

# POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

Anno Accademico 2022-2023



**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile**

Tesi di Laurea Magistrale

## L'EFFICACIA DEL BIM NEL PROCESSO EDILIZIO: Analisi critica della curva di MacLeamy

Candidato:

Kejdi Luku

Relatore:

Fabio Manzone

Correlatore:

Maurizio Bocconcino

## Indice

<b>Abstract .....</b>	<b>4</b>
<b>Introduzione.....</b>	<b>6</b>
<b>Il processo edilizio .....</b>	<b>8</b>
Le fasi del processo edilizio .....	13
<b>Criticità del processo edilizio.....</b>	<b>25</b>
<b>L'innovazione del disegno e dell'informazione.....</b>	<b>27</b>
<b>Il BIM .....</b>	<b>28</b>
Obiettivi del BIM .....	45
<b>Analisi critica della curva di MacLeamy .....</b>	<b>52</b>
Quantificazione della Curva .....	52
Definizione della formula per determinare le due curve .....	52
Assegnazione dei pesi allo sforzo e all'efficacia .....	52
Curva di MacLeamy quantificata.....	53
Valori della curva del BIM .....	53
Fase di PD: Pre-Design.....	54
Fase di SD: Schematic-Design.....	54
Fase di Design-Development.....	54
Fase di Procurement .....	55
Fase di Construction-Design.....	55
Fase di Operation .....	55
1° Considerazione.....	56
2° Considerazione.....	56
3° considerazione .....	57
4° Considerazione.....	57
Criticità .....	58
Definizioni.....	58
Soluzione .....	59

Criteri e selezione delle persone intervistate .....	59
Quantificazione sforzo/efficacia .....	61
Nuovo diagramma di sforzo/efficacia .....	66
<b>Conclusioni analisi critica dei due processi.....</b>	<b>67</b>
<b>Ringraziamenti .....</b>	<b>73</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>74</b>

## Abstract

[IT] L'obiettivo della discussione di questa tesi è la quantificazione degli sforzi effettivi di un processo edilizio in BIM, vedere se gli sforzi seguono un andamento tradizionale oppure si avvicinano verso quello che si preferirebbe in un processo edilizio dato che non sono stati trovati studi e analisi critiche su questo processo. Verranno quindi analizzate le varie fasi del processo edilizio facendo riferimento alla "Curva di MacLeamy", conosciuta anche come "Curva delle Opportunità di un Progetto", questa curva è stata sviluppata come un concetto di progettazione e gestione dei progetti nel settore edilizio, la quale è contenuta all'interno di un grafico che contiene le seguenti curve; 1- Curva di opportunità di apportare modifiche al progetto; 2- Curva dei costi di apportare modifiche a quel progetto al variare delle fasi; 3 - Curva degli sforzi che vengono effettuati con un processo di progettazione tradizionale e 4 - Curva degli sforzi che si "preferirebbe" avere in un processo edilizio la quale prende il nome di curva di MacLeamy, che è l'obiettivo del processo BIM, ovvero arrivare ad una curva dove gli sforzi maggiori si hanno nelle fasi di progettazione preliminare e progettazione definitiva ed le opportunità di apportare modifiche al progetto il controllo dei costi di apportare modifiche risulta ancora molto efficace e sostenibile, rispetto ad in un ciclo di progettazione tradizionale coerente che prevede che gli sforzi maggiori si hanno nella fase di costruzione e dove si ha il punto di pareggio e la successiva diminuzione delle opportunità di apportare modifiche e l'aumento dei costi di apportare modifiche.

Nella discussione si farà maggiore riferimento alle fasi iniziali del progetto fino a quella di costruzione dove risultano maggiori gli sforzi delle curve, cercando di capire se uno sforzo maggiore nella fase di progettazione comporti effettivamente uno sforzo minore nella fase di costruzione e di come si possa fare ad avere uno sforzo così minore grazie solo alla migliore gestione in fase iniziale del progetto, facendo un'analisi critica della curva di MacLeamy.

[EN] The objective of the discussion of this thesis is to quantify the actual efforts of a building process in BIM, to see if the efforts follow a traditional trend or come close to what would be preferred in a building process given that no studies and analyzes have been found criticism of this process. The various phases of the construction process will then be analyzed by referring to the "MacLeamy Curve", also known as the "Project Opportunity Curve", this curve was developed as a concept of design and project management in the construction sector, which is contained within a graph that contains the following curves; 1- Opportunity curve to make changes to the project; 2- Cost curve of making changes to that project as the phases change; 3 - Curve of the efforts that are carried out with a traditional design process and 4 - Curve of the efforts that one would "prefer" to have in a construction process which is called the MacLeamy curve, which is the objective of the BIM process, i.e. arrive at a curve where the greatest efforts are made in the preliminary design and definitive design phases and the opportunities to make changes to the project, the control of the costs of making changes is still very effective and sustainable, compared to a coherent traditional design cycle which predicts that the greatest efforts occur in the construction phase and where the break-even point occurs and the subsequent decrease in opportunities to make changes and the increase in costs of making changes.

In the discussion, greater reference will be made to the initial phases of the project up to the construction phase where the efforts of the curves are greater, trying to understand whether a greater effort in the design phase actually leads to a lower effort in the construction phase and how this can be done to have such a lesser effort thanks only to the better management in the initial phase of the project by making a critical analysis of the MacLeamy curve.

## Introduzione

Sebbene l'utilizzo del BIM sia una delle più recenti tendenze riguardo l'innovazione del processo edilizio, non è ancora possibile affermare che il BIM abbia raggiunto il suo momento esponenziale di diffusione e di utilizzo.

La stampa analizza tutto il processo edilizio svolto in maniera tradizionale e innovativo ed evidenzia le maggiori criticità del processo dei due processi, oggetto di questa tesi di laurea.

Molti esperti affermano: "è solo una questione di tempo". Il BIM offre la possibilità di migliorare la qualità di un progetto in tutte le sue fasi, può aiutare molto nella fase di progettazione e anche di costruzione che sono alcuni dei punti critici del processo, la quale è un'opportunità che non è mai stata data da precedenti innovazioni tecnologiche.

Precedentemente le principali innovazioni nel processo e nella tecnologia consentivano semplicemente ai professionisti di lavorare più velocemente e facilmente, un esempio è l'introduzione dei sistemi CAD. I sostenitori del BIM affermano che "il BIM utilizza tecnologie digitali di ultima generazione per rappresentare, stabilire, stimare tutte le caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto edilizio e le sue relative informazioni riguardo alla costruzione e al ciclo di vita, tramite un magazzino di informazioni chiamato Building Information Model". Questa è una grandiosa affermazione che implica vantaggi sia a lungo termine che immediati e promette una completa raccolta di informazioni per l'intera filiera della costruzione. Inoltre, è possibile migliorare la coordinazione tra i progettisti, il committente e la pubblica amministrazione, è possibile rilevare conflitti tra le varie parti del progetto come strutture e sistemi impiantistici in modo da evitare problemi nelle fasi di costruzione che porta a ritardi e modifiche degli ordini durante questa fase. Tutto questo può andare a ridurre una serie di complicanze che spesso ci si trova davanti alla realizzazione di un manufatto in tutte le sue fasi.

Nonostante offra grandi vantaggi risulta importante moderare le aspettative dei committenti e degli imprenditori chiarendo che: Il BIM non è perfetto e presenta anche lui delle criticità che spesso non sono irrilevanti., ci saranno ancora conflitti o delle condizioni impreviste nelle quali necessiteranno l'intervento sulla progettazione, sulla programmazione e sui costi di costruzione.



## Il processo edilizio

### “Processo”

Un "processo" è una serie di azioni o attività ordinate, organizzate e strutturate che vengono eseguite in modo sequenziale o parallelo per raggiungere un obiettivo specifico. I processi sono fondamentali in molti contesti, dall'industria della produzione, alla gestione aziendale, all'ingegneria e oltre. Essi consentono di gestire in modo efficiente e sistematico una serie di attività per ottenere risultati desiderati.

Le caratteristiche chiave di un processo includono:

**Una sequenza di attività:** un processo è costituito da una sequenza di attività che vengono eseguite in un ordine specifico. Queste attività possono essere svolte in modo sequenziale o parallelo, a seconda della natura del processo.

**Un obiettivo definito:** ogni processo ha uno scopo ben definito e un obiettivo da raggiungere. L'obiettivo può essere la produzione di un prodotto, la fornitura di un servizio, il raggiungimento di un risultato specifico, o altro.

**Input e Output:** un processo richiede input, che possono essere materiali, informazioni, dati o altro, e produce output, che rappresentano i risultati o i prodotti generati dal processo.

**Struttura organizzativa:** un processo può essere suddiviso in sottoprocessi o fasi più piccole, ciascuna con le proprie attività e obiettivi specifici. Questa struttura aiuta a organizzare le attività e a garantire una gestione più efficace.

**Ruoli e responsabilità:** le attività all'interno di un processo possono coinvolgere diversi ruoli o partecipanti. Ogni ruolo ha responsabilità specifiche per le attività assegnate.

**Flusso di lavoro:** un processo definisce il flusso di lavoro, cioè il percorso attraverso cui le attività si susseguono. Questo flusso di lavoro può essere illustrato tramite diagrammi, schemi o documentazione.

**Standardizzazione e controllo:** Un aspetto importante dei processi è la standardizzazione delle attività e dei metodi per garantire la coerenza, la qualità e la prevedibilità dei risultati. Il controllo e la valutazione dei processi possono contribuire al miglioramento continuo.

**Monitoraggio e Misurazione:** I processi vengono monitorati e misurati per valutare l'efficienza, l'efficacia e il raggiungimento degli obiettivi. Questi dati possono essere utilizzati per apportare miglioramenti.

### *“Il processo edilizio”*

Il processo edilizio, noto anche come ciclo di vita del progetto edilizio, è il percorso completo che porta dalla concezione e progettazione di un edificio o di un'infrastruttura alla sua costruzione, consegna, gestione ed eventualmente demolizione. Questo processo coinvolge una serie di fasi interconnesse e attività che portano alla realizzazione di una struttura edilizia funzionale.

Negli ultimi anni il processo edilizio ha assunto un ruolo fondamentale nella progettazione di opere non ordinarie e che coinvolgono diversi attori. Se prima si trattava di una conseguenza dell'esperienza dei professionisti del mestiere, oggi si cerca di definire una corretta sequenza logica-operativa che possa rendere le fasi dell'intero processo più organizzato. Di quale sia però la corretta sequenza è di difficile determinazione, non ne esiste sempre una, e possono essere diverse per ogni tipo di opera se si considera il continuo crescere e mutare della legislazione e dei prodotti che si possono utilizzare. Questo mutare della normativa, infatti, genera sempre un maggior numero di professionisti coinvolti e da coinvolgere per la corretta esecuzione dell'opera; Nel processo edilizio la sfida da porre è quella della corretta gestione dei professionisti di come devono collaborare rappresenta una delle complicità che il processo edilizio deve affrontare oggi.

### *“Il sistema edilizio”*

Individuato il ruolo che assume il processo edilizio è necessario definire qual è l'oggetto a cui il processo si riferisce. Nel caso dell'edilizia possiamo individuare molteplici prodotti finali con diversi usi che possono essere: l'edilizia residenziale, l'edilizia scolastica, edilizia per uffici, etc... Ognuna di queste, necessita di vari requisiti che sono tutti riconducibili però ad un'unica categoria di Sistema Edilizio. La norma lo definisce come:

*“l'insieme delle parti che compongono un'opera edilizia. È l'insieme strutturato di unità ambientali/elementi spaziali e di unità tecnologiche/elementi tecnici corrispondenti”*

Norma UNI 8290, Edilizia residenziale – Sistema tecnologico – Classificazione e terminologia.

Con questa definizione è possibile individuare come l'edificio sarà costruito per ogni processo, dove verrà realizzato e le condizioni ambientali e tutte le informazioni necessarie per la sua realizzazione.

Il sistema edilizio viene scomposto in due ulteriori sottoclassi, ognuna con una specifica funzione evidenziata. Il Sistema Ambientale e il Sistema Tecnologico, il sistema ambientale è l'insieme delle unità ambientali e degli spazi definiti nelle loro prestazioni e nelle loro relazioni secondo la fase operativa, quello tecnologico è l'insieme strutturato delle unità tecnologiche e di elementi tecnici dove vengono definiti i loro requisiti e nelle loro specificazioni di prestazione tecnologica che viene evidenziata nello schema seguente.



*Fig. 1 Schema delle sottofasi principali del sistema edilizio.*

E' evidente come questa definizione di sistema edilizio abbia bisogno una pianificazione delle sequenze operative da adottate, possiamo definire quest'ultimo come:

*“sequenza organizzata di fasi operative che partono dal rilevamento di esigenze al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia”*

*Norma UNI 7867 parte IV, Edilizia – Terminologia per requisiti e prestazioni – Qualità ambientale e tecnologica nel processo edilizio.*

Tutto ciò implica l'utilizzo di tutta una serie di risorse e fattori al fine di ottenere il maggior risultato ad ogni step. Le risorse sono molteplici, includono risorse umane, materiali, mezzi ed economiche. Ogni step tende a creare prodotti sempre più articolati in modo da soddisfare le

esigenze del promotore dell'intervento. Tali aspetti possono essere diversi per ogni tipo di intervento e fare riferimento alla progettazione oppure si richiedono dei materiali e delle prestazioni particolari, possono essere legati ad aspetti di profitto o di pubblica utilità.

Uno degli obiettivi principali del processo edilizio è quello di soddisfare i requisiti minimizzando l'utilizzo delle risorse e la possibilità di fallimento dell'intervento. La norma definisce "Esigenza" come:

*"ciò che, di necessità, si richiede per il normale svolgimento di un'attività"*

Norma UNI 8290, Edilizia residenziale – Sistema tecnologico – Classificazione e terminologia.

Inoltre, la norma aiuta anche a identificare una serie di esigenze come il benessere, sicurezza, fruibilità, gestione, integrabilità, aspetto, salvaguardia dell'ambiente.

Individuate le esigenze, bisogna quindi trasformarle in requisiti che non si tratta altro che tradurle in una serie di caratteri o parametri da aggiungere alle esigenze, mediante le specifiche che deve possedere un componente edilizio. Tali caratteristiche sono di tipo funzionale e sono indipendenti dal tipo di materiale impiegato per la costruzione. Il requisito esprime quali caratteristiche un componente deve avere ed associare come si comporta nel tempo in modo da definire la sua prestazione.

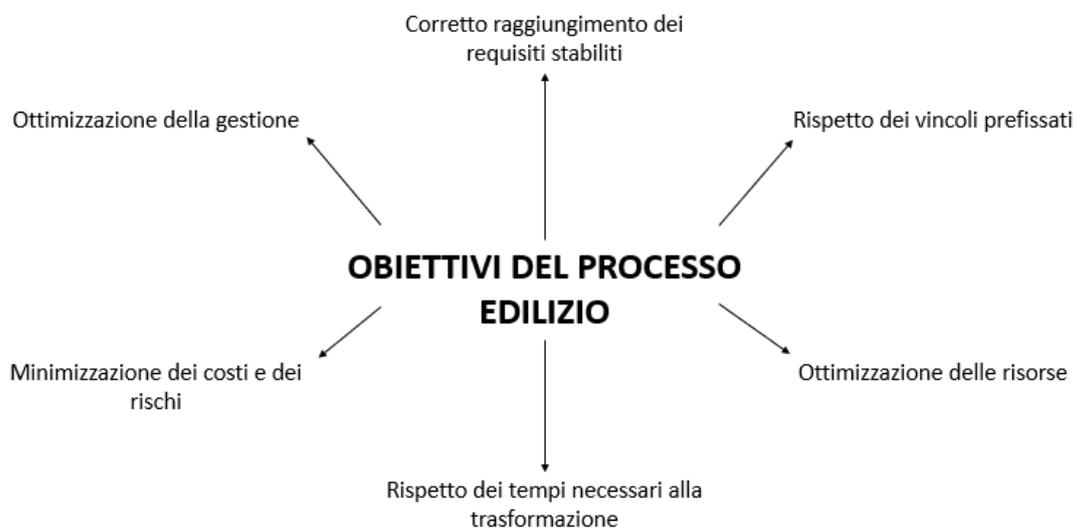


*fig. 2 Schema delle necessità di un processo.*

### *“Obiettivi del processo edilizio”*

Gli obiettivi del processo edilizio negli ultimi anni sono aumentati in maniera considerevole. Tale aumento è dovuto sempre a una più crescente normativa tecnica e ad una più approfondita conoscenza dei materiali e delle tecnologie utilizzabili. Affiche vengano rispettati i requisiti previsti e quindi che possa essere realizzato un manufatto di qualità, è opportuno che il processo abbia degli obiettivi univoci. Tali obiettivi possono variare dalla natura del progetto ma devono pur sempre rispettare una linea guida equivalente per qualsiasi tipo di manufatto.

Nel seguente schema vengono riportati alcuni degli obbiettivi del processo edilizio, come detto precedentemente, gli obbiettivi posso variare in base alla natura del progetto e alla richiesta della committenza ma generalmente vengono rispettati i seguenti: Corretto raggiungimento dei requisiti stabiliti, il rispetto dei vincoli prefissati, ottimizzazione delle risorse, rispetto dei tempi necessari alla trasformazione, minimizzazione dei costi e ottimizzazione della gestione.

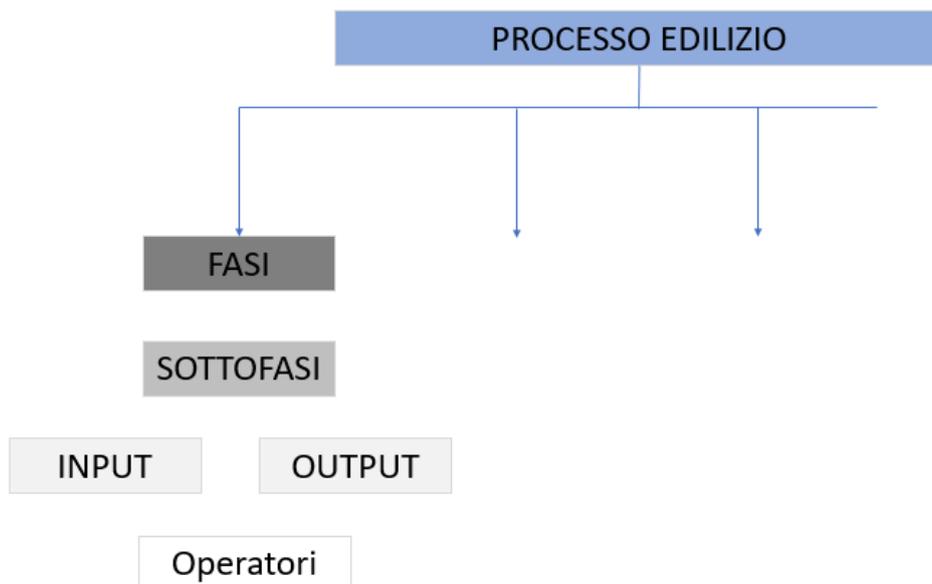


*fig. 3 Schema degli obiettivi del processo edilizio.*

## Le fasi del processo edilizio

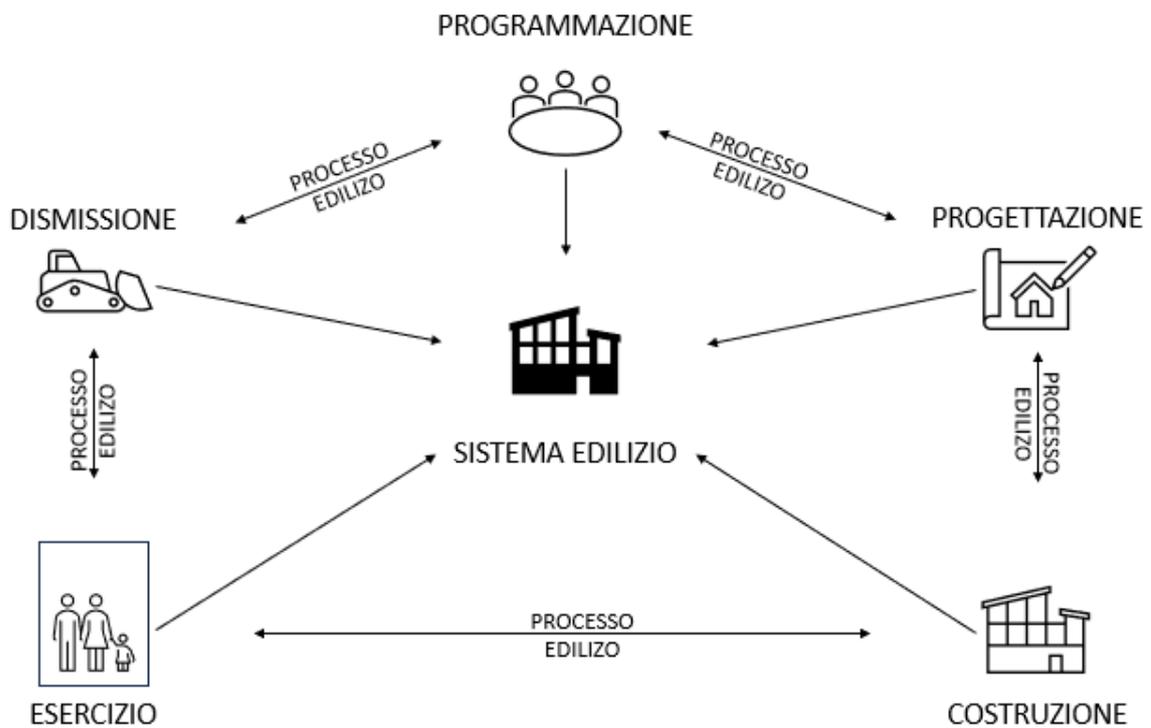
Il processo edilizio non è composto da una sola ed unica fase come ad esempio la parola edificio che implica un solo oggetto, ma da una serie di fasi molto più complesse, per arrivare all'obiettivo finale ovvero l'edificio, tutto l'intero processo viene suddiviso in più fasi e sottofasi collegate e vincolate tra loro, la suddivisione in fasi varia da progettista a progettista, sta al sottoscritto come suddividerle affinché il progetto possa essere gestito in maniera efficace e raggiungere l'obiettivo finale. Un'ottima suddivisione in fasi è la base per una corretta gestione. Non esisterà un altro edificio identico, infatti può essere considerato come un modello di sé stesso. Le differenze che si riscontrano possono essere di diversa natura come ad esempio geolocalizzazione, morfologia del terreno altezza dell'edificio, specifiche di progettazione e prestazionali richieste. Un altro aspetto che rende più articolato il processo sono gli attori coinvolti nelle diverse fasi progettuali, realizzative e gestionali, possono essere sempre differenti, ognuno con le proprie soluzioni e i propri mezzi ad operare all'interno del processo e questo provoca una continua variazione di interesse e di processo diverso rispetto ad un altro edificio simile realizzato.

