

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Architettura, Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi



# La preventivazione sintetica multi-parametrica in ambiente BIM: un approccio dinamico al problema

Relatore:

Prof. Alberto Pavan

Controrelatore:

Ing. Arch. Giampiero Brioni

Tesi di:

Daniele Voci

952665

Anno accademico 2021/2022



# Abstract

[Versione italiana]

Nella più diffusa prassi progettuale è ormai fondamentale preventivare, fin dalle prime fasi, il costo di fabbricazione dell'opera.

La stima in oggetto si basa su un livello di dettaglio informativo del fabbricato molto modesto, ma si può comunque concordare che, anticipando il più possibile quest'ultima, perfezionandola, rendendola più prossima possibile al valore reale della costruzione e anticipando le decisioni prese dai principali stakeholders dell'intervento, si può ottimizzare economicamente e operativamente il processo di progettazione, andando a ridurre al minimo il rischio di eventuali varianti.

Il cost engineer, che si occupa di questa analisi, deve avere a disposizione una metodologia che gli permetta di garantire con dinamicità la realizzazione di un modello operativo di preventivazione, e allo stesso tempo, consentire di valutare con velocità e sicurezza eventuali varianti richieste dal cliente.

Il metodo descritto, sfruttando il *Building Information Modeling* e un linguaggio di programmazione visiva come *Dynamo*, permette di giungere alla elaborazione di un preventivo sintetico, dinamico e multi-parametrico. Ovvero, si tratta di una stima non analitica, che sia flessibile alla ricezione di diverse casistiche e che possa valutare più parametri di carattere geometrico, tecnologico ed economico dell'edificio, aiutando il professionista velocizzando, standardizzando e controllando la processazione del costo finale dell'opera.

# Abstract

*[English version]*

In the most common design practice it is essential to estimate the construction cost of the building at an early stage.

The estimate in question is based on a modest level of information detailing the building, but it can nevertheless be agreed that, by anticipating it as much as possible, refining it, making it the nearest possible to the real value of the construction and giving advance knowledge of the decisions taken by the main stakeholders in the project, the design process can be optimised economically and operationally, minimising the risk of any variants.

The cost engineer, who is in charge of this analysis, must have at his disposal a methodology which allows him to dynamically guarantee the realisation of an operative model of estimate and, at the same time, allow him to quickly and safely evaluate any changes requested by the client.

The method described, using Building Information Modeling and a visual programming language such as Dynamo, makes it possible to develop a synthetic, dynamic and multi-parametric estimate. In other words, it is a non-analytical estimate, which is flexible in responding to different cases and which can evaluate several geometric, technological and economic parameters of the building, helping the expert by speeding up, standardising and controlling the processing of the final cost of the work.



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione e obiettivo della tesi</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Gestione informativa nelle fasi di progetto e riferimenti normativi</b>	<b>8</b>
2.1	Gestione del processo complessivo: la UNI11337 e le fasi RIBA . . . . .	9
2.2	Gestione informativa all'interno delle fasi del processo edilizio . . . . .	13
<b>3</b>	<b>La quinta dimensione del BIM</b>	<b>19</b>
3.1	La quinta dimensione del BIM . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Approcci al valore di costo</b>	<b>26</b>
4.1	la stima dei costi nel processo edilizio . . . . .	26
4.2	Le metodologie di stima . . . . .	29
4.3	Stima sintetica dei costi . . . . .	30
4.4	Il metodo ARC . . . . .	34
<b>5</b>	<b>La preventivazione sintetica multi-parametrica in ambiente BIM</b>	<b>38</b>
5.1	Descrizione del processo . . . . .	39
5.2	Modello tridimensionale per masse . . . . .	41
5.3	Destrutturazione del progetto . . . . .	44
5.4	Impostazione analisi multi-parametrica . . . . .	49
5.5	Gestione ed elaborazione dei dati in Dynamo . . . . .	64
5.5.1	Descrizione dell'algoritmo . . . . .	65
5.6	Dinamicità del sistema . . . . .	75
5.7	Controllo e verifica della stima . . . . .	80
5.7.1	Primo caso studio . . . . .	80
5.7.2	Secondo caso studio . . . . .	82
5.7.3	Confronto e analisi casi studio . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Conclusioni e sviluppi futuri</b>	<b>86</b>
6.1	Sviluppi futuri . . . . .	89
	<b>Riferimenti Bibliografici</b>	<b>91</b>
	<b>Elenco delle figure</b>	<b>94</b>
	<b>Elenco delle tabelle</b>	<b>96</b>

# 1 Introduzione e obiettivo della tesi

Comunemente negli studi di progettazione emerge l'esigenza di controllare fin da subito l'impatto di ogni scelta sul costo complessivo dell'intervento, che riveste un ruolo chiave nel successo del progetto. Infatti, nella pratica, alcune delle caratteristiche intrinseche adottate all'inizio, nelle primissime fasi del progetto, quali la dimensione o la forma dell'edificio, hanno poi implicazioni che devono essere valutate. Spesso, durante l'analisi del costo dell'edificio in fase di concept, il livello d'informazione in possesso del professionista è molto basso. Questa tema è molto comune, infatti, lo studio B&B Progetti, presso cui ho trascorso gli ultimi sei mesi, spinge sempre di più verso metodologie dinamiche nell'ambito della modellazione 5D, tematica su cui si basa la stima messa a punto.

Partendo da qui, ho riscontrato che una delle problematiche principali nelle primissime fasi di progettazione di un edificio, sia l'individuazione di un metodo che permetta la redazione di un preventivo sintetico che aiuti il professionista a controllare e gestire tale stima durante l'analisi economica dell'intervento. La preventivazione sintetica non potrà perciò essere affidata solamente alla pura esperienza e a stime di mercato, ma dovrà dipendere anche da fattori geometrici dinamici, lasciando il parametro costo come elemento esclusivamente compilabile. Quest'ultimo sarà quindi solamente influenzabile dalle valutazioni di mercato o prezzari di riferimento e sarà connesso ad un elemento appartenente ad una sotto-categoria del complesso edilizio. Saranno perciò analizzati dei metodi "*standard*" o semplificati per l'elaborazione di stime, utilizzati come linee guida per il processo oggetto di studio.

Il secondo problema è invece legato alla dinamicità delle valutazioni poste in essere dai metodi tradizionali, che non sempre permettono una gestione smart di eventuali cambiamenti richiesti. Viene naturale, per ovviare a tale problematica, rapportarsi con le innovative metodologie del *Building Information Modeling* (BIM), che permettono una interconnessione dei dati di progetto e un grado elevato di controllo delle informazioni geometriche ed economiche dell'edificio. Infatti, tali processi prevedono la modellazione tridimensionale degli elementi propri del fabbricato, le cui informazioni sono sia di carattere geometrico, che, mediante un'assegnazione multi-parametrica, anche di altro genere. Il BIM si discosta così da una visione tradizionalista di rappresentazione grafica dell'opera, andando a creare un vero e proprio database informativo del fabbricato. Come approfondiremo nei capitoli successivi, la stessa metodologia di tipo tradizionale ha un impatto in termine di costo e tempo

molto più elevato, in quanto le eventuali modifiche all'interno del flusso di progettazione vengono assimilate molto più lentamente. Inoltre, sempre nella logica BIM, tutti i soggetti interessati nel processo vengono coinvolti fin dalle prime fasi di progettazione, permettendo così lo sviluppo di scelte strategiche. Questo ha un impatto economico più gravoso nelle prime fasi, ma una miglior gestione del budget e una efficienza maggiore nelle fasi di progettazione avanzata e di costruzione, riducendo la possibilità di varianti in corso d'opera. Tale metodologia si fonda sull'interoperabilità dei dati e dei processi che li gestiscono, permettendo una integrazione tra i diversi sistemi che la compongono.

Per poter arrivare alla definizione del costo finale di realizzazione dell'opera bisogna quindi definire prima un processo che permetta di organizzare e gestire il flusso di dati che lo regolano. Il sistema deve però avere certe caratteristiche, quali dinamicità e valorizzazione simultanea di molteplici gruppi di dati. In aggiunta, deve essere in grado di assorbire eventuali modifiche richieste dalla moltitudine di casistiche che il settore delle costruzioni può offrire. L'obiettivo che viene posto quindi è l'elaborazione di un metodo di preventivazione, che, attraverso un processo dinamico e multi-parametrico ed un modesto livello di dettaglio del complesso edilizio, arrivi alla formulazione di un costo complessivo dell'opera, garantendo però precisione e controllo dei dati.

Nello studio di tale metodologia sarà considerata solo la destinazione d'uso residenziale, ma sarà comunque abbastanza flessibile da poter accettare eventuali variazioni tecnologiche, geometriche ed economiche, garantendo quindi l'implementazione del maggior numero di casistiche possibile.



## **2 Gestione informativa nelle fasi di progetto e riferimenti normativi**

Tutto il processo che accompagna l'opera attraverso le fasi di progettazione e realizzazione porta con sé un certo grado di dettaglio che, con l'evolversi del procedimento e quindi lo scorrere del tempo, aumenta in complessità e in dimensioni, riflettendosi così sulla portata della gestione delle informazioni legate al fabbricato, ma non solo. Da questo deriva la necessità di gestione delle metodologie di comunicazione e di elaborazione dei dati. Anche i metodi di analisi economica in fase di progetto possono essere molteplici a seconda del livello di complessità raggiunto.

Diventa essenziale, quindi, definire in quale fase di avanzamento del processo ci troviamo e quante e quali informazioni abbiamo a nostra disposizione in ciascuna di queste fasi. Diverse sono le destrutturazioni delle fasi del processo edilizio che si sono consolidate nel tempo come standard e che dettano le modalità di approfondimento di ciascuna di esse.

È importante definire, soprattutto per i processi complessi, l'asset informativo che ciascuna fase dovrà produrre e semplificare così il passaggio da una fase all'altra, in cui i soggetti coinvolti possono cambiare. Il quadro delle esigenze degli attori in gioco, in particolar modo della committenza, dovrà essere regolato, quindi, da un codice di comunicazione che dovrà tener conto delle informazioni qualitative e quantitative che definiscono poi le scelte progettuali, le quantità e infine ne valutano il costo di produzione, di costruzione e di manutenzione del fabbricato [4].

Si dovrebbe prevedere un sistema informativo che tenga conto delle relazioni tra i diversi articoli e delle interconnessioni tra i codici, così da permettere l'agevole navigazione tra le diverse entità, attributi, specificazioni, gerarchie e la documentazione durante tutto il ciclo di vita dell'immobile.

Nel processo informativo di un organismo edilizio il committente, prima di affidare un incarico, definisce le proprie esigenze informative esplicitandone i requisiti all'interno di un capitolato informativo. Quest'ultimo è solitamente specifico per ciascun incarico affidato e per ogni affidatario incaricato. Generalmente per commesse di grandi dimensioni viene redatto un capitolato informativo generale di commessa che può valere per un gruppo di famiglie di incarichi, accompagnato da un capitolato più specifico, per esempio un capitolato informativo per la progettazione architettonica, o quella strutturale, oppure per la fornitura. I soggetti incaricati, in risposta al capitolato informativo, formulano un'offerta per la gestione informativa.

## 2.1 Gestione del processo complessivo: la UNI 11337 e le fasi RIBA

Nella letteratura tecnica e all'interno delle principali normative di riferimento possiamo trovare molteplici metodologie consolidate che suddividono il progetto in fasi operative progettuali e costruttive.

In particolare, se prendiamo in riferimento la norma UNI 11337, possiamo evincere che il settore delle costruzioni è caratterizzato da un processo informativo ciclico che vede ad un estremo l'espressione dei bisogni del committente ed ad un altro il termine della vita utile dell'immobile. La stessa norma riporta uno schema di questo processo, come quello riportato nella figura 1. Possiamo, quindi sintetizzare il diagramma come una "struttura gerarchica costituita da quattro stadi che a loro volta si articolano in otto fasi" [12].

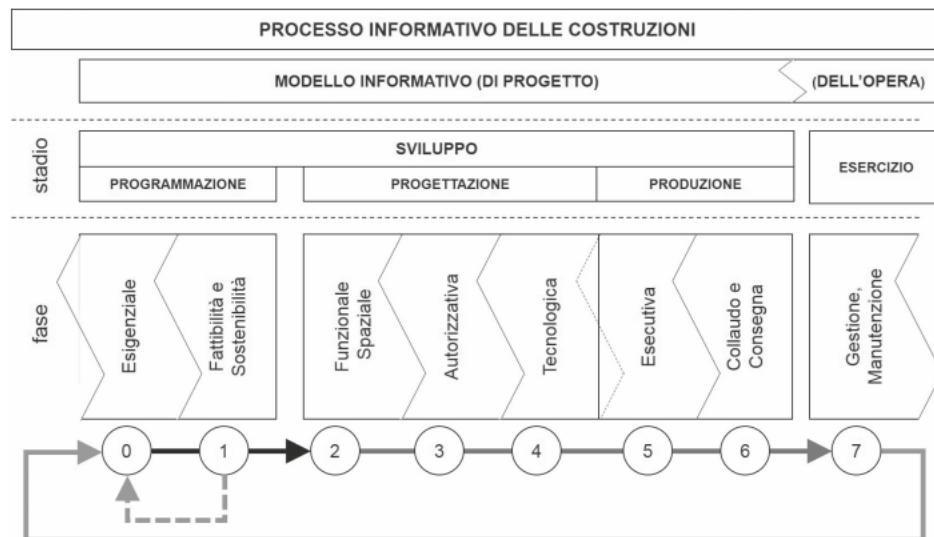


Figura 1: Processo informativo delle costruzioni - UNI 11337 [12]

Da questa scomposizione ne consegue anche una disarticolazione informativa dell'opera in:

- processo, informazioni legate alle risorse umane e non, fini all'ideazione, alla realizzazione, gestione e manutenzione dell'immobile;
- sito, informazioni inerenti al contesto in cui si trova l'edificio;
- edificio o infrastruttura, informazioni relative ai materiali e alle componenti tecnologiche che compongono il fabbricato.

Il progetto necessita poi di un modello operativo da seguire che permetta di allineare gli sforzi necessari al conseguimento dell'obiettivo ad esso designato [21].

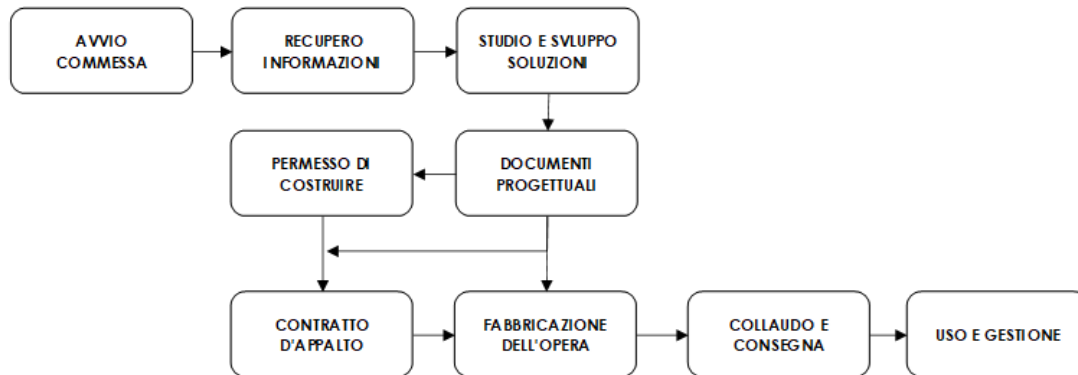


Figura 2: Esempio di modello operativo di progetto - UNI 11337 [12]

Un altro riferimento autorevole in ambito di organizzazione del processo edilizio in fasi è il RIBA Plan of Work, la cui ultima versione è stata emessa nel 2020, revisionando le precedenti. RIBA è il Royal Institute of British Architects, che fin dal 1963 ha cercato di fornire una mappa che inquadrasse il processo edilizio e che identificasse in modo chiaro ogni fase, fino a quel momento fatto di prassi e metodologie comuni mai scritte o formalizzate.

Come spiegano nella prefazione del Plan of Work del 2020, l'approccio metodologico del "modo corretto di fare" funziona per i progetti semplici per natura, mentre perde di efficacia nel momento in cui il processo si complica e gli attori in campo sono molteplici. Affermano che "Although each of these plans of work is different, they all have the same goals: to provide the project team with a road map for promoting consistency from one stage to the next, and to provide vital guidance to clients undertaking perhaps their first and only building project" [11].

Il RIBA Plan of Work è composto da otto fasi, o in inglese stages, come si può vedere in figura 3.

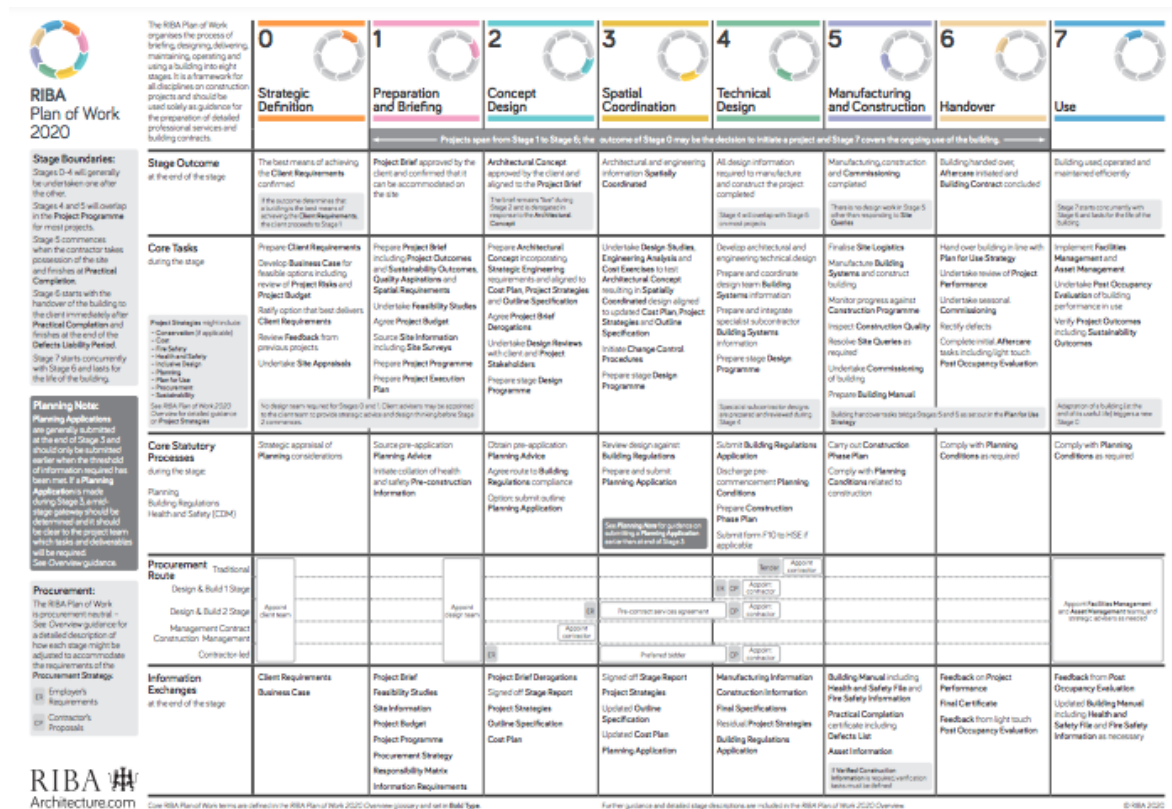


Figura 3: RIBA - Plan Of Work - 2020 [11]

Nell'immagine 4 possiamo notare i diversi step in cui il RIBA suddivide il processo del progetto.

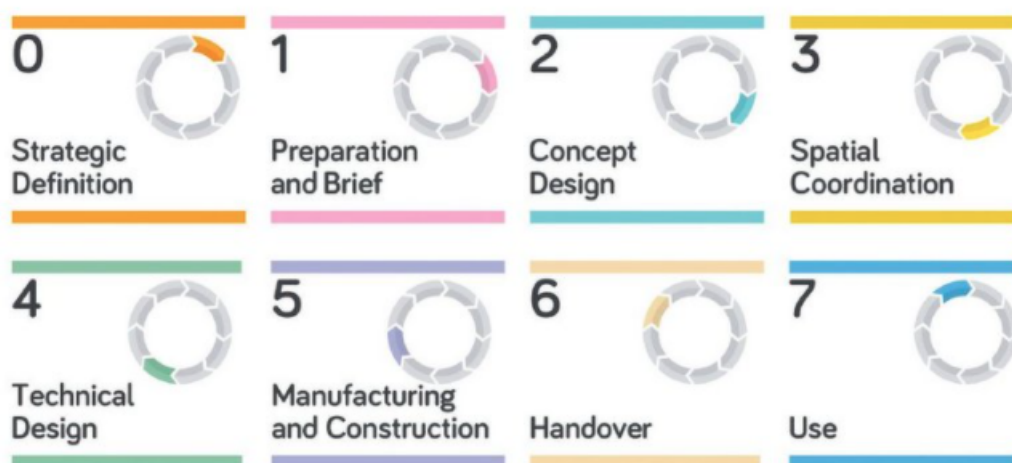


Figura 4: RIBA - Step of work [11]

- Lo STAGE 0 è di natura strategica. Corrisponde a quella fase in cui vengono definite le esigenze del cliente e i migliori modi per soddisfarle. Fin da questa fase, è importante tenere presente l'aspetto economico del progetto, che richiede opportunamente di fissare un budget di progetto.
- Lo STAGE 1 corrisponde allo studio di fattibilità. Inizia a sviluppare l'idea di progetto e si accerta che ci siano tutti gli elementi necessari per avviare il vero e proprio processo di progettazione. In questa fase diventa fondamentale anche definire la gestione informativa del processo e il set di informazioni che ciascuna fase progettuale successiva dovrà contenere. Inoltre, è sempre necessario verificare che il progetto che si sta sviluppando sia allineato al budget fissato. Lo strumento economico che si utilizza in questa fase è solitamente una stima di massima.
- Lo STAGE 2 è quello che in Italia chiameremmo progetto preliminare. Solitamente in questa fase è fondamentale l'architettura spaziale del progetto ed è la fase in cui si inizia a modellare il progetto in ambiente BIM. Lo strumento economico con cui si verifica la rispondenza al budget è solitamente una stima parametrica.
- Lo STAGE 3 corrisponde al nostro progetto definitivo. Approfondisce tutte le tematiche progettuali in modo tale che nella fase successiva non vi siano sostanziali variazioni né in termini spaziali e tecnici, né in termini economici. Il modello BIM diventa essenziale e si inizia ad utilizzare un computo metrico estimativo per controllare l'importo complessivo dell'opera.
- Lo STAGE 4, invece, viene associato al progetto esecutivo ed approfondisce il progetto fino ad avere tutte le informazioni necessarie per costruire l'opera. Questa è la fase che si conclude con la produzione della documentazione a base di gara e il relativo computo metrico estimativo, per poi portare all'assegnazione dell'appalto.
- Lo STAGE 5 corrisponde alla costruzione dell'opera. In questo caso la quinta dimensione entra in gioco solamente nel caso di varianti al progetto che comportano una variazione dell'importo complessivo dell'opera o come strumento di controllo.

- Infine, vi sono lo STAGE 6 che corrisponde alla consegna e presa in carico dell'edificio e lo STAGE 7 che rappresenta l'arco temporale tra l'utilizzo e il fine vita dell'edificio.

Sebbene sia uno standard inglese, possiede molti parallelismi con il Codice dei contratti del 2016 e con il DPR207/2010 che prevede la suddivisione del processo edilizio in un'appalto pubblico. Sempre più studi e società influenti nel mondo delle costruzioni, soprattutto a Milano, basano i loro processi e organizzazione interna sulle fasi RIBA.

I metodi di analisi economica in fase di progetto possono essere molteplici a seconda del livello di complessità raggiunto. Bisogna perciò capire prima, in base anche all'avanzamento del progetto, quante e quali informazioni abbiamo sull'organismo edilizio. In questo, ci viene in aiuto la letteratura tecnica e la normativa che suddividono il progetto in fasi operative progettuali e costruttive.

## **2.2 Gestione informativa all'interno delle fasi del processo edilizio**

Un facile modo di gestione delle informazioni è quello di destrutturare il progetto in categorie ed elementi secondo una logica che può essere funzionale, spaziale, su base tecnologica o su base esigenziale e prestazionale. Nel campo dell'edilizia residenziale, per esempio, si fa spesso riferimento alla norma UNI 8290 che scompone l'organismo edilizio su 3 livelli:

- classi di unità tecnologiche
- unità tecnologiche
- classi di elementi tecnici

Le prime due voci sono organizzate in modo tale che rappresentino le funzioni finalizzate a soddisfare le esigenze dell'utenza, mentre all'ultimo livello troviamo le voci che corrispondono alle classi di prodotti. Successivamente vengono implementati ulteriori livelli i quali raffigurano elementi sempre più particolareggiati, più o meno omogenei, a seconda della complessità, al tipo, alla forma, alla composizione, alla tecnica costruttiva o ai materiali costituenti [13].

Nella figura 5 viene riportato un estratto della normativa UNI8290 raffigurante un esempio di WBS redatta fino al terzo livello di destrutturazione.

Classi di unità tecnologiche		Unità tecnologiche		Classi di elementi tecnici	
Codice WBS Livello 1	Descrizione WBS Livello 1	Codice WBS Livello 2	Descrizione WBS Livello 2	Codice WBS Livello 3	Descrizione WBS Livello 3
1	Struttura portante	1.1	Struttura di fondazione	1.1.1	Struttura di fondazione diretta
				1.1.2	Struttura di fondazione indiretta
		1.2	Struttura di elevazione	1.2.1	Struttura di elevazione verticale
				1.2.2	Struttura di elevazione orizzontale ed inclinata
		1.3	Struttura di contenimento	1.3.1	Struttura di contenimento verticale
				1.3.2	Struttura di contenimento orizzontale
2	Chiusura	2.1	Chiusura verticale	2.1.1	Chiusura verticale opaca
				2.1.2	Chiusura verticale trasparente
		2.2	Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1	Solaio controterra
				2.2.2	Botole di ispezione
		2.3	Chiusura orizzontale su spazi aperti	2.3.1	Solai su spazi aperti
		2.4	Chiusura orizzontale superiore	2.4.1	Chiusura orizzontale di copertura
				2.4.2	Botole di accesso alla copertura

Figura 5: Schema di classificazione del sistema tecnologico - UNI 8290 [13]

L'organizzazione tramite norma UNI8290<sup>1</sup> consente di produrre una WBS (Work Breakdown Structure) predefinita e simile in ogni progetto. Standardizzare il più possibile le WBS di progetto consente non solo di avere una destrutturazione spaziale e tecnologia del progetto, ma anche di poter creare un database basato sempre sugli stessi criteri e che rende comparabili le informazioni anche in termini di quinta dimensione. Fondamentali, infatti, risultano essere i benchmark di costo per la redazione di stime economiche, come approfondiremo nel prossimo capitolo.

