th-16th September.

[49] Faletti, F., Anglani, M., Rossi Rognoni, G. Galleria dell'Accademia, Guida ufficiale, tutte le opere. Edizione aggiornata 2015, Musei Firenze. Giunti Editore. Firenze, Italia.

[50] Garagnani, S., Manferdini, A. M. (2013). Parametric Accuracy: Building Information Modeling Process Applied To The Cultural Heritage Preservation', Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W1. Pp. 87-92

[51] Garagnani, S. Cap. 9, Semantic Representation of Accurate Surveys for the Cultural Heritage. Estratto da Brusaporci, S. (2015a). Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation. Pp. 292-310

[52] Garagnani, S. (2015b). HBIM nell'esistente storico. Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio. In Ingenio Web, Settembre 2015

[53] Garagnani, S. (2016). Il BIM e l'esistente: prospettive di digitalizzazione nella salvaguardia del patrimonio. In Ingenio Web, Settembre 2016

[54] Greco A., Lombardo G., Pantò B., Famà A., (2018). Seismic Vulnerability of Historical Masonry Aggregate Buildings in Oriental Sicily, International Journal of Architectural Heritage.

[55] Green, D., Mustaligh, R., (2009). Digital Technologies and the Management of Conservation Documentation, Andrew W. Mellon Foundation White paper. Disponibile dal sito: http://mac.mellon.org/mac-files/Mellon%20Conservation%20Survey.pdf

[56] Glick, S., Guggemos, A. (2009). IPD and BIM: Benefits and Opportunities for Regulatory Agencies. Proceedings of the 45th ASC National Conference, Gainesville, Florida, April 2-4

[57] Hichri, N., Stefani, C., De Luca, L., Veron, P., (2013). Review of the "As-built BIM" Approaches. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 2013 3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25 – 26 February 2013, Trento, Italy. Pp. 107-112

[58] Historic England (2017). BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England.

[59] Ibrahim, M., Krawczyk, R. (2004). The level of knowledge of cad objects within the building information model, CAADRIA 2004 Conference, Seoul, South Korea, pp. 173–177

[60] Ibrahim, M. M., Krawczyk, M., Krawczyk, R. (2019). The Level of Knowledge of CAD Objects within the Building Information Model. Connecting Crossroads of Digital Discourse [Proceedings of the 2003 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture, Indianapolis (Indiana) 24-27 October 2003. Pp. 173-177

[61] ICOM, (2017) ICOM Code of Ethics for Museums. Disponibile dal sito: https://icom.museum/wp-content/uploads/2018/07/ICOM-code-En-web.pdf

[62] Jordan-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valldecabres, J., Pellicer, E. (2018). Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). Special Issue Cultural Heritage Conservation and Sustainability. Pp. 1-19

[63] Josephson, P. E., Hammarlund, Y. (1999). The causes and costs of defects in construction A study of seven building projects. Automation in Construction 8, Volume 8, Issue 6, August 1999, Pp. 681-687

[64] Kensek, K. (2015). BIM Guidelines Inform Facilities Management Databases: A Case Study over Time. Buildings 2015, 5. Pp. 899-916

[65] Khalil, H. B. "HBIM and environmental simulation. Possibilities and challanges". Capitolo 13, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 190-202

[66] Korumaz, M., Betti, M., Conti, A., Tucci, G., Bartoli, G., Bonora, V., Korumaz, A.G., Fiorini, L. (2017). An integrated Terrestrial Laser Scanner (TLS), Deviation Analysis (DA) and Finite Element (FE) approach for health assessment of historical structures. A minaret case study. Engineering Structures 2017; 153. Pp. 224-238

[67] Littlefield, D. "Heritage and time". Capitolo 4, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 32-44

[68] Lo Furno, F., Pietrucci, F., Tommasi, C., Mandelli, A. (2016). Un modello Informativo parametrico per il Duomo di Milano, test e sperimentazioni. Rivista ArcheomaticA N°4 dicembre 2016. Pp. 22-25

[69] López, F. J., Lerones, P. M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J., Zalama, E. (2018). A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). Multimodal Technologies Interact., 2, 21.