La molteplicità di questi fattori e attori implica la necessità di definire una serie di regole e condizioni differenti per ogni progetto, tali da guidare il processo edilizio, svolgendo il ruolo di guida, controllo e coordinamento delle diverse fasi. È possibile, perciò, suddividere il processo secondo uno schema a blocchi che meglio individua i momenti più significativi e i passaggi necessari da affrontare per rendere il percorso fluido e coerente.



*fig. 4 Schema delle macrocategorie del processo edilizio.*

Come mostrato nello schema è evidente che la prima riga mi rappresenta le fasi principali, successivamente queste fasi vengono divise in sottofase, per la realizzazione di ogni fase e sottofase sono necessari degli input tali che producono degli output per le fasi successive. Nella quarta riga invece sono collocati gli operatori che intervengono e realizzano le attività nelle colonne precedenti.

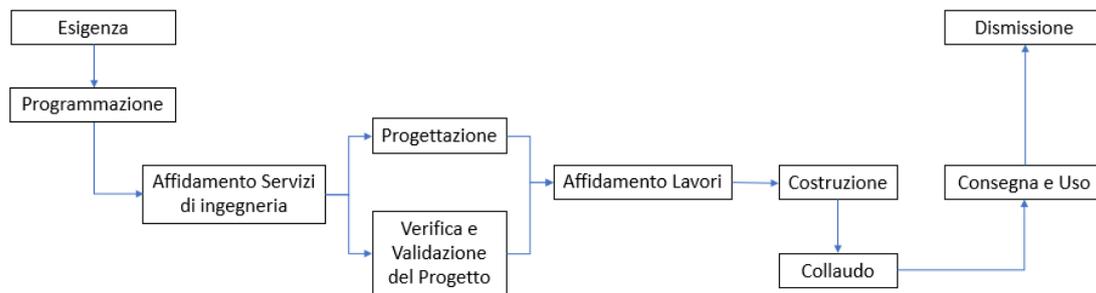


*fig. 5 Schema globale dell'articolazione del processo edilizio tradizionale.*

Le fasi del processo edilizio solitamente possono essere riassunte in cinque grandi fasi e sono:

- Programmazione e promozione;
- Progettazione;
- Costruzione;
- Esercizio e Gestione;
- Dismissione.

Ponendo al centro il sistema edilizio possiamo vedere come queste fasi vengono correlate nell'intero sistema. Ogni fase incide sempre maggiormente in maniera ottimale nella realizzazione del processo edilizio, fornendo ad ogni step un livello di dettaglio sempre maggiore al fine di arrivare a una corretta gestione e ottimizzazione dell'intero processo. Non esiste una fase che incida meno rispetto all'altra, tutte le fasi devono essere considerate di pari importanza tra di loro tanto meno che una tra questa venga superata; infatti, negli ultimi anni nel processo edilizio si stanno considerando ulteriori fasi che non si fermano solo alla costruzione, ma si stanno analizzando aspetti che riguardano la gestione e la dismissione a fine vita dei materiali affinché si abbia una dismissione e riuso efficaci limitando e riducendo la produzione di rifiuti non riciclabili.



*fig. 5.1 Schema globale delle sequenze del processo edilizio tradizionale.*

Queste fasi rappresentano i momenti cardine in ogni progetto e che risultano necessari alla corretta realizzazione. Le varie fasi vengono ulteriormente suddivise in sottofasi, necessarie a scomporre nei vari dettagli il progetto che possono essere più o meno complesse tra di loro e che richiedono figure professionali anche diverse fra di loro. Per tutto il processo invece esiste anche una fase di controllo, che rappresenta il continuo verificare dei risultati attesi e che corrisponda alle esigenze richieste.

Verranno ora analizzati quali possano essere le fasi principali e le sottofasi del processo edilizio al fine di ottenere un manufatto che corrisponda ai requisiti e alle esigenze prestabilite.

## Programmazione e promozione

La fase di programmazione e promozione è la prima fase, viene chiamata anche fase decisionale, in questa fase vengono definite le esigenze, i requisiti e le prestazioni che il manufatto deve rispettare. La fase decisionale è una delle fasi principali e di assoluta importanza in quanto è la base per le successive fasi. I requisiti vengono definiti in maniera univoca, capire la fattibilità in funzione delle risorse tecniche ed economiche che si possiedono e individuare una certa tempistica idonea per la costruzione.

In questa fase è necessario:

1. Rilevare le esigenze;
2. Definire gli obiettivi;
3. Effettuare uno studio di fattibilità;
4. Definire le linee guida per la progettazione;
5. Stabilire un programma di intervento.

Attraverso queste sottofasi si riesce a programmare e a rispondere alle esigenze della prima fase fornendo un quadro complessivo degli obiettivi finali e per le fasi successive. Nella normativa attuale questa prima fase viene inserita all'interno di un Documento Preliminare di Progettazione (DPP).



*fig. 6 Schema della fase di promozione e programmazione.*

## Progettazione

La fase di progettazione è il secondo passaggio all'interno del processo edilizio. Definiti tutti i requisiti che sono stati stabiliti è possibile trasportarli su carta realizzando una serie di elaborati sempre più dettagliati. La fase di progettazione si compone di due livelli: metaprogetto e progetto.

Il metaprogetto rappresenta una prima ipotesi alle richieste effettuate, in questo step vengono sviluppate ingombri, volumi, planimetrie che meglio si adattano al progetto.

Il progetto invece si suddivide in tre parti: Progetto Preliminare, Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo, con in nuovo codice degli appalti delle opere pubbliche il progetto definitivo non è più richiesto, questi livelli della progettazione vengono prodotti in sequenza. Questa suddivisione è stata introdotta dalla normativa, in particolar caso negli appalti pubblici ma è utile anche in opere private. Il progetto preliminare in realtà non richiede molto sforzo, si tratta di una bozza che meglio si avvicina alle richieste della committenza, come possono essere delle semplici planimetrie e dei render che mi danno una prima visione di quello che sarà il risultato finale ed una prima valutazione economica e una stima della durata dei lavori, successivamente una volta approvato il progetto preliminare si procede con la progettazione definitiva, qui partecipano vari professionisti del settore che progettano le varie parti dell'edificio come ad esempio progetti strutturali ed impiantistici, infine la abbiamo la progettazione esecutiva dove vengono definiti tutti i nodi strutturali ed impiantistici e vengono prodotte tutte le tavole di cantiere necessarie alla realizzazione.



D.Lgs. 36/2023 «Codice dei Contratti»

*fig. 7 Schema della fase di Progettazione.*

### \*Pianificazione di cantiere\*

Le attività di pianificazione e programmazione si sviluppano a partire dalle prime fasi della progettazione, ma il lavoro maggiore viene condotto tra la fase progettuale a quella costruttiva. Questo step è quello più critico da affrontare all'interno del processo edilizio, in quanto subentrano nuovi operatori che introducono i loro sistemi e le loro tecnologie. È necessario definire una sequenza operativa, confrontarsi sui sistemi da applicare ed una pianificazione dei lavori.

Se la progettazione esecutiva ha lo scopo della realizzazione del progetto, a quella operativa può essere affidato l'obiettivo della cantierabilità dell'intervento, che può essere raggiunto grazie a un'accurata pianificazione. È bene dunque distinguere i due termini definiti come:

*Pianificazione:* "L'insieme delle attività che, partendo dalle soluzioni progettuali elaborate, conduce alla previsione e definizione delle modalità tecniche ed operative per la trasformazione del progetto in prodotto edilizio, ottimizzando i tempi, i costi e le risorse necessarie per la trasformazione, in condizioni di sicurezza".

*Programmazione:* "L'insieme delle attività che determinano le relazioni funzionali, operative e temporali intercorrenti fra le attività del progetto; assegnano a ciascuna le risorse necessarie (distribuendole nel tempo) e stabiliscono le date di inizio e di completamento del progetto e di ogni singola attività".

È possibile identificare due momenti distinti all'interno del processo edilizio nei quali bisogna considerare le attività di pianificazione e programmazione:

La pianificazione e programmazione operativa preliminare ha l'obiettivo di individuare i legami spazio-temporali delle attività, della sicurezza, della manutenzione e della pianificazione finanziaria del committente. Tale attività rappresenta una porzione del progetto esecutivo, in modo tale da rendere ogni oggetto chiaramente identificabile a seconda di diversi parametri (forma, dimensione, tipologia, qualità e prezzo). La corretta pianificazione preliminare è compiuta dal progettista, fornendo come output la redazione di molteplici elaborati: piani di manutenzione, cronoprogramma dei lavori, piano di sicurezza e coordinamento e il piano economico finanziario della committenza.

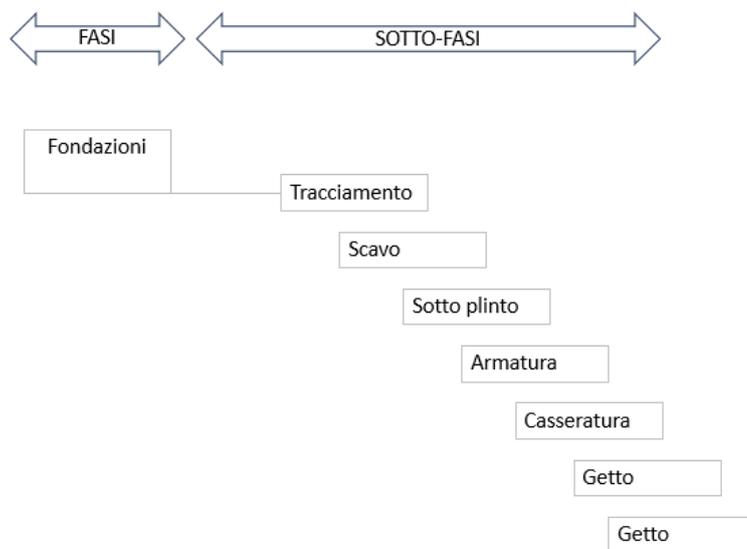
La pianificazione e programmazione operativa definitiva è la pianificazione di impresa e di cantiere e comprende i piani esecutivi relativi alla messa in opera dei componenti e alla realizzazione dei manufatti.

Affinché la pianificazione venga svolta correttamente è necessario individuare quali siano le operazioni e le attività da dover eseguire per realizzare il manufatto. L'individuazione delle attività avviene attraverso la scomposizione dell'edificio in parti elementari per individuare in maniera chiara ed univoca quali siano le attrezzature, la manodopera e i materiali necessari a compiere quella fase o sottofase.

#### *Scomposizione oggetto edilizio*

Per rendere il progetto da esecutivo a costruttivo è fondamentale effettuare la scomposizione dell'oggetto edificio in tutte le sue parti per pianificarle e programmarle. Quanto più dettagliata, precisa e accurata è questa fase, tanto più la programmazione dei lavori sarà controllata e precisa, consentendo una migliore gestione dei tempi e delle risorse in cantiere. Spesso è uso comune demandare la risoluzione di problemi tecnici o la definizione di procedure di costruzione alla fase di cantiere, evitando così la definizione preventiva della stessa. Questo tipo di approccio potrebbe generare ritardi e varianti in corso d'opera che una corretta pianificazione eviterebbe.

La scomposizione viene anche detta Work Breakdown Structure (WBS) ed è strutturata ad albero. Si sviluppa individuando sotto obiettivi e attività definite ad un livello di dettaglio sempre più approfondito. L'obiettivo finale è quello di comprendere in pieno i processi costruttivi in modo tale da evitare dimenticanze e assicurarsi che l'esecuzione dei lavori sia effettuata rispettando i requisiti di qualità dell'opera. La figura successiva evidenzia l'esempio di una scomposizione in sottofasi dell'attività di fondazione.



*fig. 7.1 Schema di suddivisione in fasi di un'attività.*

Per la definizione delle sottofasi non è specificata una regola, può avvenire in funzione degli obiettivi e delle esigenze per cui essa viene attuata. Se dobbiamo realizzare un computo di massima dei lavori è possibile applicare una suddivisione marginale, in modo da ottenere un livello di definizione tale da soddisfare le richieste per produrre il computo. Viceversa, se dobbiamo realizzare un cronoprogramma dettagliato dell'opera è necessaria spingere fin nel dettaglio le attività necessarie per realizzare ogni singola fase in modo da sapere, in fase di costruzione, in qualsiasi momento quali attività sono in atto all'interno del cantiere.

#### Piani operativi e tecnici della pianificazione lavori

Successivamente alla definizione e classificazione delle attività necessarie alla produzione e costruzione dell'organismo edilizio, è necessario produrre una serie di elaborati che descrivono in maniera puntuale quali sono le operazioni da compiere per ogni attività. Tali elaborati sono i piani operativi, tecnici ed economici, indispensabili nella fase di pianificazione operativa definitiva. Essi costituiscono i dati di input per la programmazione operativa. L'analisi e lo studio dei processi costruttivi e quindi la redazione dei piani operativi sin dalla fase progettuale risulta molto importante per il corretto sviluppo del processo edilizio. In quanto se non si considerano gli aspetti di costruzione e assemblaggio dei diversi componenti del manufatto, è possibile incorrere in variazioni in corso d'opera che influenzano le fasi successive della realizzazione e quindi la costruzione intera dell'edificio. I piani operativi che caratterizzano la pianificazione di un intervento sono:

- Piano economico finanziario
- Piano di tracciamento
- Piano di montaggio
- Piano di sicurezza
- Piano di manutenzione ed esercizio
- Piano di controllo e monitoraggio

## Costruzione

Nella fase di costruzione vengono affidati i lavori ad un'impresa affidataria, se si tratta di opere pubbliche viene indotta una gara di appalto dove le imprese tramite un bando pubblico si offrono per eseguire i lavori. Nella fase di costruzione si prevede che vengano affidati i lavori, vengano prodotti i materiali e semilavorati in stabilimento, il montaggio dei semilavorati il controllo della corretta posa in opera, la realizzazione delle opere e il collaudo finale.

Questa fase può sembrare una delle meno influenti in quanto sono state definite tutte le valutazioni necessarie allo svolgimento. In realtà rappresenta la parte più complessa dell'intero processo. Quando vengono affidati i lavori all'impresa esecutrice, l'azienda realizza un suo progetto costruttivo, questi operatori sono esterni al progetto, i quali introducono le proprie risorse, mezzi e tecnologie per la realizzazione delle opere puntando ad ottenere il maggiore profitto; individuano anche una nuova tempistica che meglio si associa alla loro portata che spesso risulta essere differente a quella prevista. Questi aspetti infatti possono avere delle complicanze sulle fasi precedenti, mentre quelle viste prima erano delle successioni e dei miglioramenti a quelle precedenti, questa fase può avere delle ripercussioni su di esse creando ritardi e complicanze dell'intero processo.



*fig. 8 Schema della fase di costruzione.*

## Esercizio e Gestione

Infine, la fase di esercizio e gestione, che fino a qualche decennio fa era poco considerata o veniva richiesta dal proprietario. In questa fase ci si deve occupare di mantenere efficienti tutti i componenti dell'edificio e di garantire le prestazioni previste.

Si prevede che vengano prodotti una serie di elaborati contenuti all'interno del piano di manutenzione e uso per guidare la fruizione del fabbricato. Viene anche consegnato un fascicolo dell'opera che contiene le diverse caratteristiche dell'edificio in termini di prestazioni attese e di indicazioni di manutenzione da svolgere affinché rimangano tali. Il piano di manutenzione risulta molto utile per rendere efficiente il fabbricato nel tempo, in quanto permette di programmare in tempo le attività da svolgere per mantenere il massimo efficientamento. La fase di gestione si compone infine di quattro sottofasi: gestione corrente degli spazi funzionali ovvero la definizione delle funzioni di ciascun ambiente e la loro relativa posizione all'interno dell'edificio; esercizio degli impianti tecnici ovvero di come funzionano gli impianti; manutenzione ordinaria stabilite secondo un piano, che possono essere la pulizia, la sostituzione di elementi consumabili, verifiche, ecc....; manutenzione straordinaria la quale richiede risorse maggiori come ad esempio miglioramenti tecnologici, riparazioni significative, restauri, ecc.....

Durante questa fase non si producono ulteriori elaborati o documenti, ma vengono aggiornati a seconda dell'esito dell'attività di manutenzione prevista già precedentemente prodotti, inoltre gli attori coinvolti possono essere differenti dai precedenti. L'ultima fase del processo edilizio è quella di dismissione.



*fig. 9 Schema della fase di esercizio e gestione.*

In questo momento il manufatto non risponde più delle caratteristiche e alle esigenze prevista della fase di programmazione. Sicuramente occorre prevedere un nuovo processo edilizio per questa fase perché quelle precedenti sono differenti. La fase di dismissione è però da considerarsi all'interno del processo edilizio, in quanto importante ridurre al minimo la produzione di rifiuto non riciclabili e di demolizione. Per questi motivi durante la fase di progettazione e costruzione è necessario considerare quali sono le caratteristiche della materia e di come vengono riciclati, favorendo così l'impiego di materiali che ottimizzano il processo di riciclo dei singoli componenti.

Attraverso a questa analisi delle fasi del processo edilizio è possibile notare quanto sia complesso il sistema e di quante siano le figure coinvolte nei diversi momenti, in quanto una possibile complicità in una delle fasi possa causare ritardi e complicanze alle successive che solo con un'accurata procedura e pianificazione possono essere risolte.

## Attori principali del processo edilizio

Gli attori coinvolti nel processo edilizio sono numerosi e variano a seconda della complessità e della scala del progetto. Una panoramica dei principali attori coinvolti nel processo edilizio:

1. **Committente:** È colui che avvia il progetto edilizio e ne finanzia l'implementazione. Può essere un privato, un'azienda, un ente pubblico o un'istituzione.
2. **Architetto:** Si occupa della progettazione architettonica dell'edificio. Definisce il layout, l'aspetto estetico, la funzionalità e il design generale dell'edificio.
3. **Ingegnere Strutturale:** Progetta la struttura portante dell'edificio, assicurando che sia stabile, sicura e conforme alle norme di costruzione.
4. **Ingegnere Impiantistico:** Progetta gli impianti all'interno dell'edificio, come impianti elettrici, idraulici, di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria.
5. **Geometra:** Si occupa delle pratiche burocratiche e amministrative, inclusi i permessi edilizi, le relazioni con gli enti pubblici e il coordinamento con le varie parti coinvolte.
6. **Impresa Edile:** Responsabile dell'esecuzione dei lavori di costruzione. Si occupa dalla preparazione del cantiere all'assemblaggio effettivo dell'edificio.
7. **Fornitori di Materiali:** Forniscono i materiali da costruzione necessari per il progetto, come cemento, acciaio, legno, vetri, ecc.
8. **Manodopera:** Include operai edili, muratori, elettricisti, idraulici e altri professionisti coinvolti nella costruzione.
9. **Project Manager:** Coordinatore del progetto che supervisiona l'andamento generale, gestisce le tempistiche, i costi e le risorse coinvolte.
10. **Responsabili della Sicurezza:** Si assicurano che tutte le norme di sicurezza siano rispettate durante le fasi di progettazione e costruzione per prevenire incidenti.
11. **Consulenti Tecnici:** Possono includere consulenti legali, esperti ambientali, consulenti acustici, che forniscono competenze specializzate a supporto del progetto.
12. **Enti Pubblici:** Coinvolti nel processo di approvazione, supervisione e regolamentazione, come ad esempio l'ufficio edilizia locale, l'ufficio urbanistica, e l'ente per la sicurezza sul lavoro.
13. **Utenti Finali:** Coloro che utilizzeranno l'edificio finito, come proprietari, inquilini o operatori commerciali.