Vi sono però altri validi metodi di classificazione, ognuno dei quali nato dalla necessità di scomposizione dell'organismo progettuale, ma tutti differenti in quanto rispondenti ad esigenze diverse.

<sup>1</sup>Per motivi di semplicità all'interno del processo descritto nei capitoli successivi il metodo di destrutturazione sarà quello della UNI8290.

Un metodo alternativo è quello proposto da *UniFormat II*, il quale è un sistema sviluppato dall'*American Institute of Architects* (AIA) tra il 1973 e il 1989 e redatto nella sua ultima versione dal CSI e CSC con il nome prima indicato. UniFormat II prevede una classificazione basata su tre livelli, dove:

- il primo si concentra sulle principali famiglie di oggetti, come le fondazioni, l'involucro o le partizioni;
- il secondo divide il livello precedente in sottogruppi;
- il terzo entra nel merito e nelle specifiche degli oggetti presenti al livello precedente.

Il criterio di scomposizione di questo standard ha una logica tecnico-funzionale, tenendo però conto anche dell'incidenza che ciascuna voce ha sul costo del progetto. Infatti, UniFormat II nasce proprio con l'obiettivo di facilitare la gestione delle informazioni in ambito di analisi economiche, ma soprattutto nel campo della preventivazione nelle fasi preliminare del progetto. Si riporta nella figura 6 un esempio di classificazione con tale standard che si può trovare sul sito ufficiale [20].

ASTM UNIFORMAT II Classification of Building Elements (E1557-97)					
Level 1 Major Group Elements		Level 2 Group Elements		Level 3 Individual Elements	
A	Substructure	A.1	Foundations	A.1.1	Standard Foundations
				A.1.2	Special Foundations
				A.1.3	Slab on Grade
		A.2	Basement Construction	A.2.1	Basement Excavation
				A.2.2	Basement Walls
B	Shell	B.1	Superstructure	B.1.1	Floor Construction
				B.1.2	Roof Construction
		B.2	Exterior Closure	B.2.1	Exterior Walls
				B.2.2	Exterior Windows
				B.2.3	Exterior Doors
		A.3	Roofing	A.3.1	Roof Coverings
				A.3.2	Roof Openings

Figura 6: Schema di classificazione del sistema tecnologico - UniFormat II [20]

Un'altra metodologia di destrutturazione riconosciuta è la MasterFormat, rilasciata sempre dal CSI, che scompone gerarchicamente il progetto in divisioni e sezioni, con una logica per lavorazioni. Questa metodologia garantisce una gestione informativa ottimale per il progetto, in quanto permette l'individuazione e il governo di tutti quei punti chiave che concorrono alla redazione della relativa documentazione, come:



modalità di scelta del contraente, requisiti contrattuali individuazione e organizzazione dei requisiti prestazionali. Questo standard permette così di non considerare solo gli aspetti tecnici e merceologici, permettendo una gestione pressoché completa del progetto. Nella figura 7 viene riportato un esempio di una destrutturazione tipica effettuata con questo standard [7].

<b>00 00 00</b>	<b>Procurement and Contracting Requirements</b>
00 01 01	Project Title Page
00 01 03	Project Directory
00 01 05	Certifications Page
00 01 07	Seals Page
00 01 10	Table of Contents
00 01 15	List of Drawing Sheets
00 01 20	List of Schedules
<b>00 10 00</b>	<b>Solicitation</b>
<b>00 11 00</b>	<b>Advertisements and Invitations</b>
00 11 13	Advertisement for Bids
00 11 15	Advertisement for Prequalification of Bidders
00 11 16	Invitation to Bid
00 11 19	Request for Proposal
00 11 53	Request for Qualifications
<b>00 20 00</b>	<b>Instructions for Procurement</b>
<b>00 21 00</b>	<b>Instructions</b>
00 21 13	Instructions to Bidders
00 21 16	Instructions to Proposers
<b>00 22 00</b>	<b>Supplementary Instructions</b>
00 22 13	Supplementary Instructions to Bidders
00 22 16	Supplementary Instructions to Proposers
<b>00 23 00</b>	<b>Procurement Definitions</b>
<b>00 24 00</b>	<b>Procurement Scopes</b>
00 24 13	Scopes of Bids
00 24 13.13	Scopes of Bids (Multiple Contracts)
00 24 13.16	Scopes of Bids (Multiple-Prime Contract)
00 24 16	Scopes of Proposals
00 24 16.13	Scopes of Proposals (Multiple Contracts)
00 24 16.16	Scopes of Proposals (Multiple-Prime Contract)
<b>00 25 00</b>	<b>Procurement Meetings</b>
00 25 13	Pre-Bid Meetings
00 25 16	Pre-Proposal Meetings
<b>00 26 00</b>	<b>Procurement Substitution Procedures</b>
<b>00 30 00</b>	<b>Available Information</b>
<b>00 31 00</b>	<b>Available Project Information</b>
00 31 13	Preliminary Schedules
00 31 13.13	Preliminary Project Schedule
00 31 13.16	Preliminary Construction Schedule
00 31 13.23	Preliminary Project Phases
00 31 13.26	Preliminary Project Sequencing
00 31 13.33	Preliminary Project Milestones
00 31 16	Project Budget Information
00 31 19	Existing Condition Information
00 31 19.13	Movement and Vibration Information

Figura 7: Schema di classificazione del sistema tecnologico - MasterFormat [7]

Un'ulteriore metodologia di destrutturazione riconosciuta è lo standard *OmniClass*, il quale è un sistema di codifica americano. Fornisce un metodo per classificare l'ambiente costruito attraverso l'intero ciclo di vita dell'edificio. È diviso in quindici tabelle che adottano logiche di destrutturazione tecnologico-funzionale, merceologico oppure spaziale-funzionale. *OmniClass* integra i precedenti due standard, *MasterFormat* e *UniClass*, per la gestione del progetto edilizio in tutte le fasi e livelli di informazioni. Nella figura 8 ne viene riportato un esempio [8].

Item No	Name of the discipline	OmniClass number	Description
1	<b>Facility Use Disciplines</b>	<b>33-55 00 00</b>	<b>Continued maintenance, operation and use of a building, structure, or site following the completion of construction.</b>
1.1	Real Estate	33-55 14 00	Buying selling or renting of property.
1.2	Facility Owner	33-55 21 00	Ownership of property and facilitating all expenses associated with all aspects of procurement, design, construction, and facility use.
1.3	Facility Operations	33-55 24 00	Providing a combination of support services within a client's facilities, such as janitorial, maintenance, trash disposal, guard and security, mail routing, reception, laundry, and related services to support operations within facilities.
1.4	Facility Restoration Services	33-55 36 00	Cleaning, maintaining and repairing of damage to parts of building due to age, weather, or materials deterioration.

Figura 8: Schema di classificazione del sistema tecnologico - OmniClass [8]

L'ultimo standard riportato è meno generico rispetto ai precedenti. L'International Construction Measurement Standards, infatti, ha redatto una classificazione specifica per i gruppi di costo e le analisi economiche. L'esigenza di tale destrutturazione è quindi quella di inquadrare tutti i costi in una struttura che sia chiara e condivisibile a livello internazionale, in tutti le fasi di vita del bene edilizio. L'ordine gerarchico di questa classificazione prevede in ordine: progetto o sotto-progetto; categoria di costo; gruppo di costo; sotto-gruppo di costo. Inoltre, i livelli appena citati prendono in considerazione la destinazione d'uso, le spese di acquisizione, costruzione e gestione, e tutte ogni gruppo di costo in cui quest'ultimi si dividono [19].

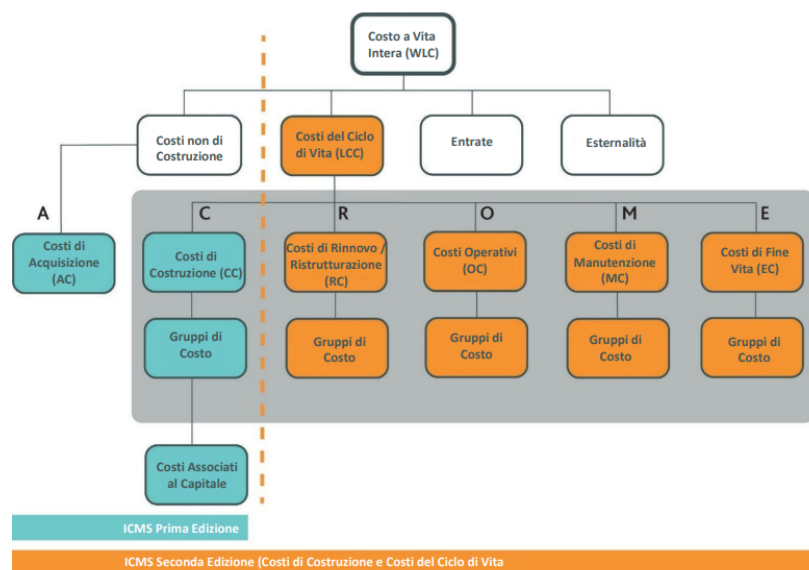


Figura 9: Schema di classificazione dei gruppi di costo - ICMS

Essendo tutte delle metodologie di destrutturazione valide per sceglierne una, bisognerebbe prima definire le esigenze di classificazione delle sotto-classi di elementi che compongono il complesso edilizio. Per non complicare troppo la gestione bisogna capire in quale fase del ciclo di vita dell'edificio tale destrutturazione sarà utilizzata, per quale ambito sarà impiegata e quale sarà il livello di dettaglio richiesto per il progetto in questione. Nella tabella 1 troviamo riassunte gli ambiti di utilizzo e le classificazioni impiegati nelle normative fin qui descritte. Come vedremo nei capitoli successivi, la normativa presa a riferimento per l'ambito di studio di questo elaborato di tesi sarà la UNI 8290, in quanto garantisce un'adeguata destrutturazione per gli edifici con destinazione d'uso residenziale e contemporaneamente permette una classificazione di tipo tecnico-funzionale adatta allo scopo della presente tesi.

<b>Norma</b>	<b>Ambito</b>	<b>Classificazione</b>
UNI8290	Destinazione d'uso residenziale	Tecnico-funzionale
UniFormat II	Ambito delle analisi economiche	Tecnico-funzionale (incidenza sul costo)
MasterFormat	Documentale	Tecnico-funzionale, merceologica
OmniClass	Interi ciclo di vita	Tecnico-funzionale, merceologico o spaziale-funzionale
ICMS	Analisi economiche	Gruppi di costo

Tabella 1: Tabella riassuntiva Standard normativi di destrutturazione

### 3 La quinta dimensione del BIM

Il BIM è un insieme di processi fini alla elaborazione intelligente dei dati inerenti all'edificio ed agli elementi che lo compongono. La tecnologia procedurale del BIM tende a riversare le informazioni all'interno di un modello digitale del fabbricato, il cui scopo è quello di rappresentare il più fedelmente possibile la realtà, secondo un determinato livello di dettaglio. Di fatti, questa procedura non solo aiuta i progettisti nelle simulazioni e nelle pianificazioni, ma anche nella costruzione dell'edificio, in quanto può migliorare i processi di produzione del materiale progettuale e del fabbricato stesso, attraverso una miglior integrazione tra le discipline che lo studiano e lo sviluppano [10] [18].

La norma UNI 11337 dà alcune definizioni fondamentali nel processo di elaborazione dei dati e qui cito testualmente:

- dato: elemento conoscitivo infrangibile, elementare, interpretabile all'interno di un processo di comunicazione attraverso regole e sintassi preventivamente condivise;
- contenuto informativo: insieme organizzato di informazioni secondo un determinato scopo ai fini della comunicazione sistematica di una pluralità di conoscenze all'interno di un processo;
- informazione: insieme di dati organizzati secondo un determinato scopo ai fini della comunicazione di una conoscenza all'interno di un processo;
- relazionale: organizzazione di un insieme di dati per relazioni logiche o concettuali;
- parametrico: organizzazione di un insieme di dati per relazioni logiche o concettuali in funzione di uno o più parametri.

E proprio nel significato di quest'ultima definizione troviamo le fondamenta e l'obiettivo di questa tesi [12].

Noi non stiamo andando però ad operare in una modellazione a trecentosessanta gradi del progetto. Bensì, lo scope of work della tesi è proprio incentrato su un ambito, ovvero sul mondo della valutazione del fabbricato in termini economici. A questo proposito la stessa norma prima citata suddivide i processi informativi della metodologia BIM attraverso sette campi:

- 2D: la seconda dimensione del BIM regola la rappresentazione grafica dell'opera o dei suoi elementi in funzione del piano, dando origine alle geometrie bidimensionali;
- 3D: la terza dimensione simula graficamente l'immobile e i suoi elementi in funzione dello spazio, dando un aspetto tridimensionale;
- 4D: la quarta dimensione ne regola la simulazione in funzione del tempo, oltre che dello spazio;
- 5D: la quinta dimensione regola l'aspetto a cui questa tesi è più interessata, ovvero la simulazione in termini di costi, tempo e spazio dell'opera;
- 6D: la sesta dimensione simula l'opera in funzione dell'uso, gestione, manutenzione e la eventuale dismissione, oltre che dello spazio;
- 7D: infine, l'ultima dimensione, la settima, la simula in funzione sia dello spazio, del tempo e dei costi di produzione, che della sostenibilità economica, ambientale, energetica, sociale ecc.

Il naturale collocamento dello scope of work di questa relazione non può che non essere quello della quinta dimensione del BIM.

Prima di poter parlare di cost management o cost engineering nell'ambito del BIM, bisogna precisare che, come accennato in precedenza, il livello di dettaglio del progetto aumenta e si approfondisce con l'avanzamento delle fasi progettuali. Le informazioni legate, o necessarie, alla determinazione del valore di costo dell'edificio si evolvono perciò con il progressivo sviluppo del progetto.

In normativa troviamo diversi step che destrutturizzano l'informazione del modello digitale dell'edificio e dei suoi elementi. Sto parlando dei cosiddetti LOD, ovvero del livello di sviluppo degli oggetti digitali, definiti come il "livello di approfondimento e stabilità dei dati e delle informazioni degli oggetti digitali che compongono i modelli" [12]. L'avanzamento dell'informazione deve essere sufficiente per garantire la soddisfazione degli obiettivi delle varie fasi progettuali. La natura di queste informazioni dovrà sicuramente essere specifica per ogni singolo ambito disciplinare, disciplina o specializzazione.

Riassumendo, quindi, potremmo dire che gli elementi che costituiscono i modelli e il loro grado di definizione, ne caratterizzano non solo le proprietà, ma anche la denominazione. Per esempio, si potrebbe avere una caratterizzazione per fasi, distinguendo così un modello esigenziale, di fattibilità e sostenibilità e uno funzionale-spaziale.

Oppure, si potrebbe avere un modello grafico, documentale e multimediale che denominano il modello per tipologia di virtualizzazione. E ancora, si potrebbe avere una delle destrutturazioni più conosciute, ovvero quella architettonica, impiantistica e strutturale.

Questo livello di definizione viene solitamente deciso subito ed inserito nel Capitolato Informativo, oppure deciso mediante un piano di Gestione Informativa (pGI), dove vengono definiti i LOD per ciascuna delle fasi progettuali, anche in base agli obiettivi informativi del committente. Qualora non vengano decisi, l'affidataria dei lavori, presenterà un'offerta di Gestione Informativa (oGI), o comunque, riporterà la scala di riferimento dei livelli di sviluppo all'interno del successivo pGI [12].

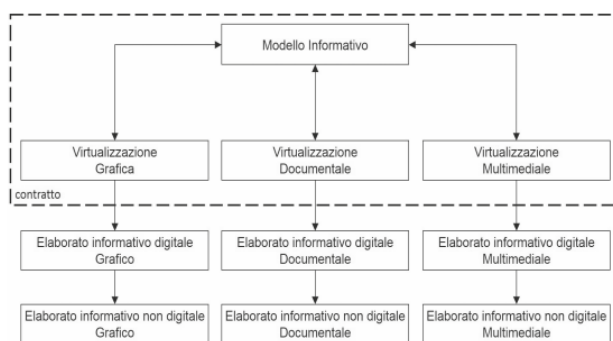


Figura 10: Struttura del modello informativo [1]

Il LOD o livello di sviluppo di un oggetto digitale è misurato attraverso la sua quantità, natura, qualità e la stabilità dei dati e delle informazioni che lo costituiscono. Questi "modelli informativi" hanno una duplice forma, una grafica, rappresentata dal modello 3D dell'oggetto, ed una scritta e multimediale, implementata mediante l'uso di schede informative di prodotto e di processo [1].

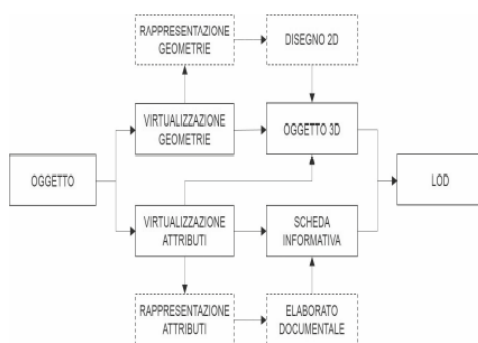


Figura 11: Schematizzazione contenuto informativo del LOD di Oggetti [1]

La normativa identifica i livelli informativi attraverso l'uso di una scala alfabetica, come indicato nella figura 12, che va dalla A fino alla G:

- LOD A, oggetto simbolico: livello in cui le caratteristiche quantitative e qualitative, quali prestazione, dimensione, forma, ubicazione, costo, etc., sono indicative. Di fatti, la rappresentazione degli oggetti sono rappresentati attraverso un sistema geometrico simbolico (solitamente si fa riferimento ad un oggetto 2D);
- LOD B, oggetto generico: le caratteristiche quantitative e qualitative dell'elemento, il quale è rappresentato attraverso un oggetto geometrico generico o una geometria d'ingombro, sono approssimate;
- LOD C, oggetto definito: a questo livello le entità prendono una forma geometrica definita e le caratteristiche qualitative e quantitative vengono definite genericamente, ma nei limiti della legislazione e della normativa tecnica vigenti;
- LOD D, oggetto dettagliato: il livello di dettaglio dell'oggetto geometrico viene dettagliato sempre di più e vengono implementate le caratteristiche qualitative e quantitative, le quali sono specifiche di una pluralità definita di prodotti simili. Vengono definiti l'interfaccia con altri sistemi costruttivi e gli ingombri approssimati di manovra e manutenzione;
- LOD E, oggetto specifico: l'entità geometrica ormai ad un livello specifico, ha caratteristiche qualitative e quantitative specifiche ad un singolo sistema produttivo legato al prodotto finito. Vengono implementati i dettagli riguardanti la fabbricazione, l'assemblaggio, l'installazione e gli spazi di manovra e manutenzione;
- LOD F, oggetto eseguito: il modello digitale dell'elemento viene verificato rispetto allo specifico sistema produttivo eseguito/costruito (as built) e perciò, le caratteristiche quantitative e qualitative sono specifiche del singolo prodotto posato o installato. Vengono, inoltre, precisati, per i singoli prodotti, gli interventi di gestione, manutenzione, riparazione e sostituzione durante tutto il ciclo dell'opera.
- LOD G, oggetto aggiornato: a questo livello avviene l'aggiornamento allo stato di fatto dell'oggetto. Il modello virtuale viene, quindi, storicizzato rispetto al suo intero ciclo di vita, il quale ne determina anche l'aggiornamento delle

caratteristiche qualitative e quantitative. Vengono annotati tutti i singoli interventi di gestione, manutenzione, riparazione e sostituzione eseguiti nel tempo, implementando perciò l'informazione legata lo stato di degrado in essere [14].

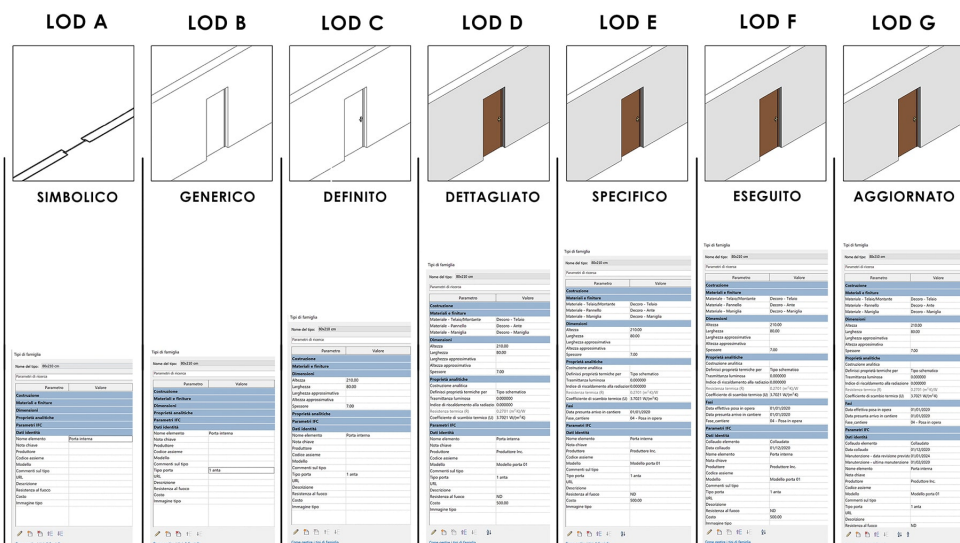


Figura 12: Livelli di LOD

### 3.1 La quinta dimensione del BIM

I metodi tradizionali di preventivazione dell'organismo edilizio sono elaborati in funzione di rappresentazioni grafiche 2D del fabbricato. Con lo sviluppo e l'implementazione di tecnologie BIM, all'interno dei processi di progettazione, costruzione e manutenzione si è potuto associare i modelli di preventivazione parametrica a banche dati contenenti le informazioni geometriche intrinseche degli elementi che fanno parte dell'opera, componendo così le metodologie che costituiscono l'ambiente della quinta dimensione [17].

Queste nuove metodologie sono impiegabili anche in fase di studio di fattibilità, aumentando la quantità di informazioni durante la fase di concept per fornire così un preventivo sintetico più accurato e affidabile, facilitandone la consultazione e la formulazione. In fase progettuale, invece il BIM trasforma i precedenti metodi, dove le discipline erano più compartimentate e non interagivano tra loro, in un modello collaborativo, dove il professionista può coordinare i contenuti della propria disciplina con le altre, diminuendo il numero di modifiche e di errori di integrazione. Si può,



quindi, immaginare che anche durante questa fase la preventivazione economica dell'edificio trova un forte vantaggio legato al continuo aggiornamento dei dati e delle informazioni progettuali, che vengono aggiornate anche nel preventivo in caso di modifiche, andando quindi a migliorare la qualità del prodotto finale.

L'anticipazione delle scelte progettuali permette di ottenere vantaggi economici non indifferenti. Infatti, sono diffusi gli aspetti migliorativi legati alle metodologie impiegate nel BIM [15]. Un esempio, ormai storico, è riportato all'interno della curva di MacLeamy del 2004. È noto che una delle principali problematiche legate al mondo delle costruzioni è l'influenza sul costo cumulativo delle scelte prese all'interno del processo edilizio. La curva sopra citata si basa proprio su questa tematica, che risulta essere molto critica. L'influenza benefica di tale approccio su suddetto diagramma si può osservare nella figura 13.

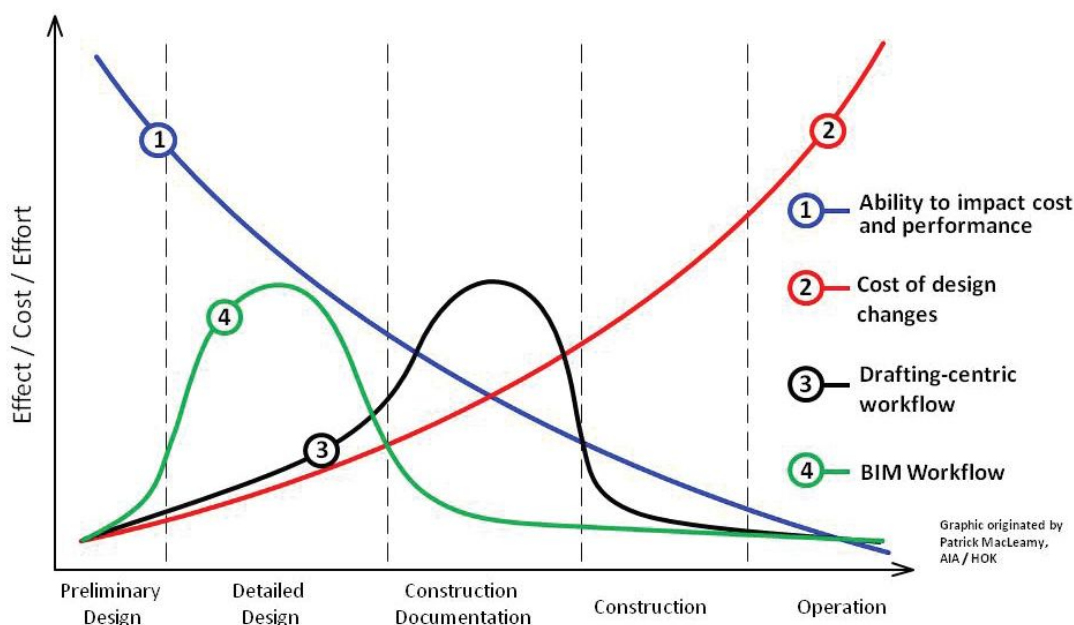


Figura 13: Curva di Macleamy e i benefici del BIM [14]

Con l'applicazione di tecnologie BIM, abbiamo uno spostamento della curva verso le fasi preliminari della progettazione e una traslazione del punto di equilibrio verso le fasi finali della progettazione, anziché ricadere nel mezzo della fase di costruzione. Ottenendo così una situazione del tutto simile a quella riportata nel grafico rappresentato in figura 14.

