POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Architettura

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura Costruzione Città

Tesi di Laurea Magistrale

METODOLOGIA BIM PER LO SVILUPPO DI MODELLI DIGITALI IN AMBITO SANITARIO

Differenti metodologie applicate alla struttura del Trompone

Relatore
Prof.ssa Anna Osello

Correlatore
Ing. Matteo Del Giudice

Candidato
Francesco Solato

Dicembre 2018

INDICE

INDICE **3**
ABSTRACT **1**
INDICE DEGLI ACRONIMI **3**
1 INTRODUZONE **4**
1.1 BIM **4**
1.1.1 BIM: Model, Modelling e Management 4
1.1.2 BIM ed interoperabilità 10
1.1.3 BIM e LOD 11
1.1.4 Digitalizzazione del patrimonio edilizio e modelli As is 14
1.1.5 BIM e construction management 16
1.2 Construction Management **19**
1.2.1 Strumenti per il Construction Management 19
1.2.2 Definizione WBS 20
1.2.3 WBS e BIM 21
1.2.4 Diagramma di Gantt 21
1.3 Concretizzazione dei modelli virtuali **23**
1.3.1 Origini ed impieghi delle stampanti 3D 23
1.3.2 Prototipazione rapida per architettura e design 28
1.3.3 Il BIM e la stampa 3D 29
1.4 Sistemi di eye tracking **31**
1.4.1 Panoramica generale 31
1.4.1 Videooculografia 32
1.5 Caso studio **35**
1.5.1 Panoramica generale 35
1.5.2 Le origini ed il futuro del Trompone 38
2 METODOLOGIA **41**
2.1 Programmi utilizzati **42**
2.2 Worksharing per il caso studio del Trompone **44**
2.2.1 Workset 46
2.2.2 Link 47
2.2.3 Condivisione e gestione del progetto della serra bioclimatica 48
2.3 Intenti progettuali **50**
2.3.1 Requisiti di progetto 50
2.3.2 Spazi di collegamento vetrati 50
2.4 Progetti di riferimento **51**
2.4.1 Nuovo ospedale pediatrico Meyer 52
2.4.2 Galleria Origo Arkitekter, ospedale psichiatrico Kronstad 55
2.5 Modello BIM **56**
2.6 Famiglie utilizzate **69**
CONSTRUCTION MANAGEMENT 71
2.7 Creazione del codice identificativo per la WBS **72**
2.7.1 Codifiche normative 72
2.7.2 Codice identificativo 75
2.8 Codice WBS nel progetto **77**
2.8.1 Parametro di modello 80
2.8.2 Parametro di posizione 82
2.8.3 Parametro di posa 85

2.9 LOD **85**
2.9.1 Diversi livelli di LOD 85
2.10 Computazione del progetto **87**
2.10.1 Creazione di un computo su Revit 87
2.10.2 Prezziari BIM e #TagBIM 89
2.10.3 Interoperabilità tra Primus e Revit 91
STAMPA 3D **99**
2.11 Incontro tra il Politecnco (TO) e l'Università del Sacro Cuore (VC) **100**
2.12 Preparazione dei modelli **101**
2.12.1 Definizione del LOD 101
2.12.2 Rielaborazione delle famiglie 102
2.12.3 Scomposizione del modello virtuale 103
2.12.4 Realizzazione del modello delle masse 106
2.13 Workflow **107**
2.13.1 Revit ed esportazione 107
2.13.2 Interoperabilità tra Revit, 3D Studio Max e Cura 109
2.13.3 Utilizzo di Cura 15.04.2, software CAM per la modellazione 110
MODELLAZIONE DIGITALE DI UNA CAMERA DI DEGENZA **114**
2.14 Interoperabilità tra ambiti interdisciplinari **115**
2.14.1 Creazione di famiglie post rilievo 116
3 RISULTATI **119**
3.1 Modellazione per il Construction management **119**
3.1.1 Elaborati per l'identificazione univoca degli elementi edilizzi 119
3.1.2 Confronto tra computi realizzati su Revit e Primus 121
3.1.3 Diagramma di Gantt 124
3.1.4 S curve 127
3.1.5 Simulazione su Naviswork 132
3.1.6 Clash detection, analisi delle interferenze 136
3.1.7 Diversi scenari a confronto 138
3.2 Modellazione per la stampa 3D **140**
3.2.1 Modelli 3D 140
3.2.2 Definizione linee guida **146**
3.2.3 Parametro stampabilità 149
3.3 Applicazioni di Dynamo **154**
3.4 Modellazione per applicazione eye tracking **157**
3.4.1 Modello IFC e glTF 157
3.4.2 Camera di degenza e requisiti di progetto 159
4 SVILUPPI FUTURI **165**
4.1 Modellazione per il Construction Mangement **165**
4.2 Modellazione per la stampa 3D **165**
4.3 Modellazione per applicazione eye tracking **165**
5 CONCLUSIONE **167**
6 RIFERIMENTI **171**
7 ALLEGATI
8 RINGRAZIAMENTI

ABSTRACT

Nell'ambito del BIM gli obiettivi finali del modello 3D parametrico, caratterizzati dai suoi usi e funzionalità, ne determinano le specifiche caratteristiche ed una conseguente metodologia di modellazione.

La tesi è sviluppata partendo dal progetto di una serra bioclimatica collocata nel complesso ospedaliero del Trompone, a Moncrivello (VC), in sostituzione di una struttura preesistente dalle prestazioni ambientali inadeguate. Tale oggetto di studio si inserisce all'interno di un intervento su larga scala sviluppato in un Common Data Eniviroment che ha portato alla creazione di un modello federato multidisciplinare.

La tesi ha come obiettivo quello di analizzare le capacità di un modello 3D parametrico di rispondere a una serie di molteplici esigenze, partendo dalla gestione dei tempi e dei costi nella pianificazione e programmazione delle opere fino alla prototipazione rapida per la visualizzazione del prodotto finito. Diversi modelli sono stati sviluppati per raggiungere questi obiettivi e i risultati sono stati messi a sistema per valutare i punti di forza e di debolezza di ognuno di questi. Si tratta di modelli differenti con specifiche caratteristiche, determinate dalle loro funzionalità finali, la cui realizzazione ha comportato l'applicazione di diverse metodologie.

- Il primo è un modello per il construction management della serra bioclimatica, che ha permesso di confrontare differenti processi di lavoro vicini ai principi proposti dalla metodologia BIM.
- Il secondo è un modello finalizzato alla prototipazione rapida, che ha permesso la definizione di apposite linee guida per incrementare l'interoperabilità tra il modello digitale parametrico e la stampa 3D.
- Il terzo è un modello per la virtualizzazione di una camera di degenza del complesso ospedaliero, utilizzato per collaborare con un tesista in ingegneria biomedica a un'applicazione basata sul eye tracking.

La tesi presenterà quindi diverse metodologie di lavoro, condurrà a delle conclusioni rispetto al rapporto tra il modello 3D parametrico ideale, a cui tende la metodologia BIM, e quella che ne è l'applicazione pratica ed evidenzierà le trasformazioni nel ruolo dell'architetto al giorno d'oggi.

In BIM environment the virtual model's final goals, characterized by its uses and functionality, determine its specific characteristics and a consequent modeling methodology.

The thesis is developed starting from the project of a bioclimatic greenhouse located in the Trompone hospital complex, in Moncrivello (VC), replacing a pre-existing structure with inadequate environmental performance. This study is part of a large-scale intervention developed in a Common Data Eniviroment that led to the creation of a multidisciplinary federated model.

The thesis aims to analyze the capabilities of a parametric 3D model to respond to a series of multiple needs, starting from the management of time and costs in the planning and programming of the works up to the rapid prototyping for the visualization of the finished product. Several models have been developed to achieve these goals and the results have been put in place to evaluate the strengths and weaknesses of each of these. These are different models with specific characteristics, determined by their final functionalities, the realization of which involved the application of different methodologies.

• The first is a model for the construction management of the bioclimatic greenhouse, which allowed to compare different work processes close to the principles proposed by the BIM methodology.

• The second is a model aimed at rapid prototyping, which allowed the definition of specific guidelines to increase the interoperability between the parametric digital model and 3D printing.

• The third is a model for the virtualization of an inpatient room of the hospital complex, used to collaborate with a biomedical engineering expert in an application based on eye tracking.

The thesis will then present different methodologies of work, will lead to conclusions with respect to the relationship between the ideal parametric 3D model, to which the BIM methodology tends, and that which is its practical application and highlight the transformations in the role of the architect a day today.

INDICE DEGLI ACRONIMI

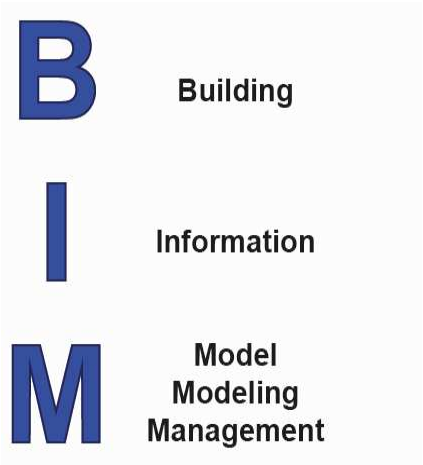
ACDat	Ambiente di Condivisione Dati
ACDoc	Ambiente di Condivisione Documenti
AIA	American Institute of Architecture
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Model, Modeling, Management
CAD	Computer Aided Design
CDE	Common Data Enviroments
CM	Construction Management
.Gcode	(Formato file) G-Code
.fbx	(Formato file) FilmBoX
.glTF	(Formato file) GL Transmission Format
IFC	(Formato file) Industry Foundation Classes
LOD	Level of Detail
LOD	Level of Development
LOG	Level of model geometry
LOI	Level of model information
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
.nwc	(formato file) NavisWorks Cache File
.rvt	(formato file) Autodesk Revit Document
.STL	(formato file) STereo Lithography interface format
STL	Standard Triangulation Language
WBS	Work Breakdown Structure
WebGL	Web-based Graphics Library

1 INTRODUZONE

1.1 BIM

1.1.1 BIM: Model, Modelling e Management

L'acronimo BIM, negli ultimi anni al centro di numerose discussioni, ha in sé differenti significati. Se le iniziali “B” ed “I” stanno rispettivamente per Building Information, la definizione della lettera “M” porta a considerare l'innovazione BIM da diversi punti di vista. Questa, infatti, a seconda dell'accezione che si vuole dare, può essere intesa come Model, Modelling o Management.

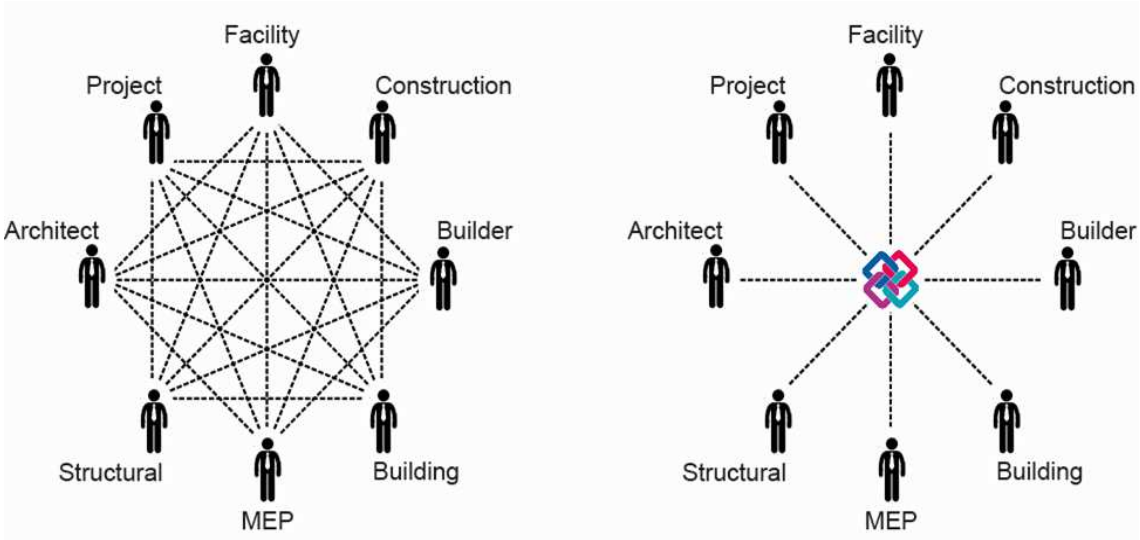


1: Definizioni del BIM

Con il termine Building Information Model si va ad indicare quello che è l'effettivo risultato di un processo BIM, ossia, un modello virtuale tridimensionale integrato, che sintetizza al suo interno tutti i dati relativi all'edificio che rappresenta. Questo modello virtuale, infatti, si propone come una rappresentazione digitale condivisa, priva di ambiguità, delle caratteristiche fisiche e funzionali di una struttura. Inoltre, i dati in esso contenuti si riferiscono all'intero ciclo di vita dell'edificio e permettono una pianificazione di quest'ultimo, che va dalla fase di costruzione fino a quella di rimozione degli scarti di demolizione. Secondo il BIM Handbook un modello, per poter essere definito BIM, necessita di due caratteristiche. Deve rappresentare in 3D un edificio o una sua componente e deve contenere informazioni e proprietà dell'oggetto rappresentato che vanno oltre alla sua rappresentazione grafica. Tuttavia, tra questi due requisiti, il secondo è molto più rilevante rispetto al primo. Mentre in un ambiente di lavoro BIM è possibile utilizzare modelli bidimensionali, soprattutto quando si è in un'iniziale fase di modellazione o il LOD richiesto basso (argomento spiegato nel dettaglio nel

capitolo 2.9), questi modelli non possono non essere accompagnati da una certa quantità di informazioni, differenti in base al fine di questi ultimi. Di conseguenza si può concludere che a contraddistinguere i modelli BIM è la loro componente "Information".
Quando, invece, si parla di Building Information Modeling ci si riferisce a quella che è la innovativa metodologia BIM. Si tratta di un nuovo metodo di lavoro basato sulla collaborazione tra diverse professionalità e la condivisione ed interoperabilità dei dati prodotti da queste ultime.

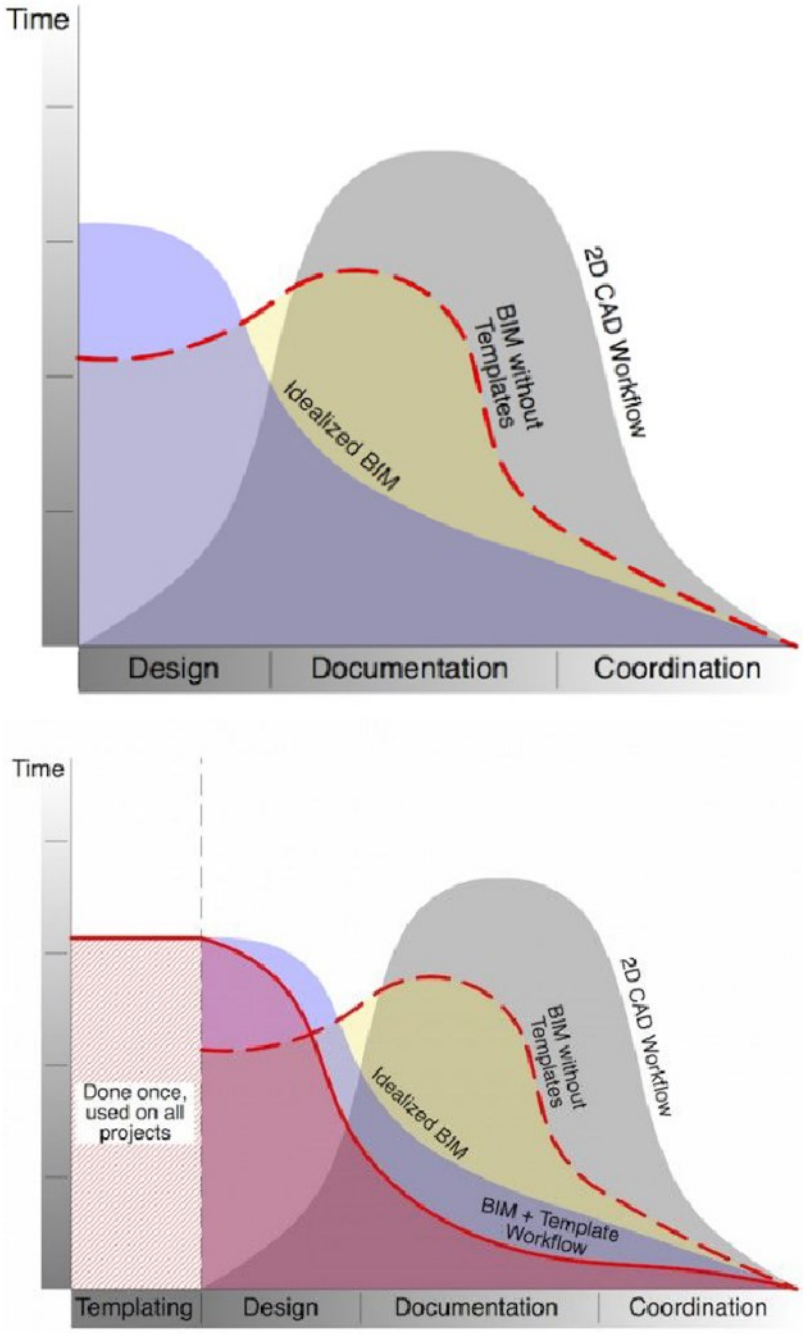
Questo nuovo processo lavorativo è reso possibile dalla struttura degli attuali software BIM in circolazione e porta alla realizzazione di ciò che è stato precedentemente descritto come il Building Information Model.



2: Confronto tra la metodologia di lavoro e scambio dei dati BIM, a destra, e quella tradizionale, a sinistra.

Per concludere, il Building Information Management può essere inteso come il processo di pianificazione e gestione del ciclo di vita di un edificio. Questo aspetto del BIM coinvolge tutte le fasi e le trasformazioni affrontate dall'edificio, spaziando dalla progettazione, alla costruzione, fino alla sua dismissione. È possibile, quindi, disporre ed inserire nel modello virtuale dati relativi alle diverse dimensioni temporali della struttura e pianificarne aspetti a lungo termine come: la manutenzione, la gestione, la demolizione, ecc.., fin dalle prime fasi di progettazione. In questo modo gli sforzi e i costi, in termini di tempo e risorse, legati al progetto si concentrerebbero nella fase iniziale di lavoro, consentendo un risparmio sul lungo periodo. Soprattutto se vengono utilizzati template e

famiglie condivise insieme ad altre strategie di condivisione dei dati che favoriscano l'interoperabilità delle informazioni.



3: Grafico di MacLeamy.
Fonte: shoegnomearchitects.com

Quanto detto trova riscontro nella definizione di BIM data dal National Institute of Building Sciences nel «National Building Information Modeling Standard™» nel 2007. Il BIM, infatti, è un modo radicalmente diverso di creare, utilizzare e condividere i dati di un edificio durante il suo intero ciclo di vita e la sua potenzialità complessiva può essere rappresentata da tre configurazioni.

> «The first and most recognizable is BIM as a product or intelligent digital representation of data about a capital facility. BIM authoring tools are used to create and aggregate information which had, before BIM, been developed as separate tasks with non-machine interpretable information in a paper-centric process. The second is BIM as a collaborative process which covers business drivers, automated process capabilities, and open information standards use for information sustainability and fidelity. Finally BIM as a facility of well understood information exchanges, workflows, and procedures which teams use as a repeatable, verifiable, transparent, and sustainable information based environment used throughout the building lifecycle»[1].