*fig. 10 Attori del processo edilizio.*

## Criticità del processo edilizio

- Molteplicità degli operatori
- Complessità delle informazioni
- Leggibilità delle informazioni
- Trasversalità delle informazioni

In un processo edilizio che generalmente ha una durata di tipo medio-lungo e che richiede un gran numero di specializzazioni e competenze, è probabile che siano delle problematiche tra gli operatori. Questi problemi non sono di tipo relazionale ma di tipo operativo, in questo caso si parla di “interoperabilità”.

L’interoperabilità è un aspetto fondamentale, in quanto non è possibile far in modo che l’intero processo sia gestito da un solo operatore. La complessità delle tecnologie e dei sistemi è altamente complessa tale da richiedere a ogni tecnologia il proprio specialista. Questo tipo di approccio è necessario per rispondere alle esigenze e trovare le migliori soluzioni progettuali. Risulta quindi fondamentale individuare che tipo relazioni intercorre tra i vari attori per poter gestire in maniera efficace la cooperazione fra i diversi professionisti facilitando gli scambi e riducendo al minimo le interferenze.

Nei progetti attuali con la continua evoluzione delle tecnologie da utilizzare, la diversa presenza di nuovi sistemi, impianti e tecnologie le informazioni sono vastissime, ciò rende il progetto altamente complesso da leggere e tradurre. Inoltre, lo sviluppo tecnologico è sempre associato

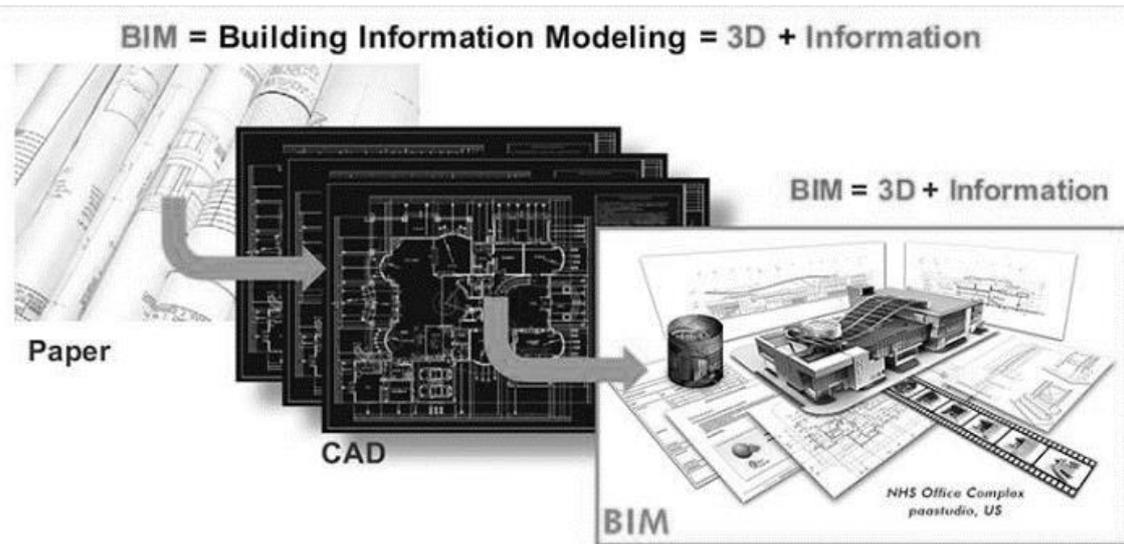
ad un'evoluzione normativa sempre più complessa, che in parte mi migliorano la qualità del progetto stabilendo dei livelli limiti da rispettare, mentre per quando riguarda i livelli di dettaglio, le normative assumono livelli differenti, partendo dalle normative di livello europeo che sono le più generali fino ad arrivare a quelle di riferimento locali che sono più restrittive. Le documentazioni richieste sono spesso differenti per cui bisogna confrontare in diversi parametri in modo da individuare quello più restrittivo.

La leggibilità delle informazioni è anche una delle criticità del processo edilizio affinché ci sia un corretto flusso di informazioni è necessaria che queste siano di facile comprensione. Ogni operatore, infatti, utilizza un suo modo di rappresentare le informazioni, non esiste un modo unificato e comune a tutti di rappresentare l'informazione, la normativa negli anni è stata di aiuto in merito a questo cercando con le norme del disegno tecnico di unificare e tradurre tutto, ma ciò non implica un modello di rappresentazione unificato ed univoco per tutti. La leggibilità non deve limitarsi solo alla comprensione degli operatori del processo ma deve permettere anche alle categorie di funzionari del comune del catasto degli enti di controllo e verifica che intervengono di comprendere in maniera immediata le informazioni. Inoltre, la leggibilità è funzione della comunicazione del progetto al pubblico per qui bisogna illustrare in maniera semplice il manufatto.

La scarsa leggibilità implica delle complicatezze in termini di comunicazioni sia in termini di temporali. Infatti, la scarsa comprensione di un operatore potrebbe generare un ritardo nella risposta non conforme in quanto richiesti, anche se magari questa informazione era presente ma poco leggibile.

Il concetto trasversalità delle informazioni mi definisce un ulteriore livello di raffinatezza degli elaborati. Con il termine trasversalità si intende la capacità di un documento di esprimere possibili interazioni con altri. Questa caratteristica è ottenuta attraverso l'inserimento all'interno del disegno di rimandi ad altri documenti, come ad esempio le stratigrafie di dettaglio scritte in una relazione oppure dei nodi costruttivi a scala maggiore in modo da comprendere al meglio il progetto esecutivo da svolgere oppure per associare i vari materiali il che risulta molto efficace ma d'altra parte rende la logistica più complessa passando da un unico elaborato è necessario avere tre elaborati, rendendo difficile anche la disponibilità, perché i documenti sono tutti racchiusi in unico fascicolo, oppure le tavole sono di grandi dimensioni rendendo difficile la gestione. Tutti questi passaggi limitano la rapidità e il passaggio di informazioni tra gli operatori e può incidere su ritardi e/o mancata informazione agli operatori, tali da compromettere le previsioni fatte inizialmente.

## L'innovazione del disegno e dell'informazione



*fig. 11 Evoluzione del disegno.*

Da sempre il settore dell'edilizia ha contato sul disegno per la rappresentazione delle informazioni necessarie al progetto e per la realizzazione di esso.

Per aiutare il progettista durante le diverse fasi della progettazione, lo sviluppo tecnologico digitale è stato di fondamentale importanza negli ultimi 50 anni. Tra la fine degli anni '70 e inizio degli anni '80, i modelli CAD aumentarono le loro abilità consentendo la creazione di modelli di edifici. Inizialmente nel mondo delle costruzioni, il CAD non fu visto come opportunità, mentre industrie manifatturiere ed aereospaziali videro immediatamente i benefici del CAD e decisero di lavorare con le compagnie di software per implementare questi sistemi.

Sfortunatamente questi tipi di documento focalizzarono l'attenzione solo sulla rappresentazione dei manufatti necessaria alla progettazione e non per tutto il processo edilizio. Infatti, dalla fine del 1980 invece la modellazione parametrica basata su oggetti è stata sviluppata per il progetto degli impianti meccanici mentre nel tradizionale CAD 3D ogni aspetto e geometria di un elemento deve essere editato manualmente dagli utenti, lasciando indietro così il mondo delle costruzioni.

Ora ci troviamo di nuovo in un modello di transizione, tra la rappresentazione 3D e l'informazione che possiamo dare con questi modelli. Negli ultimi anni si sta lavorando molto per rendere il più trasparente il mondo delle costruzioni e minimizzare gli errori dell'intero processo, questo modello innovativo prende il nome di "BIM" acronimo di "Building Information Modeling".

## Il BIM

### Definizione e introduzione

BIM sta per Building Information Modeling. È una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio o di un'infrastruttura. Il BIM è un processo collaborativo che prevede la creazione e la gestione di modelli digitali della progettazione, costruzione e funzionamento di un progetto. Nel corso dell'ultimo decennio sono state numerose le definizioni per cercare di caratterizzare questo fattore. Di seguito vengono riportate alcune definizioni che permettono di avere una visione generale:

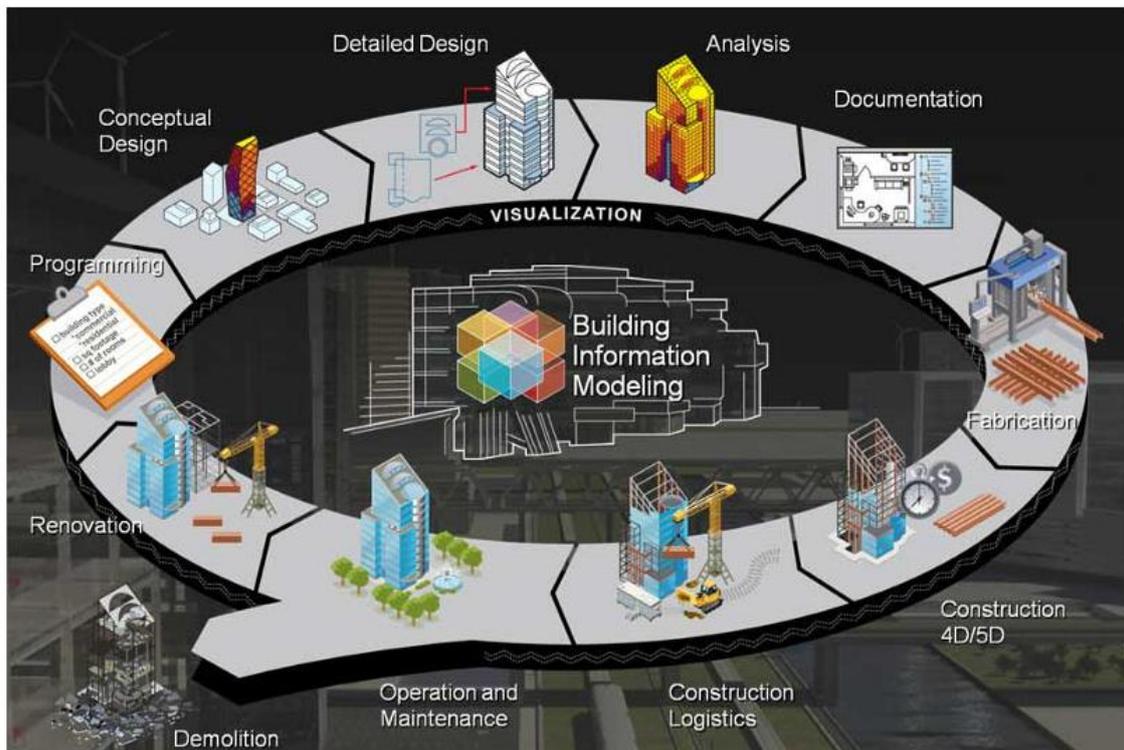
*“Building Information Modeling (BIM) is one of the most promising developments in the architecture, engineering and construction (AEC) industries. With BIM technology, an accurate virtual model of a building is constructed digitally. When completed, the computer-generated model contains precise geometry and relevant data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities needed to realize the building.”*

*“A Building Information Model is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such, it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life cycle from inception onward.”*

Il BIM non è un software, ma una metodologia innovativa ed essenziale per il settore edile, architettonico ed infrastrutturale è di interesse strategico per i governi ma anche i privati e per tutti i progetti di grandi dimensioni. Inoltre, il BIM è un metodo integrato di progettazione in grado di poter raccogliere, unificare e combinare tutti i dati che riguardano la progettazione e pianificazione di un edificio. Consente ad architetti, ingegneri e professionisti dell'edilizia di creare modelli 3D dettagliati. Questi modelli possono rappresentare non solo la geometria fisica ma anche le proprietà e le caratteristiche di ciascun componente come ad esempio dati geometrici, relazioni spaziali, informazioni geografiche, proprietà dei componenti, materiali, costi, pianificazioni e altro ancora. Uno degli aspetti principali è quello di promuovere la collaborazione tra le diverse parti interessate nel processo di costruzione, come architetti, ingegneri, appaltatori e gestori di strutture. Tutti possono lavorare su un modello unico e condiviso, riducendo gli errori e migliorando la comunicazione. Il BIM viene utilizzato durante

l'intero ciclo di vita di un edificio o di un'infrastruttura, dalla progettazione e costruzione al funzionamento e alla manutenzione. Ciò consente un migliore processo decisionale in ogni fase.

*“In sostanza, il BIM non serve solo per la pianificazione della costruzione di un edificio, ma è anche un metodo essenziale per il controllo, la verifica e la riduzione degli errori in fase di esecuzione per un ferreo metodo di controllo preventivo del modello”.*



*fig. 12 Il BIM e i campi di applicazione.*

Un progetto, quindi, può essere totalmente realizzato con questa metodologia, che rende possibili l'unione delle "forze" di un elevato numero di professionisti del settore. La chiave del BIM è quella di essere una piattaforma multidisciplinare in cui può avvenire con una certa facilità il concorso operativo dei progettisti che lavorano per costruire un modello, dove possiamo trovare tutti i dati che riguardano la costruzione di un edificio e riguardanti i dati dell'intero ciclo di vita come ad esempio: dati geo spaziali, dati legati alle specifiche dei materiali, dati meccanici, elettrici, economici, la valutazione energetica ed ambientale in grado di restituendo vari tipi di dati, dai disegni in 2D a testi ad elementi di tempo (4D) e di costo(5D). Tuttavia,

l'implementazione del BIM richiede software specializzato, formazione e impegno nella collaborazione tra le parti interessate del progetto. Il processo coinvolge più discipline e va utilizzato in modo da ottenere il massimo delle informazioni, non si può improvvisare, la competenza in questa disciplina nasce da una solida formazione di base completa da una specializzazione. Una giusta formazione permette infatti di ottimizzare al massimo il progetto e di non commettere errori.

Oggi questa metodologia è diffusa in tutto il mondo e la maggior parte dei paesi sta promuovendo l'utilizzo del BIM per affrontare obiettivi specifici. Fin da subito il BIM è stato ampiamente adottato all'interno della prassi professionale come metodologia. E' chiaro che l'adozione a livello mondiale sta trasformando l'industria delle costruzioni causando notevoli miglioramenti in termini di produttività di tutto il settore AEC (Architecture Engineering Construction). Essendo il BIM in continua evoluzione è comprensibile che a livello globale ci sia una continua ricerca della "regolarità", modelli univocamente regolati e normati.

Questa continua ricerca della regolarità è fondamentale per che gli stati che adoperano la metodologia ricercano; infatti, chi da un ventennio a questa parte possiede già una normativa o degli standard applicativi in ambito BIM continua sempre ad implementarli e aggiornarli.

L'immagine sotto riportata mostra quali sono i principali paesi al mondo in cui la metodologia BIM è più sviluppata.



fig. 13 Implementazione del BIM nel mondo.

## Stato dell'arte

L'ultima edizione sulla trasformazione digitale condotta da ASSOBIM nata per promuovere la diffusione del Building Information Modeling e sostenere l'attività dell'intera filiera risale al 2021. Il Report come l'anno precedente coinvolge un ampio numero di operatori del settore tra cui: studi di progettazione e società di engineering, enti della Pubblica Amministrazione, imprese di costruzioni e manutenzioni, produttori di materiali e componenti, società di servizi e IT, committenza pubblica e privata, università e centri di ricerca, che hanno permesso di delineare una mappa aggiornata della diffusione del BIM in Italia, della percezione dei suoi punti di forza, delle criticità e delle prospettive allo scopo di contribuire un ulteriore sviluppo di questa metodologia.

Il campione intervistato - costituito in larga parte da studi di progettazione (oltre il 59% del campione) e società di engineering (16,4%), con un numero di collaboratori al di sotto delle dieci unità in circa il 70% dei casi e un fatturato al di sotto del milione di euro nel 70% dei casi.

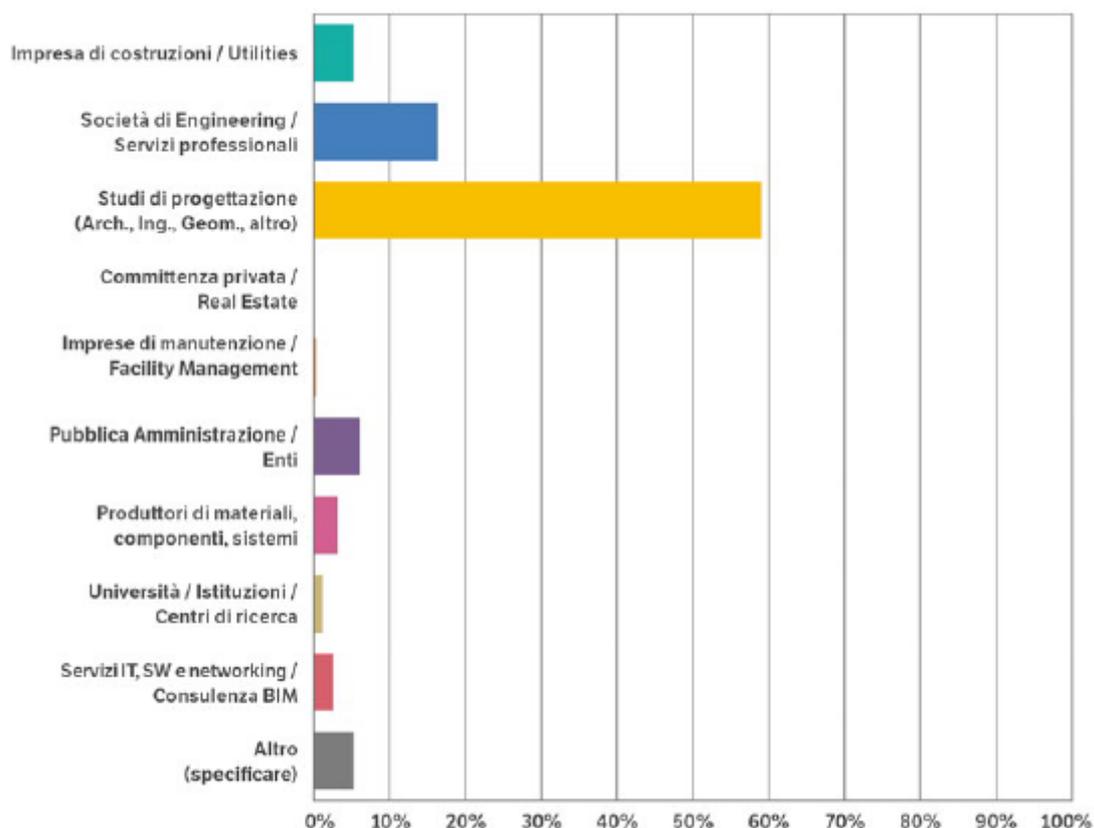


fig. 14 Campione intervistato.

Oltre il 60% del campione (+5.1% raffrontato all'edizione precedente) conosce e utilizza la metodologia BIM, mentre un ulteriore 30% circa la conosce ma non la utilizza o ne fa un uso parziale, e solo un numero marginale di operatori (il 7% rispetto al 10% del 2020) non ne è a conoscenza.