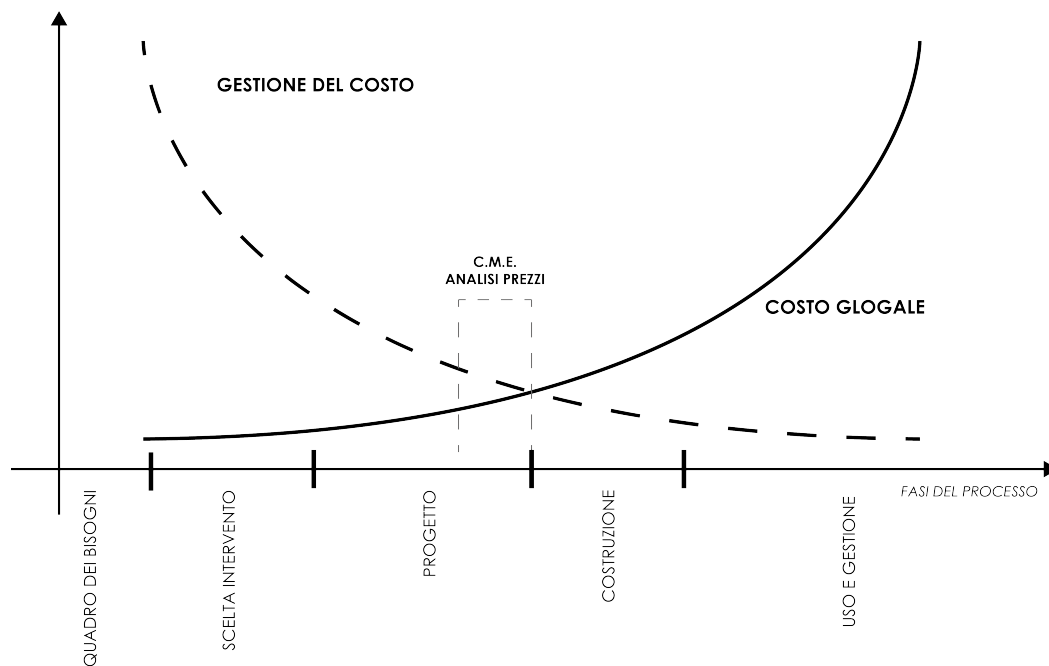


Figura 14: Curva di Pavan, 2003 [14]

L'analisi per mezzo di modelli e la digitalizzazione delle informazioni legate ai beni edilizi permettono l'applicazione di questo approccio economico, consentendo l'anticipazione decisionale verso le primissime fasi del progetto, aiutando così l'implementazione di processi efficienti, e perciò anche sostenibili, dal punto di vista di costi e di tempi [14].

## 4 Approcci al valore di costo

Uno degli elementi più determinanti per il successo di un intervento è il suo costo. Infatti, per il committente è essenziale avere ben presente fin da subito quanto l'intervento costi, per rispettare un budget e ottenere un ricavo. Ma anche nelle fasi successive assume una certa importanza, ad esempio durante la costruzione per l'appaltatore è fondamentale produrre un'offerta adeguata durante una gara d'appalto e programmare ogni costo legato ad ogni lavorazione per garantirsi un margine di guadagno.

Per la determinazione del costo di costruzione, si utilizzano dei processi di stima, fin dalle prime fasi di sviluppo del progetto. L'analisi dei costi, e nello specifico del costo di costruzione, assume diverse configurazioni a seconda della fase in cui ci si trova e viene affinata, aumentandone il livello di dettaglio, man mano che la progettazione avanza.

Di seguito si approfondiscono gli strumenti di stima dei costi, sia attraverso un'indagine tra il grado di approfondimento progettuale e le conseguenti valutazioni economiche possibile, sia mediante una disamina dei metodi di stima più diffusi. In particolare, verrà presentato il metodo di stima sintetico a parametrizzazione multifunzionale e costi ragguagliati, che costituirà la base del modello dinamico di stima in BIM sviluppato.

### 4.1 la stima dei costi nel processo edilizio

Per la stima del costo di un intervento si utilizzano diversi strumenti, a seconda del grado di conoscenza e approfondimento dell'opera. AACE International (Association for the Advancement of Cost Engineering) ha elaborato una classificazione delle stime di costo, che si pone come obiettivo quello di creare una corrispondenza tra le stime di costo e lo sviluppo del progetto a supporto del processo decisionale. In tale classificazione, si intende come unica caratteristica primaria il livello di maturità del progetto, fondamentale nel processo di stima economica, che viene indicato attraverso una percentuale di definizione, dove il 100% corrisponde alla definizione completa. Vi sono poi le caratteristiche secondarie, ovvero lo scopo della stima dei costi, la metodologia con cui solitamente viene espletata e il suo livello di accuratezza.

ESTIMATE CLASS	Primary Characteristic	Secondary Characteristic		
	MATURITY LEVEL OF PROJECT DEFINITION DELIVERABLES Expressed as % of complete definition	END USAGE Typical purpose of estimate	METHODOLOGY Typical estimating method	EXPECTED ACCURACY RANGE Typical variation in low and high ranges at an 80% confidence interval
Class 5	0% to 2%	Functional area, or concept screening	SF or m <sup>2</sup> factoring, parametric models, judgment, or analogy	L: -20% to -30% H: +30% to +50%
Class 4	1% to 15%	or Schematic design or concept study	Parametric models, assembly driven models	L: -10% to -20% H: +20% to +30%
Class 3	10% to 40%	Design development, budget authorization, feasibility	Semi-detailed unit costs with assembly level line items	L: -5% to -15% H: +10% to +20%
Class 2	30% to 75%	Control or bid/tender, semi-detailed	Detailed unit cost with forced detailed take-off	L: -5% to -10% H: +5% to +15%
Class 1	65% to 100%	Check estimate or pre bid/tender, change order	Detailed unit cost with detailed take-off	L: -3% to -5% H: +3% to +10%

Figura 15: Cost Estimate Classification Matrix for Building and General Construction Industries [6]

Nell'elaborare tale classificazione, inoltre, l'AACE individua dei rischi sistemici che, assieme al grado di definizione del progetto, vanno ad incidere sul grado di confidenza della stima:

- livello di familiarità con la tecnologia;
- natura del progetto e disponibilità di informazioni e dati di riferimento;
- complessità del progetto;
- qualità dei dati di riferimento di cost estimating;
- qualità dell'ipotesi usate per la stima;
- esperienza e il livello di skill del professionista che esegue la stima;
- tecniche impiegate per la stima;
- tempo e qualità del degli sforzi spesi a preparare la stima;
- condizioni di mercato;
- cambio della valuta;
- comunità, leggi e regole, rischi politici;
- terze parti e i loro utili;

- political risks and bias.

Inoltre, aggiunge che ciò che mette a rischio l'attendibilità della stima è anche la tendenza ad un valore predeterminato e funzionale a far approvare e proseguire il progetto [6].

Per le motivazioni sopra esposte, ma anche a seconda della complessità tecnica del progetto, la disponibilità di adeguate informazioni di riferimento sui costi, il grado di definizione del progetto e l'inclusione di un'appropriata determinazione degli imprevisti, una tipica stima di classe 5 per un progetto di edilizia e progetto dell'industria delle costruzioni può avere una gamma di precisione ampia come -30% a +50%, o stretta come -20% a +30%. Come si può vedere dall'immagine, ci sono casi in cui una stima di Classe 5 per un particolare progetto può essere accurata come una stima di Classe 3 per un progetto diverso. L'AACE spiega infatti che, per esempio, possono verificarsi intervalli di accuratezza simili su una stima di Classe 5, che si basa su un progetto ripetuto con una buona storia di costi e dati, e una stima di Classe 3 di un progetto che coinvolge una nuova tecnologia [16].

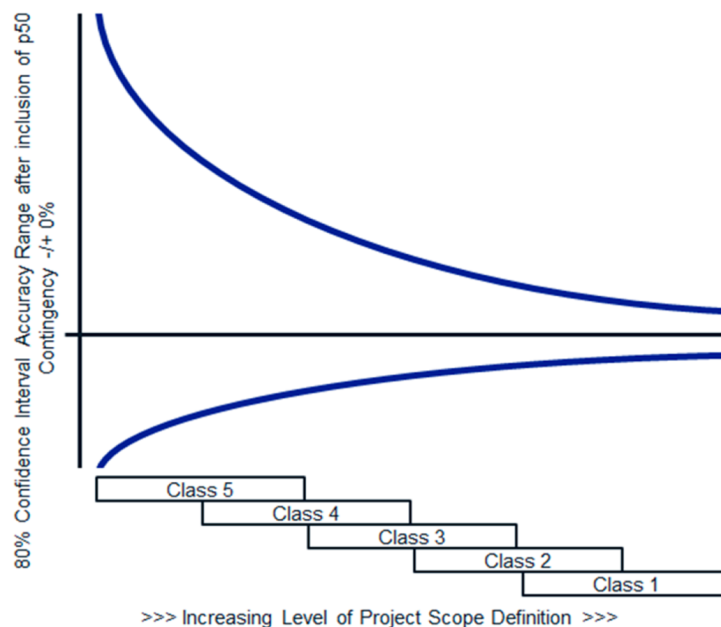


Figura 16: Illustration of the Variability in Accuracy Ranges for Building and General Construction Industry Estimates [16]

## 4.2 Le metodologie di stima

Abbiamo visto come la stima dei costi rifletta il grado di approfondimento del progetto e come dunque ad ogni fase del processo edilizio sia associato un determinato strumento di valutazione economica. Vediamo ora come le stime dei costi possono essere elaborate. In generale, esistono due principali metodologie di stima dei costi: quella concettuale/sintetica e quella deterministica/analitica.

La stima dei costi concettuale si basa su variabili indipendenti che sono strettamente legate a parametri e/o benchmark dati dall'esperienza. Per tale metodologia risulta dunque fondamentale la raccolta di dati di riferimento da quanti più progetti simili siano stati affrontati in passato.

La stima dei costi deterministica, invece, utilizza variabili indipendenti che derivano da analisi specifiche e misurazioni dirette di quantità precise che vengono associate a dei prezzi unitari. È chiaro che questi due approcci opposti possano poi essere combinati per ottenere lo strumento di stima più adatto alla fase del processo in cui ci troviamo, a seconda del livello di approfondimento del progetto, dell'accuratezza della stima e dell'impegno necessario per redigerla.

Di seguito la tabella raffigurata nell'immagine 17 dell'AACE International che associa a ciascuna classe individuata in precedenza e/o a ciascuna fase del progetto, l'utilizzo di un metodo concettuale piuttosto che deterministico<sup>2</sup>.

ESTIMATE CLASS	Primary Characteristic	Secondary Characteristic			
	LEVEL OF PROJECT DEFINITION Expressed as % of complete definition	END USAGE Typical purpose of estimate	METHODOLOGY Typical estimating method	EXPECTED ACCURACY RANGE Typical +/- range relative to best index of 1 (a)	PREPARATION EFFORT Typical degree of effort relative to least cost index of 1 (b)
Class 5	0% to 2%	Screening of Feasibility	Stochastic or Judgment	4 to 20	1
Class 4	1% to 15%	Concept Study of Feasibility	Primarily Stochastic	3 to 12	2 to 4
Class 3	10% to 40%	Budget, Authorization or Control	Mixed but Primarily Stochastic	2 to 6	3 to 10
Class 2	30% to 70%	Control or Bid/Tender	Primarily Deterministic	1 to 3	5 to 20
Class 1	50% to 100%	Check Estimate or Bid/Tender	Deterministic	1	10 to 100

Figura 17: Matrice di classificazione dei preventivi secondo AACE [6]

<sup>2</sup>Notes. (a) If the range index value of "1" represents +10/-5%, then an index value of 10 represents +100/-50% (b) If the cost index of "1" represents 0.005% of project costs, then an index value of 100 represents 0.5%

La valutazione economica avviene nelle prime fasi dell'iter progettuale attraverso metodi di stima sintetici, mentre una volta che il progetto è stato approfondito e durante le fasi di realizzazione dell'opera attraverso la stima analitica, ovvero con la redazione di un computo metrico estimativo [6].

### 4.3 Stima sintetica dei costi

Nelle fasi iniziali del processo edilizio si utilizzano prevalentemente metodi di stima sintetici, che sono funzionali in principio per valutare la rispondenza del progetto al budget che permette al business plan di funzionare. Più nel dettaglio, una stima sintetica si può basare su un solo parametro, ed essere quindi mono-parametrica, oppure su più parametri, configurandosi come multi-parametrica.

In entrambi i casi, occorre individuare i parametri più significativi associati al progetto che si vuole stimare con un approccio qualitativo e andare a ricercare in uno storico di progetti realizzati il valore da associarvi, avendo cura di utilizzare come riferimento edifici quanto più possibile simili all'intervento in questione. La metodologia da seguire può essere riassunta nell'immagine 18:



Figura 18: Metodologia stima sintetica [6]

Una stima dei costi mono-parametrica solitamente associa ad una superficie di riferimento, ad un volume complessivo dell'opera o in alcuni casi ad un elemento significativo, quale il numero di camere di un albergo o il numero di posti a sedere di uno stadio, un costo unitario parametrico basato su dati che hanno origine da interventi simili già realizzati. In tal caso, il costo complessivo dell'intervento sarà dato da una formula del tipo:

$$V_x = C_c \times Q_x \times C_p \quad (1)$$

dove:

- $V_x$ : valore complessivo dell'opera, ovvero ciò che vogliamo ottenere;
- $Q_x$ : parametro che si è scelto di valutare (GEA, SL, volume VPP, n° di camere, . . . );
- $C_p$ : costo parametrico proveniente da benchmark, in prima approssimazione costruibile attraverso una media dei costi parametrici di interventi similari realizzati nel passato;
- $C_c$ : coefficiente correttivo che può essere inteso come un adeguamento nel tempo dei costi di costruzione, attraverso indici ISTAT, oppure come un coefficiente correttivo funzione delle dimensioni e delle difficoltà del cantiere, secondo la tabella:

	Piccole	Medie	Grandi	
Grande	1,10	1,04	1,02	Difficoltà
Media	1,06	1,00	0,96	
Piccola	1,02	0,96	0,92	
Dimensione				

Figura 19: Coefficiente correttivo  $C_c$  [6]

In ambito di coefficienti correttivi, nel caso si disponga di interventi disomogenei dal punto di vista tecnico, si può utilizzare il metodo dei coefficienti ragguagliati, che va ad individuare tutte le differenze tecnologiche, costruttive o qualitative dei progetti da utilizzare come riferimento e vi associa un coefficiente correttivo che ne aumenta o riduce la magnitudo, andando poi ad ottenere un complessivo fattore di scala di cui si terrà conto nell'elaborazione dei costi parametrici.

Altrimenti, per superare la difficoltà di confronto tra edifici sostanzialmente differenti, si può aumentare il numero di parametri, andando ad esplicitare le diverse caratteristiche o componenti del progetto, e produrre una stima sintetica multiparametrica. In questo caso, analizzando parametro per parametro, si mettono in evidenza i macro-aspetti del progetto e aumenta la corrispondenza tra il progetto sotto analisi e gli interventi similari, risultando più semplice ricercare tali parametri negli edifici di riferimento.



In tal caso, il costo complessivo dell'intervento sarà dato da una formula del tipo:

$$V_x = \sum_j Q_{xj} \times C_{pj} \quad (2)$$

dove:

- $V_x$ : valore complessivo dell'opera, ovvero ciò che vogliamo ottenere;
- $Q_{xj}$ : parametro che si è scelto di valutare;
- $C_{pj}$ : costo parametrico proveniente da benchmark associato al singolo parametro.

Spingendo sempre di più l'approfondimento di una stima sintetica multi-parametrica, è possibile raggiungere uno dei massimi livelli di dettaglio di una stima di questo tipo, ottenendo un preventivo sintetico a parametrizzazione multifunzionale e costi ragguagliati. Tale stima ha come passaggi principali:

- Individuazione dei caratteri qualitativi e geometrici dell'edificio. Alcuni parametri possono essere facilmente desunti dalla geometria anche embrionale dell'edificio, ad esempio la superficie di piano, mentre altri, come l'estensione delle fondazioni, l'entità delle strutture verticali o la quantità di divisori interni, possono essere stimati attraverso valori tabulati o statistici;
- Determinazione dei parametri, ovvero i macro-elementi e subsistemi che compongono il progetto. Alcuni parametri possono essere facilmente desunti dalla geometria anche embrionale dell'edificio, ad esempio la superficie di piano, mentre altri, come l'estensione delle fondazioni, l'entità delle strutture verticali o la quantità di divisori interni, possono essere stimati attraverso valori tabulati o statistici, da applicare a quei parametri geometrici facilmente desumibili anche nelle prime fasi del progetto;
- Quantificazione delle lavorazioni riferite a ciascun parametro, ovvero scomporre ogni macro-elemento individuato in lavorazioni elementari riscontrabili nei prezzi di riferimento. Ad esempio, si procede associando alle strutture di elevazione verticale la quantità di calcestruzzo, ferro e casseri presumibilmente necessari alla sua realizzazione;
- Applicazione dei prezzi unitari dei listini di riferimento alle singole lavorazioni.

Questo processo da una parte consente di disarticolare la complessità del progetto in subsistemi più semplici, ma allo stesso tempo permette di ovviare alla necessità di avere benchmark di riferimento basati su esperienze pregresse, eliminando la difficoltà di comparazione di oggetti che di fatto sono spesso differenti tra loro. La scomposizione dei parametri in lavorazioni, poi, rende facilmente adattabile la stima al caso specifico e al mercato attuale.

In ultimo, il suo grado di approfondimento ne fa un ottimo strumento di controllo per i computi metrici estimativi analitici sviluppati nelle fasi successive.

Va sottolineato, tuttavia, che in fase preliminare risulta difficile individuare nel dettaglio tutti i subsistemi che compongono l'edificio, poiché appunto ci si concentra sulle macro-entità del progetto, visto anche il grado di approfondimento del progetto che si ha nelle primissime fasi. In questo ci vengono in aiuto il Principio di Pareto e la curva di concentrazione ABC, che in sintesi attribuisce a una ridotta quantità di elementi la maggior parte del costo complessivo dell'intervento:

Contributo dato al valore di costo	Classe	Descrizione
70%	A	10% dei centri di costo
20%	B	20% dei centri di costo
10%	C	70% dei centri di costo

Figura 20: Tabella centri di costo con metodo ABC [6]

Assumendo che con il metodo di stima proposto si riesca ad individuare gli elementi che fanno parte delle classi A e B, di fatto si riesce a stimare, con un sufficiente grado di approfondimento, il 90% del costo complessivo. È poi sufficiente aggiungere un 10% forfettario per tenere conto di tutti quei centri di costo minori, esclusi per ovvie ragioni dall'analisi.

#### 4.4 Il metodo ARC

Il metodo A.R.C. (Appréciation rapide des coûts de construction) è stato messo a punto dal Centre Scientifique et Technique di Parigi nel 1962 ed è un rapido strumento di previsione dei costi, la cui forza è la minimizzazione dei costi di costruzione indagando sull'economicità delle sole scelte progettuali che incidono sulla geometria dell'edificio. Si presenta come uno strumento preciso ma versatile, applicato in origine agli edifici residenziali, utilizzabile in tutte le fasi del processo edilizio, che definisce così:

1. Finanziamento
2. Programma
3. Planivolumetrico
4. Schizzo
5. Progetto di massima
6. Progetto esecutivo
7. Comparazione delle prestazioni
8. Situazione dei lavori

La sua applicazione, tuttavia, risulta essere un buono strumento soprattutto per la comparazione di diverse soluzioni distributive o morfologiche durante la fase di concept/ideazione, come guida per le scelte progettuali architettoniche.

Il metodo A.R.C. si fonda sul principio chiave di minimizzazione delle superfici perimetrali dell'edificio a parità di volume circoscritto. Se passiamo in rassegna le figure geometriche storicamente note, alla ricerca della figura geometrica che a parità di superficie laterale racchiuda il maggior volume possibile, troveremo che il solido che idealmente risponde a tale obiettivo è la sfera, e successivamente il cilindro, che vengono ovviamente esclusi dall'analisi poiché non adatte alla logica costruttiva. Ecco, dunque, che il solido ottimale che soddisfa il requisito ricercato dal metodo risulta essere il cubo, forma da cui storicamente, con il cerchio e il triangolo equilatero, derivano le altre geometrie. Degli studi hanno approfondito come, allontanandosi da tale figura ideale, vari il rapporto tra superficie laterale e volume, come evidenziato nella figura 21.

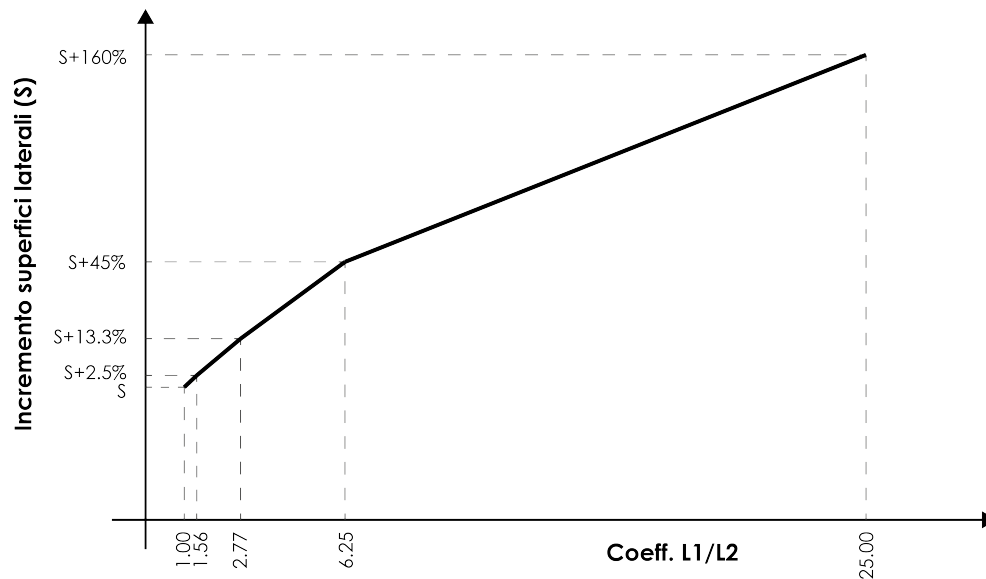


Figura 21: Incremento della superficie laterale al variare del rapporto tra i due lati di un parallelepipedo [2]

Allo stesso modo, gli studi sottolineano come le espansioni e le penetrazioni in un parallelepipedo aumentino la superficie laterale: in particolare, le penetrazioni hanno un impatto superiore rispetto alle espansioni e più il parallelepipedo si allontana dal cubo, più le espansioni e penetrazioni diventano trascurabili nell'aumento della superficie laterale rispetto al rapporto tra i lati stessi.

Per l'elaborazione della stima del costo di costruzione, il metodo A.R.C. procede infatti individuando tre principali gruppi di opere:

- Opere il cui prezzo è proporzionale alla superficie in pianta
- Opere il cui prezzo è proporzionale alla superficie laterale
- Opere il cui prezzo è indipendente dalla geometria

Tali opere vengono poi quantificate, per ciascun locale dell'edificio oggetto di studio, con una formula del tipo:

$$P_i = r_O \times S + r_L \times d \times h + P_n \quad (3)$$

dove:

- $P_i$  = prezzo totale del locale;
- $r_O$  = prezzo unitario a m<sup>2</sup> di opera orizzontale;

- $S$  = superficie utile del locale;
- $r_L$  = prezzo unitario a m<sup>2</sup> di opera verticale;
- $d$  = sviluppo delle pareti verticali del locale;
- $h$  = altezza delle pareti;
- $P_n$  = costo delle attrezzature.

Ovviamente al complicarsi dell'edificio, tale formula viene rivista come una sommatoria di "cellule" o quantità elementari, sfruttando il medesimo principio di base.

Più nel dettaglio, per la determinazione del prezzo totale di un alloggio, il metodo A.R.C. utilizza la seguente formula:

$$P_t = P_c + P_p + P_g + P_a + P_g \quad (4)$$

Dove:

- $P_c$  = è il prezzo della cellula, formato dalle opere orizzontali, dalle opere verticali e dalle attrezzature
- $P_p$  = è il prezzo delle opere annesse private, ad esempio i balconi
- $P_g$  = è il valore delle opere annesse comuni, quali i garage
- $P_a$  = si riferisce alle opere necessarie per l'accesso, quali scale o ascensori
- $P_g$  = è il prezzo delle opere generali, quali le strutture di fondazione

Il metodo A.R.C. fornisce dei valori tabellari di riferimento da utilizzare per l'applicazione del metodo, organizzati in 42 "tavole", di cui si riportano alcuni esempi nella figura 22.

2°; 3°; 4° livello  
finanziamento ; programma ; planivolumetrico

### 1 prezzi unitari

opere orizzontali : prezzo m² orizzontale

$r_1$	solai	piccolissimi da 2,50 a 3,00m	35540	35540	35560
		media " da 3,51 a 4,50	38080	38080	38090
		grande " da 4,51 a 5,50	41440	41440	41440
$r_6$	vespai	sott.ghiaia grossa + battuto cemento	8400	8400	8400
$r_2$	vespai	asfalto con muretti e lav. v. e s. e	33800	33800	33800
$r_3$	rivest.	pavimenti locali umidi	12000	12000	12000
$r_4$	"	" " " " " " " " " " " "	6700	6700	6700
$r_5$	"	annessi fuori terra senza logge con logge	12036	15120	21168
		" " " " " " " " " " " "	5800	7000	7333
$r_6$	"	locali annessi interrati			
$r_{bis}$	"	soffitti locali umidi	3320	4480	5760
$r_{bis}$	"	soffitti locali asciutti		3080	3850
$r_{bis}$	"	annessi fuori terra senza logge con logge	2464	6160	6160
		" " " " " " " " " " " "	1866	2800	2800
$r_{bis}$	"	locali annessi interrati			

opere verticali : prezzo m² verticale

$r_8$	perim.	edificio a blocco d. < 2,5	60000	10000	32500
		edificio in linea d. > 2,5	55676	65880	86046
$r_9$	divisorio portante		14000	14000	14000
$r_6$	tramezzo		6720	6720	6720
$r_{p1}$	rivestimenti locali umidi		3436	3320	5226
$r_{p2}$	" " " " " " " " " " " "		1433	2240	8360
$r_{p3}$	"	locali annessi fuori terra	4200	8400	20160
$r_{p4}$	"	" " " " " " " " " " " "	640	1480	3320
$r_{p5}$	prezzo maglia struttura (mezza maglia)				
		piccola luce 2,50 a 3,50m	11760	11760	11760
		media " 3,51 a 4,50	13640	13640	13640
		grande " 4,51 a 5,50	14360	14360	14360
		grandissima " > 5,50	16240	16240	16240

econ.	civ.ab.	lusso
35540	35540	35560
38080	38080	38090
41440	41440	41440
8400	8400	8400
33800	33800	33800
12000	12000	12000
6700	6700	6700
12036	15120	21168
5800	7000	7333
3320	4480	5760
	3080	3850
2464	6160	6160
1866	2800	2800
60000	10000	32500
55676	65880	86046
14000	14000	14000
6720	6720	6720
3436	3320	5226
1433	2240	8360
4200	8400	20160
640	1480	3320
11760	11760	11760
13640	13640	13640
14360	14360	14360
16240	16240	16240

2°; 3°; 4° livello  
finanziamento ; programma ; planivolumetrico

3 coeff. sviluppo u facce interne pareti verticali cellula e m² ab.