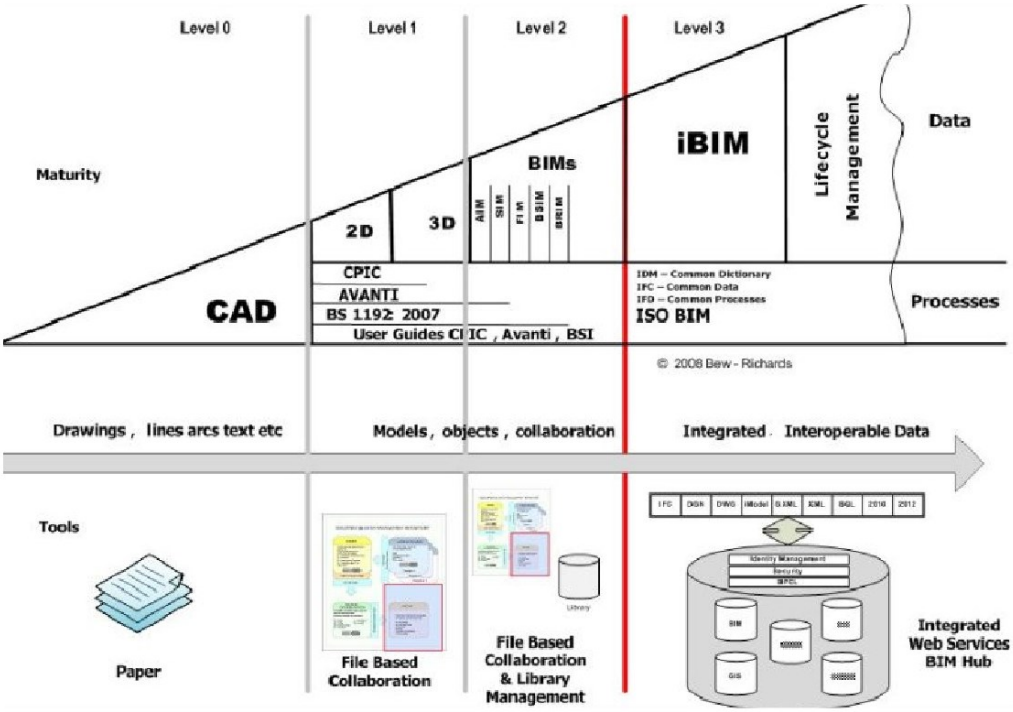
Sulla base di questa premessa è possibile comprendere meglio quelle che sono le caratteristiche ed i vantaggi legati a questa innovazione che la differenziano da un tradizionale progetto sviluppato su CAD (Computer Aided Design). Come accennato precedentemente, il modello virtuale e i software utilizzati per realizzarlo, sono concepiti come dei database di dati eterogenei che sintetizzano al loro interno le diverse informazioni, grafiche e non, relative all'intero ciclo di vita di una struttura. Questi dati sono quindi resi accessibili in qualunque momento, in modalità e forme diverse, a coloro che vi entrano in contatto a diverso titolo. Questa nuova concezione del modello virtuale di una struttura permette considerevoli risparmi di tempo, in quanto è possibile visualizzare i dati in esso contenuti in maniera differente. Infatti, sulla base di diverse esigenze, è possibile estrarre dal database diverse tipologie di elaborati: grafici (come piante, prospetti, sezioni, viste 3D, ecc..) o tabellari (come abachi, computi metrici, ecc..). Parallelamente, se da un lato le informazioni contenute nel modello possono essere visualizzate in maniera differente, qualsiasi modifica apportata ad un qualsiasi elaborato viene effettuata direttamente sul database di dati centrale e di conseguenza riportata automaticamente in ogni elaborato di progetto. Questo comporta un considerevole risparmio di tempo nella realizzazione ed eventuale correzione di elaborati ed una diminuzione degli errori legati alla correzione sistematica di ognuno di questi a seguito ad una modifica, il tutto grazie ad una gestione univoca degli elaborati di progetto.
Questo nuovo approccio al progetto favorisce l'interoperabilità tra i diversi attori coinvolti nella progettazione che possono, ognuno a proprio titolo, aggiungere

informazioni al modello virtuale, confrontarle e all'occorrenza modificarle. Emerge, quindi, l'importanza che assume l'interoperabilità tra gli attori coinvolti nel processo e l'introduzione di input da parte di questi ultimi nel modello BIM. Per questo motivo gli standard NIBS (National BIM Standard) definiscono i livelli di maturità del BIM in base al grado d'interoperabilità raggiunto. Questi livelli vanno dal livello 0, che non è caratterizzato da alcun tipo di collaborazione, al livello 3, che rappresenta il massimo livello di condivisione dei dati ad oggi raggiungibile.
Andando più nel dettaglio abbiamo:

Livello 0: in questo caso non si tratta di un vero e proprio livello BIM. Vengono scambiati, in formato cartaceo o digitale, documenti e disegni, redatti in 2D, senza che vi sia alcuna collaborazione tra I soggetti coinvolti e l'adozione di standard di progetto condivisi.
Livello 1: questo livello di maturità corrisponde all'utilizzo di formati standardizzati, funzioni di coordinamento spaziale e fa riferimento a progetti sviluppati attraverso un mix di disegni CAD 2D e 3D**.** I diversi elaborati possono essere condivisi su piattaforme raggiungibili dai vari membri del team di lavoro (come Dropbox), ma anche in questo caso non vi è ancora una collaborazione tra le diverse discipline. Infatti, le varie professionalità coinvolte producono disegni e modelli separati che si relazionano solo in casi specifici. Di conseguenza ogni modifica apportata non è riportata automaticamente nei vari elaborati di progetto e non è visualizzabile in tempo reale dai diversi soggetti coinvolti.
Livello 2: Vi è un iniziale forma di collaborazione tra le diverse professionalità coinvolte nel processo edilizio che utilizzano modelli 3D esportabili in formati aperti come gli IFC (Industry Foundation Class) o COBIE (Construction Information Building Exchange), anche se non viene necessariamente adottata una strategia per la condivisione dei dati. Questo livello corrisponde, quindi, alla creazione di un modello tridimensionale federato, composto da componenti BIM parametrici (argomento spiegato nel dettaglio nel capitolo 2.2), che consiste in un unico ambiente di lavoro in cui vengono condivise le informazioni di differenti modelli mono disciplinari. Perché questo sia possibile è utile ricorrere alla definizione di un unico template, l'utilizzo di una libreria di famiglie condivise ed altre strategie similari. A questo livello di maturità il modello virtuale può superare

la terza dimensione ed includere informazioni sul programma di costruzione (4D) e sui costi (5D).

Livello 3: Questo, che corrisponde al massimo livello d'interoperabilità del BIM, è caratterizzato da una totale condivisione dei dati modello. Infatti, viene utilizzato un unico modello progettuale condiviso collocato in un reposity centrale raggiungibile da attuati gli utenti. Di conseguenza la grande quantità di dati eterogenei condivisi permette sviluppare il modello oltre quella che è la quinta dimensione (argomento spiegato nel dettaglio nel paragrafo 1.1.5) e pianificare l'intero ciclo di vita della struttura.



4: Livelli di maturità del BIM, PAS 1192_2:2013

Per riassumere, questa innovazione, che si presenta sia come una nuova metodologia, che come dei nuovi output a cui tendere e strumenti con cui raggiungerli, permette molteplici vantaggi. Il progetto che prende forma attraverso questo procedimento ha senza dubbio una qualità superiore rispetto a quelli concepiti tradizionalmente. Infatti, a differenza di come accadeva in passato, ogni aspetto della progettazione (architettonico, strutturale, impiantistico, ecc..) viene sviluppato parallelamente, relazionandosi con gli altri e tenendo conto di aspetti successivi alla realizzazione della struttura, come la sua manutenzione o gestione nel tempo. Questo si traduce in un risparmio economico sul lungo periodo che va a vantaggio degli utenti finali della struttura e garantisce

una maggiore sostenibilità economica del progetto in fase di costruzione a vantaggio per le imprese.

1.1.2 BIM ed interoperabilità

In informatica con il termine interoperabilità s'intende la capacità dei software di scambiare tra di loro dati senza che vi sia una perdita d'informazioni. Questo è un aspetto fondamentale all'interno del sistema BIM che si pone come obiettivo quello di sintetizzare l'intero processo edilizio. Quest'ultimo, infatti, coinvolge un gran numero di attori come: architetti, ingegneri strutturali, ingegneri impiantistici, la stessa industria delle costruzioni, ecc.., le cui attività sono tra di loro complementari. Questa nuova metodologia di lavoro mira a sviluppare l'interoperabilità tra le diverse professioni implicate nel processo costruttivo, ma, non essendo possibile disporre di un unico software in grado di supportare tutte le applicazioni necessarie alle attività associate all'industria delle costruzioni, è necessario poter effettuare uno scambio di dati tra i diversi software professionali in sicurezza. Il fine ultimo di questo elevato livello di interoperabilità e della condivisione dei dati consiste nella possibilità di raccogliere e gerarchizzare in un unico database tutte le informazioni relative ai diversi aspetti del manufatto edilizio. Questi sono quindi resi disponibili ed utilizzabili da tutti gli attori coinvolti nel processo edilizio per tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Attualmente esistono diverse tipologie di interoperabilità. Con interoperabilità verticale s'intende quella tra software complementari della medesima casa produttrice (come Ecotec ed AutoCad), mentre con il termine interoperabilità orrizzontale si indica passaggio di dati tra software tra di loro indipendenti (come tra Revit ed Archicad). Inoltre, l'interoperabilità tra i software può avvenire in maniera diretta o indirettamente, se per la trasmissione delle informazioni è necessario un terzo strumento per veicolare l'informazione (come blocco note per esportare i dati da Revit in Ecotec). Per concludere, anche i plug in (come Dynamo per Revit o Grasshopper per Rhino) che integrano le originali funzioni del software principale possono essere considerati come una parziale forma di interoperabilità.

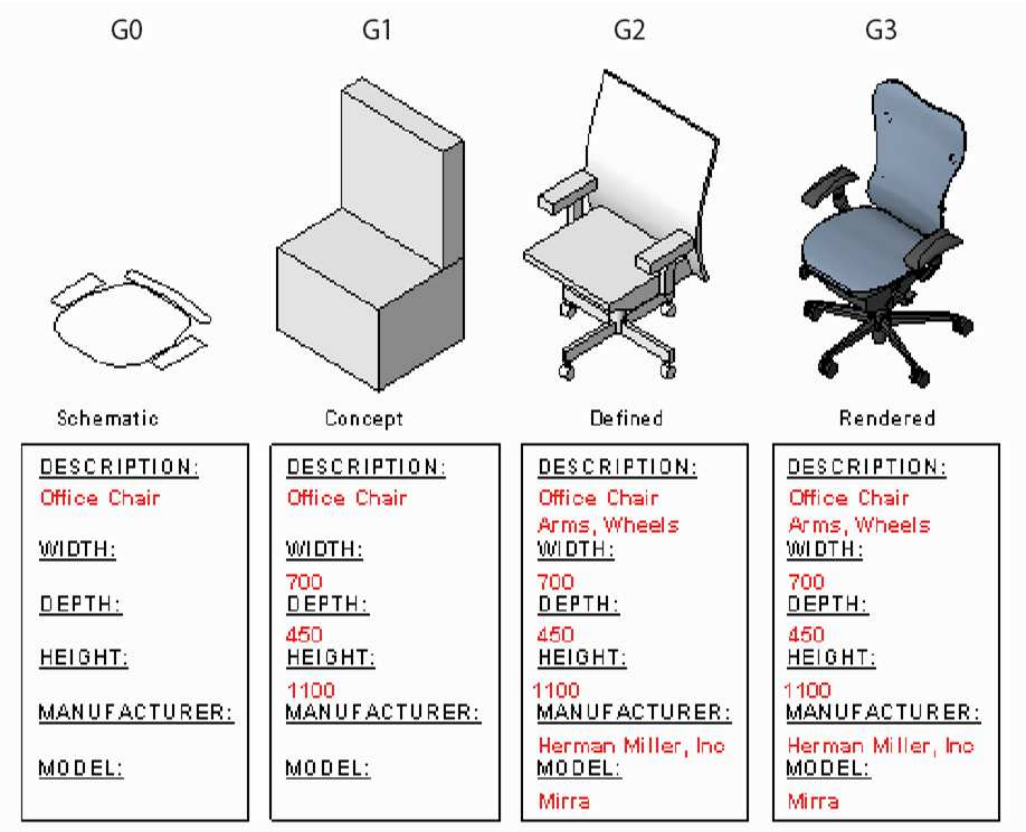
1.1.3 BIM e LOD

Il LOD (level of detail) rappresenta il grado di dettaglio di ogni elemento BIM. Secondo quanto definito dalla normativa inglese e da quella italiana relativa al BIM, rispettivamente la BS PAS 1192:2 2013 (Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling) e l'UNI 11337:2017 (Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - BIM) questo parametro è determinato da due differenti aspetti: il LOI (Level of informations) e il LOG (Level of geometry). Mentre il LOI descrive il livello di contenuto delle informazioni sotto forma di attributi alfanumerici, il LOG descrive il livello di dettaglio del modello geometrico. Questi due aspetti, LOI e LOG, possono esistere in diverse granularità nei singoli elementi e nelle singole fasi del progetto.

Questo livello di dettaglio viene classificato all'interno dell'AEC [UK]: BIM protocol v2.0 come:

- G0, schematico
- G1, concetto
- G2, definito
- G3, rendering

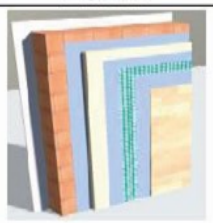
5: Classificazione dei livelli di dettaglio sulla base dell'AEC [UK]: BIM protocol v2.0.
Fonte: PraticalBIM.net © 2013

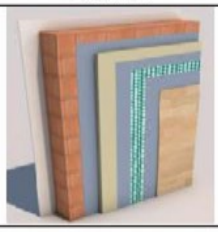
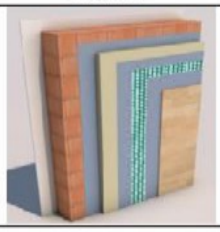
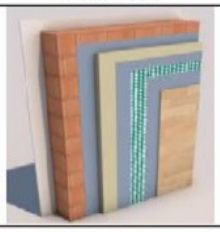


Il LOD (Level of development), invece, descrive il livello di sviluppo, inteso come il grado di completamento di un modello digitale. Non corrisponde, quindi, ad una misurazione della quantità o precisione delle informazioni, grafiche e non, inserite all'interno di un modello, ma è una misura di quanto seriamente si considera l'informazione rappresentata da un elemento BIM.

In Italia, come anticipato precedentemente, questo aspetto viene disciplinato dalla norma UNI 11337:2017. La prima normativa tecnica italiana rivolta all’introduzione del BIM nel settore delle costruzioni. Questa norma non classifica i LOD attraverso un sistema numerico, come avviene negli USA (100, 200, ecc.), ma con l’utilizzo delle lettere dell’alfabeto. Attualmente i vari livelli di LOD sono:

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

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D
			
Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un simbolo 2D.	**Geometria** Solido generico per rappresentazione elemento architettonico verticale o pseudoverticale con forma, spessore e posizione approssimata…	**Geometria** Elemento architettonico (sistema e sottosistema) verticale o pseudoverticale rappresentato con ingombri calcolati secondo la normativa tecnica…	**Geometria** Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie…..
Oggetto Grafica 2D (linee e campiture 2D)	**Oggetto** Solido 3D	**Oggetto** Solido 3D strutturato	**Oggetto** Solido 3D complesso
Caratteristiche Posizionamento di massima	**Caratteristiche** Semplici geometrie d'ingombro ….	**Caratteristiche** Sono comprese le richieste già definite ai LOD precedenti. Definizione del sistema architettonico • Spessore • Lunghezza • Larghezza • Volume • Definizione materiali • Definizione stratigrafie principali • …..	**Caratteristiche** Sono comprese le richieste già definite ai LOD precedenti. Dettaglio dei componenti per gruppi e senza riferimenti a singoli prodotti • Definizione stratigrafie dettagliate • Spessori componenti • Struttura • Isolamento • Camera d'aria • Sottofondo supporto • Finiture • Dettagli costruttivi • …..

LOD E	LOD F	LOD G
		
Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture….	**Geometria** Oggetto parete	**Geometria** Oggetto parete
Oggetto Solido 3D complesso	**Oggetto** Solido parete completa	**Oggetto** Solido parete
Caratteristiche Sono comprese le richieste già definite ai LOD precedenti. Dettaglio dei componenti con singolo prodotto. Informazioni di montaggio Materiale di supporto Schede tecniche singoli prodotti • Tipo finitura interna • Superficie finitura interna • Tipo finitura esterna • Superficie finitura esterna • Composizione Materiale/Componente • Presenza certificazioni • Capacità strutturale • Trasmissione vapore • Valore R • Valore U • Valore assorbimento • Trasmissione acustica	**Caratteristiche** Sono comprese le richieste già definite ai LOD precedenti. Sistema parete finito • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto • Certificato di omologazione • …	**Caratteristiche** Sono comprese le richieste già definite ai LOD precedenti. • Data di ultima manutenzione • …

6: Definizione dei livelli di sviluppo di una parete.
Fonte: estratto UNI 11337_4:2017, prospetto C.1, pp.18

Il livello di dettaglio, invece, a differenza del livello di sviluppo, si riferisce alla quantità di informazioni fornite, presumendo che siano tutte rilevanti ai fini del modello e possano essere invocate con certezza.

Di conseguenza, mentre il livello di dettaglio può essere considerato come un input al modello, il livello di sviluppo di un elemento parametrico o del modello BIM nel suo insieme può essere inteso come un output.

Attualmente, benchè la BS PAS 1192:2 2013 definisca il LOD relativo al modello BIM nel suo insieme corrispondente alle differenti fasi di progetto, questo parametro viene applicato e cosiderato rispetto ai singoli elementi modellati. Questo può comportare dei fraintendimenti e delle ambiguità nel momento in cui la committenza o un eventuale progettista deve definire il livello di dettaglio finale di un modello virtuale durante la stesura di un capitolato informativo.

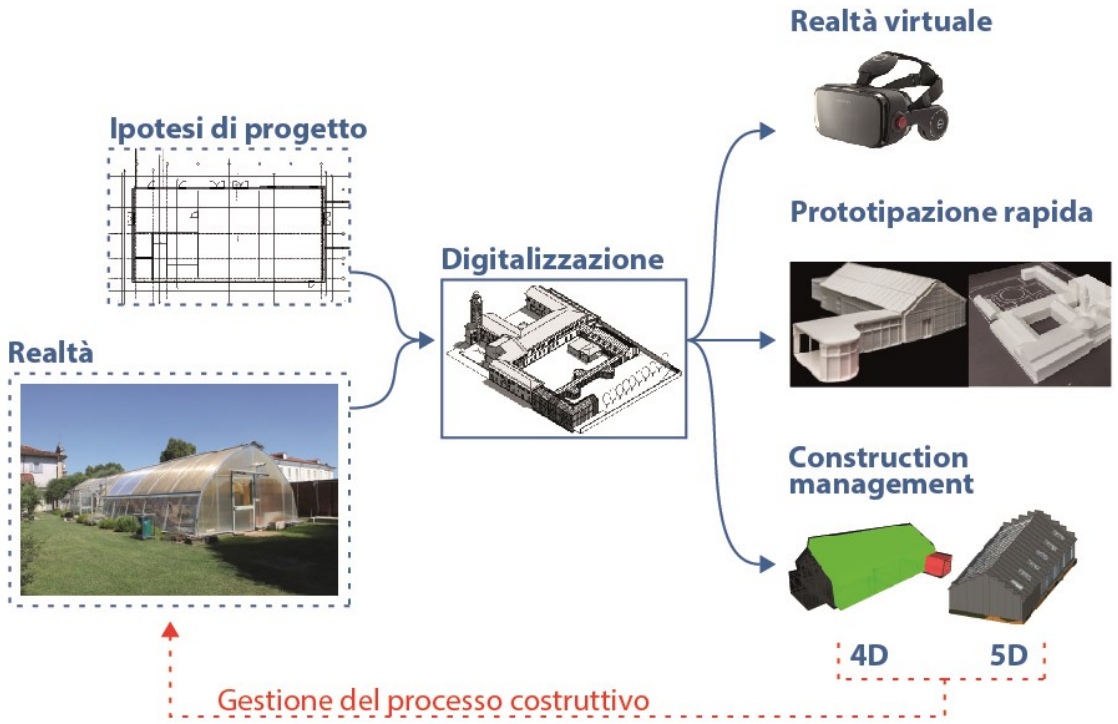
1.1.4 Digitalizzazione del patrimonio edilizio e modelli As is

Dal 2009 tutte le amministrazioni pubbliche hanno ricevuto l'obbligo, in conformità all'articolo 2 comma 222 della Legge 191/2009 e all'articolo 2 del Dlgs 118/2011, di trasmettere al Ministero dell'Economia e delle Finanze l'elenco dei propri beni immobiliari, al fine effettuare un rendiconto del patrimonio edilizio pubblico e garantire una corretta gestione di quest'ultimo.
Allo stesso modo Il decreto "DM 560 del 1/12/2017" attuativo dell'articolo 23, comma 13, del Codice dei contratti pubblici, definisce le modalità e i tempi con cui imporre una progressiva obbligatorietà dei metodi e degli strumenti elettronici specifici finalizzati alla modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere.
Queste attività di rappresentazione digitale dei manufatti edilizi, per quanto complesse, sono semplificate dal sistema BIM. Grazie a questa innovazione, infatti, è possibile ralizzare un modello digitale relativo sia alle opere preesistenti che alle ipotesi di progetto.