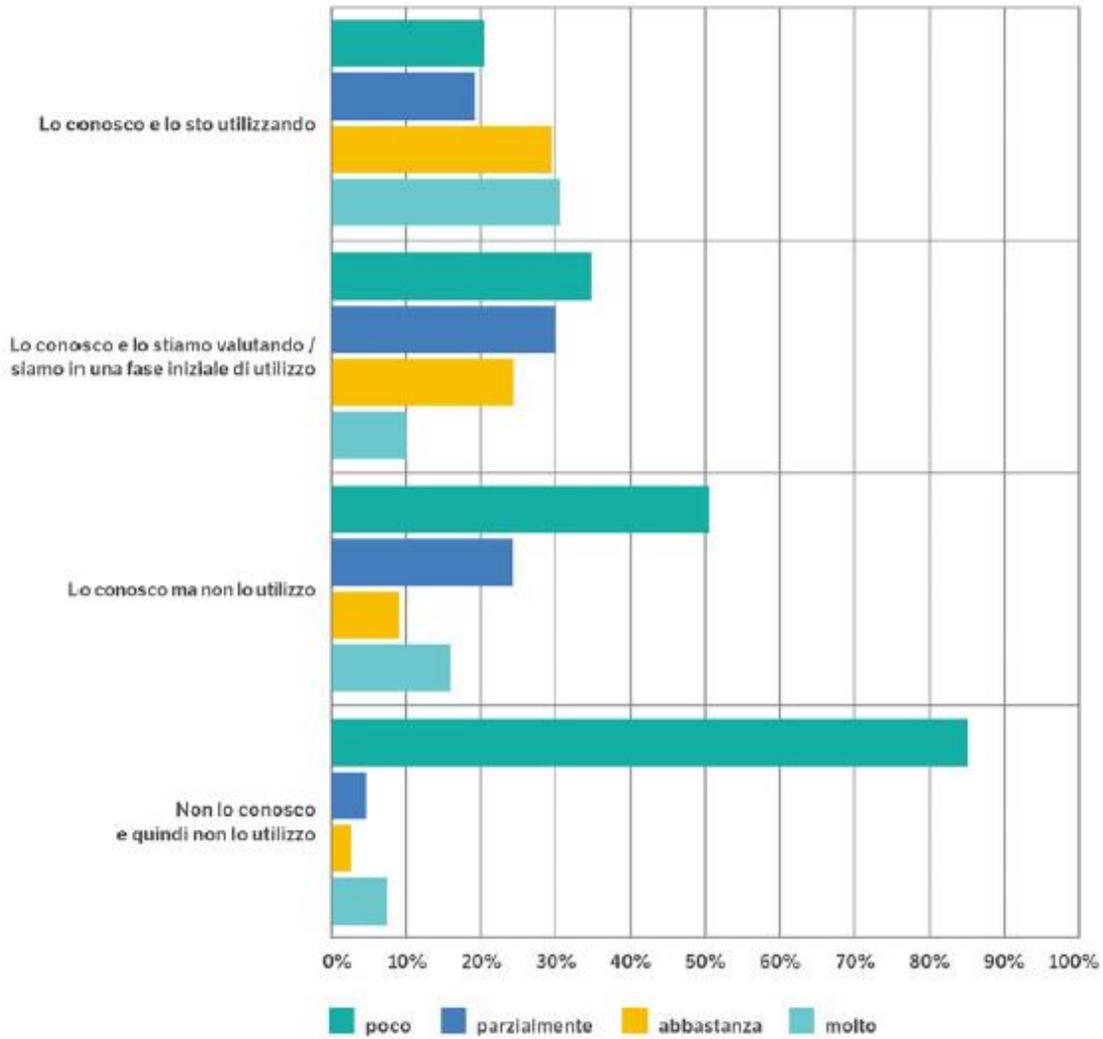


fig. 15 Grado di conoscenza del BIM.

Per quanto riguarda l'utilizzo del BIM circa il 25% lo utilizza sempre il 10% estesamente, il 18% lo utilizza parzialmente, il 22% parzialmente mentre l'altro 25% non lo utilizza proprio.

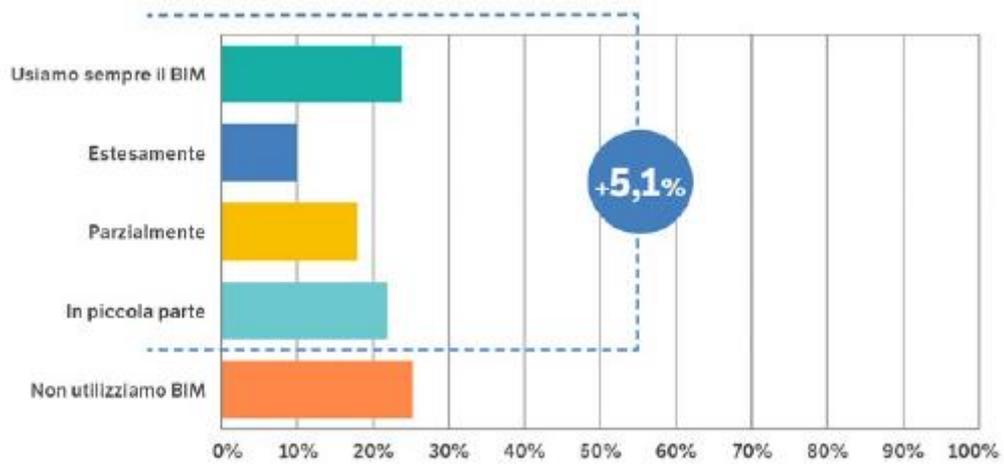


fig. 16 Grado di utilizzo del BIM.

L'analisi della risposta alla domanda circa l'anno di introduzione del BIM in azienda conferma e stabilizza la tendenza già rilevata nella scorsa edizione: a partire dal 2016 la crescita è stata costante e anche nel 2021 è proseguita. "Decreto BIM"

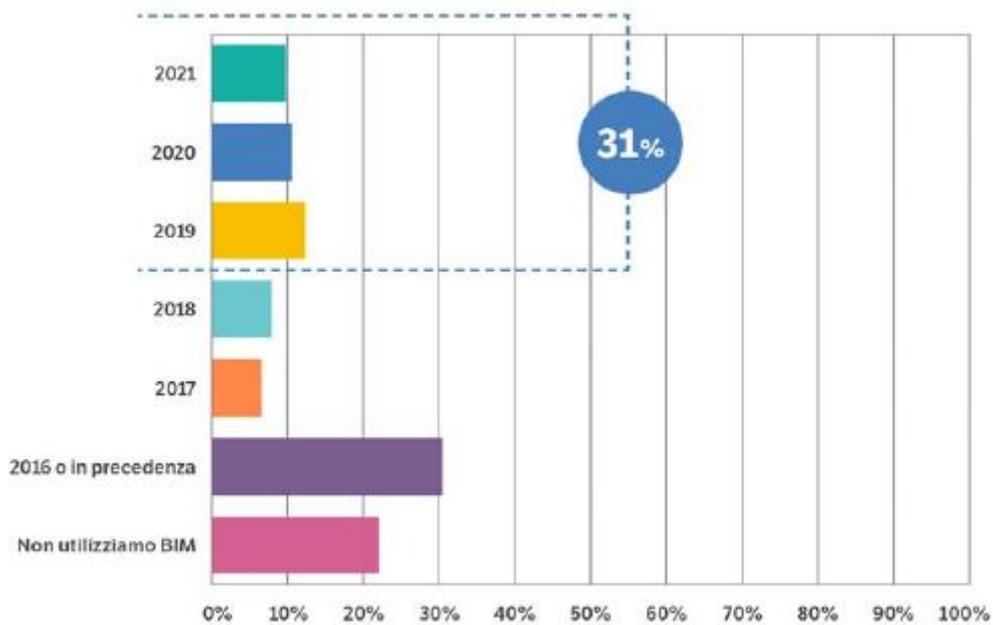


fig. 17 Anno di implementazione del BIM.

Per quanto riguarda gli ambiti di utilizzo: a fare la parte del leone è sempre la progettazione architettonica (51%) seguita dall'impiantistica (13%), dalle strutture (12%) e a seguire da altre discipline quali infrastrutture, recupero e progettazione energetica.

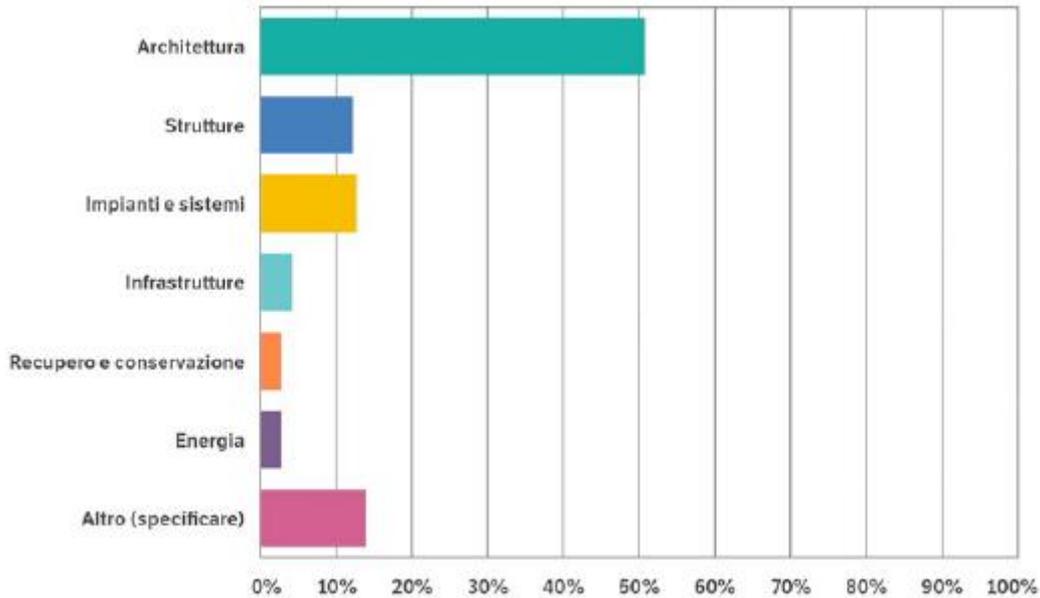


fig. 18 Uso prevalente del BIM.

L'incidenza del BIM in termini di riduzione di tempi/costi e competitività è valutata positivamente dalla larga maggioranza delle aziende. In quest'ambito i risultati sono stati sorprendenti; infatti, oltre l'80% degli intervistati è molto o abbastanza convinto che l'adozione del BIM sia in grado di contribuire fortemente alla riduzione dei costi e per di più alla riduzione del tempo complessivo di realizzazione dell'opera, dall'avvio al completamento dei lavori.

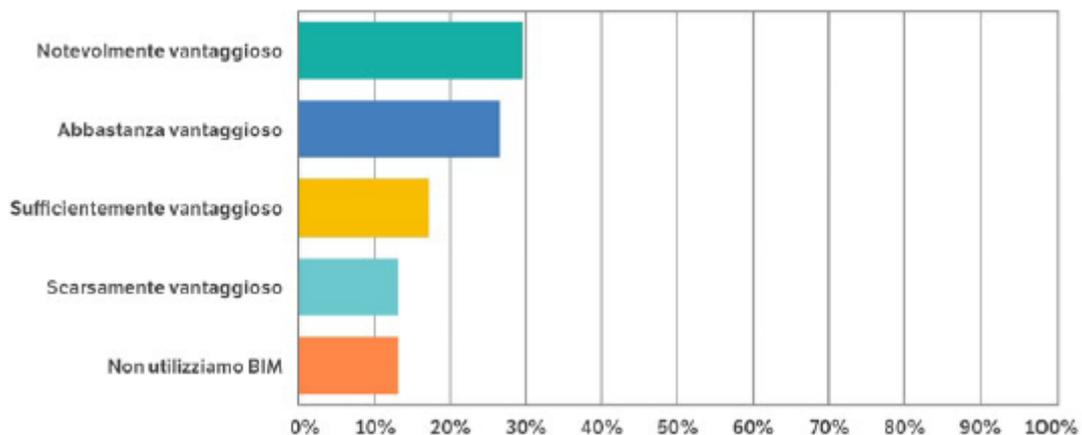


fig. 19 Se si ritiene vantaggioso il BIM.

## Dimensioni BIM

Nel contesto del Building Information Modeling (BIM), il termine "dimensione" si riferisce tipicamente a diversi aspetti o categorie di informazioni che possono essere incorporati in un modello BIM per fornire una visione completa di un edificio o di un progetto infrastrutturale. Queste dimensioni rappresentano vari tipi di dati e caratteristiche che vanno oltre la geometria fisica dell'edificio. Le dimensioni più comuni nel BIM includono:

**3D** (Modello tridimensionale): questa dimensione rappresenta la geometria fisica dell'edificio, comprese la forma, le dimensioni e le relazioni spaziali tra i componenti. Serve per progettare l'edificio e permettere di avere il modello architettonico, strutturale ed impiantistico. Questo è il fondamento di qualsiasi modello BIM.

**4D** (Tempi): 4D BIM aggiunge l'elemento tempo al modello, consentendo la visualizzazione e la gestione della pianificazione del progetto e della sequenza di costruzione. Ciò può aiutare le parti interessate al progetto a comprendere come le diverse fasi di costruzione progrediranno nel tempo, gestirle e verificare eventuali interferenze tra le lavorazioni previste. E' possibile scomporre un progetto in parti tramite la codifica degli elementi per organizzare e visualizzare la sequenza di lavoro.

**5D** (Costi): il BIM 5D integra le informazioni relative ai costi nel modello. Include dati su materiali, manodopera, attrezzature e altri fattori di costo. Questa dimensione consente la stima dei costi, l'impostazione del budget e il monitoraggio dei costi durante l'intero ciclo di vita del progetto.

**6D** (Facility Management and Operazioni): 6D BIM si estende alla fase di facility management. Incorpora dati che aiutano nel funzionamento e nella manutenzione dell'edificio. Ciò include informazioni sui programmi di manutenzione, manuali delle apparecchiature e gestione delle risorse.

**7D** (Sostenibilità): il BIM 6D si concentra sulla sostenibilità e sugli aspetti ambientali. Include informazioni relative all'efficienza energetica, alle emissioni di carbonio e alle valutazioni del ciclo di vita. Questa dimensione aiuta a prendere decisioni rispettose dell'ambiente durante la progettazione, la costruzione e il funzionamento di un edificio.

Oltre alle 7 dimensioni citate ad oggi esiste un dibattito aperto su tre "nuove dimensioni del BIM":

**8D** (Sicurezza in fase di progettazione e realizzazione dell'opera): questa dimensione si concentra su considerazioni di salute e sicurezza durante tutto il ciclo di vita del progetto. Include dati sui piani di sicurezza, valutazioni dei pericoli e procedure di emergenza. Questa dimensione è particolarmente importante per progetti con elevati requisiti di sicurezza, come strutture governative o infrastrutture critiche.

**9D** (Costruzione snella): Il BIM 9D, conosciuto anche come costruzione snella, è la dimensione del BIM che ottimizza e snellisce tutte le fasi coinvolte nella realizzazione di un progetto attraverso la digitalizzazione dei processi.

La costruzione snella è un approccio che consente una gestione efficiente delle risorse e prevede il monitoraggio dell'utilizzo delle materie prime al fine di ridurre al minimo l'incidenza dei rifiuti. Monitorando costantemente queste risorse, è possibile creare strategie per convertire efficacemente quelli che sarebbero rifiuti, frammenti materiali o pezzi dispari in qualcosa che aggiunga valore all'insieme.

consentendo al project manager di:

- utilizzare al meglio i materiali;
- mantenere il progetto di costruzione nei tempi previsti e nel budget.

**10 D** (Industrializzazione delle costruzioni): 10D BIM mira a industrializzare e rendere più produttivo il settore delle costruzioni grazie all'integrazione di nuove tecnologie e dati fisici, commerciali, ambientali o di altro tipo.

I vantaggi per il project manager sono:

- riduzione dei tempi di realizzazione degli involucri edilizi;
- ottimizzazione dei costi di cantiere;
- potenziamento e implementazione della sicurezza sul lavoro;
- aumento della qualità della costruzione grazie alle infrastrutture digitali di nuova generazione;
- controllo accurato in ogni fase della produzione di ogni singolo elemento attraverso processi avanzati, codificati e standardizzati;
- nessuna dipendenza dalle condizioni meteorologiche che possono influenzare le attività del sito.



*fig. 20 Dimensioni del BIM.*

L'inclusione di queste dimensioni in un modello BIM migliora la comprensione e la gestione complessiva di un progetto di costruzione. Consente un migliore processo decisionale, una migliore collaborazione tra le parti interessate del progetto e un ciclo di vita del progetto più efficiente, dalla progettazione alla costruzione e al funzionamento. Tuttavia, le dimensioni specifiche incorporate in un modello BIM possono variare a seconda degli obiettivi e dei requisiti del progetto ma generalmente vengono proposte queste dimensioni da tutte le normative in circolazione sul BIM.

## Quadro normativo

Certamente il BIM rappresenta il sogno del settore delle costruzioni per definirsi industriale. In Italia purtroppo questo desiderio è stato messo più volte da parte negli ultimi anni; infatti, le costruzioni e il settore AEC (Architecture Engineering Construction) è sempre stato bloccato o rimasto limitato al cambiamento digitale e all'innovazione.

In Italia la metodologia BIM arriva parecchi decenni dopo con un certo ritardo rispetto ad alcuni paesi europei dove trova un ambiente favorevole e maturo per una codificazione legislativa che pone l'obbligatorietà immediatamente all'interno dei progetti pubblici.

La prima volta che la normativa italiana introduce il concetto BIM è con il Decreto Legislativo del 18 Aprile 2016 n.50– noto come D.lgs. 50/2016 “Nuovo Codice degli Appalti” ma non viene esplicitamente nominato l'acronimo BIM né la locuzione Building Information Model bensì parla di “metodi e strumenti elettronici nella progettazione”, intendendo appunto il BIM come strumento elettronico. Nel decreto viene anche rimandata l'obbligatorietà di tale metodologia ad un futuro decreto attuativo.

Come esplicitato, la metodologia diventa obbligatoria per la progettazione pubblica solamente con l'emanazione del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti n.560 del 2017 e s.m.d. noto come “decreto BIM” il quale può essere considerato come decreto attuativo del D.lgs. 50/2016.

Il decreto disciplina le modalità e le tempistiche con il quale le stazioni appaltanti e le amministrazioni sono obbligate a introdurre la metodologia in base alla tipologia di opere e degli importi a base di gara. Decreto Ministeriale n. 312.

- a) Per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro, a decorre dal 1° gennaio 2019;
- b) Per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di euro, a decorre dal 1° gennaio 2020;
- c) Per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro, a decorre dal 1° gennaio 2022;
- d) Per le opere di importo a base di gara pari o superiore a 5 382 000 euro (soglia comunitaria), a decorre dal 1° gennaio 2023;
- e) Per le opere di importo a base di gara pari o superiore a 1 milione di euro, a decorre dal 1° gennaio 2025;

Il nuovo codice appalti (d.lgs. 36/2023) conferma l'impostazione già data dal vecchio codice e il D.M. 312/2021: sarà obbligatorio procedere con modalità BIM per tutti gli appalti superiori a un milione di euro.

In buona sostanza, si avrà l'obbligo di adozione BIM dal 2025 per:

- importi > 1 milione €;
- progettazione e realizzazione opere nuova costruzione;
- interventi su costruzioni esistenti.

Non sarà necessario in caso di:

- importi < 1 milione €;
- interventi di manutenzione ordinaria;
- interventi di manutenzione straordinaria;

A meno che gli interventi non riguardino opere precedentemente eseguite con l'uso di metodi e strumenti di gestione informativa digitale. Ovviamente è data continuità all'utilizzo del BIM ed all'aggiornamento dei modelli e degli asset informativi, nei casi in cui sia già stato operato in BIM.

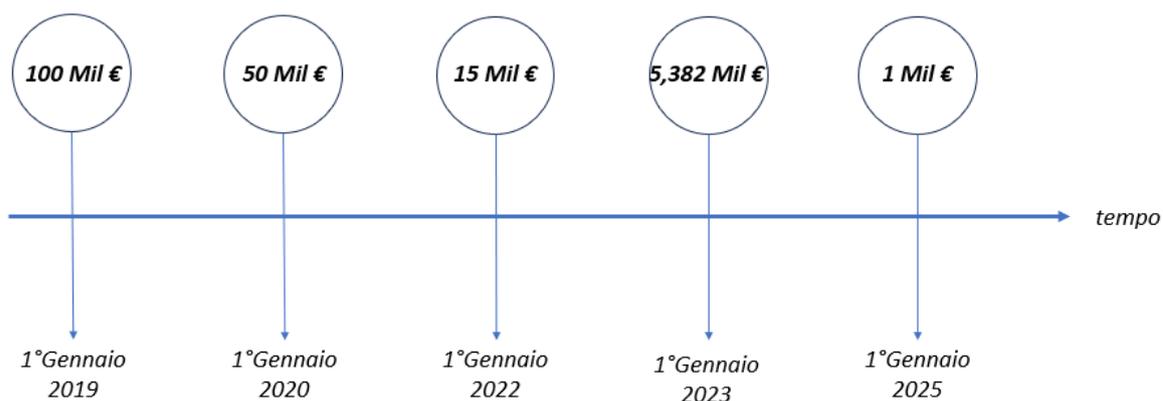


fig. 21 Soglie di obbligatorio del BIM nei progetti pubblici.