S <sub>a</sub>	tipo di cellula						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
	3	4	5	6	8	9	10
25 m²	1,85						
30	1,69						
35	1,56	1,80					
40	1,46	1,69					
45		1,50	1,80				
50		1,51	1,70				
55		1,44	1,62	1,81			
60		1,38	1,56	1,74			
65			1,50	1,66			
70			1,44	1,60			
75			1,39	1,55	1,72		
80			1,35	1,50	1,67		
85				1,46	1,62	1,74	
90				1,42	1,57	1,69	
95					1,53	1,64	
100					1,49	1,60	
105					1,46	1,56	1,68
110					1,42	1,53	1,62
115					1,39	1,49	1,59
120						1,46	1,56
125						1,43	1,53
130						1,40	1,50
135						1,38	1,47
140							1,44

i valori tabellati sono in funzione di S<sub>a</sub> e di un valore forfettario n° (numero disimpegni e locali piccolissimi).  
I, II, III, IV, V, VI, VII indicano il numero di locali della cellula

Figura 22: Esempio: tavola di riferimento per l'applicazione del metodo A.R.C. [2]

Nelle prime fasi della progettazione, l'errore stimabile per l'applicazione del metodo A.R.C è inferiore al 10%, di cui il 4% riferibile alla quantità, il 4% ai prezzi unitari applicati e il 2% relativo alle opere generali o alle attrezzature.

Sebbene la procedura del metodo A.R.C. sia stata un ottimo punto di partenza nell'elaborazione di metodologie di stima, esso presenta dei limiti in quanto è focalizzato sulla valutazione di edifici residenziali ed è necessario un grande sforzo per la definizione delle estensioni geometriche e di tabelle e valori aggiornati da utilizzare. Tuttavia, il principio che sta alla base di tale metodo e l'importanza della geometria e delle valutazioni del costo che le scelte morfologiche implicano, è un interessante concetto e può essere ripreso sfruttando la forte componente geometrica il BIM offre.

L'uso di un modello BIM, infatti, attraverso la metodologia e la programmazione sviluppata in questo progetto di tesi, permette di sfruttare i parametri morfologici per la determinazione del costo complessivo e monitorare agilmente la variazione del costo con la modifica della geometria dell'edificio [2].

## **5 La preventivazione sintetica multi-parametrica in ambiente BIM**

L'obiettivo che questa tesi si pone è lo sviluppo e la progettazione di un sistema smart, che permetta l'elaborazione di una preventivazione sintetica. Si ritiene però di dover dare alla stima e al professionista, che utilizzerà un modello analogo a quello descritto nei capitoli successivi, un mezzo di analisi più completo, preciso e customizzabile, ovvero adattabile alle proprie esigenze. Quindi, l'interfaccia tecnologica sui cui si costruisce l'algoritmo, dovrà permettere all'utente, attraverso pochi e relativamente semplici passaggi, di arrivare ad un risultato accettabile, permettendogli al tempo stesso di modificare a suo piacimento alcuni dati incidenti sulla stima.

Con il metodo ARC e la valutazione del progetto in fase di concept abbiamo espresso come sia importante definire un budget giusto, in modo tale da non impattare negativamente sul business plan del progetto. Quindi, questo strumento permetterà di analizzare, con un errore molto basso, il progetto fin dalle prime fasi della progettazione, rendendolo sostenibile, in termini di costi e tempi, e anticipando sempre di più l'attività decisionale verso i primi step progettuali. Come descritto nel capitolo 3, l'ambiente BIM permette, in questo senso, di posticipare il punto di non ritorno, ovvero il punto oltre il quale le decisioni sul progetto dovrebbero essere prese in maniera definitiva, verso la fine della fase esecutiva, permettendo però anche un'analisi più veritiera e al tempo stesso veloce.

La suddetta tesi si basa, inoltre, sull'analisi specifica di edifici con destinazione d'uso residenziale. Partendo quindi da una destrutturazione del complesso edilizio, sono state studiate tutte le singole voci della WBS (Work Breakdown Structure) ed è stata implementata una lista di parametri, che consentono la modifica del modello digitale. Attraverso un algoritmo, la modellazione 3D con un livello di dettaglio LOD A dell'edificio ed un elenco di prezzi unitari, è stato ricavato così il costo di realizzazione dell'intervento. Per verificare la congruenza di tale processo sono stati presi in riferimento due esempi nella città metropolitana di Milano e, confrontandone la stima effettuata con l'algoritmo multi-parametrico e il preventivo effettuato in fase esecutiva, si è andati a verificarne l'efficacia o l'esattezza calcolando il margine di errore. Nella figura 23 è rappresentato un diagramma che descrive il processo per l'ottenimento di un preventivo sintetico multi-parametrico.

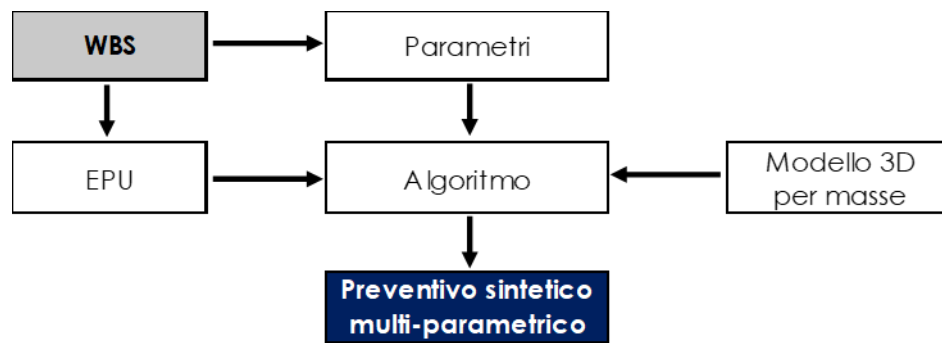


Figura 23: Processo di preventivazione sintetica multi-parametrica

## 5.1 Descrizione del processo

Lo sviluppo del processo descritto nel preambolo del capitolo e raffigurato nella Figura 23 ha richiesto soluzioni alternative alle tradizionali analisi della fase di concept, solitamente effettuate con fogli di calcolo più o meno potenti.

Lo schema seguito, quindi, tiene conto sia di tradizionali metodi scientifici, che di metodi informatici per la creazione di algoritmi che fossero in grado di elaborare i dati richiesti automatizzandoli e semplificando l'interazione che il professionista ha con il mezzo digitale.

L'ipotesi iniziale, infatti, è proprio quella che lo strumento informatico possa effettivamente velocizzare le procedure di analisi, processando e rielaborando le informazioni di input date dal progettista. Quest'ultimo dovrà, quindi, solo apportare delle semplici modifiche ad alcuni input, per vedere come questi influiscano sul risultato finale della stima. L'analisi successiva ha visto come protagonista la valorizzazione di parametri geometrici per ciascuna delle sotto-categorie che compongono l'edificio nel suo complesso. Dopodiché, vi è stata la fase di progettazione vera e propria dell'algoritmo di elaborazione dei dati, a cui è stato affidato il compito di prendere i dati dei parametri geometrici, associarli ad una massa tridimensionale, elaborare tali informazioni, relazionandole ad un elenco di prezzi unitari e ricavando così un valore di costo finale stimato. Infine, prendendo in riferimento i due edifici prima citati, si è fatto processare su di essi l'algoritmo che ne ha calcolato e ricavato un preventivo sintetico multi-parametrico [5][9].

Confrontando il risultato finale si è quindi ricavato l'errore percentile, rispetto al valore finale del computo metrico estimativo della esecutiva dei due fabbricati. Questo ultimo passaggio ha permesso di fare una valutazione sull'effettivo funzionamento e sull'efficacia di tale metodo.



Il sistema di gestione dei dati è stato possibile anche grazie all'utilizzo di tre software in particolare:

1. **Autodesk Revit 2020:** software per l'elaborazione di progetti in BIM e che mi ha permesso di rappresentare graficamente l'edificio attraverso delle masse, ovvero degli elementi tridimensionali molto semplici, le cui informazioni sono limitate ad un livello LOD A.
2. **Dynamo:** piattaforma open-source per il computational design ed il BIM, che permette generalmente di produrre delle routine fatte di operazioni logiche, che automatizzano i processi dei workflow e che mi ha aiutato ad elaborare un algoritmo in grado di gestire i dati dei parametri ed a combinarli, per ricavarne infine il costo finale.
3. **Microsoft Excel:** è un programma dedicato alla produzione ed alla gestione di fogli di calcolo elettronici, che mi ha permesso di creare dei fogli che racchiudessero i dati iniziali e in generale è lo strumento che fa da tramite tra l'algoritmo e i dati di output.

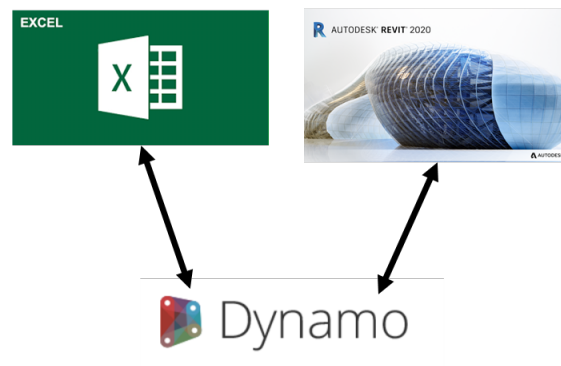


Figura 24: Processo e software impiegati

## 5.2 Modello tridimensionale per masse

Nella realizzazione del modello di masse in Revit, oltre alle esigenze del committente che ha richiesto la valutazione in esame, devono essere considerate alcune linee guida per il corretto ottenimento del risultato:

- Livelli di progetto: la prima cosa da fare all'apertura del nuovo file .rvt, oltre all'impostazione base di tutti i parametri di progetto, è l'impostazione dei livelli e delle relative altezze, come illustrato in figura 25;

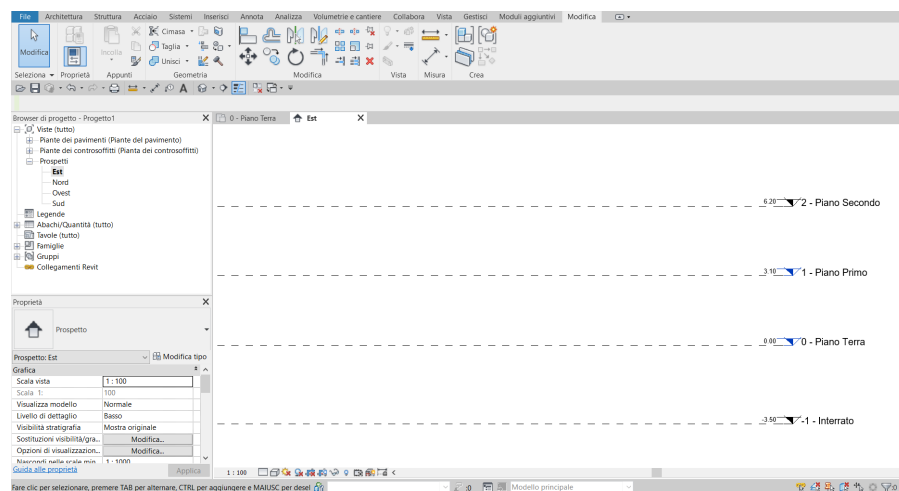


Figura 25: Screen da Revit: Livelli di progetto

- Masse: successivamente si andranno a realizzare all'interno dell'ambiente digitale le masse che rappresenteranno graficamente e tridimensionalmente gli edifici in questione. L'algoritmo divide spazialmente il complesso edilizio tra le parti fuori terra di esso e le parti invece interrato. Si dovrà quindi provvedere alla creazione di due elementi geometrici, come rappresentato in figura 26 e 27.

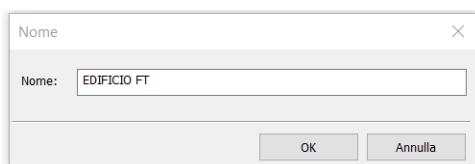


Figura 26: Screen da Revit: Massa fuori terra

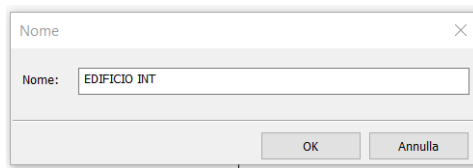


Figura 27: Screen da Revit: Massa interrato

Otteniamo così due masse, una che rappresenta la porzione fuori terra dell'intervento ed una la porzione interrata. Nelle immagini 28 e 29 è riportata la vista in prospetto e tridimensionale del risultato che si dovrebbe ottenere;

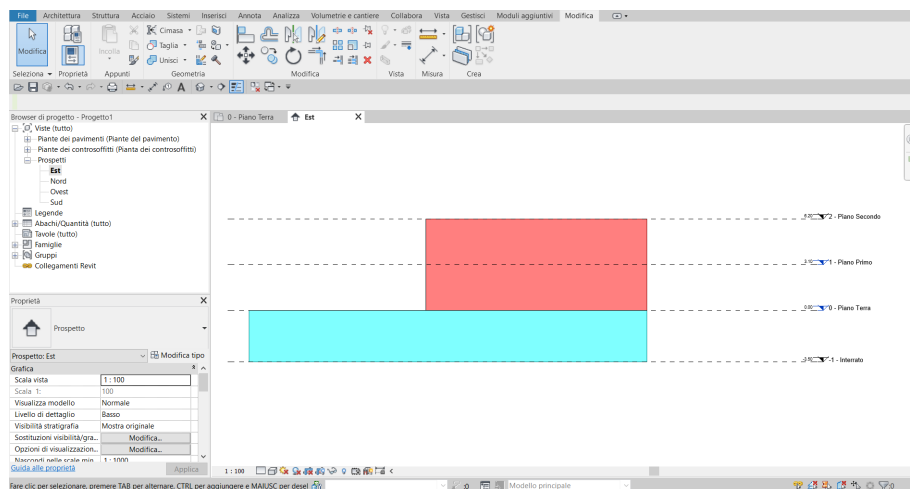


Figura 28: Screen da Revit: Masse in prospetto

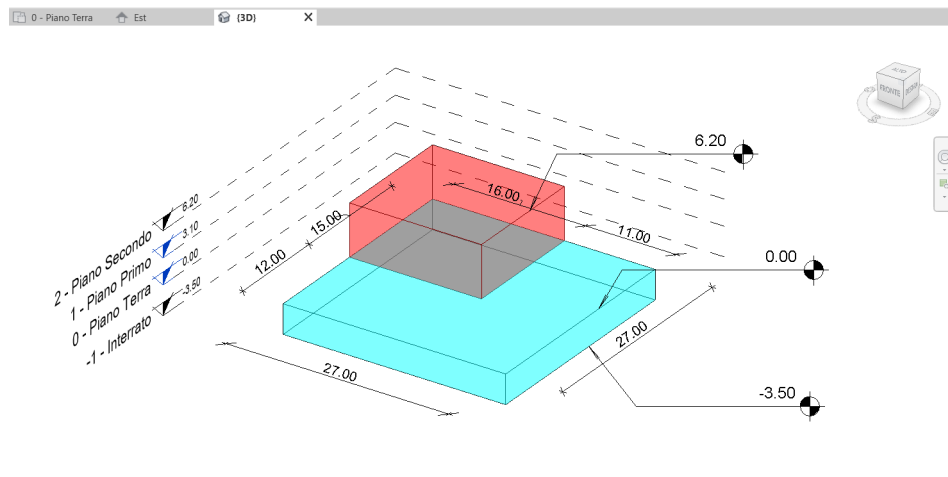


Figura 29: Screen da Revit: Masse - visualizzazione tridimensionale

- Suddivisione in piani: una volta definite spazialmente le masse, bisogna identificare quali livelli intersecano le masse lungo la loro altezza, in modo tale da creare così dei pavimenti bidimensionali che identificano l'area in pianta e il perimetro dell'edificio. Di seguito, sono riportate due immagini: la figura 30 rappresenta la selezione dei piani intersecanti la massa fuori terra; la figura 31 rappresenta quindi il risultato di tale procedura, con la massa divisa per i piani intersecanti dei livelli.

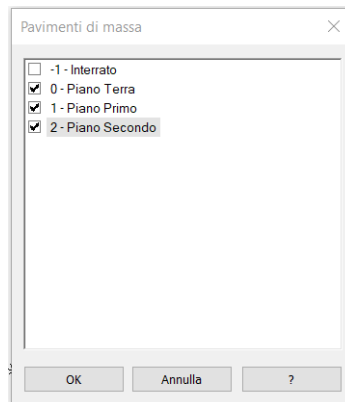


Figura 30: Screen da Revit: Selezione dei livelli intersecanti

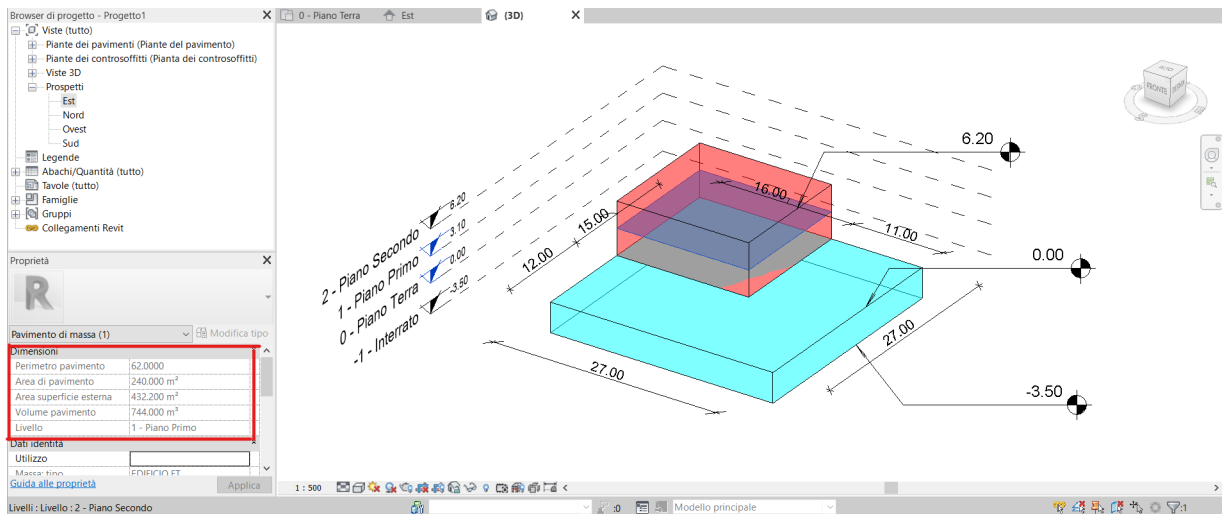


Figura 31: Screen da Revit: Pavimenti di massa

Nel caso in cui ci sia la necessità di creare geometrie più complesse è possibile avviare l'analisi modellando il complesso edilizio come l'aggregazione di più masse.

### 5.3 Destrutturazione del progetto

All'interno del processo, descritto nel capitolo 5.1, si denota come la progettazione abbia bisogno di una destrutturazione organizzata degli elementi che lo compongono, in modo tale da permettere una più facile gestione delle attività successive. Quindi prima di poter effettuare qualsiasi ragionamento sulle modalità di organizzazione dei parametri, illustrerò le modalità di scomposizione del complesso edilizio.

Per individuare la metodologia per la elaborazione di una Work Breakdown Structure, ovvero struttura di scomposizione del lavoro (cfr. capitolo 2.2), si è preso in esame la normativa UNI 8290, essendo quest'ultima una valida linea guida per la destrutturazione spaziale e tecnologica dell'intervento.

Di seguito è riportato un elenco puntato che rappresenta il risultato dell'analisi effettuata su un organismo edilizio residenziale, tipicamente situato a Milano. Questa WBS non deve però limitare le possibili implementazioni di campi il cui scopo è l'affinamento del risultato finale, bensì, deve essere un aiuto a chi gestisce i dati ed a chi legge questa tesi.

*WBS di progetto:*

#### 1. Attività preliminari

##### 1.1 Cantiere

###### 1.1.1 Allestimento cantiere

###### 1.1.1.1 Allestimento cantiere

###### 1.1.1.1.1 Allestimento cantiere

###### 1.1.2 Mantenimento cantiere

###### 1.1.2.1 Mantenimento cantiere

###### 1.1.2.1.1 Mantenimento cantiere

###### 1.1.3 Smobilizzo cantiere

###### 1.1.3.1 Smobilizzo cantiere

###### 1.1.3.1.1 Smobilizzo cantiere

##### 1.2 Opere preliminari

###### 1.2.1 Movimenti terra

###### 1.2.1.1 Scavi

###### 1.2.1.1.1 Scavo generale

1.2.1.2 Reinterri

1.2.1.2.1 Reinterro a perimetro edificio

## **2. Strutture**

2.1 Strutture di fondazione

2.1.1 Fondazioni dirette

2.1.1.1 Fondazione diretta e sottofondazione

2.1.1.1.1 Magrone

2.1.1.1.2 Casseri fond

2.1.1.1.3 Carpenterie fond

2.1.1.1.4 Calcestruzzo fond

2.1.2 Fondazioni indirette

2.1.2.1 Fondazioni indirette

2.1.2.1.1 Pali/Paratie

2.2 Strutture di elevazione

2.2.1 Strutture elevazione

2.2.1.1 Strutture verticali interrato

2.2.1.1.1 Casseri strutture verticali interrato

2.2.1.1.2 Carpenterie strutture verticali interrato

2.2.1.1.3 Calcestruzzo strutture verticali interrato

2.2.1.2 Strutture orizzontali interrato

2.2.1.2.1 Casseri struttura orizzontale interrato

2.2.1.2.2 Carpenterie struttura orizzontale interrato

2.2.1.2.3 Calcestruzzo struttura orizzontale interrato

2.2.1.3 Strutture verticali piano tipo

2.2.1.3.1 Casseri struttura verticali piano tipo

2.2.1.3.2 Carpenterie struttura verticali piano tipo

2.2.1.3.3 Calcestruzzo struttura verticali piano tipo

2.2.1.4 Strutture orizzontali piano tipo

2.2.1.4.1 Casseri struttura orizzontali piano tipo

2.2.1.4.2 Carpenterie struttura orizzontali piano tipo

2.2.1.4.3 Calcestruzzo struttura orizzontali piano tipo

## 2.3 Strutture di contenimento

### 2.3.1 Strutture di contenimento verticale

#### 2.3.1.1 Muri controterra

##### 2.3.1.1.1 Casseri struttura muri controterra

##### 2.3.1.1.2 Carpenterie struttura muri controterra

##### 2.3.1.1.3 Calcestruzzo struttura muri controterra

## 3. Chiusure

### 3.1 Chiusura verticale

#### 3.1.1 Chiusure opache

##### 3.1.1.1 Chiusura verticale opaca

##### 3.1.1.1.1 Pacchetto tecnologico chiusura opaca verticale

#### 3.1.2 Chiusure trasparenti

##### 3.2.1.1 Serramenti

##### 3.1.2.1.1 Serramenti esterni

### 3.2 Chiusura orizz. di base

#### 3.2.1 Solaio contro terra

##### 3.2.1.1 Stratigrafia controterra

##### 3.2.1.1.1 Pacchetto tecnologico per il passaggio di pedoni o mezzi

### 3.3 Chiusura orizzontale su spazi aperti

#### 3.3.1 Balconi

##### 3.3.1.1 Solaio strutturale balcone

##### 3.3.1.1.1 Calcestruzzo struttura balcone/loggia

##### 3.3.1.1.2 Carpenteria struttura balcone/loggia

##### 3.3.1.1.3 Casseri struttura balcone/loggia

##### 3.3.1.2 Solaio tecnologico balcone

##### 3.3.1.2.1 Pacchetto tecnologico balcone

### 3.4 Chiusura superiore

### 3.4.1 Copertura

#### 3.4.1.1 Solaio di copertura

##### 3.4.1.1.1 Pacchetto tecnologico copertura

## **4. Partizioni interne**

### 4.1 Partizioni interne verticali

#### 4.1.1 Partizioni opache

##### 4.1.1.1 Tramezzi

###### 4.1.1.1.1 Tavolati interni

##### 4.1.1.2 Tramezze interne edificio fuori terra

###### 4.1.1.2.1 Trammezze interne interrato

#### 4.1.2 Partizioni mobili

##### 4.1.2.1 Porte interne

###### 4.1.2.1.1 Porte blindate

###### 4.1.2.1.2 Porta tagliafuoco fuori terra

###### 4.1.2.1.3 Porte a battente ed a scorrimento

##### 4.1.2.2 Serramenti interrato/box

###### 4.1.2.2.1 Porte in ferro cantine

###### 4.1.2.2.2 Porta tagliafuoco interrato

###### 4.1.2.2.3 Basculanti box

### 4.2 Partizioni interne orizzontali

#### 4.2.1 Solai

##### 4.2.1.1 Solaio piano tipo interrato

###### 4.2.1.1.1 Pacchetto estradosso solaio interrato

###### 4.2.1.1.2 Pacchetto intradosso solaio interrato

###### 4.2.1.1.3 Pacchetto intradosso ultimo solaio interrato

##### 4.2.1.2 Solaio piano terra

###### 4.2.1.2.1 Pacchetto estradosso solaio piano terra

###### 4.2.1.2.2 Pacchetto intradosso solaio piano terra

###### 4.2.1.2.3 Pacchetto intradosso solaio controsoffittato piano terra

##### 4.2.1.3 Solaio piano tipo fuoriterza



- 4.2.1.3.1 Pacchetto estradosso solaio piano tipo
- 4.2.1.3.2 Pacchetto intradosso solaio piano tipo
- 4.2.1.3.3 Pacchetto intradosso solaio controsoffittato piano tipo

#### 4.3 Partizioni interne inclinate

##### 4.3.1 Scale

###### 4.3.1.1 Parapetti

###### 4.3.1.1.1 Parappeto e corrimano scale interne

### **5. Impianti tecnologici**

#### 5.1 Impianto meccanico

##### 5.1.1 Impianto meccanico

###### 5.1.1.1 Impianto meccanico piani fuori terra

###### 5.1.1.1.1 Impianto meccanico piani fuori terra

###### 5.1.1.2 Impianto meccanico piani interrati

###### 5.1.1.2.1 Impianto meccanico piani interrati

#### 5.2 Impianto antincendio

##### 5.2.1 Impianto antincendio

###### 5.2.1.1 Impianto antincendio piani fuori terra

###### 5.2.1.1.1 Impianto antincendio piani fuori terra

###### 5.2.1.2 Impianto antincendio piani interrati

###### 5.2.1.2.1 Impianto antincendio piani interrati

#### 5.3 Impianto elettrico

##### 5.3.1 Impianto elettrico

###### 5.3.1.1 Impianto elettrico piani fuori terra

###### 5.3.1.1.1 Impianto elettrico piani fuori terra

###### 5.3.1.2 Impianto elettrico piani interrati

###### 5.3.1.2.1 Impianto elettrico piani interrati

#### 5.4 Impianto elevatore

##### 5.4.1 Impianto elevatore

5.4.1.1 Impianto elevatore

5.4.1.1.1 Impianto elevatore

## **6. Opere di sistemazione esterna**

6.1 Allestimenti esterni

6.1.1 Aree esterne

6.1.1.1 Aree esterne

6.1.1.1.1 Aree esterne

## **7. Centri di costo minore**

7.1 Centri di costo minore

7.1.1 Centri di costo minore

7.1.1.1 Centri di costo minore

7.1.1.1.1 Centri di costo minore

Il risultato è quindi una destrutturazione funzionale basata su cinque livelli di approfondimento. Proprio sull'ultimo livello di WBS si costruirà tutta l'analisi che segue nei capitoli successivi.