[70] Lo Turco, M., Calvano, M., Giovannini, E. C. (2019a). Data Modeling For Museum Collections. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W9, 2019. 8th Intl. Workshop 3D-ARCH "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", 6–8 February 2019, Bergamo, Italy. Pp. 433-440

[71] Lo Turco, M., Calvano M. (2019b) Digital Museums, Digitized Museums. In: Luigini A. (eds) Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage. EARTH 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 919. Springer, Cham

[72] Lucchi, E. (2018). Review of preventive conservation in museum buildings, Journal of Cultural Heritage. Vol.29. Pp. 180–193

[73] Malacarne, G., Toller, G., Marcher, C., Riedl, M., Matt, D. T. (2018). Investigating Benefits and Criticisms of BIM for Construction Scheduling in Smes: an Italian Case Study. International Journal of Sustainable Development and Planning Volume 13, Issue 1. Pp. 139-150

[74] Marzouk, M., and M. Hisham, "Planning of Sustainable Bridges using Building Information Modelling". Capitolo 10, Heritage Building Information Modelling, London, Routledge, 2017. Pp. 114-132

[75] Maxwell, I. COTAC BIM4C Integrating HBIM Framework Report; COTAC: London, UK, 2016.

[76] Meireles, A. R., Salavessa, B., Gonçalves, F. (2019). Coordination of Work on the Coach Museum Supported by BIM Methodology. International Association of Geodesy Symposia, 133–139.

[77] MIBAC, (2008). Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008). Disponibile sul sito: https://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Contenuti/Avvisi/visualizza_asset.html_1141304737.html

[78] MIBAC, Direzione Generale Musei (2014), Decreto Ministeriale Organizzazione e funzionamento dei musei statali. Disponibile dal sito: http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Contenuti/Ministero/visualizza_asset.html_1947521712.html

[79] MIBACT, (2018) Adozione dei livelli minimi uniformi di qualita' per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del Sistema museale nazionale (D.M. 21 febbraio 2018). Disponibile sul sito: http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/feed/pdf/D.M.%2021%20FEBBRAIO%202018%20REP.%20113-imported-76350.pdf

[80] Mignani, D. (2009). La Galleria dell'Accademia nel complesso storico dell'ex Ospedale di San Matteo e dell'ex convento di San Niccolò In Cafaggio. Indagine preliminare, giugno 2009. Ministero per i Beni e le Attività Culturali.

[81] Mignani, D. (2010). Applicazione della Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/10/2007 per la valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio Culturale – Approfondimento della ricerca storica delle fasi costruttive e dei lavori eseguiti nella Galleria dell'Accademia di Firenze. Tavole storiche. Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Pp. 1-46

[82] Moreira, A., Quattrini, R., Maggiolo, G., Mammoli, R. (2018). Hbim Methodology as a Bridge Between Italy and Argentina. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium "Towards Photogrammetry 2020", 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy. Pp. 715-722

[83] Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. (2013). Historic Building Information Modelling, Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 76. Pp. 89-102

[84] Nicał, A.K., Wodyński, W. (2016). Enhancing Facility Management through BIM 6D. Procedia Engineering, Volume 164. Creative Construction Conference 2016, CCC 2016, 25-28 June 2016. Pp. 299-306

[85] Ning, X., Zhang, X., Wang, Y., Jaeger, M. (2010). Segmentation of architecture shape information from 3D point cloud. Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry, December 14-15, 2009, Yokohama, Japan. Pp. 127-132

[86] Niskanen, I., Purhonen, A., Kuusijärvi, J., Halmetoja, E. (2014). Towards semantic facility data management. 3rd International Conference on Intelligent Systems and Applications, INTELLI 2014, Seville, Spain, 22-26 giugno. Pp. 85-90

[87] Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Bertola,L., Bar azzetti, L., Branka, C., Previtali, M., Roncoroni, F., (2014a). Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS. In Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection, Springer International Publishing, Volume 8740. Pp 166-175

[88] Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Barazzetti, L., Previtali, M. (2014b). Survey Turned Into Hbim: The Restoration and the Work Involved Concerning the Basilica di Collemaggio After the Earthquake (L'aquila). ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ISPRS Technical Commission V Symposium, 23 – 25 June 2014, Riva del Garda, Italy, Volume II-5. Pp. 267-273

[89] Pasini, D., Ventura, S. M., Rinaldi, S., Bellagente, P., Flammini, A., Ciribini, A. L. C. (2016). Exploiting Internet of Things and building information modeling framework for management of cognitive buildings, IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Trento, 2016. Pp. 1-6

[90] Pavan, A., Mirarchi, C. (2017). Le piattaforme di gestione dei dati, il BIM che verrà oltre le geometrie 3D. In Ingenio Web, Settembre 2017

[91] Pepper D. W., Kassab A. J., Divo E. A. (2014). An Introduction To Finite Element, Boundary Element, And Meshless Methods With Applications To Heat Transfer And Fluid Flow, ASME Press.