## Livelli di sviluppo

Nel contesto del Building Information Modeling (BIM), "LOD" sta per "Livello di sviluppo" o "Livello di dettaglio". LOD è un concetto critico nel BIM che definisce il grado di dettaglio e le informazioni incluse in un modello BIM nelle varie fasi di un progetto di costruzione. Lo scopo del LOD è stabilire una comprensione comune tra le parti interessate del progetto sul livello di completezza e accuratezza del modello BIM.

Più specificamente per regolare la quantità dei dati occorre utilizzare i livelli di sviluppo (LOD – Levels of Development), intesi come una misura della sicurezza e dell'affidabilità delle informazioni raccolte e inserite. Con i livelli di dettaglio (LOD - Level of Detail) invece si fa riferimento al dettaglio grafico che distingue un componente. I LOD sono semplicemente la misura della quantità di informazioni fornite.

I livelli LOD tipici nel BIM, sebbene possano variare a seconda degli standard regionali o specifici del progetto sono:

LOD 100 - Progettazione concettuale: in questa fase, il modello BIM rappresenta la volumetria e il layout di base dell'edificio. Viene spesso utilizzato per concetti di progettazione iniziali e studi di fattibilità.

LOD 200 - Progettazione schematica: il modello BIM diventa più dettagliato, mostrando dimensioni, forme e posizioni approssimative degli elementi dell'edificio. Aiuta nello sviluppo dell'intento progettuale del progetto.

LOD 300 - Progettazione dettagliata: in questa fase, il modello BIM include rappresentazioni accurate dei componenti dell'edificio, comprese le loro dimensioni, forme e posizioni. Viene utilizzato per la documentazione edilizia e il coordinamento tra diverse discipline.

LOD 350 - Documentazione di costruzione: questo livello di sviluppo include ancora più dettagli, con informazioni aggiuntive su come i componenti dell'edificio sono assemblati e interconnessi. È fondamentale per generare documenti di costruzione precisi.



## Interoperabilità

Per interoperabilità nel contesto del BIM si intende quella capacità che hanno diversi software, sistemi e dati di comunicare e funzionare insieme tra di loro in modo efficace ed efficiente. L'obiettivo dell'interoperabilità è consentire la condivisione e l'integrazione dei dati tra diverse piattaforme e applicazioni. Questa esigenza di dialogo tra l'architettura, l'ingegneria e la costruzione ha stimolato la standardizzazione e l'innovazione dello scambio dei file, diventa quindi fondamentale la possibilità di trasferire informazioni geometriche ed alfanumeriche attraverso un linguaggio condiviso non più basato unicamente su fogli cartacei o su un file ma su un formato di scambio codificato e accettato dalla comunità internazionale.

L'interoperabilità è da sempre oggetto di studio l'ottimizzazione del flusso informativo tra le applicazioni, tra i professionisti e quindi tra le varie fasi del processo, per questo motivo l'interoperabilità può avere diversi livelli di lettura che sono sintetizzati di seguito:

### *Livello 1*

Interoperabilità tecnica, che consente agli utenti di esportare e importare dati delle applicazioni di software interessate. Questa procedura richiede però interventi manuali per posizionare correttamente i dati importati nel modello. In caso di modifiche però questo passaggio si deve ripetere. Per progetti grandi questo metodo risulta macchinoso e poco efficace arrivando così a ridurre il significato di BIM.

### *Livello 2*

Interoperabilità intesa come abilità di usare formati standard di scambio per consentire di ricavare e inserire informazioni in programmi diversi tra loro.

Un modello BIM deve essere organizzato in maniera che i documenti possano essere utilizzati oltre per le fasi costruttive anche come struttura di conoscenza per utile alla gestione dell'intero ciclo di vita. Il primo passo per la progettazione BIM consiste nella realizzazione di un modello architettonico 3D utilizzando software come in grado di costruire un progetto costituito da oggetti edilizi come muri, porte, finestre, pilastri, travi, impianti, ecc.. e da tutti gli elementi necessari alla progettazione per descrivere le caratteristiche fisico tecniche, strutturali manutentive e così via. In questo modo gli operatori potranno ottenere le informazioni a loro necessarie e aggiungerne altre dove servono di propria competenza. Tutto questo può essere realizzato a patto che: le applicazioni utilizzate dagli operatori per costruire il modello siano in grado di scambiare informazioni senza la perdita di dati, senza errori e senza la necessità di

inserirli manualmente. In particolare, è necessario che le applicazioni software utilizzate siano interoperabili tra di loro.

Le applicazioni BIM commerciali come ad esempio Revit, Archicad si basano su un formato proprietario specifico che non può essere letto direttamente da altri software e nemmeno può essere visualizzato per le operazioni complementari a quello architettonico come, ad esempio, quelle per i calcoli strutturali per le analisi energetiche o per quello di computo o la gestione del cantiere.

In questi anni si sta lavorando molto sull'identificazione dei formati di scambio più efficienti nella conservazione di dati e nella procedura di esportazione e importazione da un software all'altro. Esistono diversi formati di scambio, tra questi si possono citare l'IFC, IgbXML e L'FBX.

Il formato di file IFC include standard internazionali definiti in maniera specifica per l'importazione e l'esportazione di più di 600 classi di oggetti edilizi e delle relative proprietà mettendo a disposizione delle applicazioni solo quelle necessarie al software stesso. Questo è molto importante perché anche se altri software hanno altre necessità di sfruttare proprietà differenti queste sono messe a disposizione senza perdere dati. Questo offre numerosi vantaggi in termini di comunicazione, produttività, tempi di consegna e qualità del lavoro, riducendo la perdita di informazioni durante la trasmissione.

Le applicazioni conformi IFC sono in grado di scambiare e condividere dati senza bisogno di conversione da un formato all'altro è sufficiente che sia salvato in IFC. Ma se dal punto teorico rappresenta la soluzione ottimale occorre sottolineare che purtroppo ad oggi presenta ancora dei limiti di interoperabilità che non lo rendono sempre agevole.

- Il formato prevede una struttura rigida che non può essere manipolata manualmente e la relazione spesso tra geometria e proprietà non viene mantenuta.
- Durante la procedura di importazione ed esportazione non vengono richieste informazioni diventando di fatto un formato chiuso.
- Un file IFC è sottocategoria di un BIM in cui alcuni dati vengono filtrati in funzione del software che si vuole utilizzare andando a perdere qualche dato utile.

Il formato gbXML viene utilizzato principalmente per la trasmissione di informazioni relative agli edifici per le applicazioni di analisi energetiche. Questo consente ai professionisti di concentrarsi solo nella qualità del lavoro legato alle scelte progettuali senza doversi preoccupare nella scelta del tipo di esportazione. Tuttavia, anche questo formato in fase di import/export presenta delle complicanze e delle perdite di dati.

Con il formato FBX la procedura di import/export è più lunga e spesso alcuni programmi non supportano questo formato, rendendo necessario quindi il passaggio ad un software per lo scambio di dati. Inoltre, lo scambio avviene correttamente solo in certe viste del modello. Anche se risulta un po' macchinoso però consente di avere dei buoni risultati.



*fig. 23 Formati di scambio IFC, gbXML e FBX.*

### *Livello 3*

Questo è il livello più avanzato e consente il collegamento diretto tra più software, i dati sono in continuo aggiornamento e se un file viene modificato non c'è più la necessità di andare ad esportare di nuovo il modello, basta aggiornarlo mediante il proprio comando nel software del quale si sta operando. I programmi operano tra di loro mediante un protocollo coordinato. E' possibile ottenere facilmente e veloce da un modello 3D, gli elaborati grafici esecutivi, piuttosto che le piante, i prospetti e le sezioni oppure i dati per il software di computo metrico o per il calcolo strutturale, tutto ciò senza la necessità di eseguire nuove elaborazioni e senza perdita di informazioni da un documento all'altro, permettendo di avere dati univoci e certi. L'utilizzo di questo metodo però è fortemente influenzato dagli strumenti disponibili sul mercato delle software house capaci di fornire ai professionisti programmi specifici. La visione di BIM risulta quindi influenzata da una scelta di suite di programmi appartenenti alla software house che si sta utilizzando capace di comunicare grazie a formati proprietari, questo però non dovrebbe essere così ma dovrebbe riferirsi a linguaggi aperti e di comune utilizzo utilizzati a livello internazionale che siano in grado di trasferire i dati in modo corretto tra varie applicazioni senza generare perdita di dato e garantendo l'aggiornabilità.

L'interoperabilità, quindi, è cruciale per massimizzare i benefici del BIM, come la riduzione degli errori, il miglioramento della comunicazione tra le parti interessate e la gestione più efficiente.

## Obiettivi del BIM

Le criticità del processo edilizio tradizionale, evidenziate precedentemente, rappresentano un campo di intervento per migliorare e ottimizzare il processo edilizio. Il flusso dell'informazione dato dalla molteplicità di operatori/ progettisti, lo scambio dei dati, la leggibilità rappresentano aspetti base che devono essere considerati in modo da consentire uno scambio di conoscenze e professionalità altamente sviluppato.

Lo sviluppo dei sistemi di rappresentazione è stato sempre un promotore di importanti innovazioni all'interno del processo edilizio. Basti pensare alla rivoluzione dei sistemi CAD, che con la loro potenza di calcolo sono stati in grado di produrre elaborati di grande precisione ed accuratezza in maniera molto più rapida, possiamo anche scambiare dati in forma telematica tramite l'invio dei progetti e sovrapporli per trovare incongruenze. Tutti questi vantaggi però non sono più sufficienti il processo edilizio necessita di integrazioni lì dove si riscontrano le maggiori criticità. Ad esempio, se consideriamo un progetto e consideriamo il passaggio di un file dall'architetto, allo strutturista, all'impiantista e a tutte le altre figure coinvolte questo molto probabilmente verrà modificato svariate volte che conterranno aggiornamenti e modifiche differenti a seconda di chi ha realizzato l'ultima versione. Per questo quando il file ritorna per l'integrazione degli aggiornamenti si creeranno ulteriori file (replicabilità) e così via fino alla fase di ultimazione del progetto. Questo non risulta più ottimale perché il numero di file e di varianti che subisce il progetto può essere tale da non riuscire più a gestirlo in maniera efficace il progetto e aumentando notevolmente il rischio di insorgere in nuovi errori o trascurando alcune variazioni avvenute.

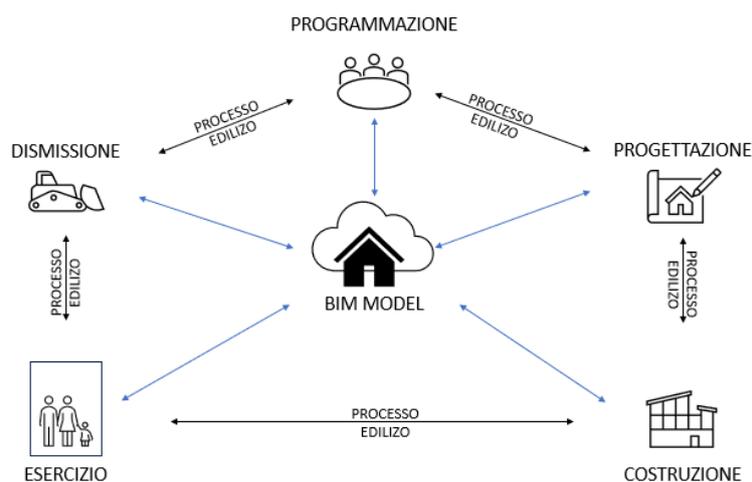


fig. 24 Processo edilizio in BIM

## Miglioramento della Comunicazione

Negli ultimi anni con lo sviluppo dei software e delle nuove applicazioni all'interno del mondo delle costruzioni si sta cercando di andare verso un progetto altamente integrato che riesca a risolvere molte criticità evidenziate. In questo scenario si inseriscono i programmi BIM che sono la base per l'ottimizzazione del processo edilizio. Uno appunto dei principali obiettivi del BIM è quello di far collaborare tutte le figure coinvolte in una sola piattaforma di condivisione, eliminando quindi la replicabilità del dato. E' evidente come il modello BIM possa si ponga al centro del processo fungendo da piattaforma di condivisione e di regolazione del flusso di informazioni. Tramite il BIM è possibile ottenere un processo interoperabile dove in tempo reale tutti i professionisti possono vedere quali variazioni subisce il progetto.

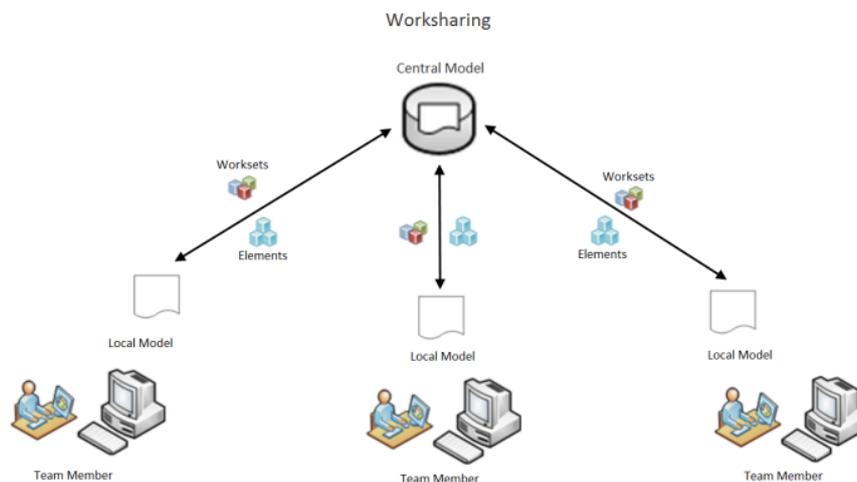


fig. 25 Processo collaborativo in BIM.

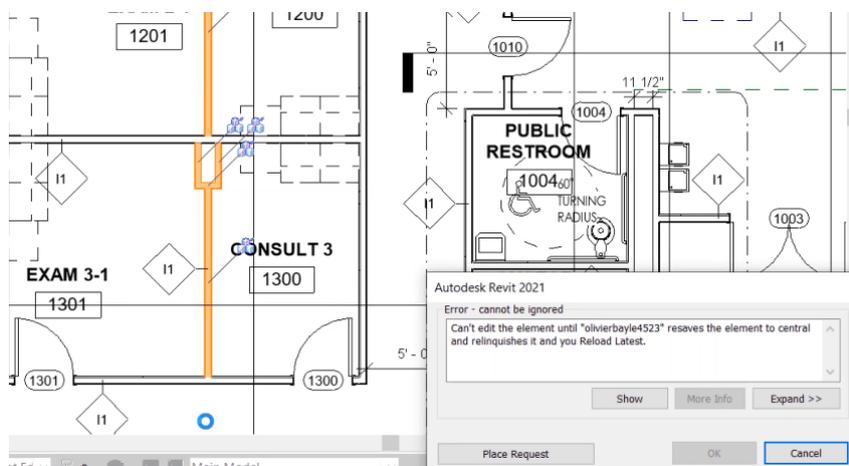


fig. 25.1 Workset.

## Leggibilità del dato e informazione

Il progetto in BIM è un progetto tridimensionale che permette una valutazione rapida ed intuitiva delle interferenze spaziali che altrimenti sarebbero difficili, questa assolve la funzione di modeling mentre per quanto riguarda l'informazione a differenza dei progetti 2D che l'unica informazione è quella riportata sul file, il BIM ha fatto un grande passo in avanti. L'utilizzo di software parametrici permette di associare ad un qualsiasi oggetto (muro, finestra, porta, impianto, ecc.) ulteriori caratteristiche utili alla migliore compressione. Ad esempio, è possibile inserire caratteristiche prestazionali dell'involucro, di peso, di volume, di controllo della manutenzione e tante altre ancora necessarie per il soddisfacimento del progetto eliminando le criticità legate agli operatori. In questa variante, infatti, il numero di operatori non risulta più una criticità in quanto si sta utilizzando un modello comune con la possibilità di interrogare il modello senza dover aspettare risposte o variazioni dai singoli professionisti.

Diventa quindi, la molteplicità di professionisti un punto di forza e non più un ulteriore rallentamento del processo inoltre permette di concentrarsi solo sulle diverse soluzioni proposte e non su come le proposte possano influire il processo.

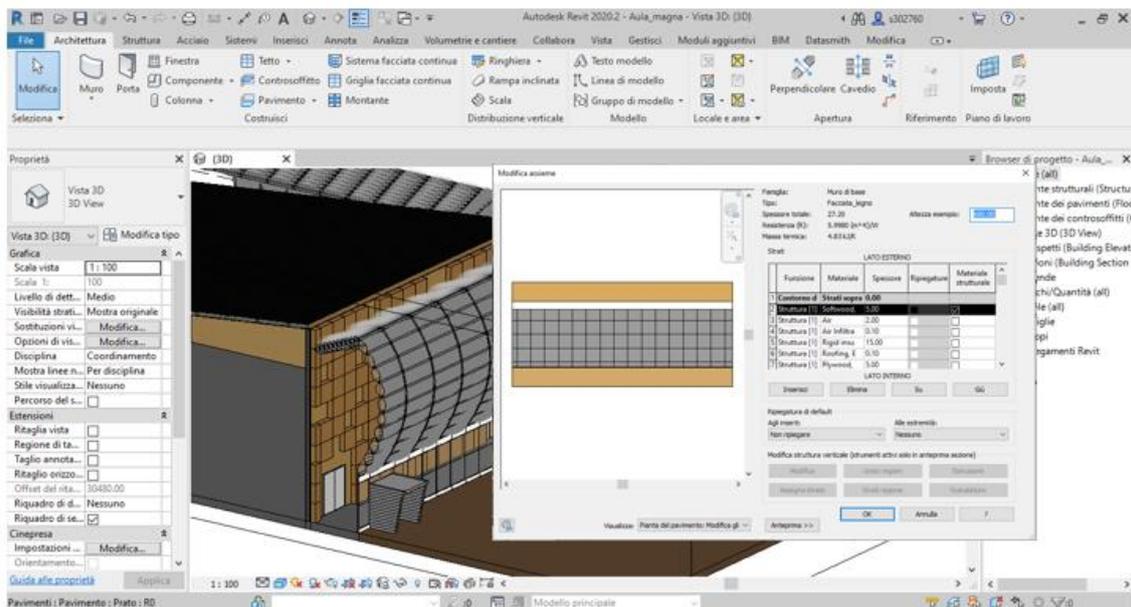


fig.26 Proprietà del Modello Revit.

### Ottimizzazione costi, tempi e risorse

Il BIM permette ai progettisti di ridurre i tempi di redazione dei progetti, limitare gli errori, di rispettare le scadenze stimate con la conseguente riduzione di costi, tempi e risorse. Questo è favorito da un processo collaborativo del team di progettazione, questo tipo di pianificazione favorisce l'ottimizzazione dell'intero flusso di lavoro e di tutte le risorse impiegate aumentando anche il rendimento dell'investimento, più veloci sono i progetti e prima è possibile utilizzarli. Si stima una riduzione dei tempi di realizzazione di progetti BIM fino al -27% rispetto a quelli tradizionali. Il risparmio del tempo si traduce in risparmio economico. L'impiego del BIM, infatti, ha dimostrato un abbattimento dei costi totali del progetto compresi tra il 5 e il 20%. Se per effettuare la programmazione secondo l'approccio tradizionale bisogna avere in mente quali saranno le procedure operative da poi adottare solamente in un secondo momento. La creazione del modello BIM richiede l'applicazione immediata di tale sequenza, sarà così possibile successivamente ottenere informazioni sull'analisi dei tempi e sulla sequenza di costruzione dei componenti interessati. Per esempio, la stratigrafia dei pavimenti verrà modellata nell'ordine in cui verrà realizzata in cantiere. Questo permette sia di avere già in fase di progettazione la definizione delle sequenze di montaggio, ma anche di verificare eventuali interferenze spaziali (passaggio di impianti) che con la definizione tradizionale (sezione tipo di stratigrafia di solaio), non sarebbe stato possibile evidenziare.

### Controllo delle interferenze e minimizzazione degli errori di progettazione

La digitalizzazione del modello di progetto permetta anche la sovrapposizione dei modelli specialistici generati da diversi tecnici e indispensabili per comunicare tutte le informazioni necessarie per la costruzione. Nel modello 3D è possibile evidenziare in modo chiaro eventuali errori progettuali ed interferenze che altrimenti si sarebbero scoperte solo in fase esecutiva.