## **5.4 Impostazione analisi multi-parametrica**

Lo schema riportato in figura 32 rappresenta graficamente, in una tabella, come è stato impostato il problema legato alla gestione dei dati e alla loro dinamicità. Ovvero, seguendo quanto detto in precedenza, il professionista che utilizza questo strumento deve avere la possibilità di modificare alcuni dati inerenti agli aspetti quantitativi dell'edificio. Per fare questo sono stati attribuiti dei parametri<sup>3</sup> per ciascuna delle voci della WBS di progetto. Questa attribuzione è stata gestita interamente su un foglio di calcolo *Excel*. È possibile accorgersi però che non tutti i parametri hanno bisogno di essere gestiti in modo dinamico, ovvero non tutti i dati hanno bisogno di essere costantemente aggiornati per arrivare alla rifinitura del costo finale. Per esempio, una volta definita la tipologia di edificio che si andrà a realizzare, il parametro riferito alla massa di acciaio presente all'interno di un metro cubo di calcestruzzo per i pilastri non varierà continuamente, ma potrà essere compilato una sola volta dal progettista in base alla sua esperienza o a dati statistici presenti anche in letteratura.

---

<sup>3</sup>variabili da cui dipende l'andamento di una funzione

Codici colonne	Descrizione	Categoria	Subcategoria	SubSubcategoria
COD.WBS_01	Codice elemento al 1° Livello di WBS	UNI 8290	UNITA' TECNOLOGICHE	WBS01
DESCR_WBS_01	Descrizione elemento al 1° Livello di WBS			
COD.WBS_02	Codice elemento al 2° Livello di WBS			WBS02
DESCR_WBS_02	Descrizione elemento al 2° Livello di WBS			
COD.WBS_03	Codice elemento al 3° Livello di WBS		CLASSI DI ELEMENTI TECNICI	WBS03
DESCR_WBS_03	Descrizione elemento al 3° Livello di WBS			
COD.WBS_04	Codice elemento al 4° Livello di WBS	SCELTE PROGETTUALI	ELEMENTI TECNICI	WBS04
DESCR_WBS_04	Descrizione elemento al 4° Livello di WBS			
COD.WBS_05	Codice elemento al 5° Livello di WBS	PREVENTIVAZIONE	VOCI DI LAVORO	WBS05
DESCR_WBS_05	Descrizione elemento al 5° Livello di WBS			
ST_P1	Parametro statico numero 1	PARAMETRI DI GESTIONE DEI DATI	PARAMETRI STATICI	PARAMETRI DA MODIFICARE
ST_P1_Val	Valore del parametro statico numero 1			
ST_P2	Parametro statico numero 2			
ST_P2_Val	Valore del parametro statico numero 2			
ST_PARAM	Totale e valore del parametro statico			
DN_P1	Parametro dinamico numero 1		PARAMETRI DINAMICI	PARAMETRI DA GESTIRE IN REVIT
DN_P2	Parametro dinamico numero 2			
DN_P3	Parametro dinamico numero 3			
DN_P4	Parametro dinamico numero 4			
DN_P5	Parametro dinamico numero 5			

Figura 32: Navigatore della matrice di progetto

Vengono perciò definiti dei parametri *statici* e dei parametri *dinamici*, raffigurati in colore giallo e arancione in figura 32.

I parametri **statici** rappresentano quelle variabili che non sono assoggettate da variabilità repentina, bensì, dopo l'impostazione iniziale, possono essere compilate una sola volta. Inoltre, solitamente questi parametri non sono inclini ad azioni legate ai tagli economici del progetto, ovvero, sono dati che definiscono elementi tecni-

ci su cui solitamente non si dovrebbe andare a risparmiare in una fase di concept (per esempio, la quantità di armatura presente all'interno di un metro cubo di calcestruzzo di un pilastro). Viene riportata di seguito la tabella dei parametri statici, dove la colonna *Val* è colorata in giallo, in quanto indica i dati che il professionista deve compilare a monte del processo.

<p><b>Tabella parametri statici</b></p>				
<b>Prog.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Sigla</b>	<b>Valore</b>	<b>u.m.</b>
1	Altezza magrone	hmagrone	0.1	m
2	Incidenza su m <sup>3</sup> di cls dell'acciaio per fondazione	la,fond,int	50	kg/m <sup>3</sup>
3	Indice del cassero di fondazione su mc di cls	lcass,fond	0.08	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
4	Percentuale area pilastri rispetto all'area in pianta complessiva all'interrato	%pil,int	0.03	%
5	Rapporto tra perimetro del singolo pilastro e l'area del singolo pilastro all'interrato	2p,pil,int/Apil,int	9	1/m
6	Incidenza su m <sup>3</sup> cls dell'acciaio per pilastri interrato	la,pil,int	60	kg/m <sup>3</sup>
7	Percentuale area del solaio da casserare all'interrato	%cass,sol,int	0.4	%
8	Incidenza su m <sup>3</sup> cls dell'acciaio per solaio interrato	la,sol,int	40	kg/m <sup>3</sup>

9	Altezza solaio interrato	hsol,int	0.3	m
10	Altezza pali/Paratie	hpali,int	7	m
11	Diametro dei pali	Dpali	0.2	m
12	Incidenza su m <sup>3</sup> cls dell'acciaio per setti controterra	la,setti,ct	60	kg/m <sup>3</sup>
13	Spessore setti controterra	Ssetti,ct	0.3	m
14	Percentuale area pilastri rispetto all'area in pianta complessiva fuori terra	%pil,ft	0.03	%
15	Rapporto tra perimetro del singolo pilastro e l'area del singolo pilastro fuoriterza	2p,pil,ft/Apil,ft	9	1/m
16	Incidenza su m <sup>3</sup> cls dell'acciaio per pilastri fuori terra	la,pil,ft	40	kg/m <sup>3</sup>
17	Percentuale area del solaio da casserare fuori terra	%cass,sol,ft	0.3	%
18	Incidenza su m <sup>3</sup> cls dell'acciaio per solaio fuori terra	la,sol,ft	40	kg/m <sup>3</sup>
19	Altezza solaio fuori terra	hsol,ft	0.3	m
20	Spessore soletta balconi/logge	hsol,bal	0.25	m
21	Incidenza su m <sup>3</sup> cls dell'acciaio per solette di balconi/logge	la,sol,bal	40	kg/m <sup>3</sup>

23	Peso al metro lineare del parapetto scale	Pparapetti	35	kg/m
24	Alzata gradino per scale interne	h,gradino	0.17	m
25	Pedata gradino per scale interne	p,gradino	0.3	m
26	Spessore medio tramezzi fuori terra	Sp,tramez,ft	0.15	m
27	Spessore medio tramezzi interrato	Sp,tramez,int	0.2	m
28	Superficie media trilocale	Smedia,tril	75	m <sup>2</sup>
29	Numero porte medianamente presenti in un trilocale	Nr,battente	7	-
30	Numero porte tagliafuoco per core in cls	Nr,tagliafuoco	3	-
31	Superficie media cantina compresa di connettivo	Scantina	6	m <sup>2</sup>
32	Superficie media garage compreso di metà corsello	Sgarage	25	m <sup>2</sup>
33	Percentuale di superficie adibita ad uso cantina	%Acantina/Aint	0.14	%
34	Percentuale di superficie adibita ad uso garage	%Agarage/Aint	0.76	%
35	Percentuale sul totale dei centri di costi minore	Ccm	0.05	%

36	Percentuale sul totale dell'allestimento del cantiere	Call	0.03	%
37	Percentuale sul totale del mantenimento del cantiere	Cmant	0.03	%
38	Percentuale sul totale dello smobilizzo del cantiere	Csmob	0.03	%

Tabella 2: Tabella parametri statici

I parametri così compilati vengono gestiti in un secondo foglio di calcolo, il quale li prende e li associa alle voci del quinto livello di WBS. Qui i dati vengono elaborati per ottenere un unico parametro di progetto, il quale sarà anche il valore letto da *Dynamo*. Si riporta di seguito la tabella completa dei parametri statici, associati automaticamente alla riga giusta.

<b>Tabella associativa parametri statici</b>					
<b>WBS_05</b>	<b>ST_P1</b>	<b>ST_P1_Val</b>	<b>ST_P2</b>	<b>ST_P2_Val</b>	<b>ST_PARAM</b>
1.1.1.1.1 Allestimento cantiere	Call	0.03	[-]	1.00	0.03
1.1.2.1.1 Mantenimento cantiere	Cmant	0.03	[-]	1.00	0.03
1.1.3.1.1 Smobilizzo cantiere	Csmob	0.03	[-]	1.00	0.03
1.2.1.1.1 Scavo generale	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
1.2.1.2.1 Reinterri a perimetro edificio	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
2.1.1.1.1 Magrone	hmagrone	0.10	[-]	1.00	0.10
2.1.1.1.2 Casseri fond	lcass,fond	0.08	[-]	1.00	0.08

2.1.1.1.3	Carpenterie fond	la,fond,int	50.00	[-]	1.00	50.00
2.1.1.1.4	Calcestruzzo fond	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
2.1.2.1.1	Pali/Paratie	hpali,int	7.00	Dpali	0.20	35.00
2.2.1.1.1	Casseri strut- ture vert	2p,pil,ft / Apil,ft	9.00	%pil,int	0.03	0.27
2.2.1.1.2	Carpenterie stru <sub>vert</sub>	la,pil,int	60.00	%pil,int	0.03	1.80
2.2.1.1.3	Calcestruzzo stru <sub>vert</sub>	%pil,int	0.03	[-]	1.00	0.03
2.2.1.2.1	Casseri stru <sub>oriz</sub>	%cass,sol, int	0.40	[-]	1.00	0.40
2.2.1.2.2	Carpenterie stru <sub>oriz</sub>	la,sol,int	40.00	hsol,int	0.30	12.00
2.2.1.2.3	Calcestruzzo stru <sub>oriz</sub>	hsol,int	0.30	[-]	1.00	0.30
2.2.1.3.1	Casseri strut- ture vert	2p,pil,ft / Apil,ft	9.00	%pil,ft	0.03	0.27
2.2.1.3.2	Carpenterie stru <sub>vert</sub>	la,pil,ft	40.00	%pil,ft	0.03	1.20
2.2.1.3.3	Calcestruzzo stru <sub>vert</sub>	%pil,ft	0.03	[-]	1.00	0.03
2.2.1.4.1	Casseri stru <sub>oriz</sub>	%cass,sol, ft	0.30	[-]	1.00	0.30
2.2.1.4.2	Carpenterie stru <sub>oriz</sub>	la,sol,ft	40.00	hsol,ft	0.30	12.00
2.2.1.4.3	Calcestruzzo stru <sub>oriz</sub>	hsol,ft	0.30	[-]	1.00	0.30
2.3.1.1.1	Casseri stru <sub>muri</sub>	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
2.3.1.1.2	Carpenterie stru <sub>muri</sub>	la,setti,ct	60.00	Ssetti,ct	0.30	18.00



2.3.1.1.3 Calcestruzzo stru <sub>muri</sub>	Ssetti,ct	0.30	[-]	1.00	0.30
2.3.1.1.4 Impermeabilizzazione verticale	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
2.3.1.1.5 Protezione imperme.	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
3.1.1.2.1 Pacchetto tecnologico chiusura opaca verticale	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
3.1.2.1.1 Serramenti esterni	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
3.2.1.1.1 Pacchetto tecnologico per il passaggio di pedoni o mezzi	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
3.3.1.1.1 Calcestruzzo	hsol,bal	0.25	[-]	1.00	0.25
3.3.1.1.2 Carpenteria	la,sol,bal	40.00	hsol,bal	0.25	10.00
3.3.1.1.3 Casseri	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
3.3.1.2.1 Pacchetto tecnologico balcone	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
3.4.1.1.1 Stratigrafia copertura	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.1.1.1.1 Tavolati interni	Sp,tramez,ft	0.15	[-]	1.00	6.67
4.1.1.2.1 Muratura blocchi cls 20 cm	Sp,tramez,int	0.20	[-]	1.00	0.20
4.1.2.1.1 Porte blindate	Smedia,tril	75.00	[-]	1.00	0.01
4.1.2.1.2 Porte a battente ed a scorrimento	Smedia,tril	75.00	Nr,battent	7.00	0.09
4.1.2.1.3 Porta tagliafuoco fuori terra	Nr,tagliafuoco	3.00	[-]	1.00	3.00
4.1.2.2.1 Porte in ferro cantine	Scantina	6.00	%Acantina / Aint	0.14	0.02

4.1.2.2.3 Porta taglia-fuoco interrato	Nr,taglia fuoco	3.00	[-]	1.00	3.00
4.1.2.2.4 Basculanti box	Sgarage	25.00	%Agarage / Aint	0.76	0.03
4.2.1.1.1 Pacchetto estradosso solaio interrato	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.1.2 Pacchetto intradosso solaio interrato	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.1.3 Pacchetto intradosso ultimo solaio interrato	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.2.1 Pacchetti estradosso solaio PT	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.2.2 Pacchetti intradosso solaio PT	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.2.3 Pacchetti intradosso solaio controsoffittato PT	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.3.1 Pacchetti estradosso solaio PT	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.3.2 Pacchetti intradosso solaio PT	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.2.1.3.3 Pacchetti intradosso solaio controsoffittato PT	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
4.3.1.1.1 Parappeto e corrimano scale interne	Pparapetti	35.00	pgradino / hgradino	1.76	125.28
5.1.1.1.1 Impianto meccanico piani fuori terra	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00

5.1.1.2.1 Impianto meccanico interrato	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
5.2.1.1.1 Impianto antincendio piani fuori terra	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
5.2.1.2.1 Impianto antincendio interrato	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
5.3.1.1.1 Impianto elettrico piani fuori terra	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
5.3.1.2.1 Impianto elettrico interrato	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
5.4.1.1.1 Impianto elevatore	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
6.1.1.1.1 Aree esterne	[-]	1.00	[-]	1.00	1.00
7.1.1.1.1 Centri di costo minore	Ccm	0.05	[-]	1.00	0.05

Tabella 3: Tabella associativa parametri statici

Tutta la gestione della interoperabilità e versatilità del sistema viene demandata ai parametri sopra nominati come **dinamici**. Queste variabili non sono state valorizzate numericamente sul foglio di calcolo di *Excel*, ma sono semplicemente state associate alle voci della WBS, in modo tale da essere più facilmente gestiti all'interno poi dell'algoritmo.

I parametri dinamici rappresentano quel flusso di dati che normalmente incidono maggiormente sui centri di costo che descrivono il preventivo sintetico finale. Questi campi potranno essere compilati direttamente dall'interfaccia di *Dynamo* ed una loro modifica comporterà una immediata risposta del risultato finale. Essi rappresentano anche quei dati più aleatori, e quindi in genere più specifici, che caratterizzano il complesso dell'edificio.

Per esempio, mentre il dato riferito alla percentuale di barre d'armatura in un metro cubo di calcestruzzo di pilastri per un edificio residenziale di venti piani può essere stimato in ugual modo tra un edificio e l'altro (purché questi siano nella stessa zona sismica), la percentuale di superficie vetrata, invece, oltre ad avere un limite minimo dato da normativa, può variare a seconda delle esigenze della committenza o della

direzione artistica, impattando in maniera significativa sull'importo complessivo dell'opera.

Viene di seguito riportata la lista dei parametri dinamici e, come fatto in precedenza, la tabella associativa degli stessi.

<b>Tabella parametri dinamici</b>		
<b>Prog.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Sigla</b>
1	Area in pianta dell'edificio fuori terra	Ap,ft
2	Area in pianta dell'edificio interrato	Ap,int
3	Perimetro dell'edificio fuori terra	P,ft
4	Perimetro dell'edificio interrato	P,int
5	Lunghezza lati dell'edificio liberi di essere scavati	Llati,liberi
6	Lunghezza lati dell'edificio NON liberi di essere scavati	Llati,noliberi
7	Altezza massa fuori terra	hft
8	Altezza massa interrata	hint
9	Altezza della fondazione	hfond
10	Percentuale dell'aria della fondazione rispetto all'area in pianta (100% se platea)	%fond
11	Numero piani interrati	Nr,piani int
12	Numero piani fuori terra	Nr, piani ft
13	Percentuale di superficie opaca dell'involucro	%opac
14	Percentuale di superficie trasparente dell'involucro	%trasp
15	Area balconata esterna all'impronta dell'edificio	Abalc

16	Percentuale dell'area delle tramezze rispetto all'area in pianta interrato	%Atramez,int
17	Percentuale dell'area delle tramezze rispetto all'area in pianta ft	%Atramez,ft
18	Numero dei core in cls che caratterizzano l'edificio	Nr,core
19	Percentuale di superficie da controsoffittare rispetto all'area in pianta	%controsof
20	Numero degli ascensori	Nr,ascensori
21	Area sistemazioni esterne	Asist,est
22	Durata stimata di cantierizzazione dell'edificio	Dcantiere
23	Costo totale dell'opera, no cantiere	Ctot,ed
24	Percentuale di superficie su totale di s.l.p.	%slp

Tabella 4: Tabella parametri dinamici

<b>Tabella associativa parametri dinamici</b>				
<b>WBS_05</b>	<b>DN_P1</b>	<b>DN_P2</b>	<b>DN_P3</b>	<b>DN_P4</b>
1.1.1.1.1 Allestimento cantiere	Ctot,ed	[-]	[-]	[-]
1.1.2.1.1 Mantenimento cantiere	Ctot,ed	[-]	[-]	[-]
1.1.3.1.1 Smobilizzo cantiere	Ctot,ed	[-]	[-]	[-]
1.2.1.1.1 Scavo generale	Ap,int	hfond	hint	Llati,liberi
1.2.1.2.1 Reinterri a perimetro edifico	hfond	hint	Llati,liberi	[-]
2.1.1.1.1 Magrone	Ap,int	[-]	[-]	[-]

2.1.1.1.2 Casseri fond	Ap,int	hfond	%fond	[-]
2.1.1.1.3 Carpenterie fond	Ap,int	hfond	%fond	[-]
2.1.1.1.4 Calcestruzzo fond	Ap,int	hfond	%fond	[-]
2.1.2.1.1 Pali/Paratie	Llati,noliberi	[-]	[-]	[-]
2.2.1.1.1 Casseri strutture vert	Ap,int	hint	[-]	[-]
2.2.1.1.2 Carpenterie strutt. vert	Ap,int	hint	[-]	[-]
2.2.1.1.3 Calcestruzzo strutt. vert	Ap,int	hint	[-]	[-]
2.2.1.2.1 Casseri strutt. orizz	Ap,int	[-]	[-]	[-]
2.2.1.2.2 Carpenterie strutt. orizz	Ap,int	[-]	[-]	[-]
2.2.1.2.3 Calcestruzzo strutt. orizz	Ap,int	[-]	[-]	[-]
2.2.1.3.1 Casseri strutture vert	Ap,ft	hft	[-]	[-]
2.2.1.3.2 Carpenterie strutt. vert	Ap,ft	hft	[-]	[-]
2.2.1.3.3 Calcestruzzo strutt. vert	Ap,ft	hft	[-]	[-]
2.2.1.4.1 Casseri strutt. orizz	Ap,ft	[-]	[-]	[-]
2.2.1.4.2 Carpenterie strutt. orizz	Ap,ft	[-]	[-]	[-]
2.2.1.4.3 Calcestruzzo strutt. orizz	Ap,ft	[-]	[-]	[-]
2.3.1.1.1 Casseri strutt. muri	P,int	hint	[-]	[-]
2.3.1.1.2 Carpenterie strutt. muri	P,int	hint	[-]	[-]
2.3.1.1.3 Calcestruzzo strutt. muri	P,int	hint	[-]	[-]
2.3.1.1.4 Impermeabilizzazione verticale	P,int	hint	[-]	[-]
2.3.1.1.5 Protezione imperme.	P,int	hint	[-]	[-]
3.1.1.2.1 Pacchetto tecnologico chiusura opaca verticale	P,ft	hft	%opac	[-]
3.1.2.1.1 Serramenti esterni	P,ft	hft	%trasp	[-]
3.2.1.1.1 Pacchetto tecnologico per il passaggio di pedoni o mezzi	Ap,int	[-]	[-]	[-]
3.3.1.1.1 Calcestruzzo	Abalc	[-]	[-]	[-]
3.3.1.1.2 Carpenteria	Abalc	[-]	[-]	[-]
3.3.1.1.3 Casseri	Abalc	[-]	[-]	[-]
3.3.1.2.1 Pacchetto tecnologico balcone	Abalc	[-]	[-]	[-]
3.4.1.1.1 Stratigrafia copertura	Ap,ft	[-]	[-]	[-]

4.1.1.1.1 Tavolati interni	%Atramez,ft	Ap,ft	hft	[-]
4.1.1.2.1 Muratura blocchi cls 20 cm	%Atramez,int	Ap,int	hint	[-]
4.1.2.1.1 Porte blindate	Ap,ft	Nr, piani ft	[-]	[-]
4.1.2.1.2 Porte a battente ed a scorrimento	Ap,ft	Nr, piani ft	[-]	[-]
4.1.2.1.3 Porta tagliafuoco fuori terra	Nr, piani ft	Nr,core	[-]	[-]
4.1.2.2.1 Porte in ferro cantine	Ap,int	Nr,piani int	[-]	[-]
4.1.2.2.3 Porta tagliafuoco interrato	Nr,piani int	Nr,core	[-]	[-]
4.1.2.2.4 Basculanti box	Ap,int	Nr,piani int	[-]	[-]
4.2.1.1.1 Pacchetto estradosso solaio interrato	Ap,int	Nr,piani int	[-]	[-]
4.2.1.1.2 Pacchetto intradosso solaio interrato	Ap,int	Nr,piani int	[-]	[-]
4.2.1.1.3 Pacchetto intradosso ultimo solaio interrato	Ap,int	[-]	[-]	[-]
4.2.1.2.1 Pacchetti estradosso solaio PT	Ap,ft	[-]	[-]	[-]
4.2.1.2.2 Pacchetti intradosso solaio PT	Ap,ft	%controsof	[-]	[-]
4.2.1.2.3 Pacchetti intradosso solaio controsoffittato PT	Ap,ft	%controsof	[-]	[-]
4.2.1.3.1 Pacchetti estradosso solaio PT	Ap,ft	[-]	[-]	[-]
4.2.1.3.2 Pacchetti intradosso solaio PT	Ap,ft	%controsof	[-]	[-]
4.2.1.3.3 Pacchetti intradosso solaio controsoffittato PT	Ap,ft	%controsof	[-]	[-]
4.3.1.1.1 Parappeto e corrimano scale interne	Nr, piani ft	hft	Nr,core	[-]
5.1.1.1.1 Impianto meccanico piani fuori terra	%slp	Nr, piani ft	Ap,ft	[-]

5.1.1.2.1 Impianto meccanico interrato	%slp	Nr,piani int	Ap,ft	[-]
5.2.1.1.1 Impianto antincendio piani fuori terra	%slp	Nr, piani ft	Ap,ft	[-]
5.2.1.2.1 Impianto antincendio interrato	%slp	Nr,piani int	Ap,ft	[-]
5.3.1.1.1 Impianto elettrico piani fuori terra	%slp	Nr, piani ft	Ap,ft	[-]
5.3.1.2.1 Impianto elettrico interrato	%slp	Nr,piani int	Ap,ft	[-]
5.4.1.1.1 Impianto elevatore	Nr,ascensori	[-]	[-]	[-]
6.1.1.1.1 Aree esterne	Asist.est	[-]	[-]	[-]
7.1.1.1.1 Centri di costo minore	Ctot,ed	[-]	[-]	[-]

Tabella 5: Tabella associativa parametri dinamici



## 5.5 Gestione ed elaborazione dei dati in Dynamo

Affrontate le prime due parti del problema, quali la modellazione in *Revit* per masse e la gestione dei parametri statici e dinamici in *Excel*, si sviluppa l'algoritmo che permette di processare i dati provenienti dalle precedenti due fasi ed emettere così un preventivo sintetico multi-parametrico. Come detto in precedenza, tale algoritmo sarà costruito nell'ambiente digitale di *Dynamo*.

Dynamo è una piattaforma open source di programmazione visuale che consente di compiere operazioni logiche, di carattere geometrico e informativo, sia sui modelli di *Revit* che su dati provenienti da software di terze parti come *Excel*.

I vantaggi principali di questo *tool* è l'interoperabilità con *Revit* e la possibilità di creare appunto un algoritmo senza una grande conoscenza del linguaggio informatico tradizionale (per esempio Python, Java, Visual Basic etc.).

Difatti, *Dynamo* utilizza un linguaggio di programmazione definito come VPL (Visual Programming Language), che al contrario dei linguaggi tradizionali, permette di manipolare codici graficamente piuttosto che testualmente. Infatti, il database del software contiene un'ampia libreria di elementi in grado di compiere azioni logiche sia sul modello che all'interno della piattaforma. I componenti principali dell'interfaccia di *Dynamo* sono:

- nodi o blocchi: ne gestiscono specifiche funzioni, come parametri o geometrie;
- relazioni: sono i componenti, o le frecce, che collegano i nodi tra loro, andando a creare così un network di nodi interconnessi ed un flusso di dati.

L'insieme di più nodi e relazioni crea di fatto un gruppo di gestione dati, come quello rappresentato in figura , in grado di svolgere una determinata funzione.

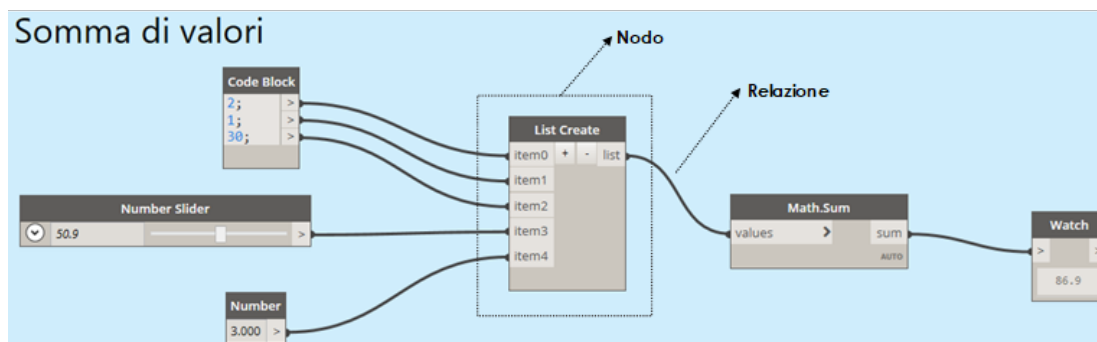


Figura 33: Rappresentazione operazione logica in Dynamo

La programmazione visuale di questo software permette quindi la creazione di script anche molto complicati per la processazione di un gran numero di dati e la compilazione di informazioni sia nell'ambiente di *Revit* che all'esterno in fogli di calcolo. I nodi utilizzati all'interno dello script creato per l'algoritmo di questa tesi sono implementati quasi tutti nella libreria di default del programma o inseriti in pacchetti accessibili gratuitamente da internet.