[92] Pieraccini, M., Betti, M., Forcellini, D., Devis, D., Papi, F., Bartoli, G., Facchini, L., Corazzi, R., Kovacevic, C. V. (2017). Radar detection of pedestrian-induced vibrations of Michelangelo's David. Plos ONE, 12(4)

[93] Rangel, B., Amorim Faria, J. M., Poças Martins, J. P. (2019). Display of Technique in Paulo Mendes Rocha Works in Museum Technology and Architecture. In: Amorim Faria J., Abrantes V. (eds) Museum Technology and Architecture. Building Research: Design, Construction and Technologies. Springer, Cham. Pp. 49-79

[94] Ratajczak, J., Malacarne, G., Krause, D. & Matt, D. (2015). The BIM approach and stakeholders integration in the AEC Sector – Benefits and obstacles in South Tyrolean context. Proceedings of the 4th International Workshop on Design in Civil and Environmental Engineering, pp. 32-40

[95] Russo, M., Remondino, F., Guidi, G. (2011). Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. Archeologia e Calcolatori. 22. 169-198.

[96] Sabol, L. (2008). Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling. Pp. 1-16 Disponibile da sito: https://navigator.biminstitute.org.za/wp-content/uploads/2018/08/Understanding-Estimating-in-BIM.pdf

[97] Sacks, R., (2004). Evaluation of economic impact of three-dimensional modeling in precast concrete engineering. Journal of Computing in Civil Engineering, 18. Pp. 301–312,

[98] Sattanino, E. (2018). I LOI NELLE SCALE DI LOD USA, UK, ITA: Analisi comparata degli attributi informativi non geometrici. In Ingenio Web, Febbraio 2018

[99] Simeone, D., Cursi, S., Toldo, I., Carrara, G. (2014). B(H)IM – Built Heritage Information Modelling. Extending BIM to historical and archeological heritage representation. In Fusion, Proceedings of the 32nd International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe: Conferences 1. Newcastle upon Tyne, UK: Northumbria University. Vol. 1.Pp. 613-622

[100] Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J. C. P., 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. ISPRS International Journal of Geo-Information, Volume 6, Issue 12. Pp. 397-429

[101] Stovel, H. (2008). Origins and Influence of the Nara Document on Authenticity, APT Bulletin, Vol. 39, No. 2/3 (2008). Pp. 9-17

[102] THE SEVILLE PRINCIPLES INTERNATIONAL PRINCIPLES OF VIRTUAL ARCHAEOLOGY, Final Draft, Forum Internacional de Arqueología Virtual / International Forum of Virtual Archaeology

[103] Tucci, G., Bonora, V., Conti, A., Fiorini, L., Guardini, N. (2014). Galleria dell'Accademia a Firenze: un rilievo metrico per l'analisi di vulnerabilità sismica. Atti Conferenza Nazionale ASITA, 14-16 ottobre 2014, Palazzo degli Affari, Firenze. Pp. 1175-1182

[104] Tucci G., Conti A., Fiorini L. (2016). Realizzazione ed impiego del rilievo 3D, in: Il Ratto delle Sabine e il suo restauro. Giambologna, Bracci S., Brunori L. eds., Città di Castello, sillabe, 85-86

[105] Tucci G., Betti, M., Conti, A., Corongiu, M., Fiorini, L., Matta,C., Kovačević, C., Borri, C., Hollberg, C. (2019). Bim For Museums: An Integrated Approach From The Building To The Collections. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11, 2019 GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, 8–10 May 2019, Milan, Italy. Pp. 1089-1096

[106] UKRG, (2015). United Kingdom Registars' Group. Standard Facilities Report. Disponibile dal sito:https://www.ukregistrarsgroup.org/wp-content/uploads/2015/12/UKRG_facilities_report.pdf

[107] Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. Autom. Constr., 38. Pp. 109–127

[108] WMF (2015). Engage your community with Watch Day! Disponibile da sito: https://www.wmf.org/downloads/Sample-2014%20-Watch-Nomination-Form.pdf

[109] Wong, J. K. W., Zhou, J. X., Chan, A. P. C. (2018). Exploring the linkages between the adoption of BIM and design error reduction. International Journal of Sustainable Development and Planning Volume 13, Issue 1. Pp. 108-120

[110] Zhan, Q., Liang, Y., Xiao, Y. (2009). Color-based segmentation of point clouds. IAPRS Vol XXXVIII, Part 3/W8.