Le interferenze spaziali sono da sempre una delle criticità all'interno del progetto edilizio e quindi del processo in generale. Se pensiamo alla realizzazione di complessi per uffici dove le componenti impiantistiche, architettoniche e strutturali sono di notevole importanza, la loro gestione spaziale diventa altamente articolata. È necessario sovrapporre diversi impianti, che devono attraversare eventuali componenti strutturali ed evitare di incidere sul lato estetico dell'edificio. Tutto ciò assume un ruolo fondamentale anche nel piano di montaggio e nella programmazione delle attività, perché la non definizione o risoluzione in fase progettuale di un'interferenza spaziale di due componenti, genera nel cantiere dei ritardi e complessità tecnologiche. Autodesk Navisworks è uno dei software di project review più volte

citato in precedenza. Attraverso questo programma è possibile revisionare tramite un modello tridimensionale i dati integrati assieme agli operatori coinvolti, garantendo un controllo più efficace delle interferenze spaziali. Inoltre, il software permette di gestire la quarta e quinta dimensione del modello (tempi e costi), realizzando così la simulazione di pianificazione, di costruzione e logistica della realizzazione dell'opera (anche con animazioni che rendono più comprensibile il problema) e consentendo di elaborare computi, diagrammi di Gantt e strumenti tipici della pianificazione e programmazione.

### Supporto alla progettazione sostenibile

Il BIM può contribuire a progettare edifici più sostenibili, consentendo una migliore valutazione e ottimizzazione delle prestazioni energetiche, idriche e ambientali. Garantire la sostenibilità della progettazione e della gestione del ciclo di vita di un edificio richiede la creazione, l'integrazione e la gestione di un gran numero di informazioni aggiuntive. In quest'ottica risulta quindi necessario utilizzare soluzioni informatico-tecnologiche efficienti, quali il BIM, per rispondere alle maggiori esigenze informative.

### Maggiore competitività e qualità del progetto

L'insieme dei vantaggi del BIM si traduce in un salto qualitativo del progetto e di tutte le sue attività correlate. Il BIM è sicuramente in grado di generare un valore aggiunto e aumentare la competitività. Chi utilizza il BIM sarà sempre più avvantaggiato perché la sua offerta sarà più convincente.

## Curva di MacLeamy

A dimostrare ciò nel 2004 fu Patrick MacLeamy, Architetto Americano, presidente ed ex amministratore delegato di HOK.

Le quattro curve, di seguito rappresentate su un piano cartesiano le cui ordinate riportano lo "Sforzo/Efficacia" impiegato e le ascisse l'intero iter progettuale dalla fase di concezione alla fase di gestione, descrivono:

- L'efficacia delle azioni, ovvero la capacità di impattare sul processo edilizio. Come è intuibile, tale capacità è massima nelle prime fasi di progettazione e con andamento decrescente procede verso la fase di gestione;
- L'andamento dei costi derivanti da un'eventuale variante progettuale. In questo caso la curva presenta un andamento completamente opposto rispetto a quello della curva delle azioni. Modifiche progettuali sostenute nelle prime fasi di progettazione presentano costi minori rispetto a quelle in fase di costruzione e successive;
- Il Processo Progettuale Tradizionale;
- Il Processo Progettuale BIM;

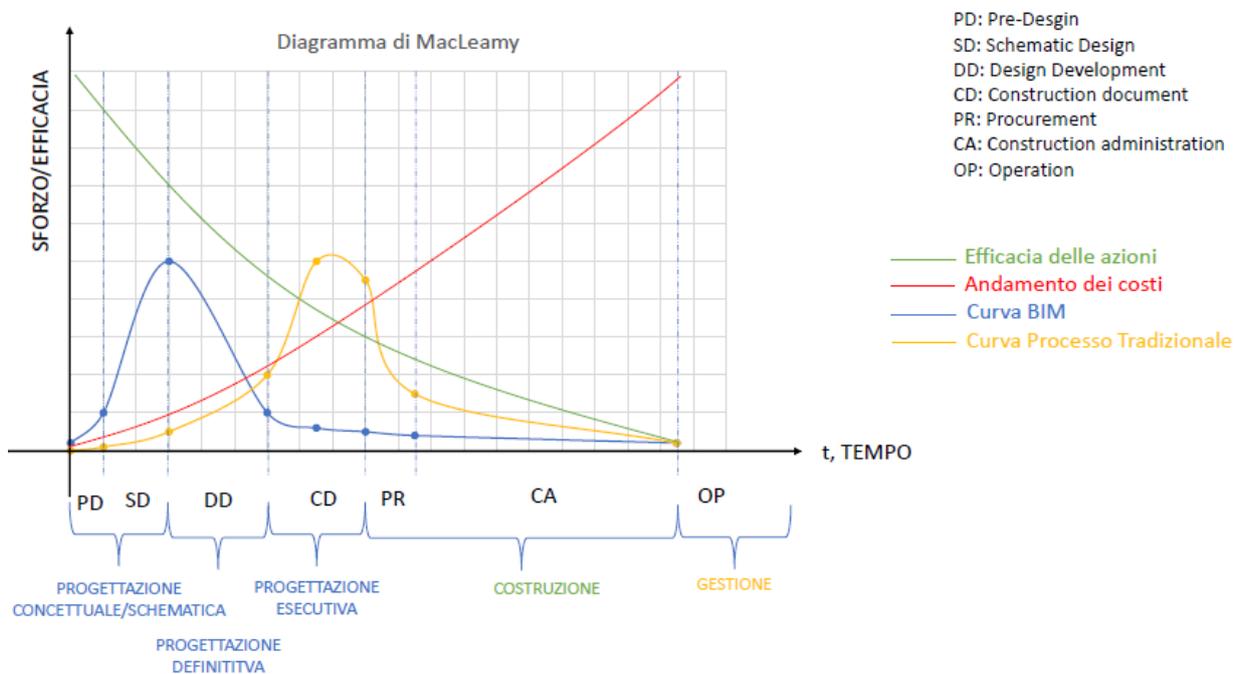


fig.27 Curva di MacLeamy.

Come mostra il grafico, nel processo tradizionale, dove tutto il progetto viene disegnato in CAD, man mano che si procede con le fasi della progettazione lo sforzo è sempre maggiore si nota un picco di attività e di sforzo nella fase (Construction Documentation CD) di redazione degli elaborati esecutivi e dei documenti di costruzione; fase in cui i costi da sostenere per le varianti progettuali e l'efficacia di intervenire per le modifiche si incontrano e trovano un punto di pareggio.

Invece, adoperando con la metodologia BIM, come mostra la curva ad essa relativa, che presenta il suo picco di sforzo massimo tra la fase di (Schematic Design SD e Design Development DD), tradotto in italiano sono le fasi di Progettazione Preliminare e Progettazione Definitiva. Con la metodologia BIM impiegando uno sforzo maggiore nelle fasi di pre-progetto, si è in grado di avere un maggiore controllo sulle varianti e sui costi sostenuti in caso di varianti, dove appunto le due curve sono ancora lontane tra loro e di ridurre gli sforzi nelle fasi successive del progetto.

Dunque, spostare le risorse in fase pre-progettuale può generare un elevato valore progettuale dato principalmente dall'anticipazione di alcune decisioni che altrimenti, seguendo la metodologia tradizionale, si sarebbero dovute affrontare in fasi successive e quasi sicuramente avrebbero comportato un aumento dei costi.

Per quanto il BIM sia una metodologia rivoluzionaria, molti professionisti continuano a lavorare con i metodi tradizionali piuttosto che sfruttare i benefit che questa metodologia offre. Effettivamente, cambiare la normale prassi lavorativa modificando anche la tecnologia utilizzata presenta oltre che numerose resistenze da parte degli stessi professionisti alcuni fattori di carattere puramente pregiudiziale e ideologico.

Queste sono condizioni che in un futuro non troppo lontano si potrebbero realmente verificare. Di fatto, la metodologia e il modello BIM possono produrre tutta la documentazione necessaria e contenere tutte le informazioni che qualsiasi attore coinvolto all'interno del processo o del settore AEC necessita ai fini della pianificazione, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione dell'opera. Così facendo, l'intero progetto dell'opera diventa un continuo flusso di lavoro, dal concept fino alla gestione del manufatto senza perdita di informazioni e senza sforzi superflui da parte dei diversi professionisti.

## Analisi critica della curva di MacLeamy

Sebbene la curva di MacLeamy sul BIM parli di un'anticipazione rispetto al processo tradizionale, un maggiore controllo sui costi da sostenere e sull'efficacia di intervenire nel processo, si può vedere dal grafico. Per quanto riguarda invece se sia meglio adottare un processo o l'altro non viene definito e nemmeno quantificato. Per capire se il processo BIM sia migliore di quello tradizionale bisogna quantificare le due curve. La curva nell'asse delle ordinate presenta la quantità SFORZO/EFFICACIA e nell'asse delle ascisse il tempo e le varie fasi del processo. Quindi la prima cosa che è stata quella di andare rappresentare il grafico in forma numerica.

### Quantificazione della Curva

Definizione della formula per determinare le due curve

Nel grafico, nell'asse delle ordinate è riportata la quantità sforzo/efficacia, quindi viene proposta la seguente funzione:

$$f(x) = \frac{SFORZO}{EFFICACIA}(x)$$

Dove  $x$  mi rappresenta il tempo. In questo caso il parametro tempo è stato preso in modo arbitrario. La funzione come si può vedere è una funzione lineare, essendo di difficile determinazione la funzione di grado  $n$  che passi per i punti indicati, per semplificazione è stata scelta in questo modo, successivamente poi verrà rappresentata con una curva per assomigliare a quella proposta di MacLeamy, mentre i valori di sforzo e di efficacia sono delle costanti.

Assegnazione dei pesi allo sforzo e all'efficacia

Per lo sforzo,  $f(x) = SFORZO(x)$  sono stati assegnati dei valori crescenti da 1 a 5 dato che il valore da assegnare si trova al numeratore; 1 dove lo sforzo è minimo e 5 dove lo sforzo è massimo.

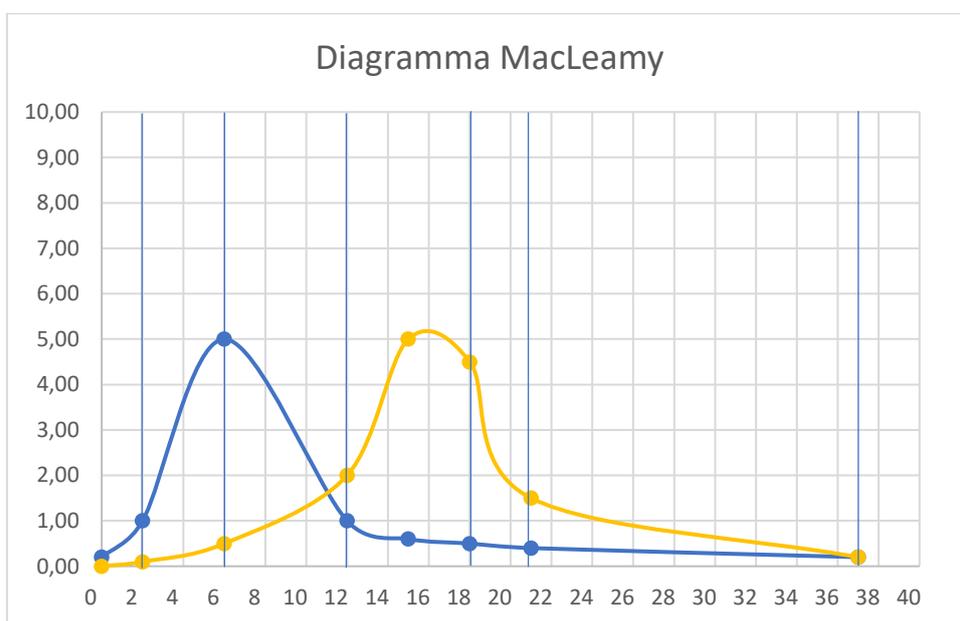
1	2	3	4	5
min				max

Per quanto riguarda l'efficacia invece, essendo al denominatore,  $f(x) = \frac{1}{EFFICACIA}(x)$  il valore massimo si ottiene con numeri piccoli, mentre con numeri alti il valore diminuisce. Quindi sono stati assegnati valori decrescenti da 5 a 1.

1	2	3	4	5
max				min

In base a questi pesi riusciamo a quantificare la curva di MacLeamy, ad esempio nel picco della curva dove abbiamo uno sforzo massimo pari a 5 e un'efficacia massima pari a 1. Il rapporto vale 5. In questo modo, quindi, posso rappresentare sull'asse delle ordinate una scala da uno a cinque e quantificare il valore dello sforzo rapportato all'efficacia. Questo stesso risultato si poteva ottenere anche andando a considerare l'efficacia in maniera crescente come lo sforzo e come massimo valore avrei ottenuto 1 e non 5, ma in un primo momento è stata utilizzata questa scala.

Curva di MacLeamy quantificata



*fig. 28 Diagramma di MacLeamy quantificato in scala da 1 a 5.*

Valori della curva del BIM

Assegnazione dei valori di sforzo e di efficacia alla due curve come visto prima, a numeratore lo sforzo e a denominatore l'efficacia.

Formula per l'interpolazione lineare:

$$\frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} = \frac{(y-y_1)}{(y_2-y_1)}$$

### Fase di PD: Pre-Design

All'inizio della fase lo sforzo e l'efficacia del processo in una fase schematica sono molto bassi: quindi, sono stati assegnati i valori minimi di Sforzo ed Efficacia, rispettivamente 1 e 5. Alla fine di questa fase si presume che si sia realizzato uno schema del progetto con dei volumi che mi rappresentano una bozza dell'idea che sarà il prodotto finale quindi lo sforzo che si impiega la progetto aumenta e inizio a vedere le prime forme (efficace). Andando a scrivere l'equazione della retta che mi interpola i punti ho la seguente equazione:

Tempo	Sforzo/Efficacia
0	1/5
2	3/3

$$\frac{(x-0)}{(2-0)} = \frac{(y-1/5)}{(3/3-1/5)}$$

$$y_{PD} = \frac{2}{5}x + \frac{1}{5}$$

### Fase di SD: Schematic-Design

Nella fase di schematic-design vengono realizzate le prime planimetrie di dettaglio, quali saranno le disposizioni dei locali, il numero di piani e tutte le prime informazioni relative al progetto. Alla fine di questa fase è stato assegnato il valore massimo di sforzo ed efficacia rispettivamente 5 e 1, in modo da poter rappresentare il picco.

Tempo (x)	Sforzo/Efficacia (y)
2	3/3
6	5/1

$$y_{SD} = x - 1$$

### Fase di Design-Development

In questa fase vengono prodotte le relazioni e i progetti definitivi relativi a quello architettonico, strutturale, impiantistiche le prime stime dei costi e della programmazione. In questa fase si nota che la curva scende drasticamente e si sono ottenuti i seguenti valori di sforzo ed efficacia: 4 e 2.

Tempo (x)	Sforzo/Efficacia (y)
6	5/1
12	4/2

$$y_{DD} = -\frac{x}{2} + 8$$

#### Fase di Procurement

In questa fase vengono prodotti gli elaborati relativi alla costruzione, come ad esempio i piani di montaggio e le tavole di dettaglio dei nodi costruttivi. Per rispettare l'andamento della curva i valori di sforzo e di efficacia devono diminuire e sono rispettivamente: 2 e 3

Tempo (x)	Sforzo/Efficacia (y)
12	4/2
18	2/3

$$y_{CD} = -\frac{2}{9}x + \frac{14}{3}$$

#### Fase di Construction-Design

Fase di approvvigionamento dei materiali. In questa fase sono stati assegnati i seguenti valori: 2 e 4.

Tempo (x)	Sforzo/Efficacia (y)
18	2/3
21	2/4

$$y_{PR} = -\frac{x}{18} + \frac{10}{6}$$

#### Fase di Operation

In questa fase non stati calcolati valori i relativi dato che questa è la fase di operatività e tende a infinito.

## 1° Considerazione

Per poter trovare un riscontro con queste curve bisogna assegnare i giusti valori di sforzo ed efficacia a ogni fase del processo, all'inizio della fase e alla fine della fase. In questo modo otteniamo delle rette che mi interpolano la funzione descritta, più il numero di punti sarà alto e più l'approssimazione sarà vicina. Andando ad analizzare la curva del CAD, notiamo che la funzione cresce man mano che le fasi vanno avanti e si ha il picco nella fase di Construction design, per ottenere i valori di picco in questa fase lo sforzo impiegato deve avere il valore massimo e l'efficacia pure quindi abbiamo assegnato i seguenti valori: Sforzo: 5; Efficacia: 1. Il rapporto mi dà come valore 5 ovvero il massimo. Per quanto riguarda invece la curva del BIM, vediamo da subito che il picco è tra la fase di Schematic Design e Development Design. Questi sono gli unici valori di cui abbiamo la certezza, i valori di picco.

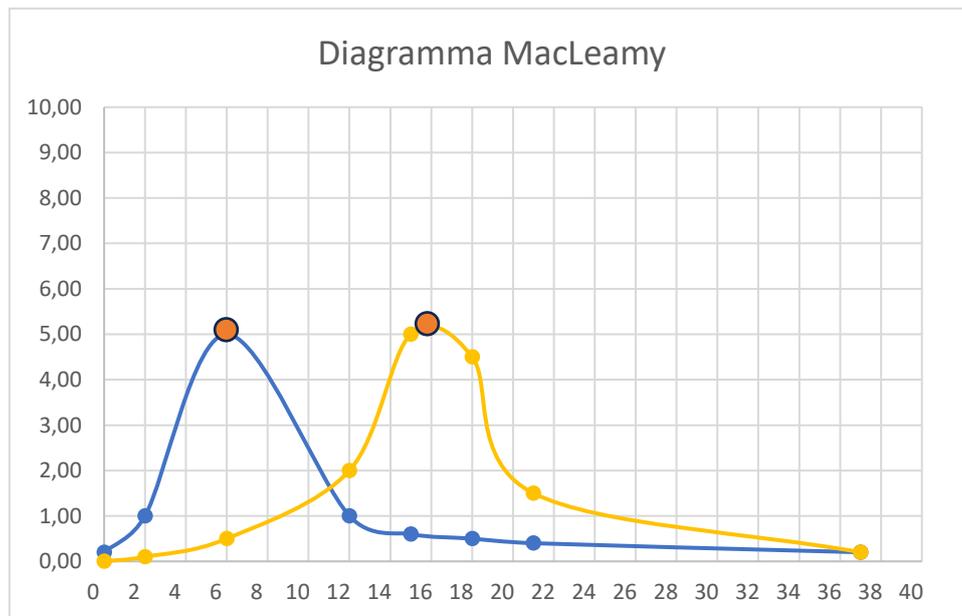


fig. 29 Curva di MacLeamy: valori di picco.

SFOROZO: Max; EFFICACIA: Max.

## 2° Considerazione

Dai dati riportati però si nota che: l'efficacia, una volta raggiunto il picco, i valori diminuiscono, un progetto però non può raggiungere un'efficacia e poi perdere di valore con la successione delle fasi, perché altrimenti non si realizzerebbe e tutte le fasi eseguite fino a prima sarebbero state inutili. Quindi per ogni fase posso avere un valore distinto di efficacia.

### 3° considerazione

Ad esempio, se consideriamo che l'efficacia del progetto sia massima in tutte le sue fasi, per seguire l'andamento della curva, lo sforzo, deve avere un andamento crescente fino al momento di picco e successivamente un andamento decrescente.

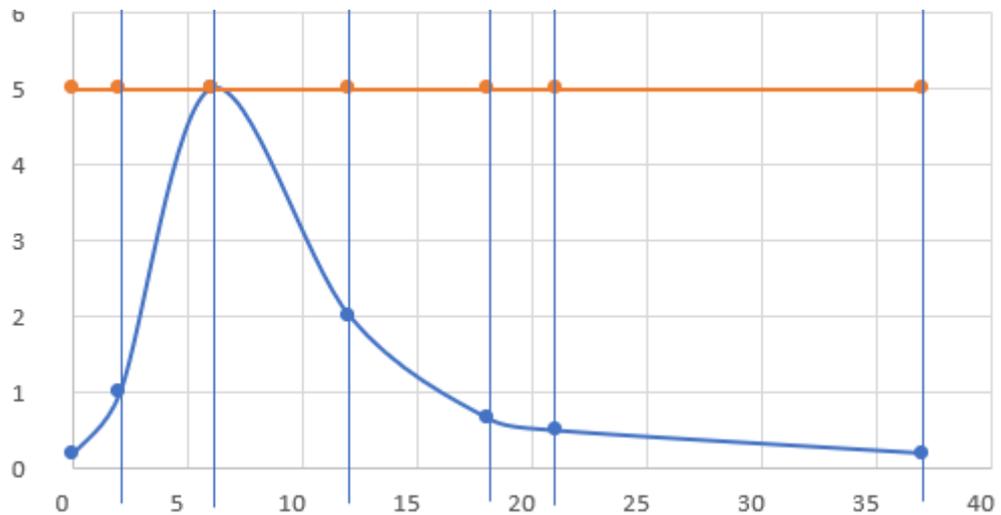


fig. 30 Curva di MacLeamy: efficacia costante e sforzo variabile.