Nonostante i blocchi della programmazione visuale risultino già abbastanza completi, *Dynamo* permette di elaborare dei codici con linguaggio *Python* grazie al nodo denominato *code block*.

Il database di nodi preinstallati è suddiviso in categorie, a seconda della funzione dei blocchi. Le categorie più importanti ai fini di questo algoritmo sono quelle finalizzate alla gestione dei processi logici di liste di dati, alle interazioni con l'ambiente di *Revit*, che permettono di inserire degli input geometrici, e alla comunicazione con i dati riportati in *Excel*.

### **5.5.1 Descrizione dell'algoritmo**

Per arrivare ad una elaborazione di uno script complesso bisogna prima creare molteplici gruppi, il cui scopo è quello di elaborare e processare funzioni logiche diverse tra loro. Questo modo di scomporre l'algoritmo permette l'altrimenti difficile gestione dei dati di progetto. Nel diagramma di flusso rappresentati in figura 34 possiamo osservare il percorso logico che caratterizza lo script. In linea generale lo si può suddividere in gruppi, ognuno dei quali sarà assegnata una specifica funzione:

1. Il primo gruppo (INPUT) si occupa di raccogliere tutti i dati input, quelli provenienti dal file *Excel*, contenenti le descrizioni delle voci di WBS e i dati derivanti dai parametri statici, e i dati geometrici che arrivano da *Revit*;
2. il secondo gruppo (FILTRO) si occupa di filtrare i dati di input, procedendo alla separazione degli stessi in liste ordinate di informazioni e inviandoli ai gruppi successivi;
3. il terzo gruppo (DESCRIZIONI) raccoglie tutti i dati descrittivi che caratterizzano le voci di WBS per la successiva compilazione del preventivo;
4. il quarto gruppo (VALORI) riunisce invece in liste le variabili suddivise in prezzi unitari, parametrici statici e parametri dinamici;

5. il quinto gruppo (ELABORAZIONE) si occupa della vera e propria elaborazione e processazione dei dati riordinati dai gruppi precedenti. È organizzato in tre step: il primo combina i parametri statici e dinamici per ottenere le quantità necessarie alla valorizzazione delle voci di WBS; il secondo elabora i dati appena ottenuti dal precedente step, per ricavarne i prezzi totali per ciascuna voce di WBS; l'ultima fase è quella che verifica e controllo l'esatta corrispondenza delle attività appena svolte;
6. L'ultimo gruppo (OUTPUT) si occupa dell'aggregazione ordinata dei dati elaborati dai precedenti gruppi, per poi trascriverli, sotto forma di dati output, all'interno di un foglio di calcolo.

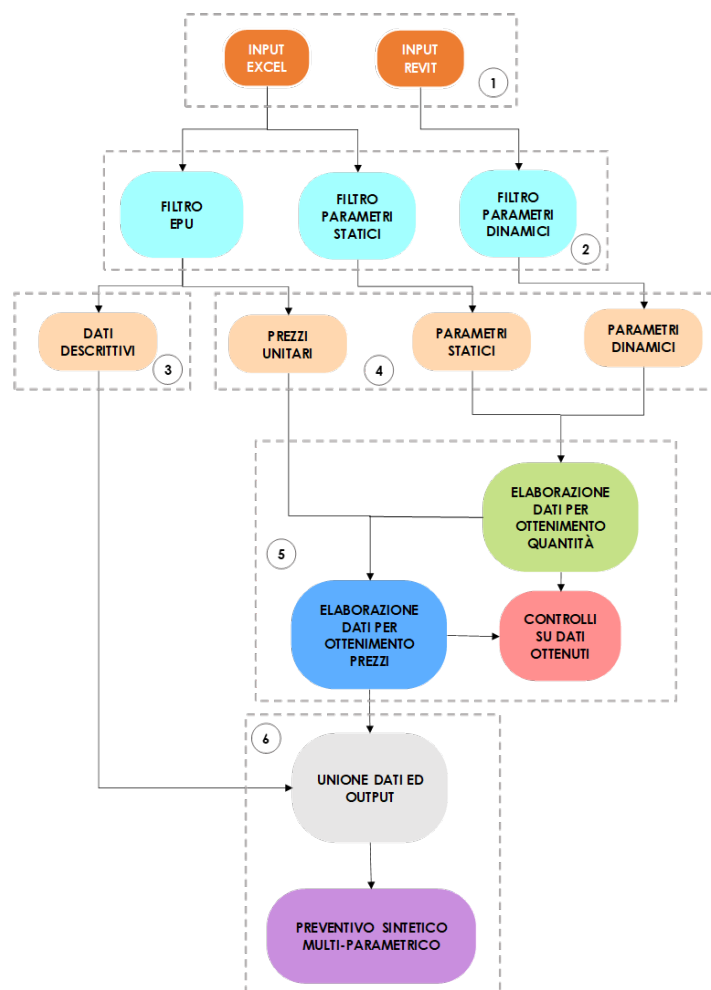


Figura 34: Diagramma di flusso dell'algoritmo in Dynamo

Nel paragrafo successivo entriamo nel dettaglio dello script e del suo funzionamento, tenendo in mente quanto scritto fino ad ora sui gruppi. La modellazione per masse consente una rapida modifica del modello di riferimento, permettendo al progettista di valutare più ipotesi in un breve lasso di tempo, non dovendo modellare muri, pavimenti o qualsivoglia tipologia di famiglia. Anche l'algoritmo ne assorbe gli aspetti positivi, in quanto lo script andrà a selezionare i parametri propri della massa e ne andrà a gestire un numero limitato di dati, riferiti a solo due o tre elementi del modello.

Nella figura 35 si può notare l'estensione e il grado di complessità di tale algoritmo. Per questo motivo all'interno della suddetta tesi non sarà possibile entrare nello specifico di ogni singolo nodo, ma si cercherà di dare una spiegazione il più possibile approfondita della metodologia di analisi.

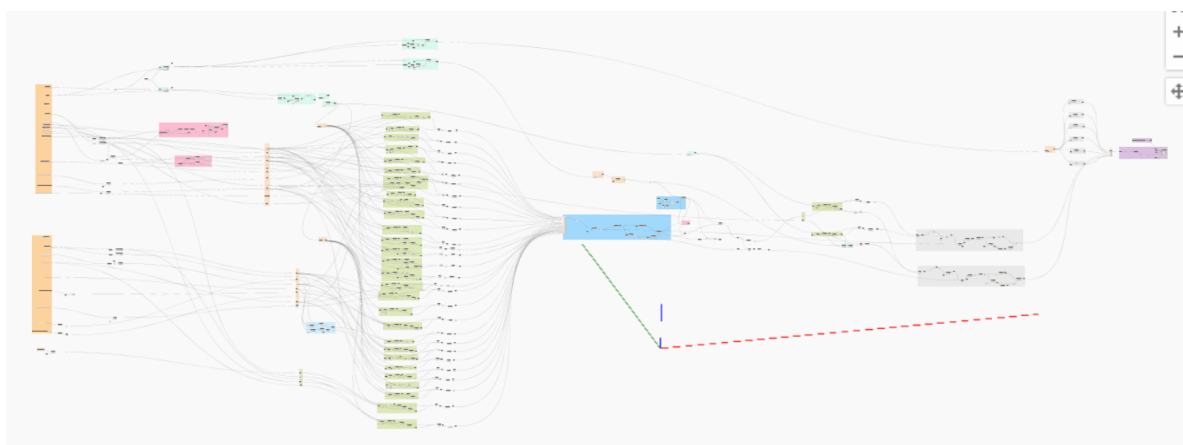


Figura 35: Script per l'elaborazione di un preventivo sintetico multi-parametrico

Come si può intuire dal capitolo 5.2, il progettista, all'avvio dello script, sarà chiamato a selezionare le masse corrispondenti all'edificio fuori terra e a quello interrato. Questa tipologia di modellazione, causata dalle diverse dimensioni dei due elementi, ha generato una conseguente suddivisione nella gestione dei dati, infatti, come si intravede nella figura 35, all'inizio del flusso il codice viene diviso in due parti analiticamente simili.

Oltre a dividere i gruppi di INPUT secondo una logica spaziale della conformazione dell'edificio, una prima parte dell'algoritmo attinge i dati di partenza dal file Excel per poi trasmetterli al primo "filtro" (nodo raffigurato nell'immagine 36), mentre una seconda parte preleva i dati provenienti dagli input che andranno a compilare i parametri dinamici. Di quest'ultimi se ne riportano un esempio nella figura 37.

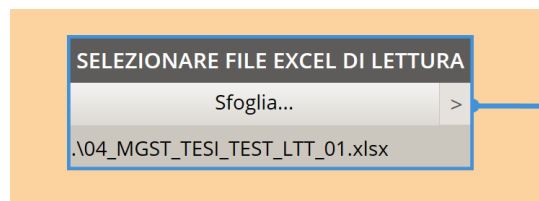


Figura 36: Nodo per la selezione del file Excel di lettura

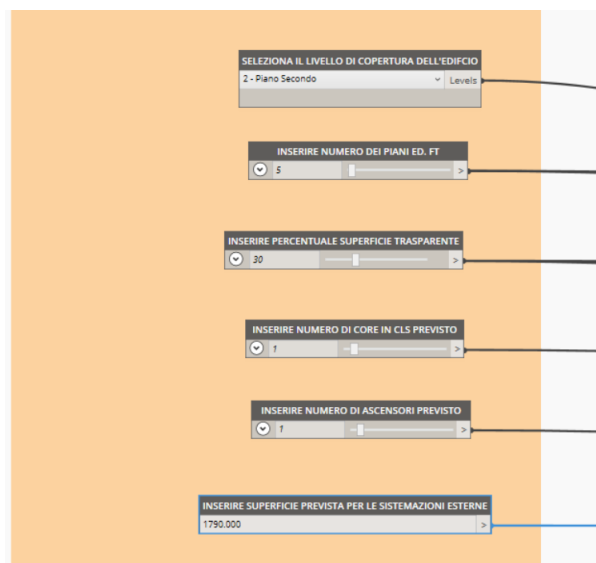


Figura 37: Nodi per la lettura dei parametri dinamici

La prima parte dello script ha proprio la funzione di importare i valori dei parametri statici, dinamici, delle descrizioni delle voci di WBS e dei loro prezzi unitari, importandoli da una lista di codici di un foglio *Excel*, che potremmo chiamare file di *lettura*, e da una lista di parametri la cui assegnazione è richiesta all'inizio dell'avvio dello script. Nello specifico verranno estratti i seguenti dati dal foglio di calcolo del file *Excel*:

- descrizioni e codifica di WBS degli elementi di progetto;
- valori dei parametri statici associati a tali elementi;
- valori dell'elenco prezzi unitari, ovvero le voci di costo di ogni singolo elemento;
- unità di misura con cui viene analizzato l'elemento.

Dai gruppi di input i dati vengono trasmessi a quelli di filtraggio. Ovvero, le informazioni vengono assimilate, gestite e smistate da questi nodi.

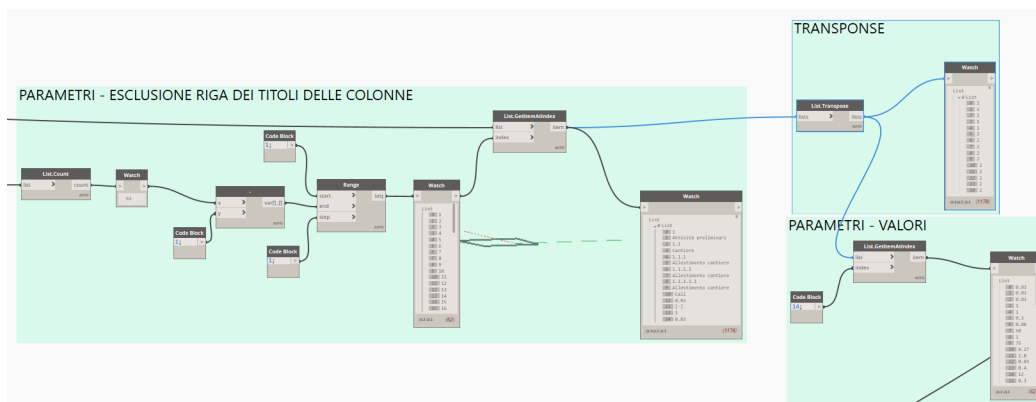


Figura 38: Gruppo filtro per lo smistamento dei dati

A questi blocchi viene demandata non solo la gestione dei dati, ma anche il compito di tradurre il linguaggio di *Excel* con quello di *Dynamo*. Difatti, quest'ultimo non riesce in autonomia a comprendere il flusso di dati che arriva dai gruppi di input, ma ha bisogno di una discriminata per poter comprendere come leggere i codici provenienti dal foglio di calcolo.

Inserendo i dati all'interno di una lista, *Dynamo* legge orizzontalmente i dati contenuti nelle celle di un determinato foglio indicato. Questo permette di escludere velocemente la riga contenente i titoli delle colonne. Con un nodo *Range* viene preso tutto l'intervallo di valori contenuti all'interno di una lista, tranne l'elemento con indice zero<sup>4</sup>, dopodiché con il gruppo di trasposizione, mediante il blocco *List.Transpose* viene girata la lista e ciò che prima era riga ora diventa colonna, ottenendo così le reali colonne del file *Excel*.

Attraverso l'utilizzo del blocco *List.GetItemAtIndex* possiamo perciò andare a selezionare la colonna di dati che ci interessa processare. Proprio per questo motivo è importante che il *file di lettura* sia impostato allo stesso modo del file "madre", ovvero del file con il quale è stato creato l'algoritmo.

Così facendo i dati vengono trasmessi ai gruppi "DESCRIZIONI" e "VALORI", che permettono di raggruppare le informazioni necessarie per le fasi successive.

<sup>4</sup>in informatica si parte a contare dallo zero, che rappresenta quindi la prima variabile della lista

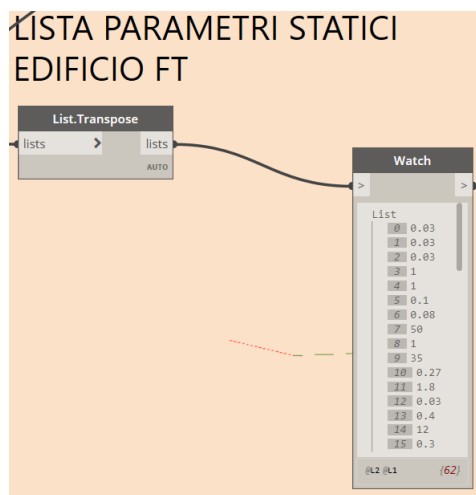


Figura 39: Esempio di gruppo VALORI

Il gruppo di "ELABORAZIONE" è il più importante di tutti, in quanto rappresenta il cervello dello script. Si occupa di smistare e processare i dati geometrici ed economici del progetto. Come abbiamo visto nel capitolo 5.4, ogni voce del quinto livello della WBS è valorizzata da un insieme di parametri dinamici. Nella figura 40, si possono notare i gruppi colorati in verde, che rappresentano appunto i gruppi di elaborazione dei dati quantità. Ognuno di questi rettangoli si occupa di una diversa interazione di dati. La tabella 5, ci permette di capire quali dati devono essere trattati al medesimo modo, aiutandoci così ad elaborare uno script più efficace.

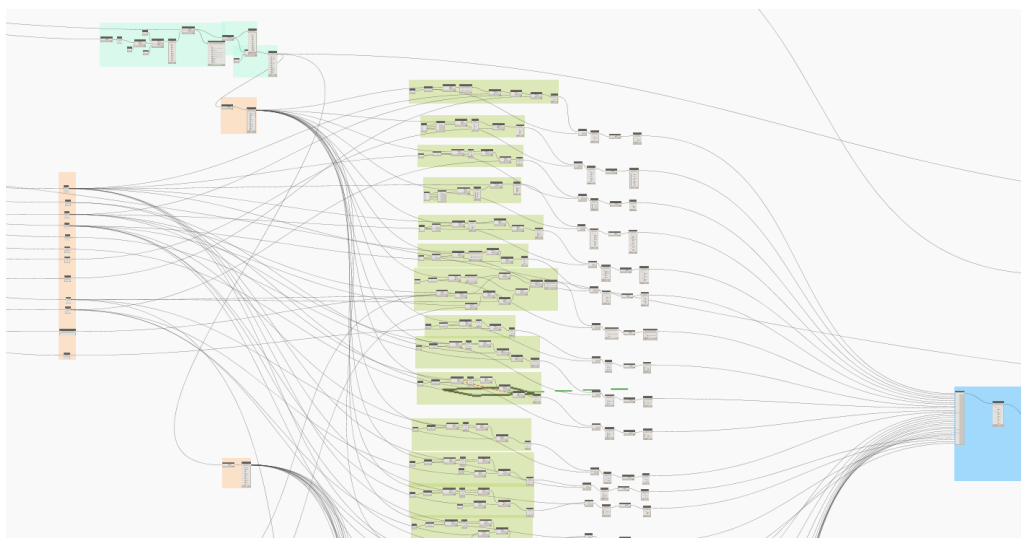


Figura 40: Gruppo di elaborazione delle quantità

Nella figura 41 è riportato un esempio di gruppo *elaborazione* che si occupa di moltiplicare quei dati che dipendono dal proprio parametro statico e dal parametro dinamico  $A_{balcone}$ , ovvero dall'area in pianta dei balconi. Quindi vengono selezionati i dati della lista con indici 30, 31, 32 e 33, che vengono moltiplicati, con una semplice funzione logica, con l'area del balconi proveniente dai parametri dinamici.

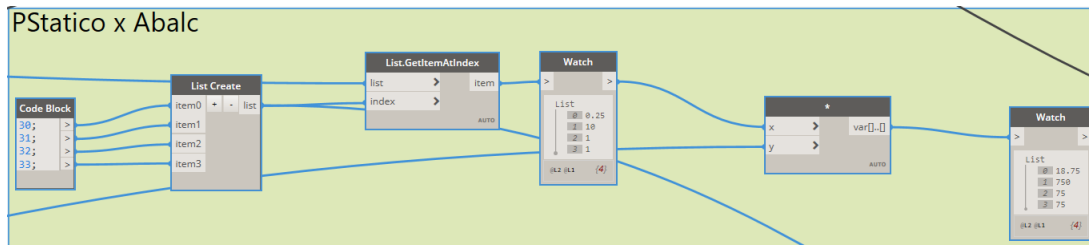


Figura 41: Gruppo di elaborazione delle quantità di elementi dipendenti solo da Abalcone

I dati che richiedono un grado di difficoltà maggiore, come quello rappresentato nella figura 42, vengono gestiti allo stesso modo, ma i livelli di processazione saranno molteplici.

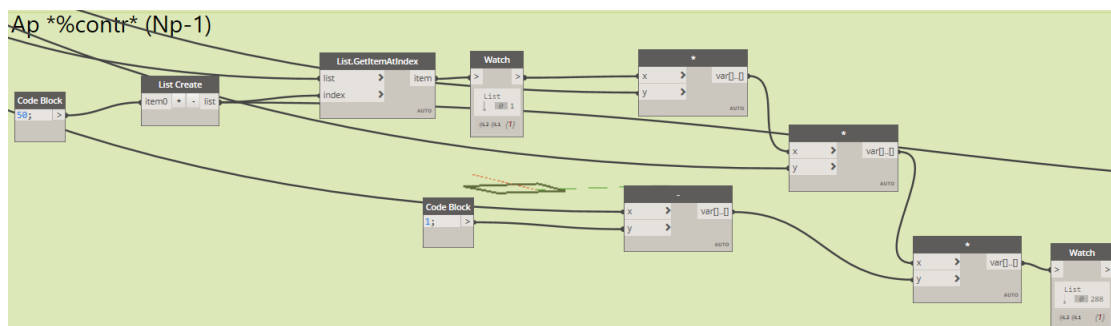


Figura 42: Gruppo di elaborazione delle quantità di elementi che dipendono da  $A_p$ ,  $\%contr$  e  $N_p - 1$

Tutti i dati derivanti dai gruppi di elaborazione sono raggruppati in seguito in un'unica lista, per seguire poi una fase di riorganizzazione che ha lo scopo di riportare ogni singolo elemento al suo valore di indice iniziale.

Nella figura 43 è possibile visualizzare tale processo di riorganizzazione, che prevede una prima fase di riordinamento degli indici attraverso l'uso del blocco *List.Sort*, per andare a creare così la chiave di assestamento degli elementi, potendoli così allineare mediante l'utilizzo del nodo *List.SortByKey*.



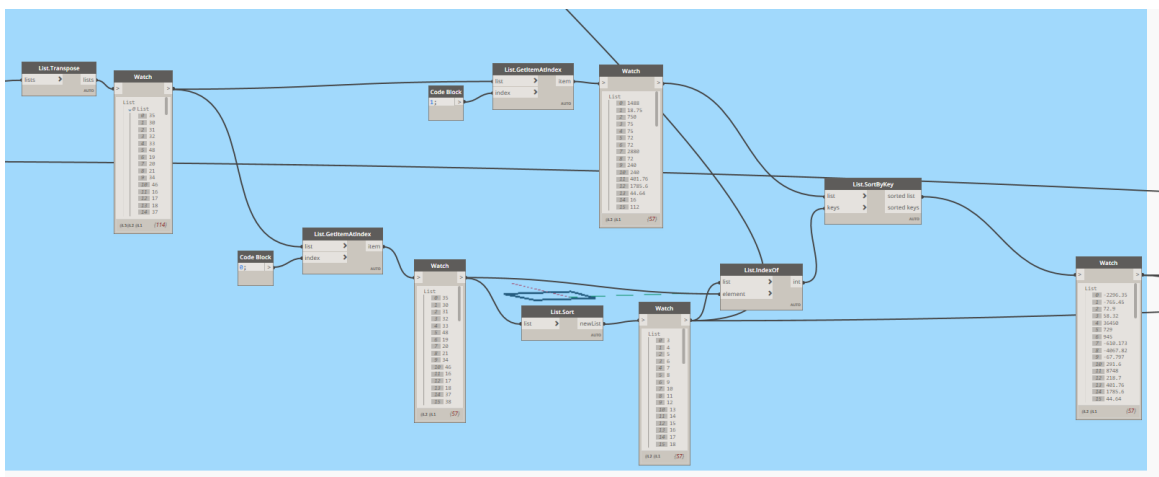


Figura 43: Riorganizzazione dei dati

Una volta riordinati, i dati così ricavati possono essere rielaborati una seconda volta in modo tale da ottenere il valore di costo di ogni singolo elemento. Avendo già allineato in precedenza i dati ottenuti agli indici iniziali, non resta altro che applicare una semplice funzione matematica per poter moltiplicare le quantità con i relativi prezzi unitari.

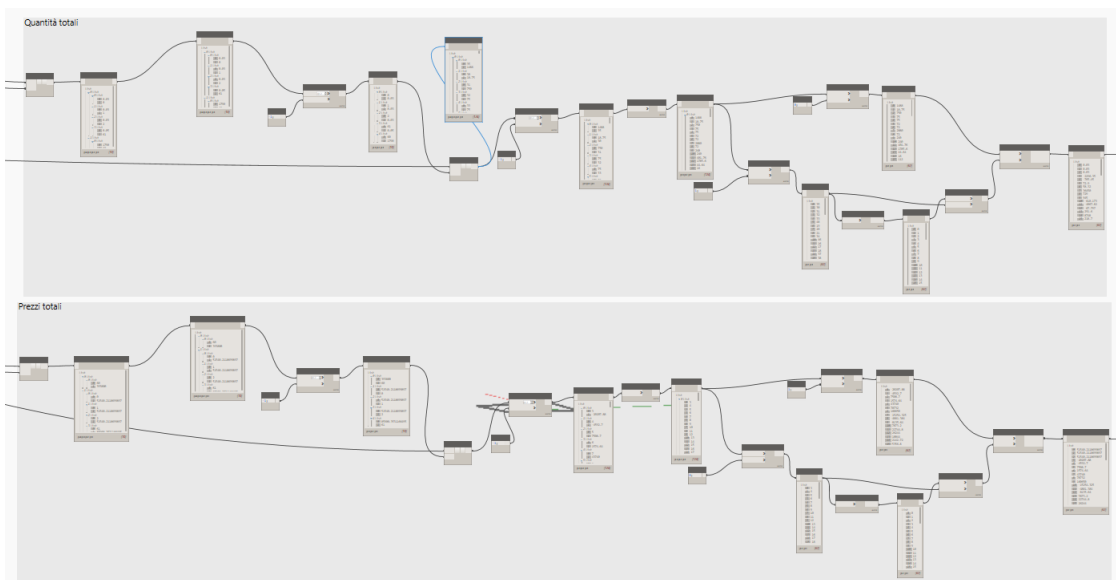


Figura 44: Valori delle quantità e valori dei prezzi totali

Prima di poter essere esportati all'esterno dell'algoritmo, i dati devono essere riorganizzati in modo tale che possano essere leggibili nel nuovo foglio di calcolo. Viene

così creata una nuova lista, come si evince dalla figura 45, che raccoglie a sé tutti i risultati delle elaborazioni descritte fino a questo punto.

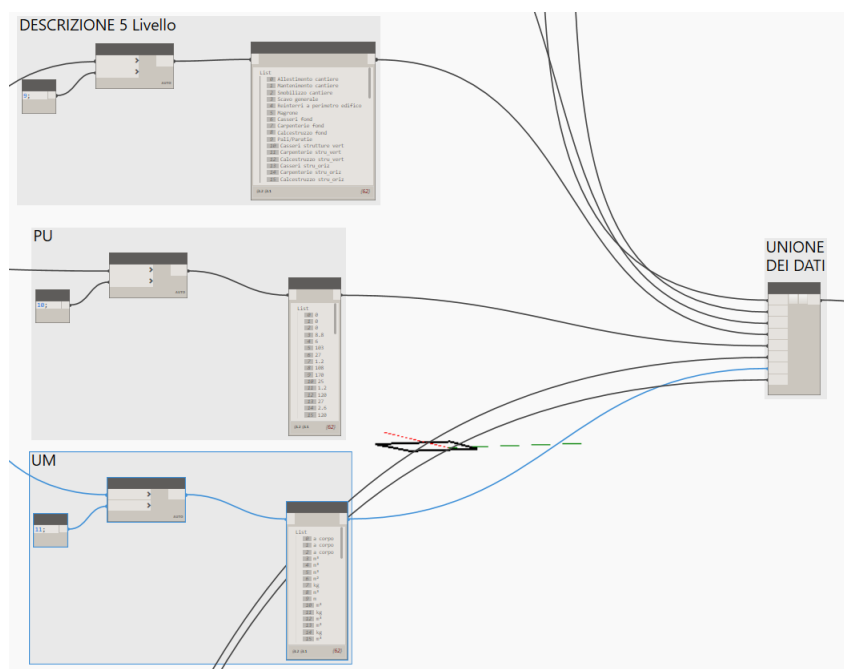


Figura 45: Unione dei dati per l'esportazione su foglio di calcolo

Il file *Excel* di *scrittura*, al contrario del file di *lettura*, non deve essere necessariamente formattato, ma può anche essere un file completamente vuoto. La nuova lista di dati può essere, infine, trasposta e, una volta scelto il file di scrittura, può essere esportata attraverso il nodo *Data.ExportExcel*.