Nel primo caso si puo procedere alla digitalizzazione partendo dal rilievo di una struttura. Questo può avvenire attraverso tecniche tradizionali, come la rilevazione delle misure tramite metro laser o l'utilizzo di documentazione CAD e

fotografica preesistente, o innovative, come la nuvola di punti ottenibile attraverso l'utilizzo di droni o le scansioni laser.
Nel secondo caso, invece, è possibile sviluppare il modello di un'ipotesi di progetto in maniera tale da poterne gestire le fasi costruttive, effettuare le opportune verifiche e pianificarne il ciclo di vita dalle fasi di manutenzione fino a quelle di demolizione.

Di conseguenza il modello virtuale, sulla base delle ragioni e del modo in cui è stato prodotto può essere utilizzato per diversi scopi. Può essere sfruttato, ad esempio, per passare nuovamente ad un modello reale attraverso la prototipazione rapida, per immergere gli osservatori in una realtà virtuale o, se si tratta di un modello relativo al construction managment, gestire l'effettiva realizzazione di un'opera. Da questo punto di vista il confine tra la realtà concreta e quella virtuale si fa più flebile e si tendono a influenzare a vicenda.



7: Rapporto tra realtà, digitalizzazione e realtà virtuale

Inoltre, la possibilità di digitalizzare il patrimonio edilizio ed avere a disposizione dati eterogenei relativi ai diversi aspetti di una struttura ed aggiornabili in qualsiasi momento ha comportato lo sviluppo di alcuni elaborati, in passato trascurati, ed altri innovativi. Un esempio di ciò sono l'As built e l'As is. I modelli virtuali As is

permettono di visualizzare in ogni momento e da qualsiasi luogo in cui si dispone di una connessione internet quelle che che sono le caratteristiche di un edificio in tempo reale. Questa tipologia di modello, infatti, ha come prerogativa quella di fornire una rappresentazione virtuale della struttura fedele all'originale e per questo motivo

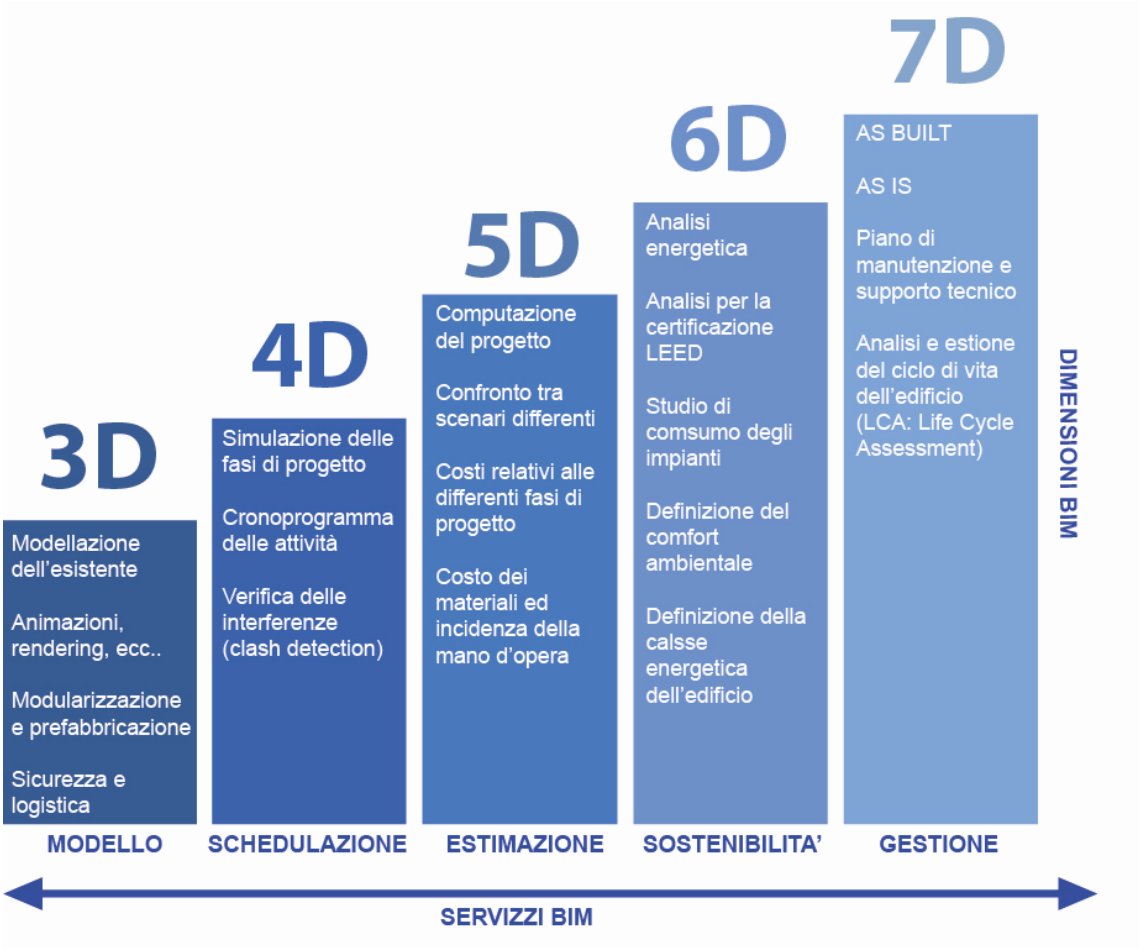
manutenzione, riqualificazione o di altro tipo effettuato sul fabbricato viene tempestivamante riportato sul suo modello virtuale. Attualmente in Italia questo strumento di controllo dell'edificio non viene ampiamente utilizzato, a meno che non si tratti di grandi progetti. Questo principalmente a causa delle spese legate al costante aggiornamento del modello e al doverlo mantenere su un server a cui tutti i soggetti, che si relazionano con l'edificio a diverso titolo, possano accedervi. Tuttavia, questa considerazione di tipo economico non tiene conto delle risorse che vengono risparmiate, in termini di tempo e costi, in occasione di ogni nuovo intervento sull'edificio. Infatti, la mancanza di questa tipologia di elaborato costringe i professionisti, che si relazionano con una strutura preesistente, a effettuare diverse verifiche, più o meno distruttive, su quest'ultima prima di poter intervenire in qualsiasi modo. Queste analisi si rivelano talvolta particolarmente dispendiose da diversi punti di vista. Inoltre, se queste non vengono eseguite o non si rivelano sufficienti, in fase di cantiere possono emergere degli imprevisti che, rallentando i lavori o costringendo a effettuare delle modifiche al progetto di riferimento, contribuiscono ad aumentare i costi legati ad una qualsiasi tipologia d'intervento. Inoltre, questa forma di eleborato virtuale può rivelarsi particolarmente utile nella gestione dei diversi aspetti relativi al facility managment della struttura. Visualizzando il modello, infatti, è possibile sapere quando sono stati manutenuti i diversi elementi costruttivi, da quale azienda, in che modo, quando dovranno essere nuovamente oggetto di manutenzione o controllo e, in particolare per gli impianti, di che tipologie di elementi si tratta e le relative specifiche. Tutte queste caratteristiche possono essere agevolmente consultate ed aggiornate.

1.1.5 BIM e construction management

Come accennato precedentemente, i software BIM non si limitano ad essere dei semplici programmi di modellazione 3D. Infatti, la quantità e l'eterogeneità delle informazioni da essi gestiti ne aumentano di gran lunga le potenzialità rispetto a

quelle di un comune modello tridimensionale e permettono la pianificazione e la gestione di aspetti dell'edificio che vanno oltre la sola componente geometrica.
La norma UNI 11337, prima normativa italiana sul BIM dal nome «Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni» definisce quelle che sono le dimensioni in cui può essere sviluppato il modello bim. Queste "dimensioni" servono a schematizzare le potenzialità permesse dall'informatizzazione del progetto. Ogni dimensione corrisponde a determinati dati ed informazioni che è possibile estrapolare, combinare ed analizzare, riguardanti aspetti specifici del progetto che vanno oltre la modellazione architettonica tradizionale. La norma ha definito sette dimensioni così di seguito classificate:

- 3D: modellazione tridimensionale
- 4D: gestione temporale
- 5D: gestione economica
- 6D: sostenibilità
- 7D: ciclo di vita e manutenzione



8: Dimensioni del BIM

Come anticipato, mentre la terza dimensione dello modello BIM corrisponde alla semplice conformazione spaziale della struttura, la quarta rappresenta la componente temporale del progetto. Questo è un aspetto determinante per pianificare e gestire l'edificio oltre l'iniziale fase di costruzione per il suo intero ciclo di vita. 4D BIM è un acronimo che sta per 4D Building Information Modelling e si riferisce ad un collegamento intelligente tra singoli modelli tridimensionali o assiemi con informazioni relative al tempo o alla pianificazione. Il sistema BIM, quindi, permette di introdurre all'interno del progetto quello che è il fattore tempo. Questa potenzialità rende possibile, in linea teorica, la pianificazione e la gestione dell'edificio per il suo intero ciclo di vita, dalla progettazione alla pianificazione dello smaltimento dei materiali di demolizione passando per la manutenzione. Inoltre, nel caso di interventi su edifici preesistenti è possibile visualizzare il susseguirsi delle diverse fasi di costruzione e demolizione. Mentre per quanto riguarda gli interventi ex novo è possibile visualizzare l'andamento temporale delle diverse fasi di montaggio e costruzione. Questo aspetto in particolare è utile per valutare le possibili interferenze tra le diverse lavorazioni, e di conseguenza gestire questioni riguardanti la sicurezza del cantiere o l'attribuzione degli appalti. Questi aspetti legati al processo costruttivo sono facilitati nella loro programmazione dalla possibilità di redigere un cronoprogramma. Attraverso questo strumento è possibile definire gli obiettivi relativi alle diverse fasi di costruzione. Inoltre, un ulteriore vantaggio sta nella possibilità di computare i materiali relativi alle diverse fasi di lavoro, in modo da disporre del costo e della quantità di materiali da acquisire con l'avanzare del progetto. Quindi la quinta dimensione, che rappresenta la componente economica del progetto, permette, grazie alla sua interazione con la terza e la quarta, di avere il pieno controllo sui costi del progetto nel tempo. Tutto ciò consente di scegliere e pianificare le modalità di costruzione in maniera efficiente e conveniente.

Queste prime tre dimensioni del BIM spiegate più dettagliatamente e le relazioni che vi si creano sono alla base del CM (Construction management). Questo consiste in un servizio professionale il cui scopo è quello di supervisionare la pianificazione, la progettazione e la costruzione di un progetto, dall'inizio alla fine. Lo scopo del CM, quindi, è quello di controllare il tempo, i costi e la qualità di un progetto, identificati come i tre vincoli che definiscono quest'ultimo. Sulla base di questa definizione si comprende facilmente l'importanza che ricoprono i tempi ed

i costi di costruzione nella realizzazione del progetto. Sfruttare a pieno lo strumento del CM permette di vagliare diversi scenari legati a differenti scelte progettuali e costruttive. In questo modo analizzando i pro e i contro in termini di tempi e costi di costruzione è possibile scegliere le strategie migliore. Sia dal punto di vista delle tempistiche che dei costi considerando i vincoli imposti da scadenze e budget limitati. Per concludere, grazie all'interoperabilità dei software di modellazione BIM con altri specifici per l'elaborazione del CM, è possibile tenere conto anche degli aspetti dovuti a fasi precedenti alla realizzazione del fabbricato come le opere previsionali, quelle di scavo, trasporto e stoccaggio dei materiali. Il che si traduce in un vantaggio per le aziende appaltatrici nella gestione di una commessa. Questo permette, infatti, di avere meno imprevisti in fase di cantiere e di conseguenza meno ritardi e costi aggiuntivi.

1.2 Construction Management

1.2.1 Strumenti per il Construction Management

Il CM, di cui viene data una definizione nel capitolo precedente, si avvale di diversi strumenti per gestire la pianificazione, la progettazione e la costruzione di un progetto.

Tra questi quelli più comunemente utilizzati sono:

Mappe mentali: per supportare la fase di ideazione iniziale, il team building e la rielaborazione finale delle esperienze.

Mappe concettuali: per sintetizzare e rappresentare le informazioni e la conoscenza di progetto.

Diagrammi di causa ed effetto/Ishikawa: per analizzare e valutare la catena causale delle problematiche che si presentano nel corso delle attività.

Diagrammi di Pert: per descrivere in chiave reticolare le attività e le loro connessioni, individuando i percorsi critici.

Participatory Impact Pathways Analysis: per sviluppare una visione comune tra i protagonisti di un progetto

WBS: per descrivere e codificare l'articolazione delle attività in termini di fasi, sottofasi fino alle attività elementari, in chiave gerarchico-associativa

Diagrammi di Gantt: per descrivere i legami logico/temporali delle fasi e delle singole attività

Diagrammi Event Chain: per visualizzare le relazioni tra i diversi eventi e attività e il modo in cui gli eventi si influenzano a vicenda.

Diagrammi per la rilevazione di indicatori (Run chart): per mostrare i dati osservati in una sequenza temporale. Spesso i dati visualizzati rappresentano alcuni aspetti dell'output o delle prestazioni di una produzione o di un altro processo aziendale sotto forma di un grafico a linee.

Project Cycle Optimisation (PCO): per l'ottimizzazione del ciclo di vita del progetto.

Gli strumenti del CM utilizzati in questa tesi per la gestione dei tempi e dei costi legati alla realizzazione del progetto della serra bioclimatica sono principalmente due. Il primo è la scomposizione del progetto sulla base di una WBS mentre il secondo un diagramma di Gantt relativo al cronoprogramma delle attività lavorative. Entrambi questi aspetti sono spiegati più dettagliatamente nei paragrafi successivi.

1.2.2 Definizione WBS

Con la sigla inglese WBS, work breakdown structure, che in italiano sta per struttura di scomposizione del lavoro o struttura analitica di progetto, s'intende l'elenco di tutte le attività di un progetto. La scomposizione di un progetto attraverso una WBS è utile al project manager nell'organizzazione delle attività di cui è responsabile. I progetti edilizi, infatti, sono composti da numerose attività che variano in base alla complessità del progetto. Di conseguenza, per facilitare l'organizzazione di queste ultime può essere necessario ricorrere all'utilizzo di apposite WBS, che permettono di elencarle e gerarchizzarle tra di loro. Nonostante ciò non bisogna pensare che questo strumento possa essere una lista completa dei lavori in ordine cronologico, una pianificazione totale del progetto o una gerarchia organizzativa. Si tratta, invece, di una forma di scomposizione strutturata del progetto, che si sviluppa tramite l'individuazione di sotto-obiettivi e attività caratterizzate da un livello di dettaglio sempre maggiore. Questo strumento può essere utile in particolare per:

- Individuare le parti critiche di un progetto.
- Gettare le basi per una pianificazione di tempi, costi e utilizzo delle risorse legate ad un progetto.

- Definire le responsabilità dei diversi attori coinvolti nel processo edilizio, incrociando i dati ottenuti dalla WBS con una OBS (Object Breackdown Structure).
- Definire i costi generali del progetto e i tempi relativi alle diverse fasi di lavorazione.

1.2.3 WBS e BIM

I moderni programmi di modellazione BIM si prestano all'utilizzo di uno strumento come la WBS. Questa tipologia di software, infatti, permette di attribuire alle famiglie di componenti presenti all'interno del progetto diverse tipologie di parametri. Questi si distinguono in parametri d'istanza ed in parametri di tipo. I primi possono variare da un'istanza all'altra, rendendo quindi possibile la creazione e la compilazione di un parametro che identifichi in maniera univoca l'elemento. I parametri di tipo, invece, sono condivisi da tutte le istanze che fanno parte di uno dei tipi in cui si divide una famiglia, che corrispondono quindi ad un determinato tipo. In questo modo un dato comune a tutti gli elementi di una medesima tipologia può essere condiviso tra tutte le sue istanze senza che questo debba essere assegnato volta per volta ad ognuna.
Questi parametri, se opportunamente creati e condivisi, possono essere utili per attribuire, ai tipi di famiglia o alle singole istanze, dei codici WBS. Inoltre, questi parametri, e di conseguenza i codici che contengono, possono essere combinati tra di loro grazie all'utilizzo di abachi o plug in, come Dynamo per Revit, utili nella gestione dei dati interni. Inoltre, attribuire ai componenti del modello i codici WBS per mezzo dei parametri permette, in un secondo momento, di combinare il modello virtuale con i dati prodotti tramite l'utilizzo di altri software. Un esempio di quanto appena detto è reso possibile dal programma Naviswork. Questo software, infatti, associa automaticamente le famiglie modellate su revit, caratterizzate da uno specifico codice WBS, con le tempistiche di lavorazione prodotte su altri programmi, come Microsoft Project, che si rifanno alla medesima codifica.

1.2.4 Diagramma di Gantt

Questo elaborato, così chiamato in memoria dell'ingegnere statunitense Henry Lawrence Gantt (1861-1919), è uno strumento per la gestione dei progetti e viene

usato principalmente nelle attività di construction management. Questo grafico è generato a partire da due assi. L'asse orizzontale, che rappresenzta la dimensione temporale totale del progetto, è suddiviso in fasi incrementali come: giorni, settimane, mesi. L'asse verticale, invece, rappresenta le mansioni o attività in cui si articola il progetto. Infine, le barre orizzontali di lunghezza variabile che si trovano all'interno del grafico rappresentano le sequenze, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività del progetto. L'insieme di queste attività è stato determinato precedentemente sulla base di un'apposita WBS. Queste barre orrizzontali e di conseguenza le relative attività possono sovrapporsi durante il medesimo arco temporale e quindi essere svolte contemporaneamente in fase di cantiere. Inoltre, con il progredire del progetto, il diagramma di Gantt può essere utilizzato per monitorare lo stato di avanzamento dei lavori. A questo scopo possono essere aggiunte delle barre secondarie, delle frecce o delle barre colorate per indicare le attività totalmente o parzialmente concluse. Il diagramma di Gantt permette, quindi, una rappresentazione grafica del susseguirsi delle attività costruttive e non nel corso del tempo, che possono quindi essere adeguatamente pianificate e coordinate. Questo strumento può rivelarsi utile anche nella formulazione di diversi scenari sulla base di differenti scelte progettuali, l'insorgere di determinati impedimenti, vincoli o l'utilizzo di determinate risorse. Ad ogni attività possono essere associati diversi parametri come: la durata, la data di inizio e fine, il tipo e la quantità di risorse impiegate, il costo e le attività predecessori. Inoltre alcuni software, come Microsoft Project, permettono di visualizzare il carico di lavoro e la saturazione delle varie risorse impiegate, definire il calendario dei giorni, lavorativi e festivi e le ore di lavoro giornaliere. Il costo associato ad ogni attività può essere determinato in base al prezziario regionale, alla quantità di materiale impiegato, o sulla base di un costo orario alle risorse. In quest'ultimo caso il costo dell'attività varia in base alla durata di quest'ultima. Di conseguenza, sulla base dei dati economici inseriti, è possibile ricavare tre curve relative al BCWS, il ACWP ed il BCWP dell'intero progetto.

- BCWS: Costo pianificato, in giorni o euro, per realizzare le attività di progetto alla data corrente.
- ACWP: Costo effettivamente sostenuto, in giorni o euro, alla data corrente.
- BCWP: Valore, in giorni o euro, delle attività realizzate alla data corrente.

Per concludere, i dati contenuti nel software possono essere visualizzati ed estrapolati in diverse modalità. Possono essere prodotti grafici a torta che mostrano l'incidenza delle diverse attività in termini di tempo e risore o altre tipologie, come la curva S del progetto. Questo elaborato rappresenta graficamente l'incremento del costo totale del progetto durante la sua realizzazione. Si basa, quindi, sul costo comulativo dell'opera, somma dei costi relativi alle singole attività, e l'intervallo temporale di monitoraggio e controllo del cantiere. Questo è uno strumento utile per l'analisi e la gestione dei costi di progetto. Può essere sfruttato, infatti, da un project manager e o successivamente da un'azienda costruttrice per confrontare tra di loro diversi scenari. Questi possono differire in base a scelte progettuali, attrezzature impiegate per la trasformazione e vincoli o impedimenti temporali. Tutti questi aspetti hanno delle ripercussioni sui costi e le tempistiche di progetto che possono essere monitorate grazie ed elaborati come il diagramma di Gantt o la curva ad S.