### 4° Considerazione

Possiamo considerare che l'efficacia raggiunga un picco massimo e poi rimanga costante fino alla fine del processo edilizio, mentre lo sforzo abbia un andamento come quello mostrato nella curva.

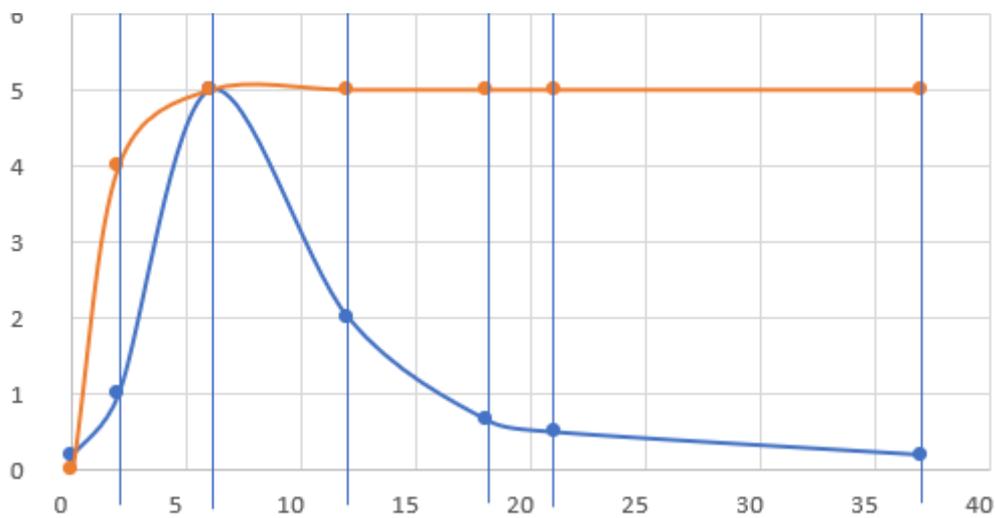


fig. 31 Curva di MacLeamy: efficacia raggiunge valore massimo poi rimane invariata, sforzo variabile.

## Criticità

Praticamente si possono considerare diversi valori di efficacia non esiste un modo univoco che mi permetta di dire se sia efficace o meno. Quindi possiamo affermare che esistono infiniti valori di sforzo ed efficacia che mi permettono di ottenere la curva di MacLeamy. Questo rapporto però sforzo/efficacia non è ancora in grado di quantificarmi se un processo BIM sia più preferibile rispetto ad un processo CAD. Anche andando a calcolare l'integrale delle curve non ci torna utile perché non è ancora chiaro il significato delle curve proposte. Inoltre, le due curve presentano lo stesso valore di sforzo/efficacia anche se questo avviene in due momenti differenti.

## Definizioni

Sforzo:

*Impiego di forze o di energie superiore al consueto nel superamento di un ostacolo o nel raggiungimento di un risultato.*

Sebbene questa definizione si chiara, nella progettazione o, meglio, in un processo edilizio lo sforzo è dato dalle energie impiegate nelle varie fasi e dalle abilità degli stessi intese come monte ore di lavoro e complessità, avremo quindi fasi che richiedo molta più energia per arrivare a un determinato risultato.

Efficacia:

*Capacità di produrre l'effetto e i risultati voluti o sperati.*

In questo caso come efficacia di una metodologia intendiamo i risultati voluti, in ogni fase che viene impiegata una metodologia o l'altra quello che andremo a valutare sarà il risultato che si ottiene.

## Soluzione

La soluzione proposta è quella di andare a scrivere una giusta definizione di sforzo e di efficacia e di intervistare il maggior numero di professionisti che lavorano in questo campo. Saranno fatte domande inerenti al campo del BIM per vedere quali sono le maggiori criticità. Le risposte raccolte serviranno per quantificare al meglio lo sforzo impiegato nelle varie fasi mentre per l'efficacia si cercherà di capire che tipo di ruolo assume nel progetto, se sia rappresentabile con una curva o meno e che tipo di andamento abbia sull'intero processo. Inoltre, è stata chiesta anche agli operatori una valutazione da 1 a 5 di sforzo e di efficacia in modo da andare a rappresentare una nuova curva.

### Criteri e selezione delle persone intervistate

Nella selezione dei professionisti, si è usata la piattaforma LinkedIn, si è andato alla ricerca persone che usassero il BIM nella loro professione, la maggior parte ricopriva il ruolo di BIM specialist architetti/ingegneri altri di BIM specialist MEP, BIM coordinator e BIM consultant, il campione è sparso per le più grandi città italiane come Torino, Milano e Roma e il numero di dipendenti che lavorava in studio era da 12 a 224. È stato intervistato/consultato un numero non molto elevato rispetto al numero di professionisti presenti nel paese, dato che si stima che siano circa 240 mila gli ingegneri iscritti all'albo civile/ambientale e considerando il numero di professionisti non iscritti, questo sarebbe molto alto, è difficile sentire il parere di tutti. La piattaforma ha permesso in modo rapido però di trovare i professionisti che implementassero il BIM nella loro carriera e nei loro lavori. Le domande sono state inviate a più di 100 persone, sebbene non tutti abbiamo risposto circa il 30% è stato disponibile a rispondere. Le domande riguardavano ingegneri edili, civili e ambientali, le domande poste a persone operanti nel campo delle infrastrutture, dove il processo BIM è molto indietro, sono state scartate.

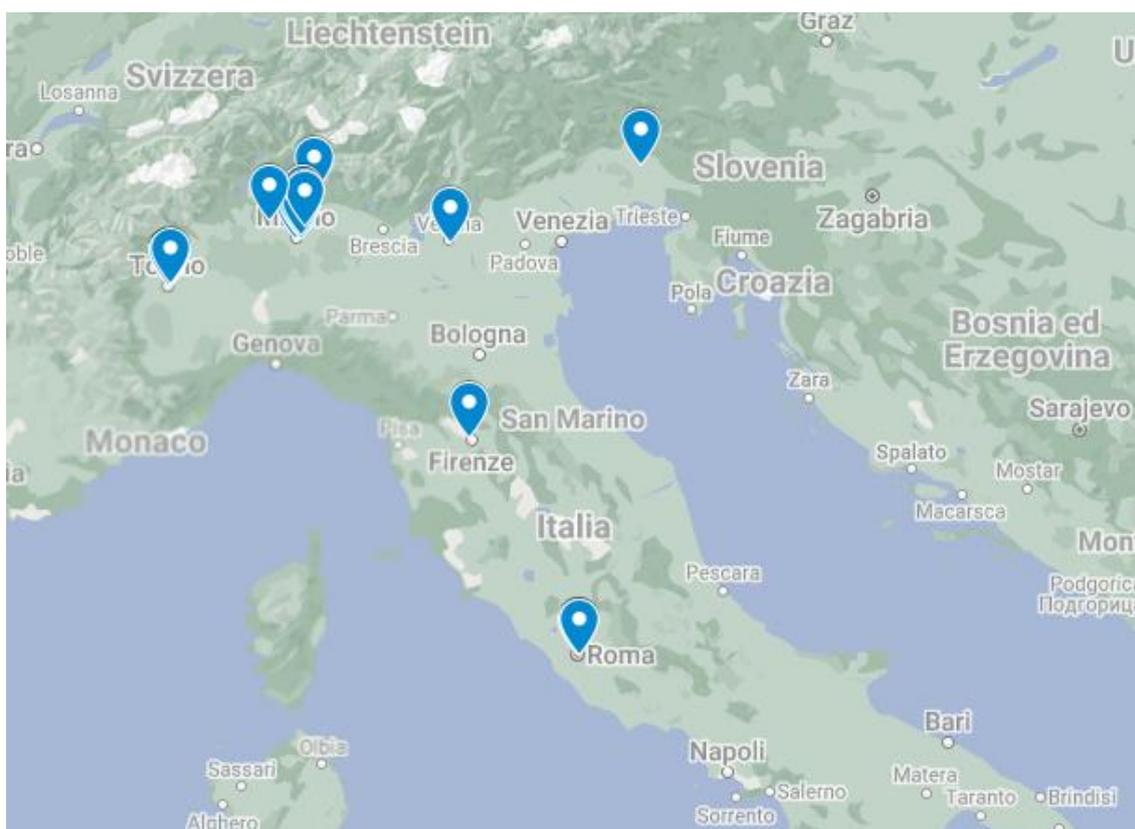


fig. 32 Localizzazione dei professionisti consultati.

La norma UNI 11337-5 mi definisce quali sono le figure per la gestione dei flussi informativi e nei processi digitalizzati quali sono i ruoli e i requisiti del processo di digitalizzazione che mira il parallelismo tecnologico con le PAS inglesi. Si introducono il coordinatore delle informazioni, il gestore delle informazioni e il modellatore delle informazioni il cui corrispettivo internazionale sono rispettivamente BIM Coordinator, il BIM Manager e il BIM Specialist.

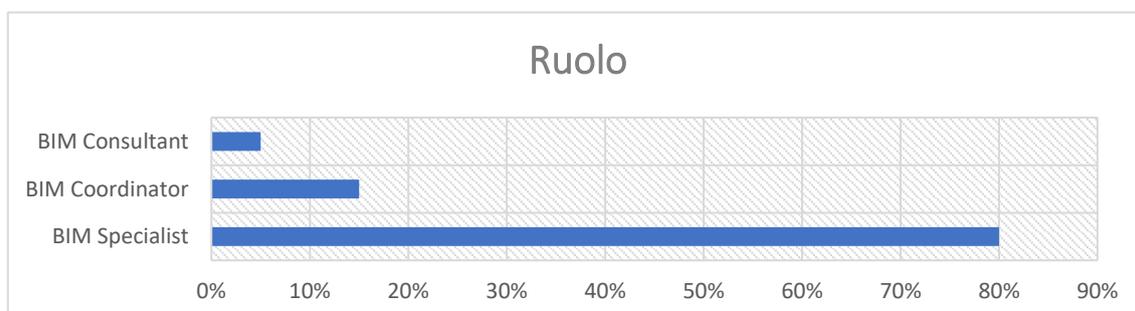


fig.33 Ruolo dei professionisti.

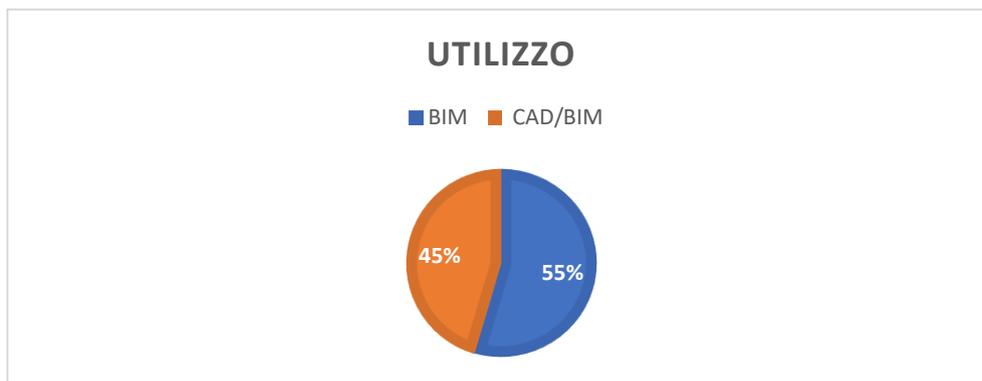
## Quantificazione sforzo/efficacia

Le domande poste agli operatori sono state molto semplici e ognuno era libero di rispondere a suo modo in base alle proprie esperienze in questo settore. Le domande poste miravano per lo più a capire quali fossero le maggiori criticità di questa metodologia e cercare di capire se fosse efficace o meno tale processo, inoltre è stato fatto anche un sondaggio sull'efficacia e sullo sforzo.

### Questionario

#### *1 Se usate il BIM in tutti i progetti o siete in modalità ibrida?*

A questa domanda la maggior parte degli operatori lavora sempre in BIM ma a volte usano il CAD per la creazione degli schemi funzionali oppure per piccoli progetti, molti lavorano in BIM perché è richiesto dalla normativa degli appalti pubblici. Questo dipende molto anche da tipo di ruolo che hanno, però possiamo affermare che tutti utilizzano il BIM.



#### *2 Riuscite a lavorare tutti all'interno di un unico modello condiviso? ovvero architettonico, strutturale, impiantistico, ecc oppure ognuno si prende il file e fa la sua progettazione a parte?*

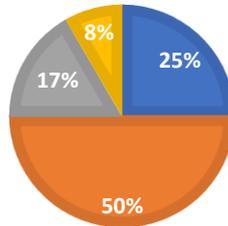
Per piccoli modelli si riesce a lavorare in unico file con la metodologia del worksharing che comprende le varie discipline, mentre per quelli più grandi si creano diversi file per le varie discipline e si utilizzano piattaforme di CME condivisione comune dei dati come BIM360.

#### *3 L'interoperabilità con i software di progettazione strutturale e progettazione energetica funzionano oppure il modello deve essere rifatto nei propri software specifici per avere una relazione?*

Questo è uno degli aspetti principali della metodologia BIM, a questa domanda sono poche le persone che riescono a trasferire i dati e le geometrie da un'ambiente all'altro, molti invece preferiscono rifare i modelli sui software specifici e il lavoro BIM viene eseguito in base ai loro input soprattutto per progetti molto grandi perché la lettura degli IFC non è ottimale.

## INTEROPERABILITÀ - FASE PROGETTAZIONE

■ Funziona sempre  
■ Vengono rifatti  
■ Non è ottimale  
■ Vengono realizzati da studi esterni

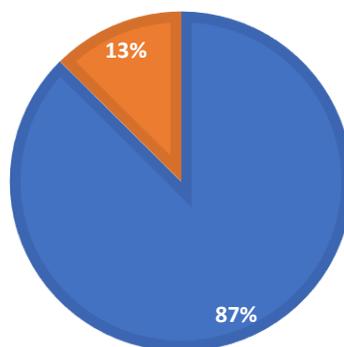


*4 Il BIM risulta efficace nella fase di costruzione? e gli esecutivi sono facili da rappresentare oppure fate un misto tra BIM e CAD?*

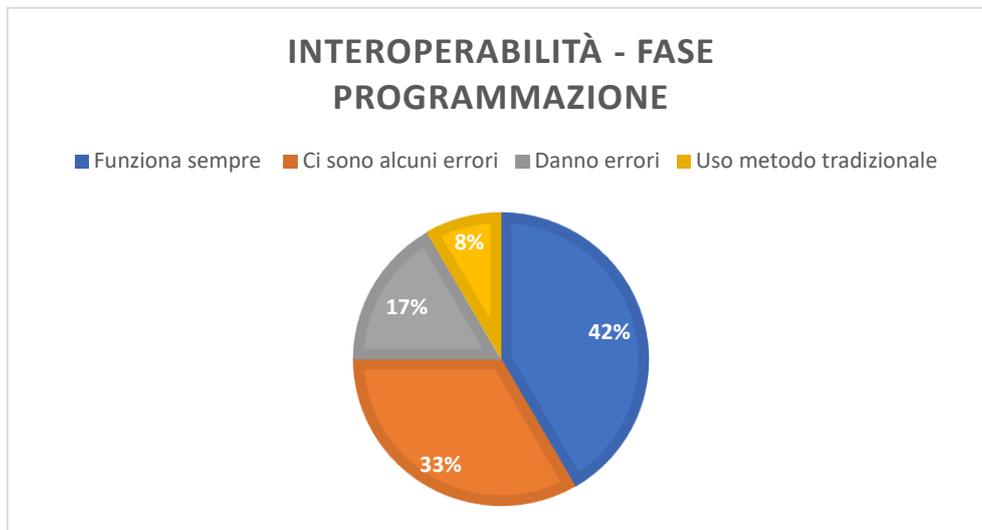
Mentre per quanto riguarda le tavole esecutive al 50% si fanno in BIM e al 50% Misto CAD/BIM.

## EFFICACIA BIM - FASE DI COSTRUZIONE

■ si ■ no

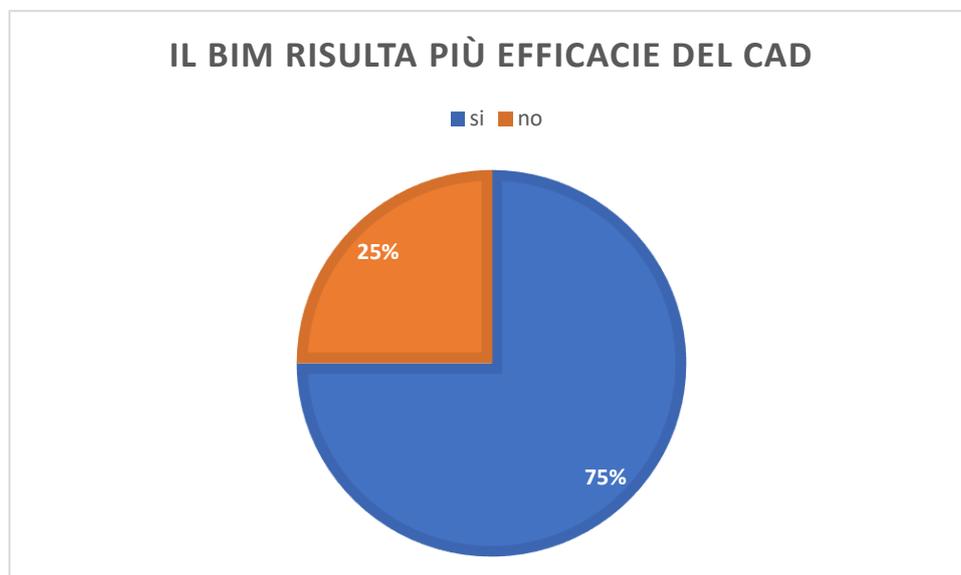


5 L'interoperabilità con altri software, ad esempio, Primus per il computo metrico e Naviswork (o simili) per la programmazione dei lavori funzionano bene o ci sono molti errori?



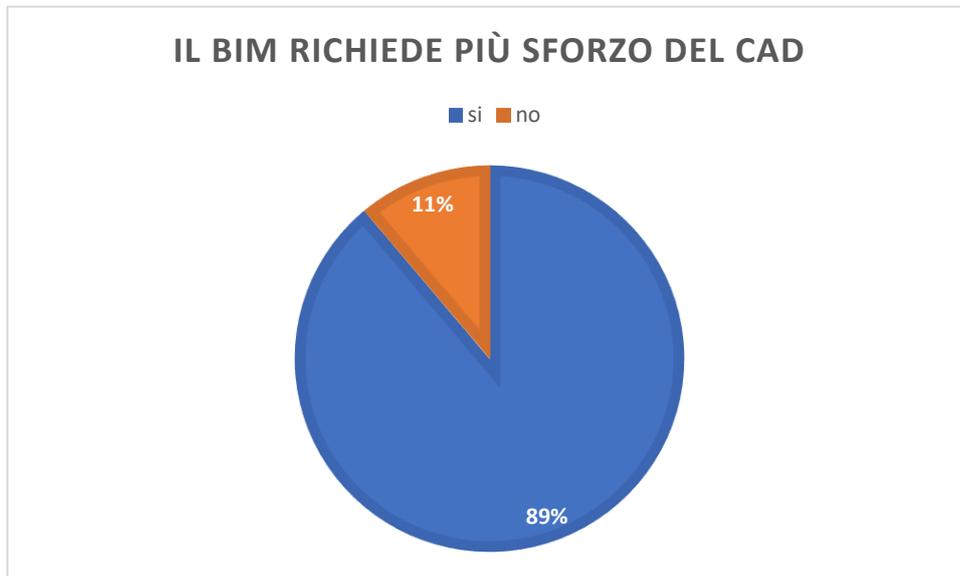
6. Il BIM risulta più efficace del CAD?

“Si il BIM permette di gestire il modello in maniera molto più facile del CAD”.