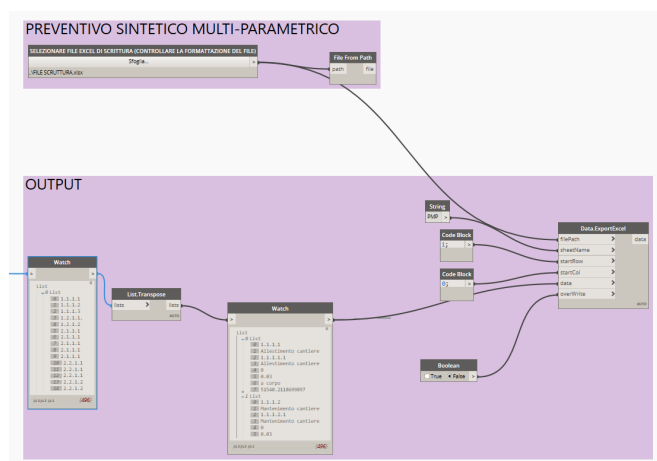


Figura 46: Gruppo di esportazione dei dati



## 5.6 Dinamicità del sistema

Quando si realizza una stima basata su un solo parametro, uno dei problemi principali risulta essere quello di riuscire a trovare un valore rappresentativo dell'edificio in oggetto. Nonostante si riescano a trovare dei buoni importi di riferimento, soprattutto legati a valori rapportati ad edifici simili a quello in analisi, non si può mai avere una certezza del valore preso, in quanto risulta sempre difficile risalire alla composizione di tale elemento di costo. Immaginando di voler considerare delle variazioni o che sia necessario stimare più casistiche, riuscire a trovare il giusto compromesso e il giusto dato di riferimento potrebbe non essere così facile.

Uno degli obiettivi, infatti, di questa tesi è quello di elaborare una metodologia dinamica che permetta al professionista di produrre rapidamente, con uno strumento di controllo più raffinato, dei preventivi sintetici anche del medesimo complesso edilizio, ma con la possibilità di confrontare più casi contemporaneamente.

La dinamicità del sistema implementato dallo script viene gestita dalla categoria di parametri compilabili su *Revit* (parametri dinamici - cfr. capitolo 5.4). Una volta impostato il modello digitale per masse, compilato i parametri statici all'interno del foglio di calcolo e le voci dell'elenco prezzi unitari, viene avviato lo script di *Dynamo* azionando il *Lettore Dynamo* presente in alto nella tendina del menù "Gestisci", raffigurato nell'immagine 49.

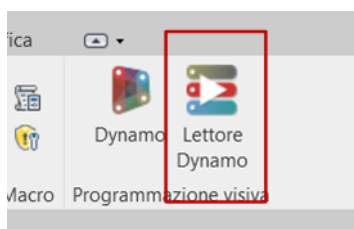


Figura 49: Comando Lettore Dynamo

Una volta attivato e selezionato la cartella in cui vi è il codice dello script, apparirà nel Lettore il titolo dell'algoritmo da avviare. Per riuscire a compilare i parametri dinamici è necessario cliccare sul bottone di modifica, portandoci così ad una schermata parallela con il modello di *Revit* da una parte e il widget<sup>5</sup> di *Dynamo* dall'altra. Tale frame viene rappresentato nella figura 50.

<sup>5</sup>finestra di dialogo tra computer e utente che permette di comunicare e visualizzare delle informazioni, solitamente accompagnata da una richiesta di comandi o una visualizzazione di informazioni

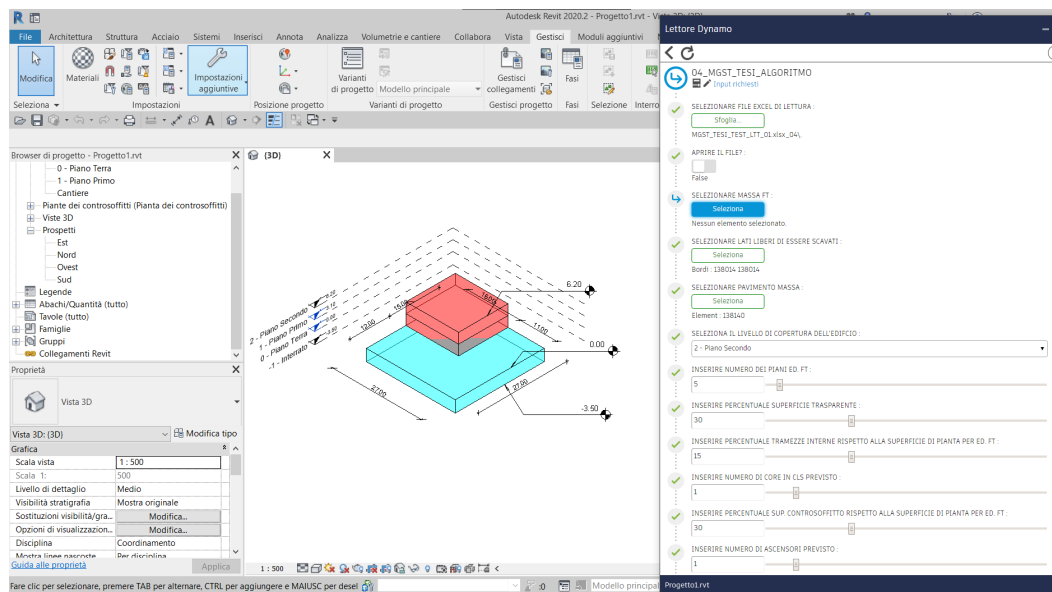


Figura 50: Schermata di partenza

Il widget di *Dynamo* elenca tutti gli input necessari all'avvio dello script, che il progettista dovrà compilare tenendo conto della propria esperienza e di valori di stima rilasciati da enti qualificati. I parametri in questione sono:

- file .x/sx di lettura;
- file .x/sx di scrittura;
- il valore booleano sull'apertura dei file citati nei due punti precedenti;
- selezione della massa relativa all'edificio fuori terra e all'edificio interrato;
- selezione dei lati liberi dell'edificio dove è possibile eseguire uno scavo con scarpa a 45°;
- selezione del pavimento della massa relativa all'edificio fuori terra e all'edificio interrato;
- selezione del livello di copertura dell'edificio;
- inserimento del numero di piani fuori terra ed interrati;
- inserimento della percentuale di superficie trasparente rispetto alla superficie totale dell'involucro;

- inserimento della percentuale delle partizioni interne rispetto alla superficie in pianta di un piano dell'edificio, per la porzione dell'opera fuori terra e per quella interrata;
- inserimento del numero di core in calcestruzzo previsti a servizio dell'opera;
- inserimento della percentuale stimata di controsoffitto rispetto all'area in pianta di un singolo piano;
- inserimento del numero di ascensori previsti;
- inserimento dell'area totale di logge e balconi per piano;
- selezione del livello delle fondazioni dell'edificio interrato;
- inserimento della percentuale di riempimento della fondazione rispetto all'area in pianta (nel caso di platea la percentuale sarà uguale al 100%, mentre nel caso di travi rovesce sarà sicuramente inferiore);
- inserimento dell'area prevista per le sistemazioni esterne;
- inserimento dell'altezza delle fondazioni;
- inserimento della percentuale di SLP (Superficie Lorda Pavimento) stimata sulla superficie totale del pavimento.

Alla fine della compilazione dei dati indicati, basterà avviare lo script, che in automatico aprirà il file di scrittura permettendo all'operatore di visualizzare il risultato dell'algoritmo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	CODWBS_04	DESCR.WBS_04	CODWBS_05	DESCR.WBS_05	QUANTITÀ	U.M.	EPU	PREZZO TOTALE	U.M.
2	1.1.1.1	Alestimento cantiere	1.1.1.1.1	Alestimento cantiere	0.03	a corpo	1.00	51540.21	€
3	1.1.1.2	Mantenimento cantiere	1.1.1.2.1	Mantenimento cantiere	0.03	a corpo	1.00	51540.21	€
4	1.1.1.3	Smobilizzo cantiere	1.1.1.3.1	Smobilizzo cantiere	0.03	a corpo	1.00	51540.21	€
5	1.2.1.1	Scavi	1.2.1.1.1	Scavo generale	2296.35	m³	8.80	20207.88	€
6	1.2.1.2	Reinterrati	1.2.1.2.1	Reinterrati a perimetro edificio	765.45	m³	6.00	4592.70	€
7	2.1.1.1	Travi continue/rovesce	2.1.1.1.1	Magrone	72.90	m³	103.00	7508.70	€
8	2.1.1.1	Travi continue/rovesce	2.1.1.1.2	Casseri fond	58.32	m²	27.00	1574.64	€
9	2.1.1.1	Travi continue/rovesce	2.1.1.1.3	Carpenterie fond	36450.00	kg	1.20	43740.00	€
10	2.1.1.1	Travi continue/rovesce	2.1.1.1.4	Calcestruzzo fond	729.00	m³	108.00	78732.00	€
11	2.1.1.1	Fondazioni indirette	2.1.1.1.1	Pali/Paratie	945.00	m	170.00	160650.00	€
12	2.2.1.1	Strutture verticali interrato	2.2.1.1.1	Casseri strutture vert	909.00	m²	25.00	22725.00	€
13	2.2.1.1	Strutture verticali interrato	2.2.1.1.2	Carpenterie stru_vert	6060.00	kg	1.20	7272.00	€
14	2.2.1.1	Strutture verticali interrato	2.2.1.1.3	Calcestruzzo stru_vert	101.00	m³	120.00	12120.00	€
15	2.2.1.2	Strutture orizzontali interrato	2.2.1.2.1	Casseri stru_oriz	291.60	m²	27.00	7873.20	€
16	2.2.1.2	Strutture orizzontali interrato	2.2.1.2.2	Carpenterie stru_oriz	8748.00	kg	2.40	22744.80	€
17	2.2.1.2	Strutture orizzontali interrato	2.2.1.2.3	Calcestruzzo stru_oriz	216.70	m³	120.00	26004.00	€
18	2.2.1.3	Strutture verticali p.tipo	2.2.1.3.1	Casseri strutture vert	401.76	m²	25.00	10044.00	€
19	2.2.1.3	Strutture verticali p.tipo	2.2.1.3.2	Carpenterie stru_vert	1785.60	kg	1.20	2142.72	€
20	2.2.1.3	Strutture verticali p.tipo	2.2.1.3.3	Calcestruzzo stru_vert	44.64	m³	120.00	5356.80	€
21	2.2.1.4	Strutture orizzontali p.tipo	2.2.1.4.1	Casseri stru_oriz	72.00	m²	27.00	1944.00	€
22	2.2.1.4	Strutture orizzontali p.tipo	2.2.1.4.2	Carpenterie stru_oriz	2880.00	kg	1.20	3456.00	€
23	2.2.1.4	Strutture orizzontali p.tipo	2.2.1.4.3	Calcestruzzo stru_oriz	72.00	m³	120.00	8640.00	€
24	2.3.1.1	Muri contro terra	2.3.1.1.1	Casseri stru_muri	334.80	m²	25.00	8370.00	€
25	2.3.1.1	Muri contro terra	2.3.1.1.2	Carpenterie stru_muri	6026.40	kg	1.20	7231.68	€
26	2.3.1.1	Muri contro terra	2.3.1.1.3	Calcestruzzo stru_muri	100.44	m³	120.00	12052.80	€
27	2.3.1.1	Muri contro terra	2.3.1.1.4	Impermeabilizzazione verticale	334.80	m²	29.60	9910.08	€
28	2.3.1.1	Muri contro terra	2.3.1.1.5	Protezione Impem.	334.80	m²	5.10	1707.48	€
29	3.1.1.2	Muratura monostrato	3.1.1.2.1	Pacchetto tecnologico chiusura opaca verticale	269.08	m²	120.00	32289.60	€

Figura 51: File di scrittura

Il documento in questione si presenta come raffigurato nell'immagine 51, con riportate le colonne riferite agli ultimi due livelli di WBS, le quantità totali di ciascuna voce con le relative unità di misura, il prezzo unitario e la voce di costo totale di ciascuna riga.

La dinamicità del sistema permette ora di fare una qualsiasi modifica sia ai parametri statici o dinamici, che alle geometrie dell'edificio, consentendo di fare subito un paragone tra i risultati delle stime.

Per esempio, prendiamo il caso di una richiesta del cliente su una duplice valutazione: una con serramenti standard ed una con elementi finestrati più grandi del minimo di legge, perché l'architetto ritiene che dei serramenti più grandi risaltino il volume complessivo dell'opera. Il professionista può semplicemente avviare lo script con la percentuale di superficie trasparente "standard", procedendo con le metodologie operative sopra riportate e visualizzando così il risultato finale. Dopodiché, può tornare sul *Lettore Dynamo*, che ha mantenuto la valorizzazione precedente dei campi da compilare, e modificare la voce desiderata; in quest'ultimo andrà a riassegnare la percentuale di superficie trasparente, come in figura 52.

The screenshot shows the 'Lettore Dynamo' application window. It contains a list of configuration parameters for a simulation. The parameter 'INSERIRE PERCENTUALE SUPERFICIE TRASPARENTE' is highlighted with a red rectangular box. The value '30' is entered in the input field next to it. Other parameters include 'SELEZIONARE MASSA FT.' (with a 'Seleziona' button), 'SELEZIONARE LATI LIBERI DI ESSERE SCAVATI' (with a 'Seleziona' button and value 'Bordi: 138014 138014'), 'SELEZIONARE PAVIMENTO MASSA' (with a 'Seleziona' button and value 'Element: 138140'), 'SELEZIONA IL LIVELLO DI COPERTURA DELL'EDIFICIO' (with a dropdown menu showing '2 - Piano Secondo'), 'INSERIRE NUMERO DEI PIANI ED. FT.' (with a value of 5), 'INSERIRE PERCENTUALE TRAMEZZE INTERNE RISPETTO ALLA SUPERFICIE DI PANTA PER ED. FT.' (with a value of 15), 'INSERIRE NUMERO DI CORE IN CLS PREVISTO' (with a value of 1), 'INSERIRE PERCENTUALE SUP. CONTROSOFFITTO RISPETTO ALLA SUPERFICIE DI PANTA PER ED. FT.' (with a value of 30), 'INSERIRE NUMERO DI ASCENSORI PREVISTO' (with a value of 1), 'INSERIRE SUPERFICIE PREVISTA PER LOGGIE E BALCONI' (with a value of 75), 'SELEZIONARE FILE EXCEL DI SCRITTURA (CONTROLLARE LA FORMATTAZIONE DEL FILE)' (with a 'Sfoglia...' button and file name 'FILE SCRITTURA.xlsx'), and 'SELEZIONARE MASSA INT.' (with a 'Seleziona' button). The bottom status bar shows 'Progetto1.rvt'.

Figura 52: Modifica del campo  $\%_{trasp}$  nel Lettore Dynamo

Infine, potrà riavviare lo script, selezionando un file di scrittura diverso dal precedente, andando così a leggere il valore finale del preventivo sintetico multi-parametrico, evidenziato da un rettangolo rosso nella figura 53.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
40	4.1.2.1	Seramenti interni	4.1.2.1.2	Porte a battente ed a scorrimento	112.00	cad	300.00	33600.00	€
41	4.1.2.1	Seramenti interni	4.1.2.1.3	Porta tagliafuoco fuori terra	15.00	cad	1000.00	15000.00	€
42	4.1.2.2	Seramenti interrato/box	4.1.2.2.1	Porte in ferro cantine	17.01	cad	300.00	5103.00	€
43	4.1.2.2	Seramenti interrato/box	4.1.2.2.3	Porta tagliafuoco interrato	3.00	cad	500.00	1500.00	€
44	4.1.2.2	Seramenti interrato/box	4.1.2.2.4	Basculanti box	22.16	cad	510.00	11302.42	€
45	4.2.1.2	Solaio p.t. interrato	4.2.1.2.1	Pacchetto estradosso solaio interrato	0.00	m²	70.00	0.00	€
46	4.2.1.2	Solaio p.t. interrato	4.2.1.2.2	Pacchetto intradosso solaio interrato	0.00	m²	25.00	0.00	€
47	4.2.1.2	Solaio p.t. interrato	4.2.1.2.3	Pacchetto intradosso ultimo solaio interrato	729.00	m²	25.00	18225.00	€
48	4.2.1.3	Solaio p.terra	4.2.1.3.1	Pacchetti estradosso solaio PT	240.00	m²	170.00	40800.00	€
49	4.2.1.3	Solaio p.terra	4.2.1.3.2	Pacchetti intradosso solaio PT	168.00	m²	25.00	4200.00	€
50	4.2.1.3	Solaio p.terra	4.2.1.3.3	Pacchetti intradosso solaio controsoffittato PT	72.00	m²	45.00	3240.00	€
51	4.2.1.4	Solaio p.t. fuotterra	4.2.1.3.1	Pacchetti estradosso solaio PT	960.00	m²	150.00	144000.00	€
52	4.2.1.4	Solaio p.t. fuotterra	4.2.1.3.2	Pacchetti intradosso solaio PT	672.00	m²	25.00	16800.00	€
53	4.2.1.4	Solaio p.t. fuotterra	4.2.1.3.3	Pacchetti intradosso solaio controsoffittato PT	288.00	m²	50.00	14400.00	€
54	4.3.1.2	Parapetti	4.3.1.2.3	Parapetto e corrimano scale interne	2643.41	kg	6.00	15860.47	€
55	6.1.1.1	Impianto meccanico piani fuori terra	6.1.1.1.1	Impianto meccanico piani fuori terra	1080.00	m²	270.00	291600.00	€
56	6.1.1.2	Impianto meccanico interrato	6.1.1.2.1	Impianto meccanico interrato	729.00	m²	70.00	51030.00	€
57	6.2.1.1	Impianto antincendio piani fuori terra	6.2.1.1.1	Impianto antincendio piani fuori terra	1080.00	m²	20.00	21600.00	€
58	6.2.1.2	Impianto antincendio interrato	6.2.1.2.1	Impianto antincendio interrato	729.00	m²	20.00	14580.00	€
59	6.3.1.1	Impianto elettrico piani fuori terra	6.3.1.1.1	Impianto elettrico piani fuori terra	1080.00	m²	280.00	302400.00	€
60	6.3.1.2	Impianto elettrico interrato	6.3.1.2.1	Impianto elettrico interrato	729.00	m²	73.00	53217.00	€
61	6.4.1.1	Impianto elevatore	6.4.1.1.1	Impianto elevatore	1.00	cad	30000.00	30000.00	€
62	7.1.1.1	Aree esterne	7.1.1.1.1	Aree esterne	1790.00	m²	220.00	393800.00	€
63	8.1.1.1	Centri di costo minore	8.1.1.1.1	Centri di costo minore	0.05	a corpo	1.00	85900.35	€
64								<b>2.352.328,05</b>	<b>€</b>

Figura 53: Valore finale della preventivazione dinamica e sintetica multi-parametrica



## 5.7 Controllo e verifica della stima

Per verificare il corretto funzionamento dello script sono stati presi due casi studio di cui è già stato elaborato un computo metrico estimativo analitico, essendo ormai alla fase esecutiva, e sono stati utilizzati all'interno del sistema di preventivazione creato, come se fossero in fase di concept e dovessero essere ancora stimati.

### 5.7.1 Primo caso studio

Il primo caso studio prende in considerazione un edificio residenziale situato a Milano. Il complesso edilizio prevede quattro corpi di fabbrica, tre fuori terra ed uno interrato. Di seguito viene riportata l'immagine del modello tridimensionale per masse.

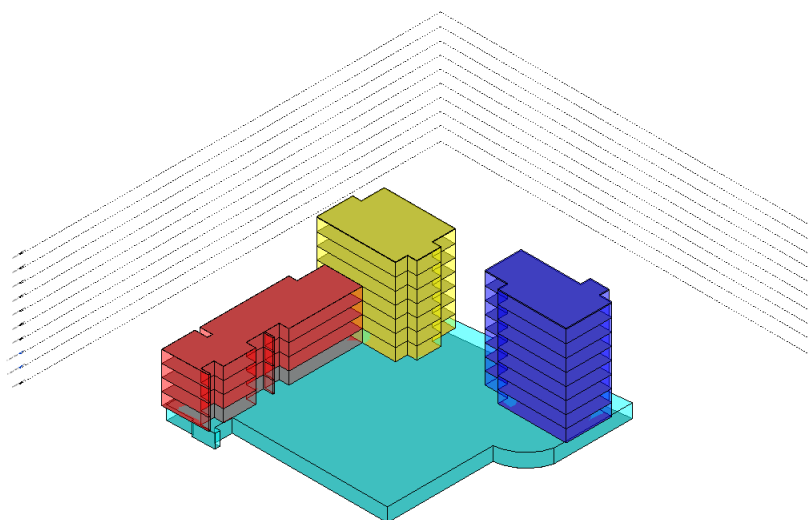


Figura 54: Vista tridimensionale del primo caso studio

I tre edifici fuori terra hanno le seguenti caratteristiche:

- Edificio 1: colorato in giallo, si eleva per sette piani fuori terra, ha un'altezza complessiva di 22,60 m ed una superficie di piano pari a 325 m<sup>2</sup>. Presenta un solo core a servizio dei piani ed un solo ascensore;
- Edificio 2: colorato in rosso, si eleva per quattro piani fuori terra, ha un'altezza complessiva di 13 m ed una superficie di piano pari a 440 m<sup>2</sup>. Anch'esso possiede un solo core in calcestruzzo ed un solo ascensore;

- Edificio 3: colorato in blu, si eleva per otto piani fuori terra, ha un'altezza complessiva di 25,80 m ed una superficie per piano pari a 280 m<sup>2</sup>. Presenta un solo core ed un solo ascensore a servizio dei piani.

Come si evince dall'immagine 55 raffigurante una planimetria generale del complesso edilizio, le opere esterne corrispondono ad un'area lorda di 2800 m<sup>2</sup>, mentre la somma delle superfici appartenenti a logge e balconi ammonta a 160 m<sup>2</sup> per piano.



Figura 55: Planimetria generale del primo caso studio

Essendo il progetto destrutturabile come tre edifici separati, l'analisi è stata lanciata una volta per l'edificio 1 con annesso l'interrato di circa 3000 m<sup>2</sup> seguita dalle analisi degli altri due edifici privi delle voci corrispondenti agli elementi di scavo e dell'interrato. Questo procedimento è stato possibile semplicemente cambiando il valore del prezzo unitario relativo alle singole voci appartenenti all'interrato, alle aree esterne e ai balconi, ed inserendo un prezzo uguale a zero. Il risultato della stima ha portato ai seguenti valori:

<b>Tabella Risultati Caso Studio 1</b>	
<b>Corpo</b>	<b>Importo</b>
Edificio 1, Edificio Interrato, Aree esterne e balconi	<b>6.377.893,60 €</b>
Edificio 2	<b>2.423.586,70 €</b>
Edificio 3	<b>3.059.703,00 €</b>

Tabella 6: Tabella risultati finali - Caso studio 1

<b>Importo totale</b>
<b>11.861.183,30 €</b>

Tabella 7: Importo totale - Caso studio 1

### 5.7.2 Secondo caso studio

Il secondo caso studio prende anch'esso in considerazione un edificio residenziale situato a Milano. Il complesso edilizio prevede quattro corpi di fabbrica, tre fuori terra ed uno interrato. Di seguito viene riportata l'immagine del modello tridimensionale per masse.

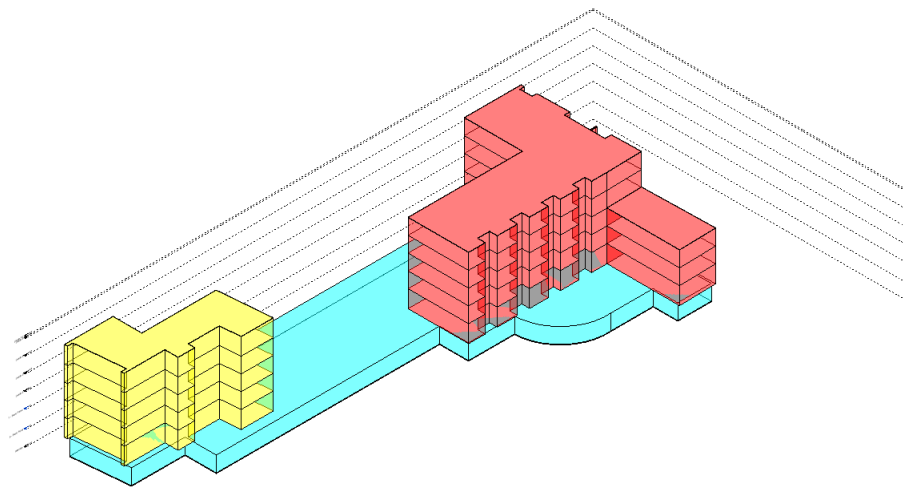


Figura 56: Vista tridimensionale del secondo caso studio

I tre edifici fuori terra hanno le seguenti caratteristiche:

- Edificio 1: colorato in rosso, si eleva per cinque piani fuori terra, ha un'altezza complessiva di 16,55 m. Presenta un solo core a servizio dei piani ed un solo

ascensore;

- Edificio 2: colorato sempre in rosso, è un porzione del primo fabbricato e si eleva per tre piani fuori terra, ha un'altezza complessiva di 10,20 m ed una superficie complessiva di piano, insieme all'edificio 1, pari a 680 m<sup>2</sup>. Anch'esso possiede un solo core in calcestruzzo e un solo ascensore;
- Edificio 3: colorato in giallo, si eleva per cinque piani fuori terra, ha un'altezza complessiva di 16,70 m ed una superficie per piano pari a 240 m<sup>2</sup>. Presenta un solo core e un solo ascensore a servizio dei piani.

Come si evince dall'immagine 57 raffigurante una planimetria generale del complesso edilizio, le opere esterne corrispondono ad un'area lorda di 1790 m<sup>2</sup>, mentre la somma delle superfici appartenenti a logge e balconi ammonta a 75 m<sup>2</sup> per piano.