1.3 Concretizzazione dei modelli virtuali

1.3.1 Origini ed impieghi delle stampanti 3D

> *«A system for generating three-dimensional objects by creating a cross-sectional pattern of the object to be formed at a selected surface of a fluid medium capable of altering its physical state in response to appropriate synergistic stimulation by impinging radiation, particle bombardment or chemical reaction, successive adjacent laminae, representing corresponding successive adjacent cross-sections of the object, being automatically formed and integrated together to provide a step-wise laminar buildup of the desired object, whereby a three-dimensional object is formed and drawn from a substantially planar surface of the fluid medium during the forming process»*[2].

Questa è una delle prime definizione che si hanno della stereolitografia data da Chuck Hull, che, grazie al brevetto del 1986 (Brevetto U.S. 4,575,330, Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography, 11 marzo 1986), può esserne considerato l'ideatore.

La stereolitogragia è una delle tecniche grazie alla quali è possibile realizzare oggetti tridimensionali partendo da dati digitali. Sulla base di questo sistema sono state create le prime stampanti 3D che, sviluppandosi e modificandosi nel corso degli anni, hanno portato ai moderni dispositivi attualmente in nostro possesso. Di conseguenza l'ingegnere, inventore ed imprenditore statunitense Chuck Hull, all'anagrafe Charles W. Hull, che ha brevettato un metodo innovativo per la creazione di oggetti solidi grazie alla solidificazione di strati successivi di una resina sensibile alla luce ultravioletta, può essere considerato l'inventore delle stampanti 3D.

Nel corso degli anni questi strumenti sono cambiati e si sono diversificati, attualmente ne esistono diverse tipologie che vanno da quelle laser a quelle per deposizione. Le prime, più precise e costose, sono costituite da un contenitore pieno di un'apposita resina liquida e un raggio laser proiettato attraverso un sistema di specchi. Questo materiale fluido è in grado di polimerizzare (reazione chimica che porta alla formazione di una catena polimerica) se esposto alla luce grazie ad un fenomeno di fotopolimerizzazione. La stampante sfrutta questa proprietà del materiale per scandirlo e modularlo, per mezzo del raggio laser, in modo da costruire, sezione dopo sezione, il modello virtuale.

La seconda tipologia di stampanti, invece, molto più economica ma meno precisa, sfrutta un materiale termoplastico ed un apposito ugello. Il materiale, dopo essere stato riscaldato e fuso, viene estruso su di una superficie materializzando in questo modo una sezione del modello virtuale. Successivamente, una volta terminato il primo livello di estrusione, una lama uniforma e regolarizza il materiale. Dopo di ciò, in base alla tipologia della macchina, si abbassa la superficie di base o si alza l'ugello e viene realizzato un nuovo livello. Questo processo continua quindi a ripetersi fino alla completa realizzazione del modello.

Attualmente la tecnologia delle stampanti 3D trova impiego in settori molto diversi tra loro. Un esempio di quanto appena detto è il progetto MAZE (Additive Manufacturing Aiming Towards Zero Waste and Efficient Production of High-Tech Metal Products, in Italiano, Produzione efficiente di prodotti di Metallo ad alta tecnologia con Manifattura additiva attraverso "Spazzatura Zero") nato nel

2013. Questo progetto, sviluppato dall'ESA (European Space Agency) e sponsorizzato da un consorzio di 28 aziende, ha come scopo quello di introdurre l'utilizzo delle stampanti 3D nello spazio per la produzione di componenti metallici3. Fornire la Stazione Spaziale Internazionale di una stampante 3D permetterebbe all'equipaggio di produrre strumenti e strutture metalliche in base alle diverse esigenze che si presentano. Questa tecnologia è ancora in fase di sparimentazione ma se sviluppata con successo avrebbe numerose applicazioni nell'ambito delle industrie aerospaziali ed automobilistiche.
Parallelamente, sempre da parte dell'ESA, grazie alle ricerche della Compact Antenna Test Facility, a Noordwijk è in fase di sperimentazione la realizzazione di componenti satellitari con l'utilizzo di questo strumento innovativo[4].

Un altro dei campi in cui questa tipologia di macchinari viene sempre più utilizzata è quello medico. La stampante 3D, infatti, può essere utilizzata per scopi che vanno dalla realizzazione di attrezzi chirurgici o protesi, basati sulle caratteristiche di uno specifico intervento, fino in un prossimo futuro alla realizzazione di nuovi organi.
Ad Utrecht, nei Paesi Bassi, nel 2014 questa tecnologia è stata utilizzata dai medici del Medical Center Utrecht per realizzare una protesi plastica con cui sostituire il cranio di una paziente[5]. Questa, affetta da un ispessimento anormale della scatola cranica e una conseguente compressione del cervello, è sopravvissuta grazie ad un intervento durato 23 ore. Nel corso di questo è stata rimossa una porzione del cranio ed opportunamente sostituita con la calotta plastica. Un caso simile è quello verificatosi a Newcastle Upon Tyne nel regno Unito. Sempre nel 2014, nell'ospedale Newcastle Upon Tyne Hospitale NHS Trust, il chirurgo Craig Gerrand, per la prima volta nella storia, ha sfruttato la stampa 3D per l'operazione di un paziente affetto da un tumore6. Come affermato dallo stesso dottore

> «*Il cancro aveva ormai colpito quasi tutta la parte destra del bacino [...] visto che tale forma tumorale non rispondeva alle terapie tradizionali quali i farmaci antitumorali e la radioterapia, l'unica soluzione per interrompere lo sviluppo delle masse tumorali sarebbe stata rimuovere metà del bacino*»7.

Grazie alla tecnologia della stampa 3D è stato possibile creare una protesi sostitutiva del bacino con estrema precisione. Questo obiettivo non si sarebbe potuto raggiungere con sistemi tradizionali a causa della grande quantità di osso

rimossa. E questi sono solo alcuni dei molti esempi di questo tipo, come: l'economico arto robotico realizzato presso la Washington University of St. Louis[8] o la riproduzione del cuore di una bambina di due anni creato dai medici del St. Thomas' Hospital, Londra, nel 2015[9], per studiare la migliore strategia d'intervento.

Infine, come accennato precedentemente, sono in atto sperimentazioni in modo da permettere, in un prossimo futuro, l'utilizzo di questa attrezzatura per la realizzazione di nuovi organi per tutte quelle persone che necessitano di trapianti e testare prodotti farmaceutici. Quanto detto è confermato dall' ingegnere biomedico Thomas Boland, preofessore associato alla Clemson University, in un articolo web di Jonathan Silverstein, uno dei principali investitori in biotecnologie e sanità.

> «*What we do is we modify, it's a regular ink-jet printer, but we do not use the paper-feed mechanism, so basically we just have a cartridge moving back and forth and where the paper goes we put a petri dish, […] In the future, maybe 50 years from now, we will be able to make very complex organs and bones, and very complex tissues*»[10]

con questa affermazione viene descritto in maniera semplificata quelli che sono gli attuali sforzi rivolti alla stampa tridimensionale di tessuti organici complessi.

Anche nel campo dell'ediliza questa tecnologia si sta facendo strada, basti pensare ai recenti sistemi di costruzione Countour Crafting (CC). Questo innovativo sistema di fabbricazione è stato sviluppato dall'Dottor Behrokh Khoshnevis, della University of Southern California. L'edificazione di una struttura avviene, sezione dopo sezione (come all'interno di una comune stampante 3D), per mezzo di un apposito braccio meccanico montato su di una struttura. Questo è in grado di muoversi autonomamente al di sopra dell'intera area di un edificio o insieme di edifici da costruire. Questa avvenieristica tecnica costruttiva, che si ha intenzione di replicare anche su altri pianeti, presenta numerosi vantaggi[11, 12]. In primo luogo, permette la realizzazione di edifici, progettati su misura, in tempi ridotti. Questo aspetto può rivelarsi particolarmente utile nella realizzazione di rifugi per le vittime di disastri ambientali (terremoti, innondazioni, ecc...), che al momento sono costrette ad aspettare mesi se non anni prima di poter disporre di abitazioni permanenti, o domicili dignitosi per le popolazioni a basso reddito.

Alla rapidità nella costruzione si affianca ad una maggiore sicurezza dei cantieri. Questi, infatti, necessitano di un numero limitato di lavoratori. Pur trattandosi di un'attrezzatura di notevoli dimensioni, è necessario un numero limitato di operai specializzati per poterla collocare sui binari lungo i quali si muove. Successivamente, una volta posizionata, impostata e collegata al computer il dispositivo e perfettamente autonomo. In questo modo la stampante verrebbe caricata dei lavori più gravosi, pericolosi e ripetitivi, mentre il capitale umano impiegato nel cantiere assumerebbe un ruolo di controllo e gestione dell'attrezzatura e dei materiali impiegati, oltre ad occuparsi delle rifiniture.
Un altro pregio di questo sistema di creazione per layer è il maggior grado di libertà e creatività che garantisce ad architetti ed ingegneri rispetto ai canoni della progettazione standard. Infatti, se con i sistemi di costruzione tradizionale ogni slancio creativo (come la realizzazione di pareti curve piuttosto che rettilinee) si traduceva in un significativo aumento nei costi di costruzione, questo non vale con questo sistema all'avanguardia che permette di realizzare forme e strutture prive dei vincoli del design a cui siamo abituati.
Per concludere, questa innovazione comporta un sensibile risparmio delle materie prime utilizzate. Ciò si traduce sia in un risparmio economico che in una diminuzione generale dell'inquinamento prodotto durante il processo costruttivo[13].
Per questa serie di motivi, grazie al contratto con il DoD (Department of Defense) la Contour Crafting Corporation si occuperà di sviluppare stampanti 3D per il soccorso in caso di calamità[14].
Questa tipologia di dispositivi, che sono delle sorte di stampanti superdimensionali, utilizza nella maggior parte dei casi delle miscele di calcestruzzo e composito. Questo materiale è molto più denso del comune cemento e ciò gli permette di essere autoportante. Tuttavia questo non impedisce l'estrusione di altre tipologie di materiali a seconda delle esigenze del momento.
Un altro esempio dell'utilizzo di questi macchinari nel campo dell'edilizia è il loro impiego da parte dell'architetto austriaco Wolf D Prix. Questi è un pioniere nell'uso dei robot e della prototipazione rapida per la costruzione, in particolare per quanto riguarda uno dei suoi ultimi progetti, il Museum of Contemporary Art and Planning Exhibition (MOCAPE) a Shenzhen, in Cina[15]. Guidati da un sistema BIM, i robot monteranno, assembleranno, salderanno e lucideranno le piastre di metallo iperboliche che formano il centro irregolare in acciaio inossidabile del

museo. Secondo l'architetto, combinare i robot con l'uso di componenti di costruzione stampati in 3D renderà molto più facile la creazione di edifici con forme complesse oltre che più veloce. Ha affermato, infatti, che

> «*Normalmente questa parte dell'edificio impiegherebbe otto mesi con 160 operai sul sito […] Ora abbiamo bisogno di otto operai sul posto, e ci vogliono 12 settimane*»[16].

Caso analogo per il design a forma libera di The Bird's Nest a Pechino, in Cina, i cui componenti architettonici stampati in 3D sono totalmente privi di vincoli di design tradizionale.

Attualmente esistono diverse imprese che sfuttano questo strumento, tra cui quella italiana D-Shape[17].

D-Shape è un progetto completamente italiano, decisamente innovativo, che ha reso possibile la creazione di forme complesse di qualsiasi dimensione partendo da un file CAD ed utilizzando come materiale roccia polverizzata.

Per concludere, la tecnologia della stampa 3D ha trovato posto anche nei settori più impensabili come quello culinario. Non a caso la Barilla ha presentato a Cibus 2016 (il Salone internazionale sulle ultime tendenze riguardanti il cibo tenutosi a Parma) un nuovo prototipo di stampante 3D. Questo è in grado di stampare pasta fresca impastando acqua e semola di grano duro e quando reso disponibile sul mercato sarà utilizzabile all'interno di ristoranti, aziende o in ambito domestico[18]. Inoltre, sempre la Barilla nel 2014 ha indetto un concorso per la creazione di nuove tipologie di pasta realizzabili grazie all'utilizzo di apposite stampanti. I partecipanti sono stati oltre cinquecento designer di 20 paesi e tra i 216 modelli di pasta creati i vincitori sono stati la "Rosa Pasta", del designer industriale francese Loris Tupin di Maxilly sur Léman, la "Vortipa", del team cagliaritano formato da Danilo Spiga e Luis Fraguarda, e le "Lune", del designer italiano Alessandro Carabini (in collaborazione con lo studio parigino Abaco)[19].

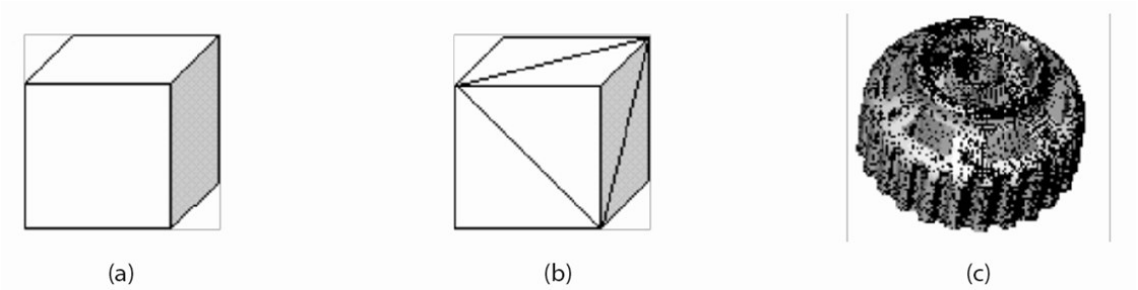
1.3.2 Prototipazione rapida per architettura e design

Come accennato precedentemente, le stampanti 3D hanno trovato largo impiego in diversi campi tra cui quello dell'edilizia. Lo stesso vale per il campo dell'architettura, del design o del design d'interni. Questo strumento, infatti, nato originariamente per la prototipazione rapida di oggetti solidi, è particolarmente

utile per materializzare le idee di un team ed esplorarne diversi scenari. Questo sia che si tratti di un progetto architettonico o di un elemento di design. Allo stesso modo i modelli prodotti possono essere utilizzati per coinvolgere i membri del team, gli investitori, gli utenti finali ed altri soggetti coinvolti, nelle scelte di un progetto o nella modellazione di oggetti. Possibilità che rende il processo molto più partecipativo che in passato. Da sempre si è cercato in più modi di raggiungere questo risultato con l'utilizzo di disegni a mano, modelli virtuali e soluzioni simili. Tuttavia, per quanto utili, questi strumenti possono apparire ancora troppo astratti per soddisfare le esigenze di un ipotetico cliente e coinvolgerlo all'interno del progetto, che rimane sul piano delle idee. Talvolta si passava alla realizzazione di plastici, più o meno complessi, che richiedvano spiccate doti di manualità e molto tempo a disposizione. Con questo sistema i professionisti del settore hanno la possibilità di realizzare rapidamente e con un alto livello di precisione dei progetti concreti, plastici da toccare con mano e magari scomponibili da poter studiare e osservare.
Attualmente queste attrezzature si stanno sviluppando in modo da aumentare la scala delle stampanti e diversificare i materiali che possono essere utilizzati[20].

1.3.3 Il BIM e la stampa 3D

I software BIM ed i modelli virtuali che permettono di creare, si prestano particolarmente all'utilizzo delle moderne stampanti 3D. Questi programmi, infatti, permettono la realizzazione di modelli virtuali tridimensionali facilmente esportabili in differenti formati. Attualmente, il formato convenzionalmente utilizzato per procedere alla prototipazione rapida di un modello è quello .STL (Standard Tessellation Language) [21]. Questa tipologia di formato esporta solamente i dati geometrici di modello virtuale, tralasciando, quindi, dettagli irrilevanti per la stampa come: texture, colori o altri parametri[22]. Inoltre, il termine “Tessellation”, contenuto nella nomenclatura del formato, sta ad indicare come questo semplifichi le superfici del modello tridimensionale esportato sostituendole con una griglia composta da triangoli. Quest'ultima riproduce l'andamento della superficie originale generando un numero di triangoli che aumenta con l'aumentare della complessità della superficie.



9: (a) modello tridimensionale di partenza. (b) approssimazione della superficie del modello tridimensionale di partenza analoga a quella effettuata attraverso l'esportazione in un formato .STL. In questo caso, trattandosi di una geometria semplice, la superficie del cubo di partenza viene approssimato da una griglia composta da 12 triangoli. Più la superficie e complessa maggiore è il numero di triangoli prodotti come riportato nell'immagine (c)[23].

Di conseguenza l'aspetto del modello finale sarà determinato dalla triangolazione o poly count del file .STL. Questo fattore può essere modificato in modo da ottenere un modello più grossolano e sfaccettato o uno più liscio e preciso andando a modificare il numero di poligoni o la triagolazione. Va però tenuto in considerazione che un maggiore numero di triangoli, di minori dimensioni, corrisponde ad una maggiore pesantezza del file. Questo è dovuto, oltre che per il maggior numero di poligoni, per la struttura stessa. Infatti, ogni triangolo che rappresenta la superficie è caratterizzato da tre vertici e trattandosi di un prototipo è chiuso ogni vertice fa parte di tre o anche più triangoli. Questi vertici ridondanti sono molto costosi in termini di memoria anche quando sono memorizzati in una rappresentazione ASCII[24].

Di conseguenza, considerando che le stapanti possono caricare file solo entro certe dimensioni, bisogna trovare un compromesso tra il risultato finale che si vuole ottenere ed il processo di stampa 3D che si utilizza. Senza contare che una maggiore precisione nel modello si traduce anche in un aumento nei tempi di produzione e, anche se in misura minore, nell'utilizzo di materiale impiegato.

Tuttavia, per quanto sia determinante la configurazione del file .STL, non è questo il formato finale che viene inserito all'interno della stampante 3D. Il file .STL, infatti, deve essere a sua volta esportato in un file Gcode. Questo linguaggio di programmazione di vecchia concezione è da sempre utilizzato nella produzione assistita da computer (computer-aided manufacturing) per controllare le macchine automatizzate. I Gcode, infatti, compongono una lunga serie di comandi in modo da programmare il lavoro di una macchina in maniera precisa e ripetibile, in maniera tale che ad ogni comando corrisponde un azione del dispositivo[25].

10: Processo di stampa 3D

Questa tipologia di formato è prodotta attraverso un programma CAM (Computer Aided Manufacturing), che, analizzando il file in ingresso, calcola i movimenti che la macchina dovrà compiere per ricreare fisicamente l'oggetto. Per questo motivo è importante che i file siano semplificati, come spiegato precedentemente, ricorrendo al formato .STL e che il CAM conosca tutti i parametri e le caratteristiche della macchina che compirà il lavoro. Queste possono essere diversi come: il tipo di lavorazioni, le misure del piano di lavoro, le caratteristiche dell'utensile, la velocità di rotazione, la temperatura di funzionamento, la pressione e molte altre ancora26.

Questo linguaggio semplice di programazione è sopravvissuto nel corso degli anni perché può essere trattato anche da piccole unità di elaborazione, come una scheda Arduino. Le sequenze di Gcode, quindi, vengono utilizzate per controllare ogni tipo di macchina a controllo numerico (Cnc), come possono esserlo frese a tre assi, laser cutter e le già citate stampanti 3D27.

Attualmente su molti programmi BIM, come Revit, è possibile esportare direttamente il modello virtuale in file formato .STL, anche se questo procedimento può tuttora risultare difficoltoso. Per questo motivo può essere preferibile un'iniziale esportazione in altri formati a loro volta riesportabili. Questo tema sara trattato più dettagliatamente nel paragrafo 2.13.2.

1.4 Sistemi di eye tracking

1.4.1 Panoramica generale

Al giorno d'oggi i sistemi di controllo oculare basati su tecnologie ICT, Information and Communications Technology, sono sempre più sviluppati. Attualmente questa tipologia di dispositivi viene utilizzata prevalentemente in ambito sanitario in quanto garantiscono una maggiore autonomia ai soggetti con capacità motorie fortemente compromesse. Questi sistemi, infatti, permettono a tali soggetti la possibilità d'interagire con dispositivi elettronici, e di conseguenza con il mondo esterno, con il solo movimento dei bulbi oculari.

Questo sistema di controllo remoto si basa sulla tecnologia eye tracking. Con controllo remoto non ci si riferisce però alla possibilità d'interagire con i diversi dispositivi da un altro posto, come attraverso l'applicazione di un cellulare, ma piuttosto alla possibilità di controllare questi ultimi senza la necessita di toccare o maneggiare gli elementi in questione.