### 7. Il BIM richiede più sforzo del CAD?

*“Richiede uno sforzo maggiore per il modellatore ma nel complesso il lavoro sul progetto diventa più efficiente”.*



### Sondaggio

Quantificare da 1 a 5 (1 min; 5 max) quanto sia lo sforzo (inteso come complessità, ore di lavoro) implementando la metodologia BIM e l'efficacia delle azioni nelle seguenti fasi del processo edilizio:

- **Progettazione Preliminare**
  - SFORZO:
  - EFFICACIA:
- **Progettazione Definitiva**
  - SFORZO:
  - EFFICACIA:
- **Progettazione Esecutiva**
  - SFORZO:
  - EFFICACIA:

- **Programmazione dei lavori**
  - SFORZO:
  - EFFICACIA:
- **Realizzazione dell'opera**
  - SFORZO:
  - EFFICACIA:
- **Gestione dell'opera (intesa come piani di manutenzione)**
  - SFORZO:
  - EFFICACIA:

SFORZO	Prog. Preliminare	Prog. Definitiva	Prog. Esecutiva	Progr.	Costruzione	Gestione
MEDIA:	3,0	3,2	4,2	3,6	4,2	2,6

*fig.34 Media dei voti di Sforzo.*

EFFICACIA	Prog. Preliminare	Prog. Definitiva	Prog. Esecutiva	Progr.	Costruzione	Gestione
MEDIA:	4,2	4,0	4,4	4,4	4,6	4,4

*fig.35 Media dei voti di Efficacia.*

## Nuovo diagramma di sforzo/efficacia

Le risposte e i sondaggi ottenuti hanno permesso di poter graficizzare una nuova curva del BIM. La curva ci permette di vedere come varia lo sforzo, come varia l'efficacia e l'andamento della nuova curva proposta ovvero lo sforzo rapportato all'efficacia. La curva viene rappresentata qui sotto. I valori ottenuti rappresentano una media aritmetica.

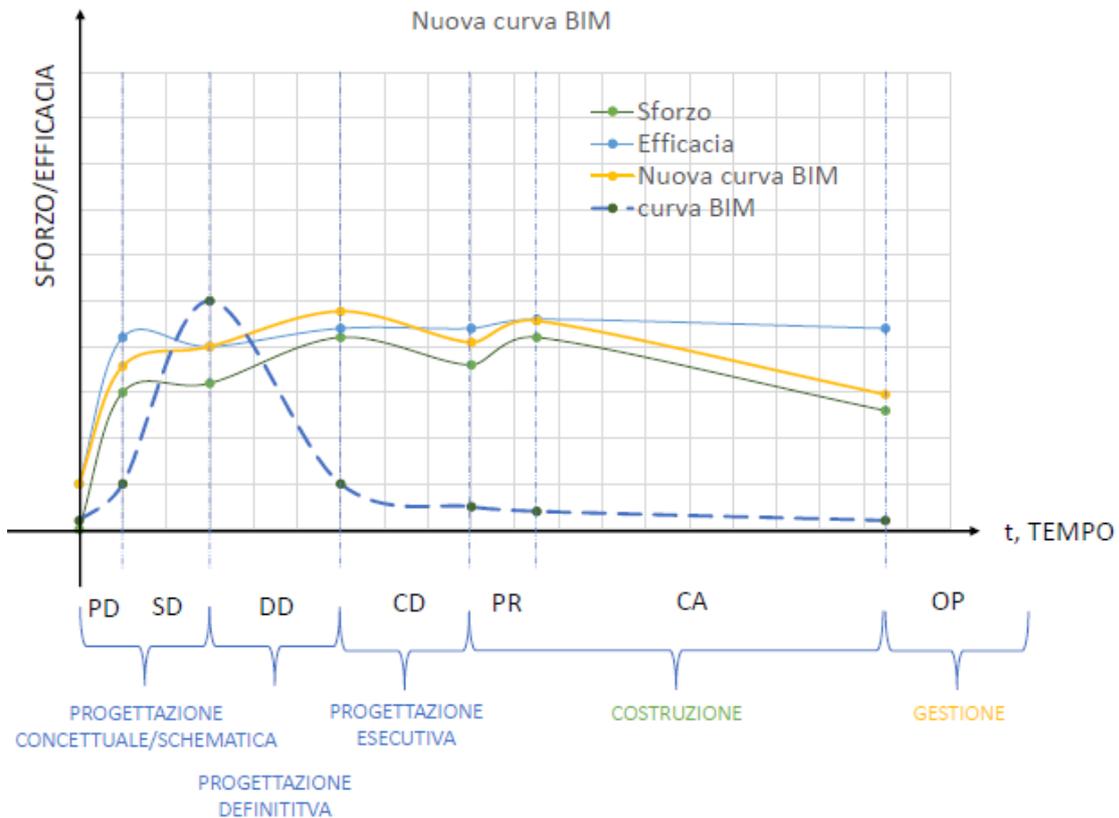


fig.36 Nuovo diagramma.

Da questo grafico quindi possiamo iniziare a dedurre le prime informazioni. Se ci focalizziamo sui risultati di colore giallo che rappresentano la quantità Sforzo su Efficacia, notiamo che questa differisce molto da quella proposta da MacLeamy (quella tratteggiata in blu), la nuova curva presenta due picchi, uno tra la fase di Progettazione Definitiva e quella Esecutiva e l'altra tra quella di Programmazione e Costruzione, mentre in quello proposto da MacLeamy abbiamo solo un picco tra la fase Schematica e quella Definitiva poi il resto è tutto in discesa, inoltre non si raggiunge mai il valore massimo nel grafico ovvero 5.

Per quanto riguarda l'efficacia, questa assume un valore pressoché costante e quindi possiamo affermare che sono gli sforzi a determinarci l'andamento della curva.

## Conclusioni analisi critica dei due processi

Come abbiamo visto prima, l'efficacia del processo in BIM ha un andamento pressoché costante su tutte le fasi del progetto. Inoltre, il BIM risulta molto più efficace del CAD però questa quantificazione è di difficile determinazione. Si potrebbe quindi assegnare un valore costante di efficacia dei due processi, quello in BIM ovviamente maggiore di quello del CAD ma non si sa con certezza di quanto sia il distacco.

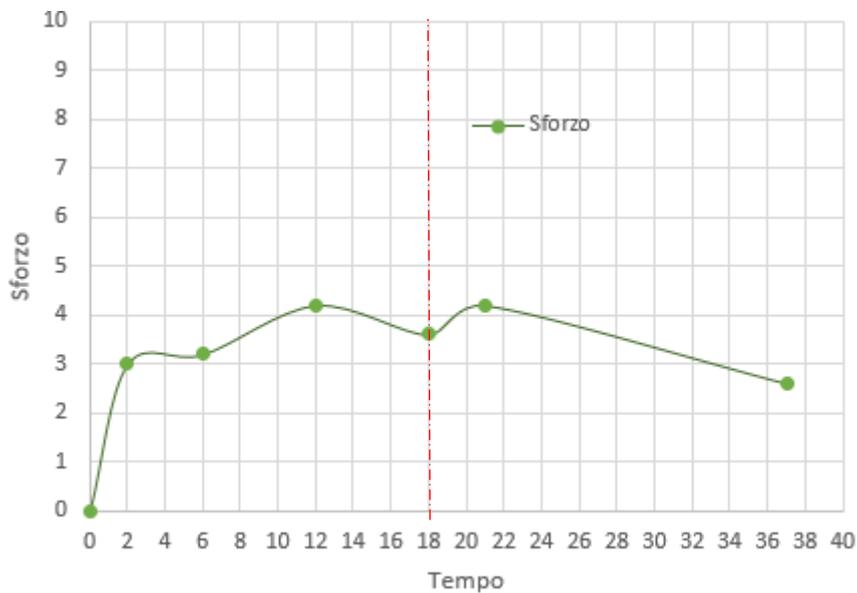
Mentre per quanto riguarda lo sforzo è emerso che il processo in BIM richieda più sforzo, questo sforzo vede diversi picchi nelle fasi del processo. Il primo che, come visto, scosta da quello descritto da MacLeamy e si trova tra la fase di Progettazione Definitiva e Progettazione Esecutiva, questo è dato dalle criticità che i modelli BIM hanno nella fase di Progettazione Definitiva. Spesso l'interoperabilità tra i vari software risulta difficile da applicare e il passaggio di file in formati aperti non è sempre ottimale; pertanto, portano i progettisti a dover rifare il modello. Questo aspetto ovviamente può essere migliorato con il passare degli anni e con la formazione adeguata periodicamente, sebbene invece l'inserimento di informazioni all'interno del modello sia abbastanza immediato e non molto complicato, quando si passano le informazioni da un software all'altro, questo dipende molto dal tipo di software che si va ad usare, se ad esempio usiamo un software della stessa casa madre, questo nella maggior parte dei casi funziona bene, mentre con altri software si riscontrano spesso problemi. Anche se si sta cercando di ovviare a questo limite con formati di tipo open, un altro aspetto che influisce molto in questa fase, è che spesso parte del progetto definitivo, viene eseguito da studi esterni associati, che non implementano la metodologia BIM e quindi forniscono solo input per il progetto rendendo così abbastanza macchinoso il processo andando a dover inserire le informazioni nel modello BIM. Anche se questo picco è un po' discostato e differente dalla curva di MacLeamy successivamente al momento di picco segue un andamento decrescente come quello di MacLeamy. Un altro punto critico che è emerso e che si trova nella fase di costruzione in quello proposto da MacLeamy non era mai emerso, qui tutte le persone intervistate hanno dato quasi sempre il valore massimo di sforzo o valori molto alti. Nella curva di MacLeamy successivamente alla fase di progettazione lo sforzo ha un andamento drasticamente decrescente. Il picco che viene evidenziato nella nuova curva non è un valore errato, ma è dato dalle variazioni che vengono proposte dalle imprese esecutrici, in questa fase cambiano gli attori in gioco, perché non dimentichiamo che l'obiettivo dell'impresa esecutrice è quello di minimizzare i costi e le risorse. Ad esempio, l'impresa potrebbe fare demolizioni differenti a quelle previste, quindi potrebbe variare il progetto e richiedere dei nuovi progetti. Questi sforzi però non possono più essere aggiunti alle fasi precedenti una volta terminate e quindi vengono

impiegati in questa fase anche se si tratta di progettazione, questo inoltre è indipendente dalla metodologia usata, se BIM o CAD.

Ora siamo in grado di quantificare gli sforzi tramite l'integrale della sola curva degli sforzi di un progetto identico con le stesse tempistiche di progettazione e costruzione. Quindi rispettivamente verrà calcolato lo sforzo di un progetto BIM e lo sforzo di un progetto in CAD facendo un'ultima considerazione per l'efficacia del processo tradizionale dato che non siamo riusciti a quantificarla.

Andando a calcolare l'integrale della nuova curva degli sforzi del BIM otteniamo:

$$\int_{PD}^{OP} Sforzo_{BIM}(x)dx = 121.75;$$



*fig.37 Integrale Sforzi BIM.*

Assegnando invece alla curva del CAD un'efficacia pari ad 1 il grafico degli sforzi mi assume lo stesso andamento di quella descritta da MacLeamy e quindi è possibile quantificarli e calcolare l'integrale ottenendo:

$$\int_{PD}^{OP} Sforzo_{CAD}(x)dx = 54.75;$$

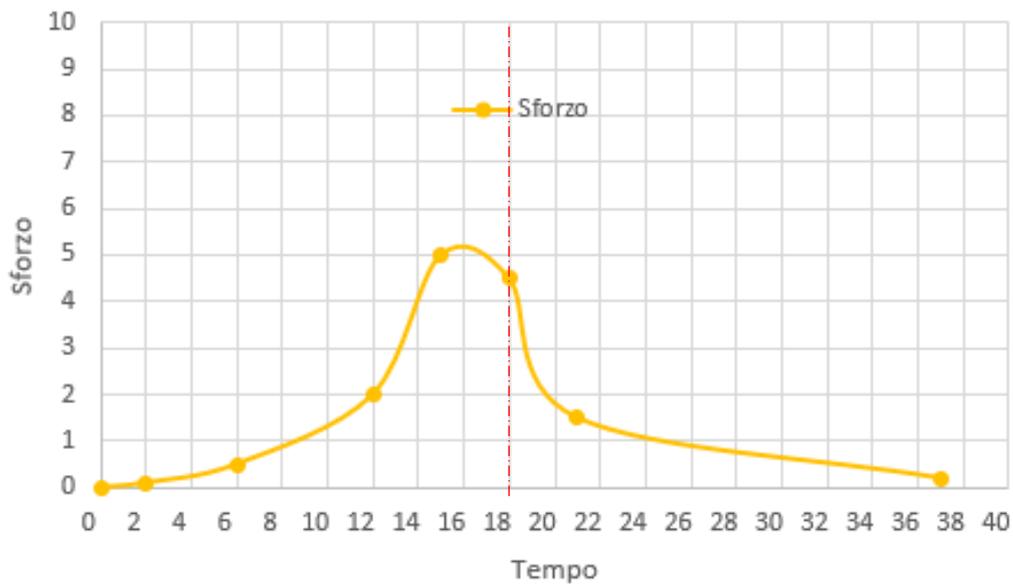


fig.38 Integrale Sforzi CAD.

Che in percentuale si ha una differenza di:

$$100 - \frac{54.75}{121.75} \cdot 100\% = 55\%$$

La percentuale se tradotta in costi implica un aumento di circa il 50% rispetto al processo tradizionale, questo risulta molto alto, infatti, se ad esempio un'opera ha un costo totale di 1 mil di euro eseguita con un processo tradizionale in BIM il costo sale 1,5 mil di euro (non convenevole).

La percentuale risulta così alta, perché contiene anche le varianti di progetto (il secondo picco) che non viene considerato in quello del processo tradizionale CAD. Inoltre, il nuovo codice degli appalti premia chi utilizza il processo BIM del 10% sul costo di progettazione. Quindi a questo punto per il calcolo degli sforzi si è deciso di scorporare la parte di costruzione e gestione andando a considerare solo la parte di progettazione si ottiene:

$$\int_{PR}^{OP} Sforzo_{BIM}(x)dx = 58.5;$$

$$\int_{PD}^{OP} Sforzo_{CAD}(x)dx = 33;$$

Che in percentuale si ha una differenza di:

$$100 - \frac{33}{58.5} \cdot 100\% = 43.6\%$$

Questo valore è ancora molto lontano da quello proposto dalla normativa, il problema potrebbe essere che nelle prime fasi, quella di progettazione schematica ci sia un andamento esponenziale del processo in BIM e non graduale. Questo in effetti non viene mai dimostrato a differenza degli altri risultati il perché sia così. Se consideriamo invece un andamento più morbido in questa fase sino a quella di picco si ottiene una differenza percentuale di: 25%

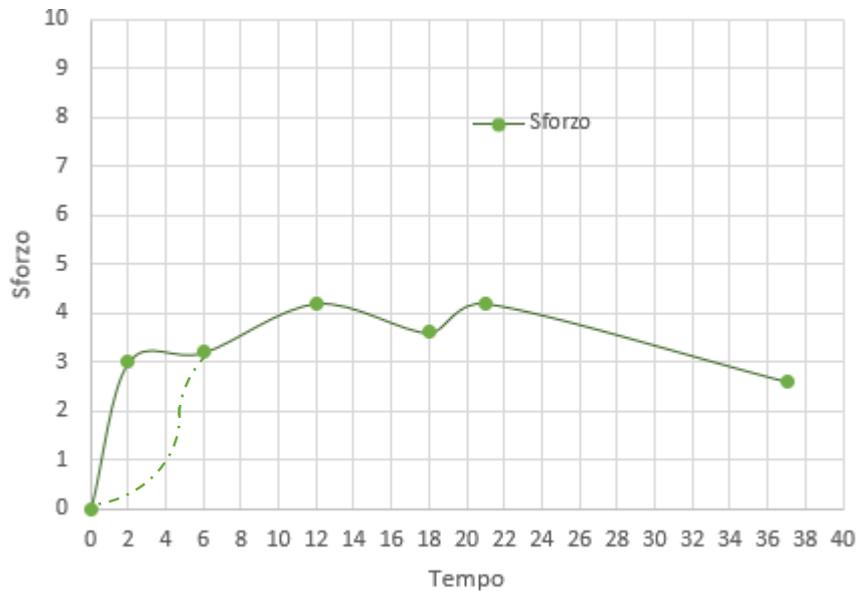


fig.39 Semplificazione Integrale Sforzi BIM.

Un altro fattore di criticità riscontrato è quello della mancanza di informazione, sebbene esistano molte norme sull'utilizzo del BIM non esistono dei veri e propri standard inclusi direttamente nel software. Molti studi di progettazione fanno fatica a trovare del personale qualificato ad utilizzare tale metodologia, approcciarsi con la metodologia BIM richiede un'elevata consapevolezza tecnica rispetto a quella per l'uso del CAD, si richiedono delle figure altamente specializzate che si occupino principalmente di disegnare flussi metodologici e ottimizzare i software. Il nuovo mutare della tecnologia e dei prodotti dell'edilizia è sempre più vasto e i produttori non forniscono oggetti BIM completi e dettagliati. Inoltre, il BIM richiede costi di implementazione molto alti.

Per quanto il BIM sia una metodologia rivoluzionaria, molti professionisti continuano inflessibili a lavorare con i metodi tradizionali piuttosto che sfruttare il ventaglio di benefit che questa metodologia offre. Come regola generale al fine di adottare una nuova tecnologia o processo, la chiave è di "abbracciare" le tecnologie disponibili.

Quindi se sia meglio utilizzare il BIM o il CAD non si riesce a dare una risposta certa, sicuramente il BIM risulta più efficace del CAD e permette di fare molte più cose, ma come visto richiede uno sforzo maggiore, questo sforzo ovviamente è dato dalla complessità dei programmi BIM, inoltre utilizzando tale metodologia la normativa premia del 10% in più la parcella dei progettisti, quindi sta a discrezione del progettista se implementare tale metodologia o no, a meno che non sia richiesta.



## Ringraziamenti

Ringrazio la mia famiglia per avermi sostenuto in questi anni, soprattutto negli ultimi anni di studio in università, ringrazio mia madre mio padre e mio fratello.

Ringrazio tutti i professori che ho avuto in passato che mi hanno preparato e istruito fino ad oggi, da verso la fine delle scuole superiori fino all'università in cui sono maturato, trasmettendomi la loro passione e la loro esperienza, ringrazio soprattutto i professori Fabio Manzone e Maurizio Bocconcino per avermi portato alla concezione e conclusione di questa tesi che inizialmente mi sembrava un loop senza uscita ma sono riusciti a darmi molti consigli utili su come svolgerla al meglio.

Ringrazio tutti i miei amici dell'università con cui ho svolto molti progetti, condiviso molte idee e imparato tantissime cose nonostante per alcuni l'unico obiettivo era quello di prendere solo il voto massimo.

Ringrazio anche tutti gli altri miei al di fuori dell'università, con cui alcuni sono cresciuto altri sono arrivati dopo e che mi sarebbe piaciuto avessero fatto anche loro un percorso universitario come il mio, ringrazio gli amici che ho conosciuto facendo il pendolare tra Novara e Torino che con la pioggia e con il freddo non ci siamo mai fermati e lamentati.

Con questa tesi ho rappresentato il traguardo di una nuova partenza verso la carriera professionale dove spero di essere ben visto e valutato grazie alle mie conoscenze di base e di migliorare sempre con il passare degli anni.

## Bibliografia

Bocconcino M., Del Giudice M., Manzone F., **Il Disegno e l'ingegnere - Il disegno e la produzione edilizia tra tradizione e innovazione**, Levrotto & Bella editore, Torino, 2016.

Del Giudice M., **Il disegno e l'ingegnere – BIM handbook for building and civil engineering student**, Levrotto & Bella editore, Torino, 2019.

MacLeamy P. **Design a World-Class Architecture Firm**, The Effort Curve pp 189-196, John Wiley & Sons, Inc editore, NJ, USA, 2020.

Lu, W., Fung, A., Peng, Y., Liang C., Rowlinson S., **Demystifying Construction Project Time–Effort Distribution Curves: BIM and Non-BIM Comparison**, Journal of management in engineering, Vol.31 (6), articolo di giornale, 2015.

Holzer D., **The BIM manager's handbook. EPart 6, Excelling your BIM efforts : guidance for professionals in architecture, engineering, and construction**, Chichester editore, West Sussex, England, 2015.

Alreshidi E., Mourshed M., Rezgui Y., **Factors for effective BIM governance**, Journal of Building Engineering, Vol.10, p.89-101, articolo di giornale, 2017.

<https://www.treccani.it/vocabolario/processo/> [10/10/2023]

<https://www.a-sapiens.it/bim/news/cosa-e-bim-ne-un-software-ne-un-programma-ma-una-metodologia/> [10/10/2023]

[Lo stato dell'arte del BIM nel mondo - Obblighi e Standards accelerando l'adozione della digitalizzazione - NTI-NKE Autodesk Platinum Partner \(nke360.com\)](#) [10/10/2023]

<https://biblus.acca.it/focus/le-dimensioni-del-bim/> [10/10/2023]

[Il blog sul BIM e sui software per l'edilizia \(acca.it\)](#) [10/10/2023]

<https://www.letitbim.it/i-vantaggi-del-bim/> [10/10/2023]

<https://www.a-sapiens.it/bim/news/normativa-bim-uni-11337> [10/10/2023]