Sitografia

- www.acca.it
- www.accademia.org
- www.bim.acca.it
- www.bimforum.org
- www.biminnz.co.nz
- www.bimportale.com
- www.bimportal.scottishfuturestrust.org.uk/page/bim-compass
- www.buildup.eu
- www.buildingsmart.fi
- www.buildingsmart-tech.org
- www.catalogo.uffizi.it
- www.code-aster.org
- collectionstrust.org.uk/spectrum/
- www.construction.com
- duraark.eu
- eur-lex.europa.eu
- www.fraunhofer.it
- www.galleriaaccademiafirenze.beniculturali.it
- www.geospatialworld.net
- www.goconqr.com/en-US/p/3667967
- www.ibimi.it
- www.iccd.beniculturali.it
- www.icomos.org
- www.ingenio-web.it
- www.innovance.it
- www.iso.org/committee/49070.html
- www.londoncharter.org
- www.omniclass.org
- www.openbim.fr
- pivotx/?p=greenspider
- www.polomuseale.firenze.it
- www.smartheritage.com
- www.steps.mottmac.com
- tcproject.net
- toolkit.thenbs.com
- The many face of lod Bolpagni (2016):
- www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html
- To BIM or not to BIM: Anne Kemp, Atkins Global:
- www.youtube.com/watch?v=NY5T0XmVjcQ
- www.uni.com
- whc.unesco.org
- www.wmf.org
- wikipedia.org

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare la prof.ssa Grazia Tucci, relatore di questa tesi di laurea, per tutto l'aiuto che mi ha dato in questi mesi di lavoro, per avermi indirizzato nelle scelte e stimolato ad ampliare le mie conoscenze in ambiti di ricerca nuovi e interessanti, per la gentilezza e la tempestività con cui è sempre stata presente, infine per l'energia e la forza di volontà che mi ha sempre trasmesso. Senza di Lei questo lavoro non avrebbe preso vita!

Insieme alla prof.ssa Tucci un doveroso ringraziamento va ai miei correlatori: all'arch. Alessandro Conti per avermi fornito tutti gli strumenti e le conoscenze necessarie ad avviare e svolgere il lavoro di ricerca e sperimentazione, dedicandomi sempre molta attenzione nelle lunghe revisioni e ascoltando le mie richieste e le mie osservazioni. Alla prof.ssa Lidia Fiorini, gentilissima e molto cordiale, sempre disponibile ad ogni mia richiesta e per qualsiasi chiarimento. All'arch. Carlotta Matta della Galleria dell'Accademia di Firenze, per il tempo prezioso che mi ha dedicato, per la cordialità con cui ha risposto alle mie domande e mi ha fornito informazioni interessanti e utili sul management del museo.

Un ringraziamento generale va al gruppo di ricercatori, borsisti e professori della sezione Sezione Geomatica e Infrastrutture (ICAR/06) del Dipartimento DICEA dell'Università di Firenze che ho avuto il piacere di incontrare, per avermi fatto sentire a mio agio nel loro ambiente di lavoro e per la simpatia con cui mi hanno accolta nelle giornate passate alla sede di Santa Marta.

Un enorme ringraziamento va a mia madre e mio padre che con amore, sostegno e comprensione mi hanno sempre supportato, sia economicamente che emotivamente, in ogni momento di questo mio lungo, a volte difficile e intricato, percorso accademico. Mi avete lasciato libera in ogni mia scelta e mi avete aiutato e consigliato sempre. Vi voglio bene!

Un semplice "grazie" non è sufficiente per descrivere il senso di gratitudine per quello che in questi undici anni hai fatto per me, per quello hai rappresentato nella mia esperienza di crescita personale. Sei sempre stato presente, in ogni mio momento bello e brutto, sei sempre

stato qui con me e averti accanto anche adesso, alla conclusione della mia esperienza universitaria, mi dà tanta sicurezza e mi fa stare bene. Le parole non bastano mai, ma grazie di tutto cuore Roberto!

Ringrazio la famiglia Simonini e la famiglia Filippi, soprattutto voglio ringraziare Alessandra e Paolo per l'amore e la comprensione, mi avete fin dal principio fatta sentire di famiglia, mi avete accolta e aiutata sempre soprattutto nei momenti di stress per lo studio, grazie di tutto!

Grazie alla mia carissima amica Gaia, in tanti anni di amicizia ne abbiamo passate tante insieme e hai vissuto accanto a me tante delle mie vicende universitarie, grazie per essere sempre stata il mio porto sicuro, grazie per il tempo e per i consigli.

Un grazie a tutti i miei amici che mi hanno sostenuta in questi anni, in particolare a Chiara, Francesca, Ivan, Lorenzo, Luca e Vincenzo, le uscite in vostra compagnia e le vacanze fatte insieme sono stati come acqua fresca in periodi di siccità.

Un sentito grazie a tutti!

Noemi