L'eye tracking consiste in una tecnica di registrazione ed analisi dei movimenti oculari e viene sfruttata in diversi campi come: la ricerca medica, le scienze cognitive, la psicologia, l'iterazione uomo computer e molti altri[28].

Attualmente esistono diverse tecniche di eye tracking e sono:

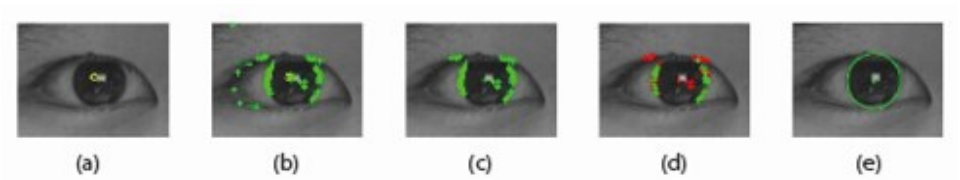
- l'elettro-oculografia (EOG). Questo sitema si basa sulla registrazione della differenza del potenziale delle cellule visive retiniche, che si trasmette alla sclera e ai tessuti orbitari, e quello delle fibre ottiche, che si trasmette alla cornea. Questa differenza di potenziale viene percepita grazie a degli elettrodi[29].
- la magneto-oculografia (MOG). Si basa sulla variazione del campo magnetico dei bulbi oculari. La rivelazione di tale variazione avviene grazie al posizionamento di una lente sull'occhio. Questa contiene al suo interno una spira percorsa da corrente. L'utilizzo di tale lente rende questa soluzione, insieme al EOG descritto precedentemente, uno tra i sistemi più invasivi tra quelli citati.
- le tecniche di riflessione ad infrarossi. Si basano sul fenomeno della riflessione multipla corneale della luce che si verifica quando la cornea viene colpita da una radiazione luminosa infrarossa di piccola potenza (IR).
- la videooculografia. In questo caso la posizione degli occhi, ed in particolare delle retine, viene individuata grazie ad una telecamera ad alta risoluzione[30].

1.4.1 Videooculografia

La videooculografia può essere attualmente considerata come uno dei sistemi di eye traking più recenti e meno invasivi. Come anticipato precedentemente, questa soluzione per il controllo oculare determina pa posizione degli occhi, e di conseguenza la direzione dello sguardo, grazie a una o più telecamere ad alta risoluzione. Al giorno d'oggi vi sono due differenti tecniche di videooculografia a

seconda che queste fruttino per l'illuminazione dell'occhio la luce naturale o le radiazioni IR. Nel primo caso l'occhio viene illuminato grazie alla luce naturale, intesa come la radiazione di luce visibile essere umano. Questa è la scelta migliore se la rilevazione viene eseguita all'aperto o in spazzi molto illuminati in cui gli infrarossi risultano poco efficati. Nel secondo caso l'occhio viene illuminato grazie a delle sorgenti di luce IR. Questo permette un maggior controllo dell'illuminazione anche se le prestazioni della radiazione infrarossa può variare sulla base di caratteristiche oculari soggettive ed è necessario l'utilizzo di telecamere sensibili alla luce IR, modelli più costosi di quelle comuni[31].

Indipendentemente dalla tecnica di videooculografia adottata, questa ricostruisce i movimenti dell'occhio e la direzione dello sguardo tracciando la posizione della porzione di bulbo oculare visibile dalla telecamera e delle feature, determinate caratteristiche oculari.
Se si ricorre all'utilizzo dell'illuminazione naturale la feature più facilmente rilevabile è il limbo, ossia il contorno tra l'iride e la sclera. Questa zona di confine visibile sulla superficie dell'occhio non varia rispetto alla direzione dello sguardo e può essere sfruttata per determinare quest'ultima. Sfortunatamente, a causa della stessa conformazione dell'occhio umano, la detezione di questa interfaccia tra iride e sclera è molto accurata verticalmente mentre orizzontalemente risulta coperto dalle palpebre. Per ovviare a questa imprecisione l'intero contorno del limbo viene ricostruito applicando un fitting ellittico ai punti che ne vengono rilevati. Sulla base di questa ricostruzione è possibile determinare il centro del limbo e di conseguenza la direzione dello sguardo. Per rendere questo procedimento più preciso e aggirare le problematiche legate alla imparziare rilevazione del limbo sono stati sviluppati delgi algoritmi che permettono di rilevare il contorno tra la pupilla.



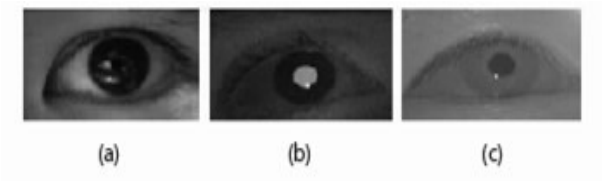
11: (a) Occhio e punto di partenza dell'algoritmo, cerchio giallo. Feature rilevate prima (b) e dopo il filtraggio (c). Riconoscimento degli outlier (d). Fitting ellittico del limbo (e)[32].

Tuttavia questo sistema di rilevamento risulta difficoltoso nei confronti di soggetti con gli occhi scuri a causa del basso contrasto tra la pupilla e l'iride. Per concludere, ricorrere a questa tecnica basata sull'illuminazione naturale non permette di dissociare i movimenti della testa dai movimenti degli occhi. Questo sistema di rilevazione, infatti, permette solo di tereminare la rotazione delgi occhi rispetto alla testa e non una posizione tridimensionale di questi ultimi. Di conseguenza, per poter utilizzare tali dispositivi è necessario che questi siano rigidamente fissati al capo dell'utente o che la testa di quest'ultimo sia in qualche modo immobilizzata.

Se al contrario vengono sfruttate delle sorgeti di luce IR, al posto della luce naturale, molte delle problematiche precedentemente descritte vengono risolte. Non solo l'illuminazione risulta più controllata ma risulta anche più efficaci gli algoritmi per la detezione della pupilla. Questo perche

> «*a differenza della luce visibile, i raggi infrarossi vengono, infatti, riflessi non solo dalla sclera, ma anche dall'iride, che appare più chiara, indipendentemente dal colore degli occhi del soggetto, e più contrastata rispetto alla pupilla»*[33].

Anche in questo caso vi sono due diverse tecniche di tracciamento a seconda della configurazione nello spazio dei LED ad infrarossi. Queste prendono i nomi di bright o dark pupil techinque.



12: (a) Immagine di un occhio acquisita nello spettro visibile. (b) Immagine di pupilla chiara ottenuta attraverso latecnica bright pupil (c) Immagine di pupilla scura acquisita ricorrendo alla tecnica dark pupil[34].

Nel primo caso

> *«la sorgente di luce è posta coassialmente all'asse ottico della telecamera di modo che possa "vedere" la riflessione che la luce infrarossa, entrante nella pupilla, subisce nella parte posteriore dell'occhio*»[35].

Nel secondo caso, invece, l'occhio viene illuminato da una sorgente luminosa non coassiale con la telecamera.

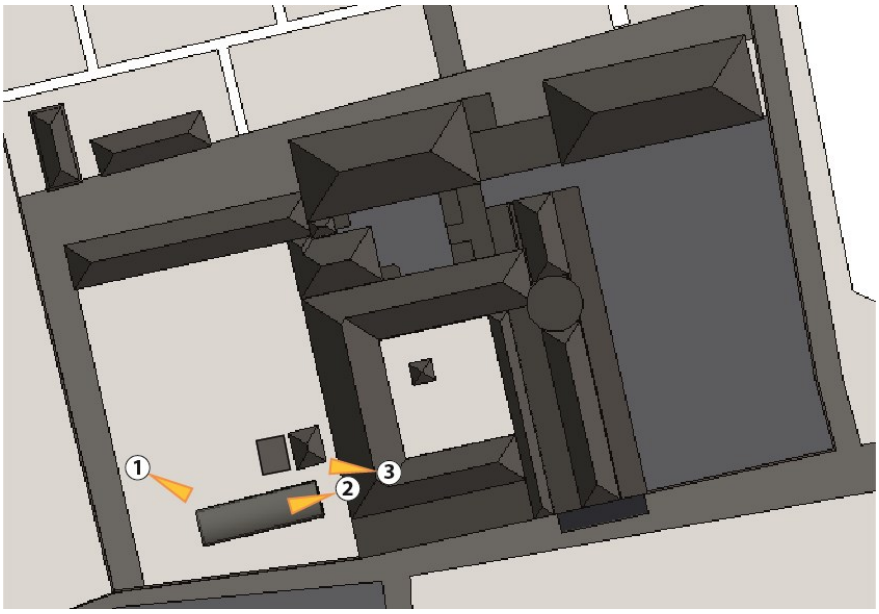
Attraverso la bright pupil techinque è possibile ottenere un maggior contrasto tra l'iride e la pupilla e di conseguenza una rilevazione più precisa dei movimenti dell'occhio.
Ricorrendo, invece, alla dark pupil techinque è possibile rilevare il riflesso corneale (glint) una nuova feature oculare[36]. Sfruttando come punti di riferimento il rilevamento della pupilla ed il riflesso corneale, che a differenza della prima non si muove in accordo con i movimenti dell'occhio, è possibile distinguere quelli che sono i movimenti compiuti dal capo.
Di conseguenza, la tecnica DPI permette di dissociare i movimenti della testa da quelli dell'occhio e poter determinare la posizione tridimensionale di quest'ultimo utilizzando più sorgenti luminose. In questo modo è possibile usufruire più liberamente di questi dispositivi senza che debbano essere fissati al capo dell'utente o che quest'ultimo sia immobilizzato.

1.5 Caso studio

1.5.1 Panoramica generale

Il progetto per una serra bioclimatica sviluppato durante il corso semestrale tenuto dalla professoressa Osello, «Modellazione digitale parametrica A», e poi rimaneggiato nel corso della redazione di questa tesi, è collocato all'interno del complesso ospedaliero del Trompone.
Questa struttura, immersa nella campagna, è situata a Moncrivello, in provincia di Vercelli, a circa 40 km da Torino e a meno di un km da Villareggia, il comune più vicino.
Si tratta di un centro di riabilitazione ed ospita al suo interno pazienti che necessitano di assistenza in seguito a gravi traumi o affetti da malattie degenerative, come patologie neurologiche o distrofie muscolari.
Il complesso in questione si articola in più fabbricati ed ognuno è caratterizzato da una propria destinazione d'uso.
Nella manica storica, esposta a nord, si trova la RSA (Residenza Sanitaria Assistenziale) nella quale vengono ospitati pazienti con malattie degenerative di varia natura. Questi soggetti dispongono di una scarsa autonomia e di conseguenza necessitano di appositi macchinari, attrezzature e di un controllo e un'assistenza costanti.

Di fronte alla RSA si trova la casa di cura. In quest' area vengono svolte diverse attività che vanno dalle quelle di fisioterapia e rieducazione motoria a quelle per la riabilitazione cardiologica e logopedistica.
Per concludere, il corpo principale del complesso ospedaliero è costituito dal convento, oggi utilizzato come centro formativo, annesso al santuario della struttura.
Il santuario della Beata Vergine del Trompone è una chiesa risalente al XVI sec. eretta in seguito ad una presunta apparizione della santa vergine Maria. In questo luogo di culto viene tuttora celebrata la messa per i degenti ed il personale della struttura che è interessato a parteciparvi.
Il progetto della serra bioclimatica si colloca in una grande area verde non attrezzata posta a sud di una porzione del centro attualmente adibita a deposito attrezzi. Attualmente nella stessa area si trova una struttura preesistente che con il suddetto progetto ci si ripropone di sostituire.



13: Navigatore con coni ottici

14: Foto 1, ingresso della serra preesistente

15: Foto 2, interno della serra preesistente

16: Foto 3, fabbricati limitrofi alla serra preesistente

L'attuale fabbricato è attualmente utilizzato sia per attività di vario genere sia per ospitare eventi aperti anche al pubblico esterno, benchè i bassi livelli di comfort termico, oltre all'essere isolata dal resto della struttura, ne permettano l'utilizzo solo in determinati periodi dell'anno.

1.5.2 Le origini ed il futuro del Trompone

17: Complesso del trompone con evidenziati i differenti ambiti d'intervento.
Fonte: ortofoto reperita dal geoportale

La storia del Trompone ha inizio con la celebrazione di una messa svoltosi il 19 agosto del 1559. Infatti, è al termine di questa celebrazione che venne posta quella che probabilmente fu la prima pietra di quello che oggi è il presbiterio del santuario della Beata Vergine del Trompone.

Questo fatto avvenne in seguito alla presunta visione della santa vergine Maria da parte di Domenca Millianotto. La donna, infatti, affetta da balbuzia, crisi epilettiche e una schiena ricurva, affermò, dopo essere tornata a casa guarita dalle numerose infermità, di aver visto una bella figura femminile sopra un trumpone (grande tronco di castagno potato dei rami chiamato trumpone nel dialetto locale). Inoltre, la donna vista da Domenca Millianotto le avrebbe ordinato

la costruzione di una chiesa in corrispondenza del luogo in cui stava avvenendo la visione.

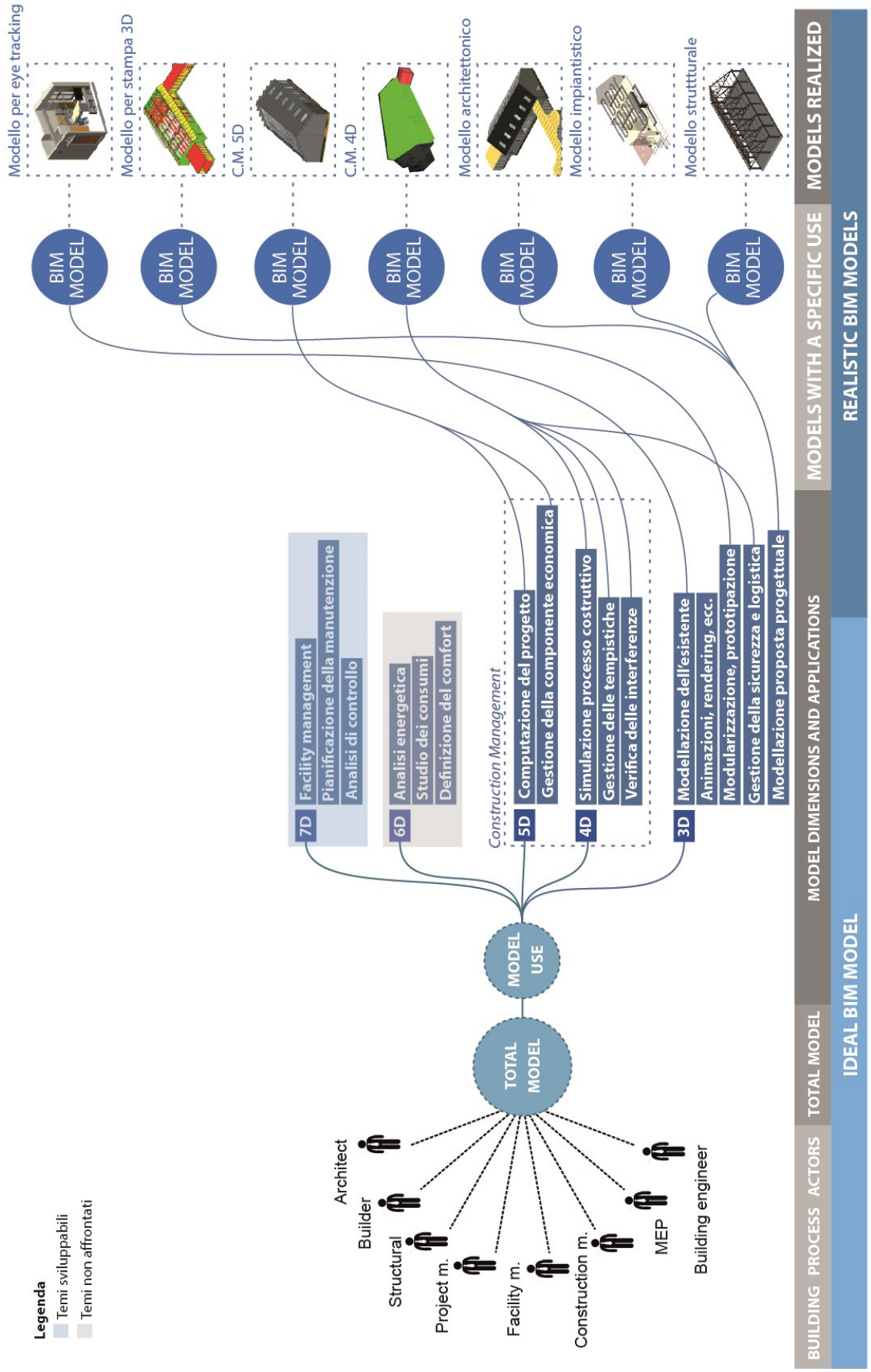
Questi eventi segnarono l'inizio della costruzione di quello che è il complesso ospedaliero. In seguito alla celebrazione precedentemente citata, la costruzione del santuario, fortemente voluta da Gabriella di Valperga di Masino, moglie del marchese di Moncrivello, ebbe effettivamente inizio dopo la bolla pontificia del 31 agosto 1562 emessa da Papa Pio IV, con la quale venivano risolte le dispute in merito alla gestione del Trompone. Successivante nel 1568 fu conclusa la rotonda rinascimentale, mentre nel 1600 venne prolungato il lato sud della struttura con l'aggiunta di tre navate sulla base del progetto dell'ingegner Melchiorre Piantino. In seguito vi furono ulteriori ampliamenti ad opera dei frati francescani. Questi, stabilitisi all'interno del Trompone nel 1627, fecero edificare il convento, il fabbricato che oggi funge da sagrestia e fecero affrescare il santuario. Nel 1659 il convento fu terminato ed affidato ai frati Minori Riformati, che furono però costretti a lasciarlo nel 1802 a causa della sopressione degli ordini religiosi effettuata ad opera di Napoleone Bonaparte. Nel 1827 questi ultimi vennero sostituiti dai Cistercensi che fecero ristrutturare il convento e la chiesa prima di essere allontanati. Da questo momento in poi, per diversi anni, la struttura rimase chiusa ed in mano a privati fino a quando, nel 1880, venne donata all'arcivescovo Fissore. Questi, dopo aver deciso di renderla un seminario, aprì nel 1881 il seminario minore e procedette ad ulteriori ampliamenti per ospitare i numerosi seminaristi del Ginnasio. Questi interventi, tra cui l'edificazione di nuovi palazzi in stile neoclassico nel 1893, furono realizzati sulla base di un più ampio progetto dell'ingegner Vincenzo Canetti, che però non vide mai la luce nella sua interezza. Dopo diversi anni, in seguito ad una sempre maggiore diminuzione nel numero di seminaristi, il complesso fu chiuso nel 1970. In questo stesso anno, in seguito ad un incontro tenutosi tra il mons. Luigi Novarese e l'arcivescovo Albino Mensa, nacque il progetto per la realizzazione di una struttura sanitaria riabilitativa gestita dai Silenziosi Operai della Croce. Questi ultimi, a cui venne affidata l'intera struttura, fatta eccezione per il santuario, si occuparono per oltre vent'anni di accogliere ed offrire a soggetti affetti da disabilità fisiche, psichiche e psichiatriche una riabilitazione personale, sociale e lavorativa. Uno degli utimi grandi interventi sul complesso si è avuto nel 2006 quando, di fronte al santuario, è stata inaugurata una nuova sede chiamata

«Centro di recupero e rieducazione funzionale Monsignor Luigi Novarese», oggi casa di cura[37,38].

Per concludere, in questi ultimi anni, grazie alle iniziative intraprese dall'apparato amministrativo della struttura ed il laboratorio Drawing to the future (dipartimento DISEG, Politecnico di Torino) si sta pianificando la riqualificazione di determinate aree verdi e porzioni del complesso. Con questi presupposti un vasto gruppo di tesisti, di cui faccio parte, ha contribuito in misura e con modalità diverse allo sviluppo e alla gestione di un progetto a larga scala. In particolare, gli ultimi iterventi sui quali è stata posta l'attenzione riguardano:

- La realizzazione di un centro diurno per i soggetti affetti da alzheimer (CDAI).
- Un Giardino d'inverno, collocato in una corte del convento.
- Una serra bioclimatica che sostituisca una struttura preesistente garantendo elevati livelli di comfort ed un collegamento diretto con il resto del complesso in modo da poter essere utilizzata in qualsiasi periodo dell'anno.