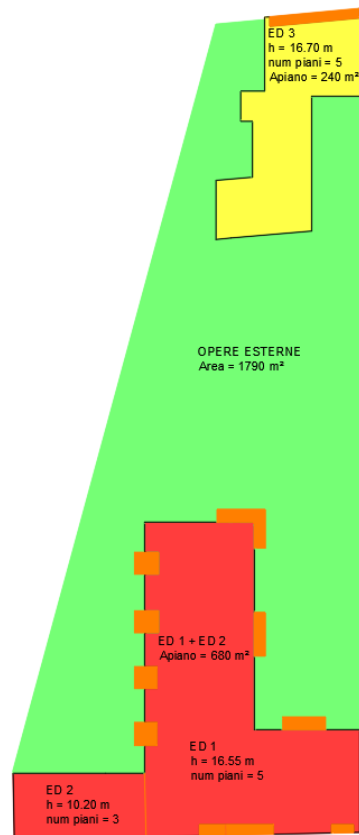


Figura 57: Planimetria generale del secondo caso studio

Come per il primo caso, essendo il progetto destrutturabile come tre edifici separati, l'analisi è stata lanciata una volta per l'edificio 3 con annesso l'interrato di circa 2200 m<sup>2</sup> seguita dalle analisi degli altri due edifici privi delle voci corrispondenti agli elementi di scavo e dell'interrato. Questo procedimento è stato possibile semplicemente cambiando il valore del prezzo unitario relativo alle singole voci appartenenti all'interrato, alle aree esterne e ai balconi, ed inserendo un prezzo uguale a zero. Il risultato della stima ha portato ai seguenti valori:

<b>Tabella Risultati Caso Studio 2</b>	
<b>Corpo</b>	<b>Importo</b>
Edificio 3, Edificio Interrato, Aree esterne e balconi	<b>3.858.685,50 €</b>
Edificio 1	<b>3.833.196,30 €</b>
Edificio 2	<b>571.538,70 €</b>

Tabella 8: Tabella risultati finali - Caso studio 2

<b>Importo totale</b>
<b>8.263.420,50 €</b>

Tabella 9: Importo totale - Caso studio 2

### 5.7.3 Confronto e analisi casi studio

Entrambi i casi studio presentano una fase di avanzamento del progetto di livello esecutivo. Si è potuto quindi fare un confronto con i relativi computi metrici estimativi in fase esecutiva, ottenendo:

- Caso studio 1:

<b>Confronto Risultati Caso Studio 1</b>	
<b>Tipologia</b>	<b>Importo</b>
Preventivazione sintetica multi-parametrica	<b>11.861.183,30 €</b>
Computo Metrico Estimativo in fase esecutiva	<b>11.300.000,00 €</b>
<b>Errore = 5%</b>	

Tabella 10: Errore tra preventivo sintetico e il CME della fase esecutiva - Caso studio 1

- Caso studio 2:

<b>Confronto Risultati Caso Studio 2</b>	
<b>Tipologia</b>	<b>Importo</b>
Preventivazione sintetica multi-parametrica	<b>8.263.420,50 €</b>
Computo Metrico Estimativo in fase esecutiva	<b>7.850.000,00 €</b>
<b>Errore = 5,2%</b>	

Tabella 11: Errore tra preventivo sintetico e il CME della fase esecutiva - Caso studio 2

In entrambi i casi la verifica tra la preventivazione sintetica multi-parametrica e la computazione, sicuramente più approfondita, della fase esecutiva ha riscontrato un errore prossimo al +5%, valore accettabile essendo che, come detto sul capitolo delle stime, le preventivazioni sintetiche delle prime fasi hanno un intervallo di confidenza compreso tra -30% e +50%.

## 6 Conclusioni e sviluppi futuri

All'inizio di ogni progetto è necessario stimare ed elaborare un business plan, che sarà il punto di partenza per decidere l'ammontare dell'investimento totale dell'opera. Ne consegue quindi che è fondamentale fare un'analisi accurata e quanto più precisa di tale somma di denaro. Le valutazioni "*standard*", ovvero le stime classiche più utilizzate, presentano dei limiti evidenti, in quanto risultano essere talvolta imprecise o prive di controllo. Difatti, tali stime spesso basano il proprio risultato su un parametro univoco, derivato il più delle volte da esperienza o da stime di mercato. Ma tale parametro di riferimento non percepisce eventuali variazioni sulla categoria di edificio esaminata. Pertanto, qualora venissero richieste delle variazioni particolari sul fabbricato in questione, andare a stimare l'incidenza di codeste variabili non sarebbe così facile. In definitiva, queste tipologie di preventivazione non permettono un controllo accettabile su eventuali varianti di tipo tecnologico, rendendo difficoltosa la modifica o il confronto tra una variante e l'altra.

L'obiettivo, quindi anche l'ipotesi, è quello di attestare l'esistenza di una metodologia che permetta di elaborare un preventivo sintetico fin dalle prime fasi di concept del progetto e che sia in grado di assorbire dinamicamente una moltitudine di parametri e una loro possibile variazione. Per poter arrivare alla creazione di un algoritmo che permettesse di elaborare tale metodologia è stato molto importante definire l'ambito di sviluppo ed il flusso di lavoro che la contraddistingue.

Infatti, essendo ormai normati e sempre più presenti nel mondo edile, i criteri utilizzati sono quelli della metodologia del Building Information Modeling (BIM), che raggruppa i processi di aggiornamento e informatizzazione di tutti i dati necessari nel corso del ciclo di vita di un'opera, attraverso la valorizzazione di parametri all'interno del gemello digitale dell'edificio. È proprio il livello di informazione degli elementi costituenti il fabbricato che aumenta con l'avanzamento progettuale di quest'ultimo e che va a definirlo attraverso l'assegnazione di alcuni parametri. Questo processo di avanzamento informativo viene regolarizzato da dei livelli chiamati LOD. Nel nostro caso, ponendoci in una primissima fase di concept, il livello informativo sarà molto basso e sarà gestito attraverso degli elementi tridimensionali vuoti, con informazioni puramente geometriche, che vengono definiti masse. Queste aiuteranno il progettista ad inquadrare subito il conteso edilizio e a proporre delle soluzioni più vantaggiose.

Fondamentale è stato anche stabilire un flusso di lavoro che consentisse una faci-

le gestione e una processazione dei dati. La destrutturazione iniziale del progetto ha permesso la suddivisione in elementi tecnici del complesso edilizio, andando così a ridistribuire il problema di eventuali gestioni complesse dei dati su un unico elemento. Quest'ultimo viene caratterizzato da due tipologie di informazioni, quali i parametri statici e i parametri dinamici. Essi sono necessari affinché il progettista possa elaborare velocemente più varianti del medesimo caso studio. I primi si contraddistinguono per essere funzione della medesima tipologia edilizia; mentre i secondi, sono i parametri più facilmente suscettibile a cambiamenti tra un caso studio ed un altro, ma anche all'interno del medesimo. Essi sono, infatti, i valori che più incideranno su una valutazione più alta rispetto ad una più moderata del bene edilizio.

Uno strumento necessario e funzionale a questa metodologia è stata la programmazione visuale, che ha permesso, pur non avendo grandi conoscenze informatiche, di gestire ed elaborare una vasta quantità di dati, consentendo di indagare e risolvere problematiche legate alla specificità del progetto caratterizzato da un livello informativo molto basso. Grazie a questa tipologia di programmazione, inoltre, è stato possibile rendere il flusso di lavoro più fluido, in quanto ha consentito un trasferimento di dati più agevole tra un sistema ed un altro. L'integrazione quindi tra software di natura diversa ha permesso un flusso di dati più omogeneo, assicurando l'elaborazione delle informazioni di carattere geometrico ed economico e l'implementazione di operazioni logiche per la combinazione delle due tipologie di dati, fino all'emissione del risultato finale.

Questo processo informativo, grazie anche all'uso di software open source come *Dynamo*, ha generato un sistema dinamico della gestione del prezzo o costo finale. Difatti, l'operatore che esegue un'analisi con questo sistema, risulta avvantaggiato in termini di:

- velocità di esecuzione;
- gestione controllata dei dati di riferimento;
- facilità di customizzazione del progetto;
- errore sulla valutazione finale dell'opera molto limitato.

Il progettista, una volta creata la sua libreria di script per l'analisi delle diverse tipologie edilizie, viene chiamato a modellare semplicemente delle masse, sulle quali l'algoritmo andrà a fare le sue analisi. Qualora le condizioni al contorno del progetto



siano particolarmente diverse dallo standard descritto in questa tesi, anche la modifica di tali parametri risulta agevolata dalla scomposizione del progetto in tutte le sue parti, permettendo al professionista di andare a cambiare i parametri statici, in maniera semplice ed intuitiva, andando così ad elaborare un preventivo sintetico multi-parametrico.

In entrambi i casi studio, esaminati nell'ultimo capitolo, l'errore percentuale di discostamento tra la preventivazione sintetica e la preventivazione analitica in fase esecutiva, risultava essere molto basso ed accettabile. Nonostante questi dati siano sicuramente positivi al fine della tesi, un miglioramento è sempre possibile, in quanto il livello di approssimazione è ancora alto, seppur ammissibile.

Per esempio, nel caso della chiusura verticale opaca, costituita da finitura, strato coibente e struttura portante della muratura tipo Poroton, il sistema considera una parete, che partendo dal livello del piano terra, arriva fino al livello della copertura senza mai interrompersi. Il livello di approssimazione come detto è accettabile seppur migliorabile, in quanto la muratura parte dall'estradosso del solaio strutturale inferiore fino all'intradosso del solaio strutturale superiore, mentre l'isolamento a cappotto, con finitura, corrono lungo tutta l'altezza della facciata.

Migliorare l'approssimazione in questo senso di questo algoritmo, però, potrebbe risultare un'arma a doppio taglio, perché andrebbe ad affinare forse troppo la precisione geometrica a scapito di eventuali imprecisioni che hanno comunque un impatto sul costo totale. Un aspetto, invece, secondo me più meritevole da sviluppare è dato dal fatto che, come ogni algoritmo, anche questo non è esente da imperfezioni. Difatti, per l'elaborazione di esso è stata considerata una sola destinazione d'uso e non tutte le tipologie di scenari, basti pensare al centro Italia, dove gli effetti sismici sono molto più impattanti sulle strutture dell'edificio. Andrebbe quindi implementato e verificato con le più diverse e particolari casistiche.

## 6.1 Sviluppi futuri

Uno dei temi sicuramente più interessanti riguardo a questa tesi è quello degli sviluppi e delle integrazioni con le diverse aree del BIM [3].

A livello preliminare e soprattutto di concept è stimolante come un modello o un algoritmo di questo tipo possano essere inseriti in un contesto più ampio. All'interno del presente elaborato si può ritrovare (cfr. Capitolo 3) una descrizione ed una definizione delle aree del BIM legate ai tempi, alla sostenibilità dell'edificio e alla gestione del costruito (4D, 6D e 7D).

Nel caso del BIM 4D, l'implementazione potrebbe essere risolta aggiungendo un parametro di tempo unitario per ogni elemento della WBS e facendo processare all'algoritmo una fase di elaborazione dati in più. In questa fase il parametro di tempo unitario verrebbe moltiplicato per la quantità totale dell'elemento e il risultato di output sarebbe il tempo totale di realizzazione di tale elemento.

Facendo un esempio numerico, potremmo dire che un  $m^3$  di calcestruzzo viene gettato in 15 minuti, quindi avremmo:

$$T_{tot} = T_u \times Q_{tot} = 15m/m^3 \times 2m^3 = 0,5h \quad (5)$$

dove:

- $T_{tot}$  = è il tempo totale di getto;
- $T_u$  = è il tempo che abbiamo definito unitario, ovvero il tempo che ci vuole per gettare un  $m^3$  di calcestruzzo;
- $Q_{tot}$  = è la quantità totale di calcestruzzo per realizzare un determinato elemento.

Processando attraverso la programmazione visiva anche questo parametro, si otterrebbe facilmente il tempo previsto di costruzione, aiutando così anche il cliente a capire quale impatto in termini economici abbiano le tempistiche di realizzazione dell'opera.

Invece, per quanto riguarda l'area del BIM 6D (ricordando che quando si parla di sostenibilità si intende quella ambientale, economica e sociale) potremmo ipotizzare che il modello per masse, realizzato per questo algoritmo, possa essere inserito all'interno di un contesto urbano. Questo consentirebbe di osservare subito l'impatto sul circondario e di studiare così il percorso del sole, delle ombre, l'influenza della

realizzazione dell'edificio sull'urbanistica, etc. Esistono delle plug-in, sicuramente più congeniali a questo ambito rispetto a *Dynamo*, che permetterebbero di studiare abbastanza approfonditamente gli aspetti legati all'impatto energetico attraverso una programmazione visiva.

Infine, non escludo anche l'implementazione dell'ambito del BIM 7D, in quanto potremmo pensare al facility management di un edificio come ad una semplice associazione di parametri, tra i quali:

- i tempi circolari stimati di manutenzione di un prodotto;
- il costo di manutenzione ad ogni ricorrenza di tale tempistica;
- l'arco temporale da considerare, che potrebbe coincidere con il periodo di uso dell'immobile.

A livello concettuale, non sarebbe altro che un'ulteriore elaborazione di dati, per la quale avremmo un costo totale di manutenzione durante tutto l'arco temporale di vita dell'edificio. Facendo processare più volte l'algoritmo per periodi sempre più brevi di tempo, si potrebbe anche andare a studiare l'andamento dei costi di manutenzione lungo il tempo.

In definitiva, questa metodologia ha potenzialmente molteplici sviluppi, in quanto non si ferma solo alla preventivazione sintetica multi-parametrica, bensì, attraverso un'adeguata integrazione di altri ambiti, si può arrivare alla processazione di uno o più modelli per un'analisi del progetto a trecentosessanta gradi, fin dalle prime fasi. Questo avrebbe sicuramente un grande impatto sulla gestione di tutto il percorso progettuale, costruttivo e manutentivo dell'edificio, aiutando i principali stakeholders a prendere subito delle decisioni che influenzeranno positivamente l'economia della commessa.

## Riferimenti bibliografici

- [1] Claudio Mirarchi Alberto Pavan. «La nuova norma UNI 11337, gestione digitale delle costruzioni». In: *Imprese Edili News* (2016). URL: <https://www.impresediliness.it/files/2017/10/7-cil-167-normativa.pdf>.
- [2] A. Caruso. *Valutazione economica delle scelte progettuali con il metodo ARC*. Quaderni di economia ed estimo delle costruzioni e del territorio. Ecig, 1900. URL: <https://books.google.it/books?id=5hAungEACAAJ>.
- [3] Rabia Charef. «The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D)». In: *Cleaner Engineering and Technology* 7 (2022), p. 100414. ISSN: 2666-7908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100414>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822000192>.
- [4] Chao Chen e Llewellyn Tang. «BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance». In: *Automation in Construction* 107 (2019), p. 102944. ISSN: 0926-5805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102944>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519302481>.
- [5] Franco K.T. Cheung et al. «Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models». In: *Automation in Construction* 27 (2012), pp. 67–77. ISSN: 0926-5805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.008>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512000817>.
- [6] MRICS Giampiero Brioni EIE /ICEC A. «Le valutazioni sintetiche nel settore delle costruzioni: dalla preventivazione mono-parametrica alla preventivazione a parametrizzazione multifunzionale e costi ragguagliati». In: *Associazione Italiana Ingegneria Economia* (). URL: [https://www.bbprogett milano.it/wp-content/uploads/2015/09/Le-valutazioni-sintetiche-nel-settore-delle-costruzioni\\_Brioni-34.pdf](https://www.bbprogett milano.it/wp-content/uploads/2015/09/Le-valutazioni-sintetiche-nel-settore-delle-costruzioni_Brioni-34.pdf).
- [7] CSI Construction Specifications Institute, cur. *Sito ufficiale CSI*. 17/03/2022. URL: <https://www.csiresources.org/standards/masterformat>.
- [8] CSI Construction Specifications Institute, cur. *Sito ufficiale CSI*. 17/03/2022. URL: <https://www.csiresources.org/standards/masterformat>.

- [9] Seul-Ki Lee, Ka-Ram Kim e Jung-Ho Yu. «BIM and ontology-based approach for building cost estimation». In: *Automation in Construction* 41 (2014), pp. 96–105. ISSN: 0926-5805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.020>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051300188X>.
- [10] Qingjuana Liu e Jialin Cao. «Application Research on Engineering Cost Management Based on BIM». In: *Procedia Computer Science* 183 (2021). Proceedings of the 10th International Conference of Information and Communication Technology, pp. 720–723. ISSN: 1877-0509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.120>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921005962>.
- [11] RIBA Journal Magazine, cur. *Sito ufficiale RIBA*. 17/03/2022. URL: <https://www.ribaj.com/>.
- [12] UNI Ente Italiano di Normazione, cur. *UNI 11337: Edilizia e opere di ingegneria civile, Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni*.
- [13] UNI Ente Italiano di Normazione, cur. *UNI 8290: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti*.
- [14] A. Pavan, C. Mirarchi e M. Giani. *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*. Costruzioni, architettura e design 9788848135221. Tecniche Nuove, 2017. URL: <https://books.google.it/books?id=u0GJswEACAAJ>.
- [15] Edyta Plebankiewicz, Krzysztof Zima e Mirosław Skibniewski. «Analysis of the First Polish BIM-Based Cost Estimation Application». In: *Procedia Engineering* 123 (2015). Selected papers from Creative Construction Conference 2015, pp. 405–414. ISSN: 1877-7058. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.064>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815031653>.
- [16] AACE International Recommended Practice, cur. *AACE International Recommended Practice No. 56R-08 COST ESTIMATE CLASSIFICATION SYSTEM – AS APPLIED IN ENGINEERING, PROCUREMENT, AND CONSTRUCTION FOR THE BUILDING AND GENERAL CONSTRUCTION INDUSTRIES TCM Framework: 7.3 – Cost Estimating and Budgeting*. URL: [https://web.aacei.org/docs/default-source/toc/toc\\_56r-08.pdf](https://web.aacei.org/docs/default-source/toc/toc_56r-08.pdf).
- [17] Peter Smith. «BIM the 5D Project Cost Manager». In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 119 (2014). Selected papers from the 27th IPMA (International Project Management Association), World Congress, Dubrovnik, Croatia,

2013, pp. 475–484. ISSN: 1877-0428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814021442>.

- [18] Peter Smith. «Project Cost Management with 5D BIM». In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 226 (2016). Proceedings of the 29th IPMA World Congress WC2015 (28-30 September – 1 October, Panama), pp. 193–200. ISSN: 1877-0428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.179>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042816308655>.
- [19] International Construction Measurement Standards, cur. *ICMS: Coerenza Globale nella Presentazione dei Costi di Costruzione e di altri Costi del Ciclo di Vita*. 17/03/2022. URL: <https://www.rics.org>.
- [20] American Society for Testing e Construction Specifications Institute Materials, cur. *ASTM's Current UNIFORMAT II Standards*. 03/2022. URL: <https://www.uniformat.com>.
- [21] G. Utica. *Tecniche avanzate di analisi e gestione dei progetti*. Collana di istruzione scientifica 9788838665691. McGraw-Hill Companies, 2011. URL: <https://books.google.it/books?id=Vi08YgEACAAJ>.

## Elenco delle figure

1	Processo informativo delle costruzioni - UNI 11337 [12] . . . . .	9
2	Esempio di modello operativo di progetto - UNI11337 [12] . . . . .	10
3	RIBA - Plan Of Work - 2020 [11] . . . . .	11
4	RIBA - Step of work [11] . . . . .	11
5	Schema di classificazione del sistema tecnologico - UNI 8290 [13] . . . .	14
6	Schema di classificazione del sistema tecnologico - UniFormat II [20] . .	15
7	Schema di classificazione del sistema tecnologico - MasterFormat [7] . .	16
8	Schema di classificazione del sistema tecnologico - OmniClass [8] . . . .	17
9	Schema di classificazione dei gruppi di costo - ICMS . . . . .	17
10	Struttura del modello informativo [1] . . . . .	21
11	Schematizzazione contenuto informativo del LOD di Oggetti [1] . . . . .	21
12	Livelli di LOD . . . . .	23
13	Curva di Macleamy e i benefici del BIM [14] . . . . .	24
14	Curva di Pavan, 2003 [14] . . . . .	25
15	Cost Estimate Classification Matrix for Building and General Construction Industries [6] . . . . .	27
16	Illustration of the Variability in Accuracy Ranges for Building and Gene- ral Construction Industry Estimates [16] . . . . .	28
17	Matrice di classificazione dei preventivi secondo AACE [6] . . . . .	29
18	Metodologia stima sintetica [6] . . . . .	30
19	Coefficiente correttivo $C_c$ [6] . . . . .	31
20	Tabella centri di costo con metodo ABC [6] . . . . .	33
21	Incremento della superficie laterale al variare del rapporto tra i due lati di un parallelepipedo [2] . . . . .	35
22	Esempio: tavola di riferimento per l'applicazione del metodo A.R.C. [2] .	37
23	Processo di preventivazione sintetica multi-parametrica . . . . .	39
24	Processo e software impiegati . . . . .	40
25	Screen da Revit: Livelli di progetto . . . . .	41
26	Screen da Revit: Massa fuori terra . . . . .	41
27	Screen da Revit: Massa interrato . . . . .	42
28	Screen da Revit: Masse in prospetto . . . . .	42
29	Screen da Revit: Masse - visualizzazione tridimensionale . . . . .	42
30	Screen da Revit: Selezione dei livelli intersecanti . . . . .	43

31	Screen da Revit: Pavimenti di massa . . . . .	43
32	Navigatore della matrice di progetto . . . . .	50
33	Rappresentazione operazione logica in Dynamo . . . . .	64
34	Diagramma di flusso dell'algoritmo in Dynamo . . . . .	66
35	Script per l'elaborazione di un preventivo sintetico multi-parametrico . . .	67
36	Nodo per la selezione del file Excel di lettura . . . . .	68
37	Nodi per la lettura dei parametri dinamici . . . . .	68
38	Gruppo filtro per lo smistamento dei dati . . . . .	69
39	Esempio di gruppo VALORI . . . . .	70
40	Gruppo di elaborazione delle quantità . . . . .	70
41	Gruppo di elaborazione delle quantità di elementi dipendenti solo da Abalcone . . . . .	71
42	Gruppo di elaborazione delle quantità di elementi che dipendono da $Ap$ , $\%contr$ e $N_p - 1$ . . . . .	71
43	Riorganizzazione dei dati . . . . .	72
44	Valori delle quantità e valori dei prezzi totali . . . . .	72
45	Unione dei dati per l'esportazione su foglio di calcolo . . . . .	73
46	Gruppo di esportazione dei dati . . . . .	73
47	Gruppo di verifica per la riorganizzazione degli indici . . . . .	74
48	Gruppo di verifica percentuale di facciata trasparente . . . . .	74
49	Comando Lettore Dynamo . . . . .	75
50	Schermata di partenza . . . . .	76
51	File di scrittura . . . . .	77
52	Modifica del campo $\%_{trasp}$ nel Lettore Dynamo . . . . .	78
53	Valore finale della preventivazione dinamica e sintetica multi-parametrica	79
54	Vista tridimensionale del primo caso studio . . . . .	80
55	Planimetria generale del primo caso studio . . . . .	81
56	Vista tridimensionale del secondo caso studio . . . . .	82
57	Planimetria generale del secondo caso studio . . . . .	83



## Elenco delle tabelle

1	Tabella riassuntiva Standard normativi di destrutturazione . . . . .	18
2	Tabella parametri statici . . . . .	54
3	Tabella associativa parametri statici . . . . .	58
4	Tabella parametri dinamici . . . . .	60
5	Tabella associativa parametri dinamici . . . . .	63
6	Tabella risultati finali - Caso studio 1 . . . . .	82
7	Importo totale - Caso studio 1 . . . . .	82
8	Tabella risultati finali - Caso studio 2 . . . . .	84
9	Importo totale - Caso studio 2 . . . . .	84
10	Errore tra preventivo sintetico e il CME della fase esecutiva - Caso studio 1	85
11	Errore tra preventivo sintetico e il CME della fase esecutiva - Caso studio 2	85

## Ringraziamenti

Si chiude un capitolo della mia vita che ha contribuito ad erigere le fondamenta del mio futuro professionale e non solo. Ha portato con sé tanti traguardi importanti, contraddistinti da momenti di soddisfazione personale e felicità. Per questo motivo tenevo a fare dei ringraziamenti speciali a tutti coloro che hanno permesso il raggiungimento di tale meta.

Vorrei ringraziare il Relatore di questa tesi, Prof. Alberto Pavan, che si è mostrato disponibile e tempestivo in questo ultimo periodo, sapendomi consigliare e indirizzare nel giusto modo.

Vorrei ringraziare l'ing. arch. Giampiero Brioni, che ho avuto il piacere di avere come Controrelatore, per il supporto datomi nella stesura di tale elaborato e per i consigli determinanti. Vorrei, inoltre, ringraziare tutti i ragazzi dello studio B&BProgetti per avermi aiutato a crescere in questi ultimi mesi.

Non potrò mai ringraziare abbastanza i miei genitori, Tiziana e Saverio, che mi hanno supportato in questi ulteriori due anni di università aiutandomi a tracciare il percorso del mio futuro e spero che continueranno a sostenermi anche nei prossimi passi difficili che affronterò. Ringrazio mia sorella Lara per il supporto e per i perseveranti appelli sull'importanza della mia salute. Ringrazio i miei zii, Daniela ed Enrico, che mi sono sempre vicini e che mi hanno sempre incoraggiato a perseguire la mia strada. Un pensiero va anche tutti i miei parenti più lontani, che mi sono comunque vicini e che ringrazio: i miei zii Caterina, Giuseppe, Rosina e tutti i cugini più grandi e più piccoli, fino ai nuovi arrivati che hanno portato grande gioia nella nostra famiglia.

Un ringraziamento particolare va alla mia ragazza Irene che oramai mi sopporta da sei anni, supportandomi e regalandomi bellissimi momenti. La ringrazio perché mi sprona ad essere una versione migliore di me stesso e mi spinge a crescere come persona, standomi sempre vicina. Lei è riconoscente perché mi ricorda quali sono le cose importanti della vita e percorre insieme a me la via che ci stiamo tracciando e tutte quelle deviazioni che potrebbero presentarsi davanti a noi.

Infine, vorrei ringraziare tutti gli amici con cui ho avuto il piacere di trascorrere momenti indimenticabili. Sono veramente tanti e sicuramente non riuscirò a nominarli tutti in questi ringraziamenti. Ringrazio gli amici che mi porto nel cuore da tanto tempo ormai: Alex, Noemi, Paolo e Riccardo, che mi hanno accompagnato in tantissimi istanti di spensieratezza, fatti di sorrisi e tante risate. Ringrazio gli amici che mi hanno aiutato a passare i momenti universitari più bui, ma allo stesso quelli più divertenti ed appaganti: Ana, Arianna, Francesca (-ina), Francesca, Francesco (JD), Giuseppe, Giusy, Manuela, Mattia, Simona, Virginia e tutti gli altri.

Ringrazio tutti coloro che mi hanno permesso di essere qui, a questo punto della mia vita, alla conclusione di uno dei cicli più importanti della mia vita, sorreggendomi e portandomi nel loro cuore. Sicuramente farò tesoro di tutte le esperienze positive, che sono il prodotto di amicizie sincere e dei rapporti costruttivi coltivati in questi anni, che continueremo ad alimentare nei cicli che verranno e che affronteremo con risolutezza e coraggio.