2 METODOLOGIA



18: Schema rappresentativo delle intenzioni esplicitate nell'abstract e perseguite nella sezione metodologia. Lo schema mette a confronto il modello ideale perseguito dal BIM con quella che nè la concretizzazione pratica

2.1 Programmi utilizzati

Nel corso della redazione di questa tesi sono stati perseguiti numerosi obiettivi differenti tra di loro. Per questo motivo è stato utilizzato un gran numero di programmi caratterizzati da diverse funzionalità. Qui di seguito vengono riportati i software impiegati nelle varie fasi di lavoro in modo da rendere più chiara la successiva descrizione di queste ultime.

Revit 2017 e 2018	programma della softwer house Autodesk utilizzato per la progettazione architettonica, strutturale ed impiantistica del modello virtuale. Ne sono state utilizzate due versioni, non essendo possibile la leggibilià dei file creati con una versione successiva da quella precedente.
MS Excell	programma della Microsoft utilizzato per la stesura del computo metrico estimativo del progetto della serra bioclimatica, la redazione di una WBS per le attività del Construction Management e l'esportazione del file contenente la WBS in un formato TXT (MS-DOS) leggibile da Revit.
Notepad	in italiano blocco note, è stato utilizzato insieme a Microsoft Project per redarre il file della WBS da importare su Revit, in quanto permette di aprire e modificare i file TXT (MS-DOS)
Dynamo	plug in di Revit, utile per la modellazione digitale paramentrica e la gestione dei dati interni al software principale. Questo cosnsiste in un ambiente e in un linguaggio di programmazione visuale utilizzabile anche da chi non sia un esperto di programmazione. Permette, infatti, di visualizzare il flusso dei dati e la relazione tra i vari script ed utilizzari vari tipologie di linguaggi di programmazione testuali.
Microsoft Project	prodotto dalla Microsoft, è stato utilizzato per la redazzione di elaborati come i diagrammi di Gant ed un cronoprogramma. Il programma permette, infatti, di assegnare alle diverse lavorazioni di progetto i dati relativi le tempistiche, le risorse impiegate ed i costi.

Structural Steel Connection	plug in di Revit che ne incrementa le funzionalità, offrendo la possibilità di creare e modificare all'interno del programma diverse tipologie di modelli di connessioni strutturali parametriche per una struttura in acciaio.
Advanced Steel	software, basato sulla piattaforma Autodesk di AutoCAD, accelera e semplifica i processi di progettazione, di dettaglio e di costruzione di strutture in acciaio comportando brevi tempistiche di fabbricazione e costruzione. Inoltre questo programma garantisce l'interoperabilità verticale con Revit, per il quale è prevista un'estensione, Advanced Steel for Revit.
PriMus	programma della casa Acca Software utilizzato per la redazione di un computo metrico. Questo sistema è predisposto per sfruttare i preziari bim resi disponibili dalla casa produttrice e, quest'ultima versione, l'innovativo sistema dei #TagBim.
Naviswork	programma della Autodesk, è stato utilizzato per la gestione dei costi e dei tempi di cantiere, oltre che le una analisi delle interferenze tra le diverse attività (clash detection). Ha permesso un elevato controllo dei risultati di progetto e la realizzazione di simulazioni costruttive.
Studio Max 2018	software della Autodesk, è un programma di rendering, modellazione e animazione 3D che verrà utilizzato solamente come software intermedio per effettuare una trasmissione di dati tra Revit 2018 e Ultimaker Cura 15.04.2. Questo software, infatti, permette di importare file in formato FBX ed esportarli in formato .STL.
Meshmixer	Meshmixer è un programma della Autodesk pensato per il mondo della stampa 3D.
Ultimaker Cura 15.04.2	software multipiattaforma utilizzato per preparare i modelli virtuali alla stampa 3D. Su questo programma sono state impostate le caratteristiche della macchina che compirà il lavoro. Ciò permette di esportare i file .STL, .Obj, .X3d e .3mf che contengono le caratteristiche geometriche del modello virtuale in file Gcode pronti per essere mandati in stampa.

19: Tabella dei software utilizzati

2.2 Worksharing per il caso studio del Trompone

Come spiegato precedentemente nel paragrafo 1.1.1, esistono diversi livelli di maturità del BIM caratterizzati da differenti livelli di condivisione dei dati. I vari tesisti, che hanno condiviso come caso studio il complesso ospedaliero del Trompone, hanno cooperato adottando strategie di condivisione delle informazioni e dei modelli che si rifanno ad un embrionale livello 2 del BIM. Lo scambio dei dati è avvenuto tramite una cartella dropbox accessibile da parte di tutti nominata CDE. Questa, infatti, funge da piattaforma per la condivisione dei dati (Common Data Environment) e si articola in quattro sottocartelle caratterizzate da diversi contenuti. Questa suddivisione si basa su quanto riportato nella specifica tecnica britannica PAS 1192-2014, che definisce la struttura generale dell'ambiente di condivisione dei dati in quattro diversi ambienti che corrispondono ad altrettante fasi di lavoro. Questa cartella, quindi, che corrisponde allo spazio digitale per la condivisioine delle informazioni chiamato ACDat (Ambiente di Condivisione Dati) nella Norma UNI 11337 parte 5, risulata ramificata nelle seguenti sottocartelle:

WIP (Work In Progress): In quest'area vengono salvati i file corrispondenti ad una fase iniziale di lavoro, e quindi ancora oggetto di numerose modifiche. Questo fino a quando non hanno raggiunto un determinato livello di maturazione e completezza.

SHARED: In questa cartella vengono condivisi i file WIP dopo che sono stati verificati. Da questo momento possono essere a disposizione dei vari membri del team di progetto.

PUBLISHED: Si tratta dell spazio in cui convergono i file SHARED dopo che sono stati autorizzati ed ipoteticamente la documentazione relativa al progetto approvata dalla committenza.

ARCHIVED: Per concludere, questa cartella funge da archivio dei file dei progetti.

Durante lo sviluppo del progetto relativo alla serra bioclimatica si è rispettata la destinazione d'uso delle diverse cartelle, partendo da quella WIP per poi arrivare alla cartella di condivisione SHARED. Inoltre, nella nomenclatura dei file di

salvataggio e dei livelli interni ai modelli, ci si è rifatti a quanto definito precedentemente da un membro del team di tesisti.
La parte iniziale della nomenclatura dei vari modelli è una lettera determinata dall'ambito di progetto a cui si riferiscono.

AMBITO DI PROGETTO	LETTERA IDENTIFICATIVA
Alzheimer	**A**
Giardino d'inverno	**G**
RSA	**R**
Progetto del parco	**P**
Convento	**C**
Serra bioclimatica	**S**
Modello delle masse	**M**

20: Tabella relativa alla nomenclatura dei modelli condivisi

Alla lettera identificativa segue una sigla che indica l'ambito disciplinare del modello. Questo, infatti, può essere architettonico, strutturale ed impiantistico. Mentre per il primo caso non è prevista nessuna sigla, per i restanti corrisponde a STR e MEP.
In questo aspetto il progetto da me sviluppato si differenzia da quello degli altri tesisti. Infatti, mentre loro hanno sviluppato diversi modelli monodisciplinari (architettonico, strutturale ed impiantistico) relativi ad un unico progetto, io ho optato per un modello multidisciplinare. Questa differenza nello sviluppo del modello è legata ad un diverso inizio ed approccio al tema. Mentre i tesisti che si sono conformati a queste direttive hanno cominciato i relativi progetti parallelamente, io mi sono avvicinato a questo tema durante il corso di Modellazione Digitale Parametrica A tenuto dalla prof.ssa Osello. Solo in un secondo momento ho scelto di sviluppare tale progetto per la realizzazione della mia tesi e mi sono confrontato con gli altri tesisti. Di conseguenza, mentre loro hanno fatto fin da subito ricorso all'utilizzo di file linkati, io ho iniziato e continuato il progetto tramite il sistema dei workset. Il tema dei link e dei workset verrà spiegato più dettagliatamente nei paragrafi successivi.

Per concludere, la nomenclatura del modello termina con la data relativa all'ultimo salvataggio del file nel formato anno, mese e giorno.

Per quanto riguarda, invece, il nome da attribuire ai livelli presenti all'interno del modello, varia in base alla fase (di fatto o di progetto) e all'ambito di progetto a cui si riferisce il modello.

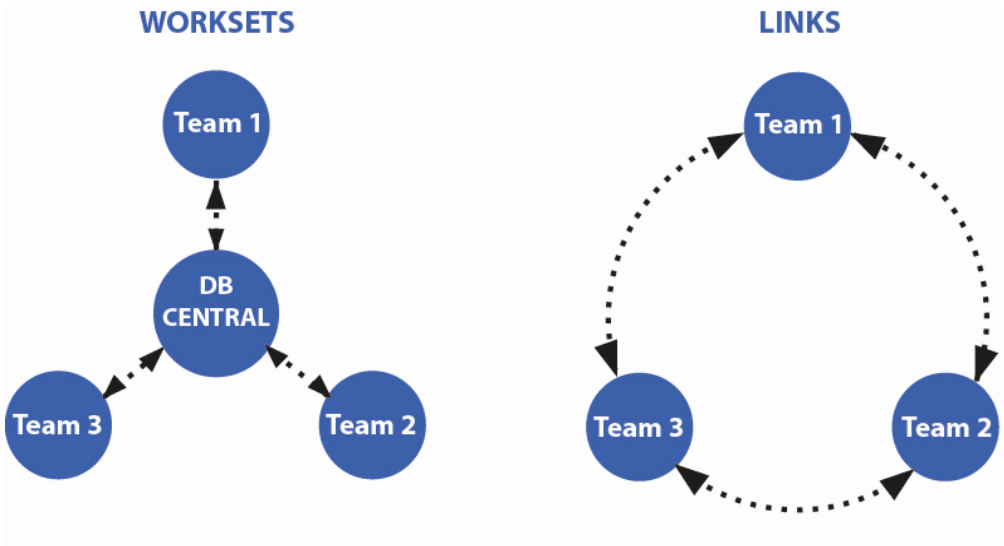
2.2.1 Workset

Quello dei workset è un sistema di condivisione dei dati. Se si ricorre a questa soluzione, le informazioni prodotte da ogni attore coinvolto nel processo edilizio vengono condivise su di un file centrale, pur essendo state effettuate su una coppia locale di quest'ultimo. Il file di partenza, infatti, ha la funzione di un database centrale in cui vengono sincronizzate, manualmente o periodicamente, tutte le modifiche effettuate al modello virtuale nelle singole coppie locali. I workset, di per sè, consistono in una raccolta di elementi di progetto, tra di loro più o meno eterogenei, che possono corrispondere ad aree funzionali distinte (progetto d'interni, degli esterni o della planimetria, in ambito architettonico) o diversi ambiti monodisciplinari (strutturale, impiantistico, architettonico, ecc..). Durante la fase di definizione dei workset, gli elementi in essi contenuti possono essere resi modificabili da parte di tutti i membri del team di progetto, da solo una ristretta cerchia, responsabile di uno specifico workset, o da nessuno. Questa metologia di condivisione si rivela particolarmente utile quando, a diversi gruppi del team di progetto, corrispondono specifiche aree funzionali sulla base delle quali è possibile suddividere il progetto in workset. Di conseguenza, tutti i soggetti coinvolti hanno la possibilità di visualizzare in tempo reale lo stato di avanzamento del progetto caricando sulla propria coppia locale le modifiche sincronizzate sul file centrale dagli altri utenti. In questo modo viene limitato il rischio legato ad una modifica accidentale dei dati, possono essere analizzate le interferenze tra gli elementi modellati e si ottimizza la condivisione dei dati. Per poter adottare questa metodologia di lavoro è necessario salvare un file revit, che diventerà il file centrale, in un'unità di rete condivisa a cui abbiano accesso tutti i membri del team. Successivamente, le modifiche al progetto non dovranno essere efettuate direttamente sul file centrale, ma sulle coppie locali di quest'ultimo. Tuttavia, per quanto questo sistema permetta un'immediata condivisione dei modelli, una facile estrazione dei dati ed un agevole coordinamento di questi elementi, presenta anche diversi aspetti negativi. Per ricorrere a questo sistema, infatti, è necessario l'intevento di un IT e di un BIM manager esperti all'interno di ogni ipotetico studio o team di progetto che si

occupa di un determinato workset. Parallelamente può essere richiesto un alto grado di maturità BIM da parte di tutti gli attori che si relazionano al modello e una infrastuttura di coordinamento più complessa.
Durante il corso di Modellazione Digitale Parametrica A si è scelto di adottare un sistema di condivisione dei dati basato sull'utilizzo dei workset. Questa scelta è stata fatta per permettere ai vari membri del team di progetto di visualizzare in tempo reale lo sviluppo dei diversi aspetti del progetto (architettonico, strutturale ed impiantistico) pur non avendo la possibilità di incontrarsi frequentemente.

2.2.2 Link

Utilizzando un sistema di condivisione dei dati basato sui link, anzichè sui workset, non è disponibile un vero e proprio modello centrale. I diversi file vengono collegati tra di loro per mezzo di link. Di conseguenza, non è possibile una costante sincronizzazione dei dati legati al progetto e gli sviluppi di quest'ultimo non possono essere visualizzati in tempo reale. Il vantaggio di questo sistema sta nella semplicità di gestire i dati distribuiti nei diversi file collegati. Di conseguenza, vi è una riduzione dei vari rischi legati alla presenza di consulenti inesperti. Tuttavia anche questo sistema, come quello basato sui workset, ha degli aspetti negativi. La struttura a link, infatti, non permette un'immediata condivisione dei modelli, rallenta l'estrazione dei dati e il coordinamento tra discipline richiede più tempo.



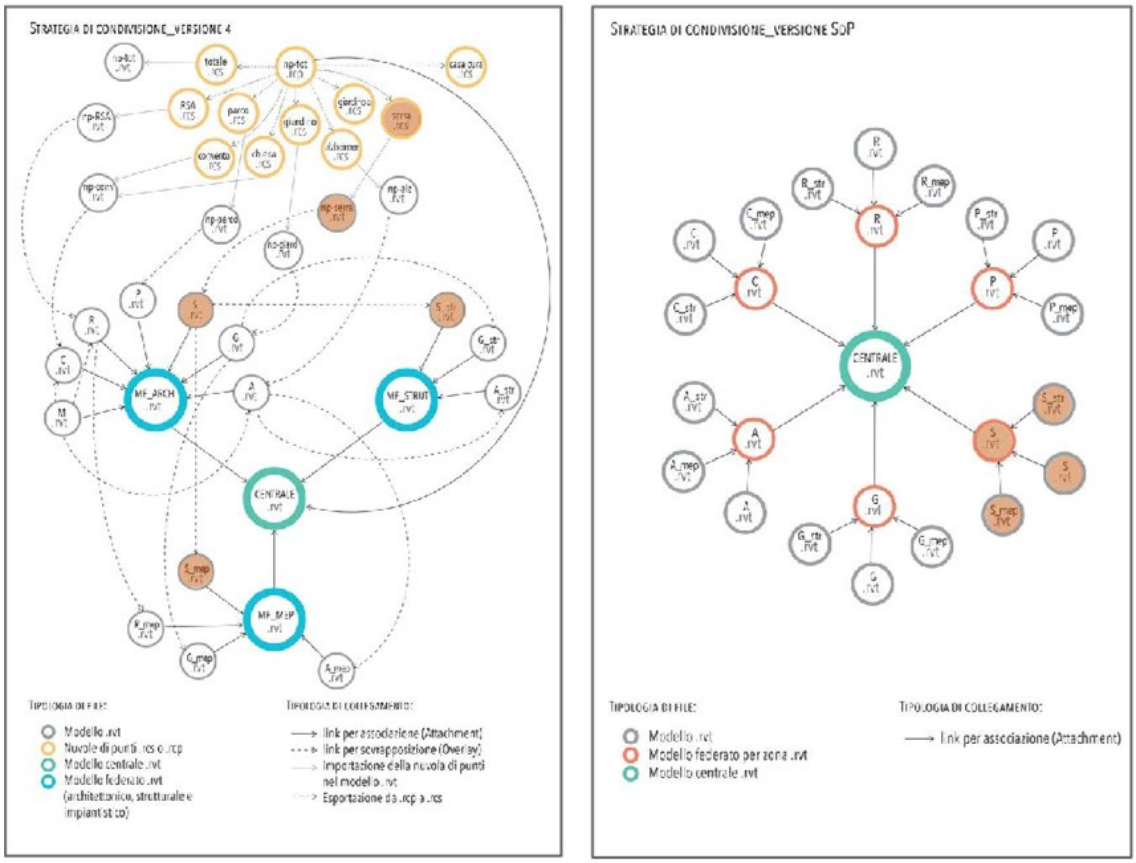
21: Rappresentazione schematica della condivisione dei dati attraverso i worksets ed i links

2.2.3 Condivisione e gestione del progetto della serra bioclimatica

Per la gestione e la condivisione dei dati relativi al progetto della serra bioclimatica, come accennato precedentemente, si è ricorso ad entrambi i sistemi precedentemente descritti.

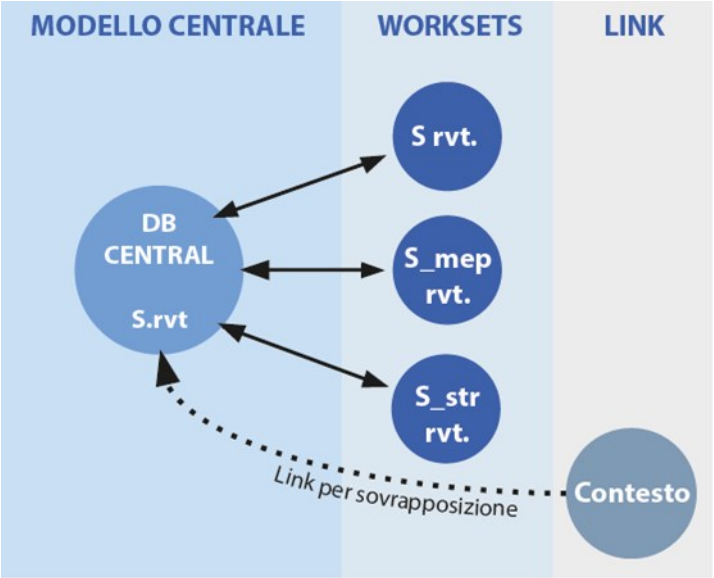
Durante il corso tenuto dalla prof.ssa Osello, infatti, il progetto della serra bioclimatica è stato diviso in quattro workset. Questi corrispondevano all'aspetto architettonico, strutturale, impiantistico della struttura e al contesto in cui si collocava. Gli elementi relativi al contesto sono stati resi non modificabili, mentre i restanti tre workset sono stati spartiti tra i membri del team di progetto.
Per poter condividere il file centrale è stata utilizzata, come unità di rete condivisa, una cartella di dropbox accessibile da tutti, con il medesimo percorso della directory. Ogni soggetto coinvolto ha quindi avuto la possibilità di modificare il modello in base alla propria area di competenza ed interagire con i modelli o i dati inseriti da altri previa autorizzazione. Inoltre è stato possibile per ogni membro del team visualizzare in tempo reale lo stato di avanzamento complessivo del progetto.

Successivamente, il modello realizzato nel corso di Modellazione Digitale Parametrica A è andato ad inserisi nel progetto a larga scala relativo al Trompone nel suo insieme. I numerosi modelli, prodotti da differenti tesisti, relativi a diversi ambiti del complesso ospedaliero si riferiscono ad un unico modello federato centrale, contenuto nella cartella SHARED. Questo file BIM permette di visualizzare i vari progetti relativi all'area ed il contesto nel loro insieme coordinando tra di loro i vari modelli. La creazione di questo modello federato si basa su delle precise linee guida e sono state ipotizzate due modalità di condivisione in base all'uso del modello finale.
Il metodo di condivisione 1 si basa sulla creazione di modelli federati monodisciplinari a loro volta linkati ad un modello di coordinamento centrale;
Il metodo di condivisione 2, invece, prevede la creazione di modelli federati multidisciplinari, relativi ai diversi ambiti di progetto (giardino d'inverno, serra bioclimatica, RSA, ecc…) anch'essi collegati ad un modello di centrale.



22: Schemi rappresentativi dei sistemi di condivisione 1, a sinistra, e 2, a destra[39].

All'interno dello schema riportato sono evidenziati in arancione il file relativi al progetto della serra bioclimatica. Tuttavia, come accennato precedentemente, avendo fatto ricorso ai workset non è possibile scorporare le componenti del progetto e creare dei modelli federati monodisciplinari come proposto nel metodo di condivisione 1. D'altra parte, seppur con qualche differenza, è possibile conformarsi al metodo di condivisione 2. Invece che linkare al modello di coordinamento centrale un modello federato relativo al progetto della serra bioclimatica, composto a sua volta da diversi file linkati, è possibile linkare direttamente il modello articolato in wokset. Inoltre è possibile linkare a quest'ultimo modello centrale un link relativo alla preesistenza del Trompone. In questo modo è possibile visualizzare una porzione di quest'ultima durante la fase di progettazione e, impostando il link per sovrapposizione, non trasferirla nel modello di coordinamento evitando interferenze.



23: Schema rappresentativo dell'articolazione del file di progetto relativo alla serra bioclimatica, questo è costituito da un file centrale, articolato in worksets ai quali è stato linkato un file relativo al contesto

2.3 Intenti progettuali

2.3.1 Requisiti di progetto

Il progetto è stato sviluppato cercando di soddisfare le diverse richieste mosse dal centro di riabilitazione del Trompone. Di conseguenza, l'obiettivo perseguito è stato quello di sostituire una serra preesistente, collocata nei giardini del centro rialibitativo, con una nuova struttura capace di ospitare uno spazio polifunzionale. Quest'ultima avrebbe dovuto essere dotata di determinati requisiti relativi al comfort termico ed adeguata alle esigenze del personale e dei degenti del centro.

2.3.2 Spazi di collegamento vetrati

A differenza della struttura preesistente, la nuova costruzione è stata progettata in modo da essere facilmete raggiungibile dal personale del centro e dai degenti, in particolare da quelli con una riduzione della mobilità più o meno accentuata, in ogni periodo dell'anno, soprtutto quello invernale. Attualmente, infatti, la struttura collocata nel giardino del centro ospedaliero risulta isolata rispetto alla porzione del complesso in cui si trovano le camere destinate ai degenti ricoverati nella struttura. Questo rende, quindi, difficile, se non impossibile, la fruizione di questo spazio nei periodi in cui nevica o fa troppo freddo. Per questo motivo si è optato per la progettazione di due collegamenti vetrati che connettono la nuova serra bioclimatica con il resto del complesso. Questi corridoi sono ispirati, nel loro

aspetto e nelle loro molteplici funzioni, alla galleria vetrata presente nell'ospedale psichiatrico Kronstad, progettata dal gruppo di architetti Origo. I collegamenti sono generati a partire dalla ripetizione di un sistema modulare. Questo è costituito da una stuttura portante, composta da pilastri e travi in acciaio ed una base in csl, che va a sostenere una copertura opaca, per evitare un eccessivo surriscaldamento nel periodo estivo, e dei tamponamenti verticali vetrati.
Questi collegamenti renderebbero la nuova struttura raggiungibile in ogni periodo dell'anno. Infatti, eviterebbe ai degenti con ridotte capacità motorie un lungo tragitto all'aria fredda durante la stagione invernale e proteggerebbe il percorso da eventuali nevicate, che impedirebbero altrimenti il tragitto ai fruitori di carrozzine. Infine, per quanto riguarda la struttura di collegamento più lunga, che attraversa l'intero giardino, questa presenta al suo interno delle aree in cui è possibile sostare e sedersi. Di conseguenza non si tratta solamente di uno spazio di passaggio, ma anche di un' area di sosta ed aggregazione che permette di fruire dello spazio del giardino in tutti i periodi dell'anno.

2.4 Progetti di riferimento

Durante la fase di progettazione della serra bioclimatica ci si è rifatti a diversi progetti di riferimento. Questi hanno dato spunti in merito alle scelte architettoniche ed impiantistiche per la realizzazione del principale corpo di fabbrica della serra ed i suoi collegamenti con il resto del complesso ospedaliero. Tra i vari progetti di riferimento, i principali sono costituiti dal nuovo ospadale pediatrico Meyer e la galleria dell'ospedale psichiatrico Kronstad. In entrabi i casi si tratta di strutture legate all'abito sanitario. Inoltre, come verrà approfondito nel paragrafo successivo, il centro Meyer è il primo ospedale bioclimatico in Italia ed è caratterizzato da elevati livelli di comfort termico, due aspetti vicini in egual misura a quanto richiesto dal progetto di questa nuova serra bioclimatica.

2.4.1 Nuovo ospedale pediatrico Meyer

OSPEDALE PEDIATRICO MEYER
Primo ospedale bioclimatico italiano

Progettista: Studio CSPE
(Centro Studi Progettazione Edilizia)

Località: Firenze, Italia

Anno di realizzazione: 2007

Intenti progettuali:
Far coincidere i principi di un architettura bioclimatica con una struttura accogliente

Obbiettivi:
• contenimento delle emissioni atmosferiche
• protezione dal surriscaldamento estivo
• ventilazione e qualità dell'aria
• contenimento dell'uso del condizionamento
• migliore utilizzo della luce naturale

Strategie addottate:
• elevato isolamento termico dell'involucro edilizio
• infissi e pannelli vetrati di alta qualità e prestazione
• sistemi di controllo e gestione dell'illuminazione e della ventilazione naturale ed artificiale
• elementi d'illiminazione naturale: lucernari, solar tube e piramidi trasparenti
• serra (spazio tampone) a nord
• pannelli fotovoltaici vetro-vetro
• coperture piane a giardino
• pavimenti radianti
• caldaie a condensazione
• BMS: sistemi di controllo della qualità e del comfort ambientale
• coperture verdi (DAKU)

Il nuovo ospedale pediatrico Meyer, costruito nel comeplesso di Villa Ognissanti nel 2000, ha ricevuto dei fondi dalla Comunità Europea tramite il programma Hospitals (Exemplar Energy Counscious European Hospital and Healthcare buildings). Le scelte bioclimatiche che lo caratterizzano comportano un risparmio energetico di circa il 50% per il riscaldamento, il 75% per il raffreddamento, l'80% a fronte di un extracosto di circa il 40%.

Nella struttura sono presenti terrazzi e coperture verdi di tipo estensivo (DAKU) caratterizzate da una conducibilità pari a 0.79 W/m2K. Questa soluzione permette ai degenti usufruire di queste aree e garantisce una riduzione delle dispersioni nel periodo invernale ed il raffrescamento durante il periodo estivo. Le camere di degenza sono state riparate dalla radiazione solare diretta attraverso degli aggetti rivestiti in rame pre-ossidato che si integrano con l'ambiente circostante. La serra, invece, è schermata da un sistema di tende interne automatizzate. La ventilazione dell'ospedale è garantita da delle aperture posizionate nelle porzioni superiori dell'edificio in modo in modo da favorire la ventilazione naturale. Per quanto riguarda l'illuminazione naturale, sono stati impiegati lucernai, camini solari e solar tubes. Questi elementi hanno permesso un risparmio energetico di circa il 60% e comportano un impatto psicologico positivo. Questa soluzione, insieme alla scelta d'installare lampade ad alta efficenza e basso consumo, porta l'edificio ad avere un fabbisogno anuale di 12.3 kWh/m2 ed un risparmio energetico del 35%. A livello impiantistico si è optato per l'utilizzo di pannelli radianti alimentati attraverso tre pompe di calore.

Per concludere, il nuovo ospedale pediatrico Meyer è caratterizzato dalla serra bioclimatica posta al suo ingresso. Quest'area rende la struttura più accogliente rispetto ad un ordinario ospedale e migliora il comfort ambientale fungendo da zona filtro rispetto l'esterno. Questa è scandita da una struttura di travature in legno lamellare. Inoltre, la porzione di tamponamento superiore della struttura vetrata è costituita da un impianto solare fotovoltaico progettato dal centro ABITA e ralizzato dal centro CSPE. Quest'ultimo prevede un sistema a laminati trasparenti vetro-vetro integrati con la struttura dell'edificio. Il sistema fotovoltaico funge anche da sistema di ombreggiamento grazie alle celle in silicio che scheramo la radiazione solare diretta. Durante il periodo invernale contribuisce al riscaldamento della struttura grazie al surriscaldamento della sua superficie e al raffrescamento nei mesi più caldi grazie ai moti convettivi d'aria da esso generati. Sul tetto della serra si trova il gruppo di conversione in grado di

trasformare la corrente continua in corrente alternata, mentre al centro di quest'ultima è collocato il quadro di controllo della rete. Questa soluzione progettuale è arrivata pirma al bando «Integrazione architettonica del fotovoltaico» e ha beneficiato dei finanziamenti del ministero dell'Ambiente per promuovere la realizzazione di impianti fotovoltaici integrati negli edifici.

Questo complesso ospedaliero è stato fonte d'ispirazione per la progettazione della serra bioclimatica. In entrambi i casi il verde ricopre un ruolo importante. A tal proposito si è scelto di garantire la visibilità di quest'ultimo dall'interno del fabbricato. Inoltre si è optato come sistema di tamponamento l'utilizzo di un sistema fotovoltaico in laminati trasparenti vetro-vetro per i benefici precedentemente descritti. Infine in entrabi i progetti viene massimizzato l'utilizzo della luce naturale. Il progetto della nuova struttura è caratterizzato da una falda di copertura vetrata rivolta a sud, in modo da valorizzare l'apporto solare durante il periodo invernale, e da dei lucernai posizionati nella falda rivolta verso nord.

2.4.2 Galleria Origo Arkitekter, ospedale psichiatrico Kronstad

GALLERIA ORIGO ARKITEKTER,
Ospedale psichiatrico Kronstad

Progettista: Studio Origo Arkitekter

Località: Bergen, Norvegia

Anno di realizzazione: 2014

Intenti progettuali:
Creare uno spazzio accogliente per una specifica utenza con deterinate esigenze.

Obiettivi:
• Creare uno spazio di collegamento capace di permettere e favrire la relazione tra le persone.

Strategie addottate:
• massimizzazione dell'illuminazione naturale
• vista su una corte interna verde che si discosta dalla durezza dell'ambiente costruito esterno all'edificio
• realizzazione di sedute e forme organiche che permettono di sostare e vivere questo spazio, che da area di passaggio diviene un luogo di relazione.

L'ospedale psichiatrico Kronstad è caratterizzato nella sua struttura dalla galleria progettata dal gruppo di architetti Origo Arkitekter ex studio di architettura Höjer-Ljungqvist.
Questa galleria consiste in articolato corridoio vetrato che si affaccia verso la corte interna, che costiituisce il cuore del complesso ospedaliero. Risulta importante quindi il tema del verde, che contribuisce a rendere la struttura più accogliente ai degenti.
Questi percorsi vetrati sono caratterizzati dalla presenza al loro interno di sedute ed altri elementi decorativi. Tutto ciò contribuisce a rendere questi elementi di connessione più che dei semplici spazi di passaggio, ma aree di sosta nelle quali è possibile l'interazione tra i vari utenti dell'ospedale e la contemplazione dell'area pubblica esterna. Questo è permesso anche grazie alle forme sinuose prodotte da aiuole presenti all'interno dei corridoi stessi, grazie alle quali è possibile sostare all'interno della galleria senza risultare d'intralcio ai degenti o agli operatori dell'ospedale.

Questa galleria ha ispirato nel suo aspetto e nelle sue molteplici funzioni quelli che sono i collegamenti vetrati che dalla nuova struttura conducono al corpo principale del complesso del Trompone, generando in questo modo degli spazi non solo di passaggio ma di aggregazione.

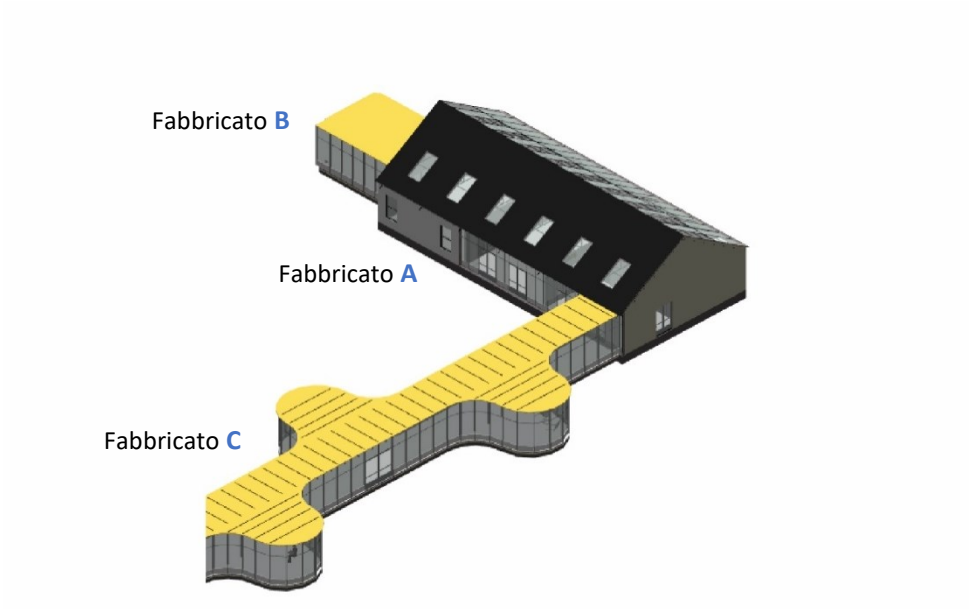
2.5 Modello BIM

Come già spiegato, negli ultimi anni si sente sempre più spesso parlare di BIM, anche se questo termine viene tuttora frainteso. Il BIM, infatti, non deve essere visto solamente come una tipologia di moderni software di modellazione, ma come una nuova metodologia di lavoro nel campo della progettazione, delle costruzioni e non solo. Quest’innovazione può essere vista come il passaggio da un processo di progettazione individuale, in cui ogni professionalità ed ogni parte di un team produce i propri eleborati, ad uno basato sulla collaborazione e la condivisione di informazioni e modelli. I vari elaborati, grafici e non, smettono di essere sviluppati l'uno in risposta dell'altro, ma simultaneamente e le modifiche relative ad un aspetto dell'edificio (strutturale, architettonico, impiantistico) si ripercuotono su tutti gli altri. Questo alto livello di condivisione dei dati è permesso, oltre che dalle nuove tecnologie di trasmissione delle informazioni,

dalla struttura stessa dei sofware bim e dall'interoperabilità che questi garantiscono.

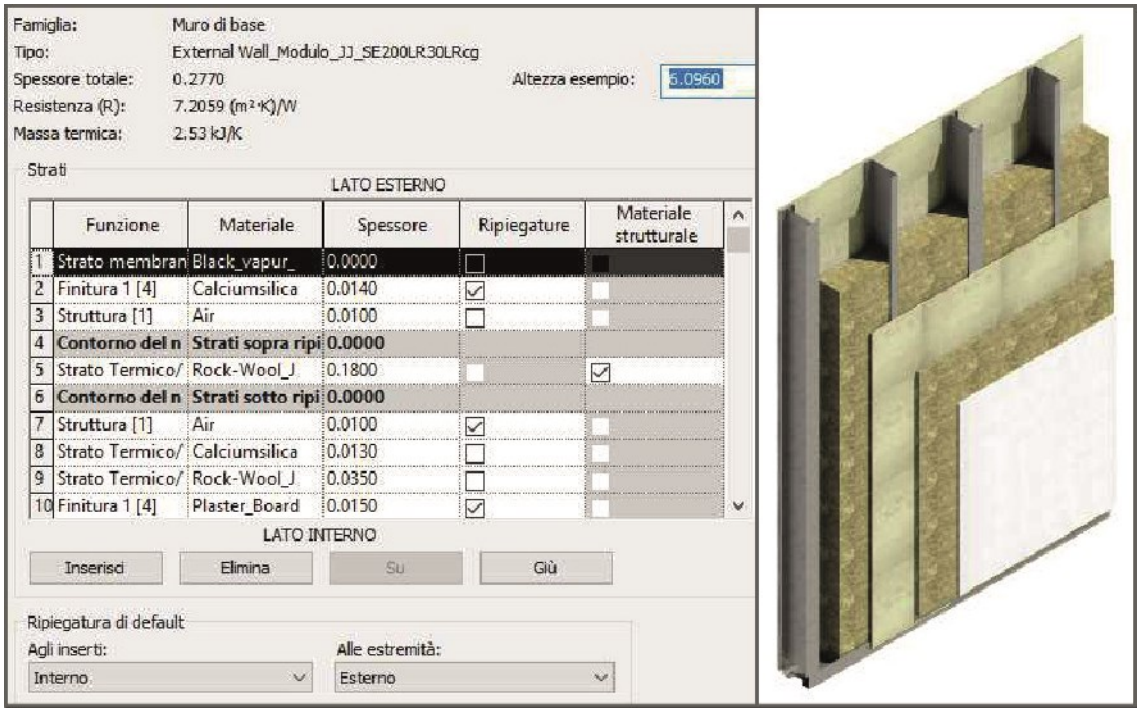
2.5.1 Modello Architettonico

Il nuovo spazio polifunzionale della serra è caratterizzato da una struttura in acciaio tamponata da pannelli prefrabbricati e facciate continue vetrate. Questa struttura è stata progettata per garantire un elevato livello di comfort e presenta delle caratteristiche paragonabili a quelle di una serra bioclimatica. La nuova costruzione è in grado, quindi, di garantire un buon comfort ambientale a differenza della struttura preesistente. Quest'ultima, infatti, può essere utilizzata solo in determinati periodi dell'anno, ossia quando non fa nè troppo caldo nè' troppo freddo.



24: Vista assonometrica del modello architettonico
Fonte: estratto da Revit

Nel corso della progettazione, per quanto riguarda la scelta relativa ai tamponamenti opachi verticali, si è optato per dei sistemi prefabricati a secco. Le caratterisitche, dimensionali e prestazionali, relative a questi componenti edilizi sono state rese disponibili sul proprio sito dall'azienda Jendy Joss (produttori e commercianti di sistemi di costruzione a secco per l'edilizia). La stratigrafia di questi pannelli è composta da due strati isolanti di lana di roccia, un'intercapedine d'aria e svariati strati di rivestimento. Il tutto garantisce un elevato isolamento termoacustico.



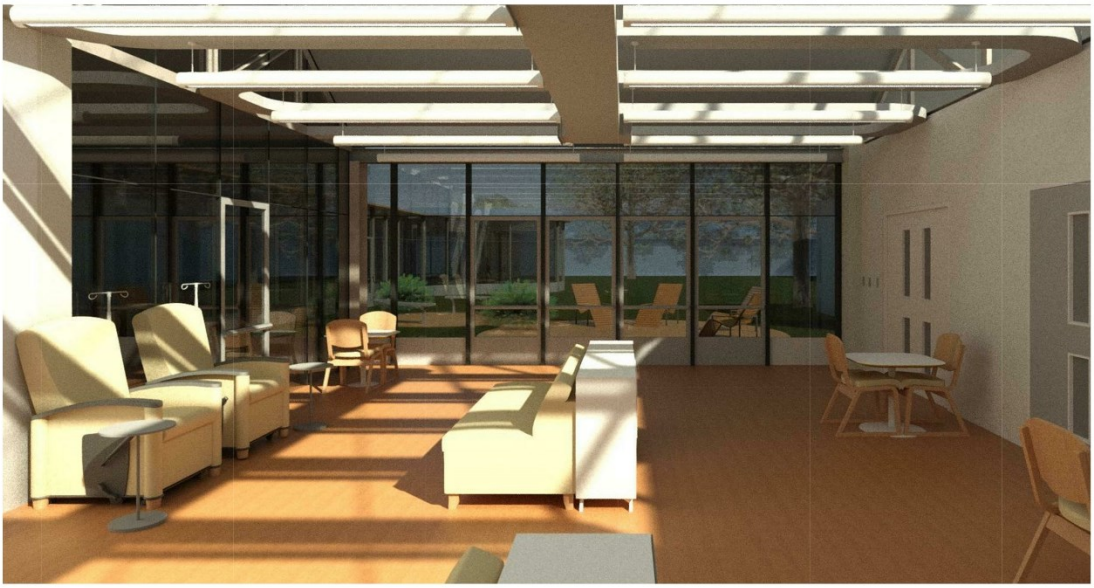
25: Spaccato e stratigrafia dei pannelli di tamponamento prefabbricati
Fonte: jendyjoss.com, azienda Jendy Joss, produttori e commercianti di sistemi di costruzione a secco per l'edilizia

Per quanto riguarda, invece, la copertura vetrata, ci si è ispirati alla serra bioclimatica situata all'ingresso dell'ospedale pediatrico Meyer, descritta più dettagliatamente nel paragrafo 2.4.1.

Questa struttura, progettata dal centro ABITA e ralizzata dal centro CSPE, è arrivata pirma al bando «Integrazione architettonica del fotovoltaico» e sfrutta come tamponamento un sistema a laminati trasparenti vetro-vetro. Questi elementi, costituiti da dei vetri basso emissivi che racchiudono al loro interno delle celle fotovoltaiche monocristalline, non si limitano a delimitare lo spazio, ma fanno anche da sistema di ombreggiamento, grazie alle celle di differente dimensione e trasparenza. In questo modo la struttura massimizza il proprio apporto solare durante il periodo invernale e produce energia grazie alle celle fotovoltaiche. Queste ultime comportano anche altri vantaggi meglio approfonditi nel paragrafo 2.4.1.

Queste scelte progettuali, unite a quelle relative all'impianto di riscaldamento descritto al capitolo 2.5, permettono alla struttura di garantire un elevato livello di comfort termico in ogni periodo dell'anno.

26: Vista prospettica della serra bioclimatica
Fonte: estratto da Revit



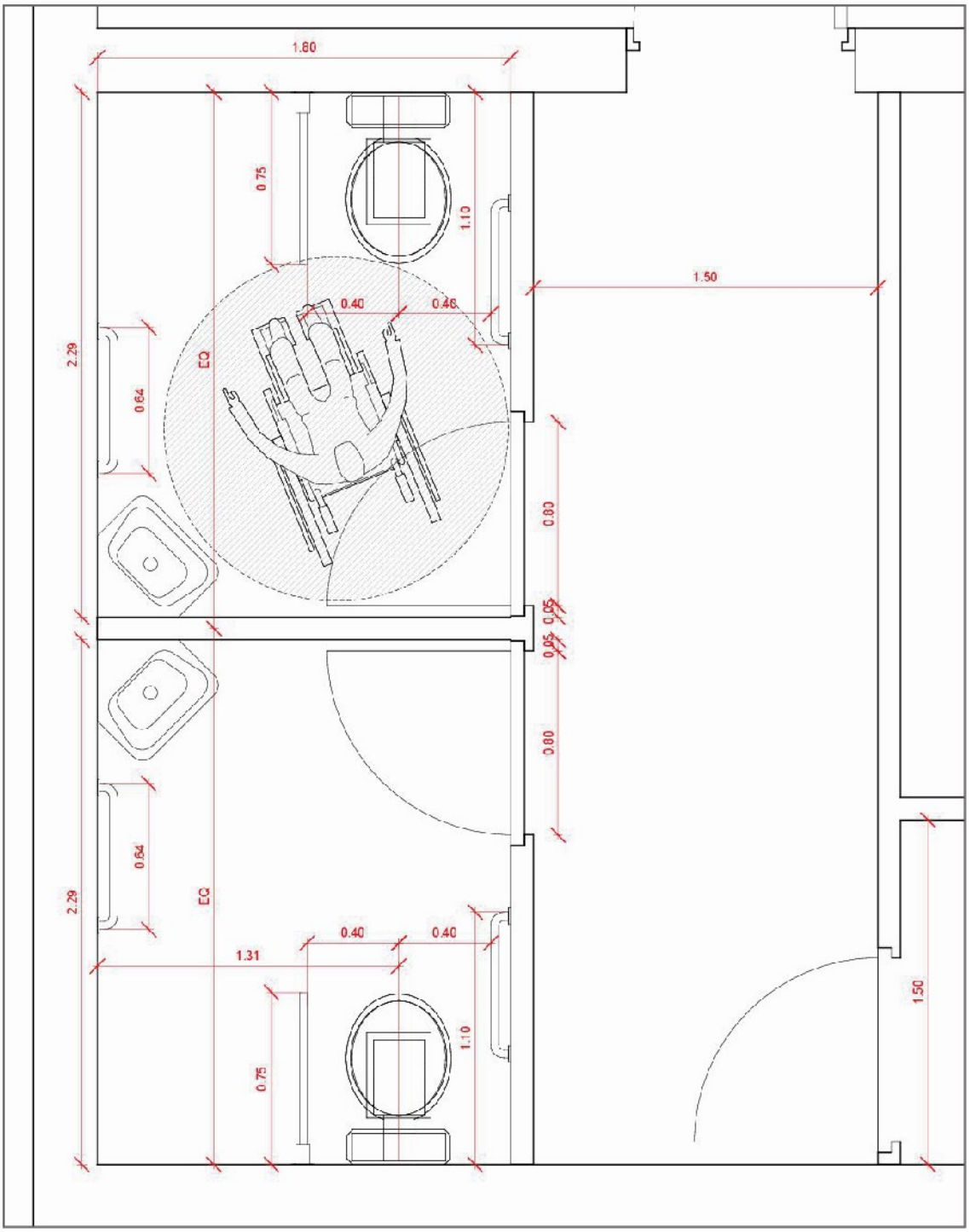
27: Render interno della serra bioclimatica
Fonte: estratto da Revit

28: Render del corridoio di collegamento vetrato principale
Fonte: estratto da Revit

Per concludere, fin dalle le prime lezioni è stato richiesto che la struttura progettata contenesse, oltre a dalle aree polifunzionali, degli spazi di servizio, in particolare un'infermeria. Questa conterrebbe, ipoteticamente, le diverse attrezzature necessarie al personale del centro per fronteggiare le crisi di varia natura a cui possono andare incontro i degenti. Inoltre, considerando che gran parte di questi ultimi hanno delle ridotte capacità motorie, si è scelto di concentrare, in una porzione della serra, i vari servizi di cui potrebbero avere bisogno per limitare eccessivi spostamenti verso il resto della struttura ospedaliera.

Più nel dettaglio sono stati progettati due servizi igenici ed una spaziosa infermeria - deposito, dislocati in maniera tale da essere facilmente raggiungibili sia dall'esterno che dall'interno della struttura. Questi locali, in particolare i corridoi ed i due bagni, sono stati progettati in modo da essere liberamente fruibili da coloro che utilizzano una carrozina. Per giungere a questo risultato ci si è documentati rispetto alle norme e prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici ai fini del superamento ed eliminazione delle barriere architettoniche fornite dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici n° 236 14/6/1989. Successivamente, sulla base delle informazioni raccolte, si è provveduto a parametrizzare le varie dimensioni di questi locali e dell'attrezzatura collocata al loro interno. Siamo stati in grado, quindi, di definire gli spazi relativi ai vari servizi. Inoltre, andando a vincolare le varie quote dei locali, è stato possibile mantenere automaticamente questi spazi a norma di

legge, come da noi inizialmente progettati, nonostante le successive modifiche apportate al progetto.

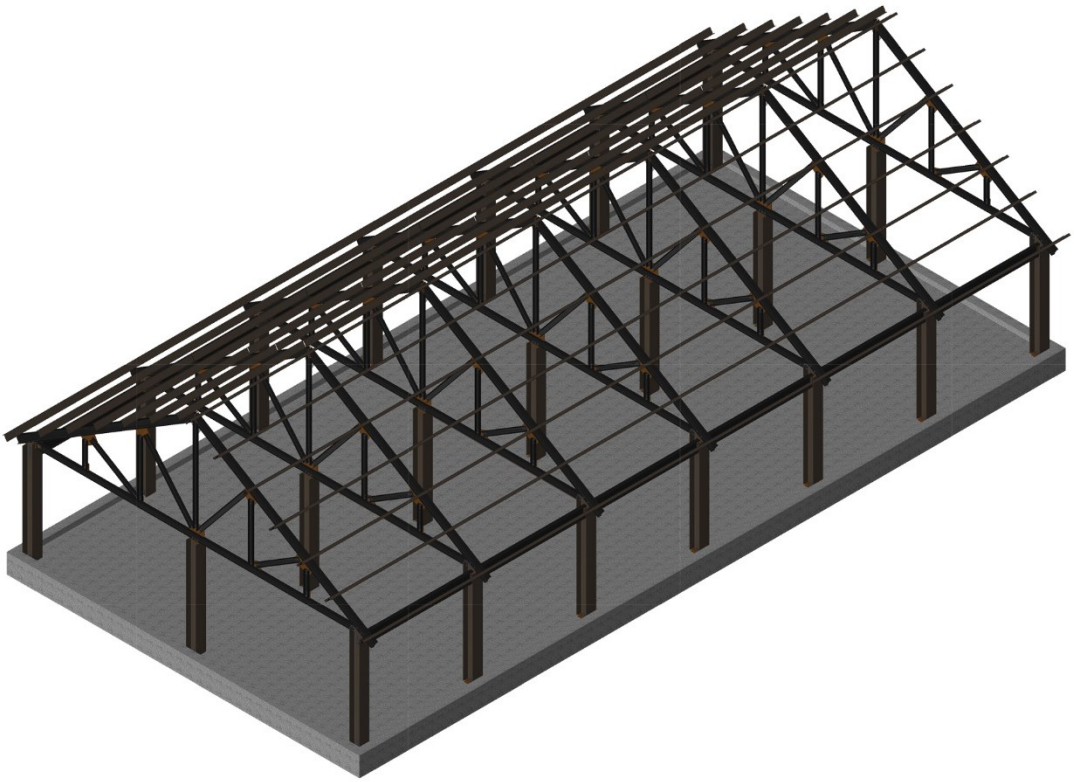


29: Planimetra dell'area dei servizzi parametrizzata
Fonte: Estratto da Revit

5.5.2 Modello Strutturale

La serra bioclimatica progettata per il Trompone è caratterizzata da una struttura portante mista. Il sistema strutturale è costituito da un telaio di pilastri, travi e

capriate in acciaio, fissato ad un tipo di fondazione superficiale, una plattea in csl armato.

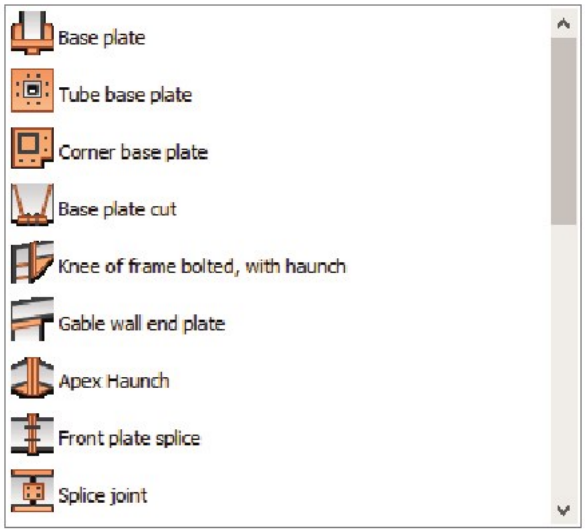


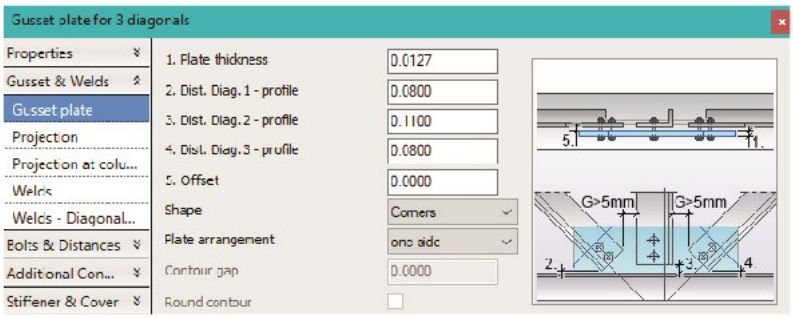
30: Vista assonometrica del modello strutturale
Fonte: estratto da Revit

Inizialmente, in una prima fase di modellazione, per realizzare il modello strutturale del manufatto edilizio ci si è limitati ad utilizzare le famiglie strutturali di travi, pilastri, ecc… disponibili nella libreria italiana messa a disposizione dal software Revit. Tutto questo senza preoccuparsi delle connessioni strutturali presenti tra questi elementi.

Successivamente, quando la modellazione della struttura ha richiesto di essere sviluppata ad un livello di dettaglio maggiore, è stato neccessario concentrarsi sulle connessioni presenti tra i vari elementi strutturali e le interazioni generate tra questi ultimi.

Di conseguenza si è optato, in un primo momento, per l'utilizzo di Structural Steel Connection. Questo strumento consiste in un plug in di revit che ne incrementa le funzionalità. Infatti, da la possibilità di creare e modificare, all'interno del programma, diverse tipologie di connessioni strutturali parametriche adatte ad una struttura in acciaio.





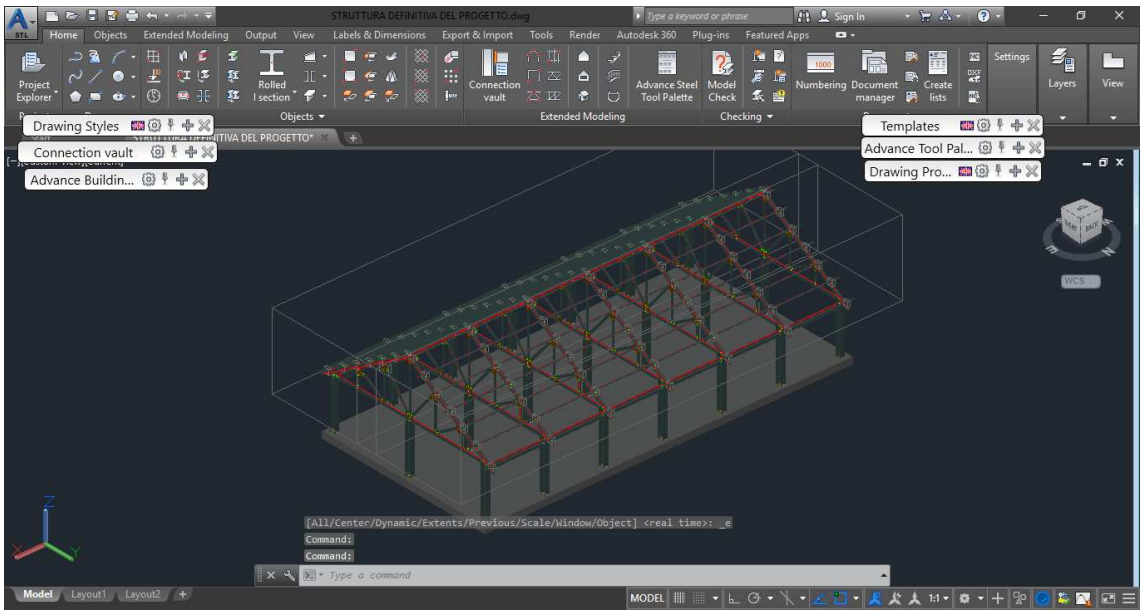
31: Connessioni strutturali messe a disposizione da Structural Steel Connection e i relativi parametri di modifica
Fonte: estratto da Revit

Sfortunatamente al giorno d'oggi l'utilizzo di questo plug in presenta numerosi limiti. Difatti, benchè possa essere installato su qualsiasi versione di Revit, le famiglie di connessioni strutturali possono essere modellate solo se connettono tra di loro famiglie strutturali certificate. Al momento, la casa produttrice di Revit non ha ancora reso disponibile una libreria italiana di famiglie strutturali certificate. Di conseguenza, l'unico modo per disporre di queste famiglie è quello di scaricare la libreria di sistema inglese. Tuttavia, a causa di incongruenze nella nomenclatura dei parametri, non è possibile modellare connessioni strutturali se la lingua impostata per il software non coincide con quella delle famiglie certificate utilizzate. È stato quindi necessario modificare la lingua del software, in modo da poter modellare liberamente questi elementi strutturali dell'edificio. Fortunatamente, dopo aver modellato le connessioni strutturali, è possibile

cambiare nuovamente la lingua del programma senza che questo voglia dire perdere il lavoro svolto.

Tuttavia, benchè le famiglie di connessioni siano parametriche e di conseguenza modificabili in ogni loro aspetto, la complessita di determinati giunti ed il numero di connessioni da modellare hanno spinto ad abbandonare l'utilizzo di questo plug in a favore di una differente soluzione.

Si è scelto, quindi, di ricorrere al programma Avanced Steel. Questo software, basato sulla piattaforma Autodesk di AutoCAD, accelera e semplifica i processi di progettazione, di dettaglio e di costruzione di strutture in acciaio. Questo è reso possibile da strumenti che generano automaticamente diverse tipologie di elaborati e disegni esecutivi. Inoltre, questo programma garantisce un'interoperabilità verticale con Revit, per il quale è prevista un'estensione, Advanced Steel for Revit. Grazie a quest'ultima è possibile esportare il modello strutturale sulla nuova piattaforma senza che vi sia una sensibile perdita di dati. L'utilizzo di questo software ha permesso, quindi, di modellare facilmente alcune tipologie di connessioni più elaborate e riprodurle automaticamente per un gran numero di giunti, come nel caso delle connessioni tra le travi della capriata e gli accarecci su cui poggia il sistema di copertura.



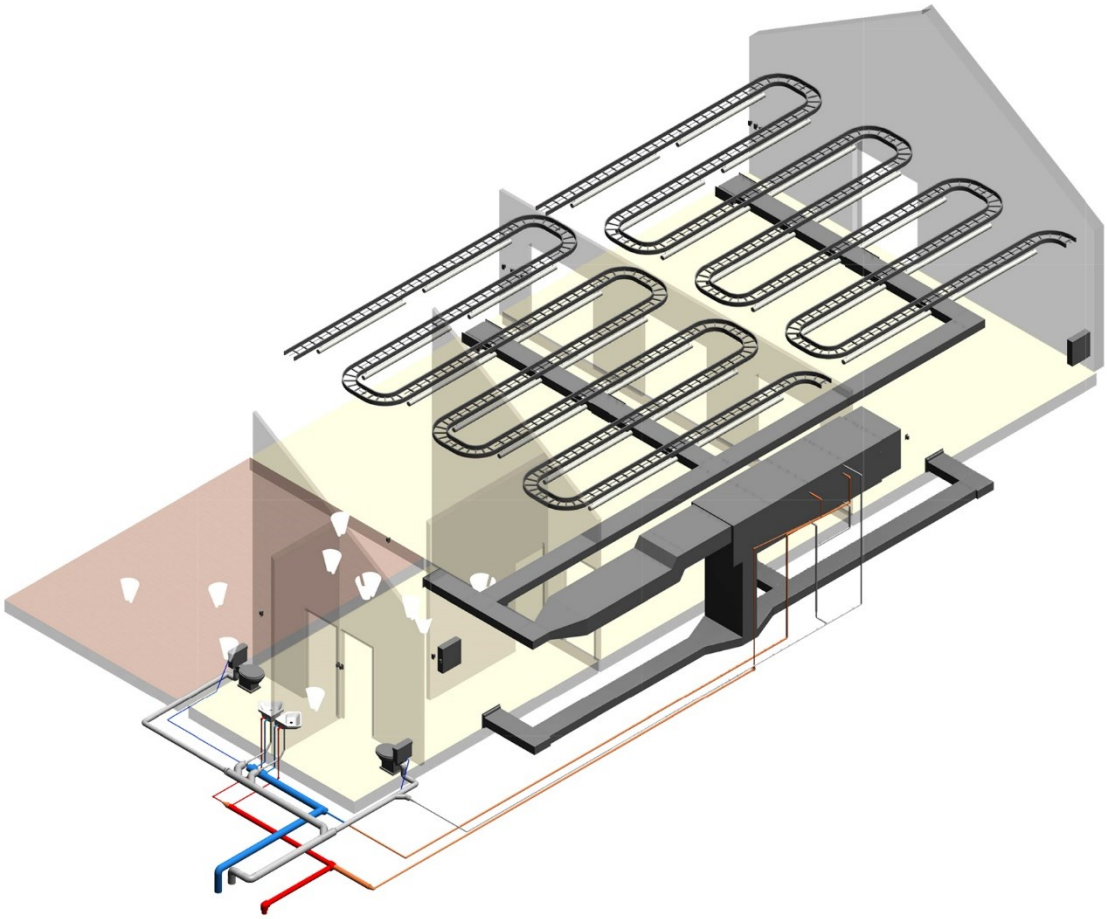
32: Modello strutturale realizzato su Advanced Steel
Fonte: estratto da Advanced Steel

Sfortunatamente, benche l'esportazione del modello strutturale da Revit ad Advanced Steel fosse avvenuta senza alcuna perdita di dati, lo stesso non è

avvenuto quando le modifiche apportate al modello sono state ricaricate sul file Revit. Nel corso dell'importazione, infatti, alcune tipologie di connessioni strutturali sono state convertite in sempici modelli generici o in connessioni generiche (connessioni simboliche prive di una geometria definità). Ciò è dovuto a una mancanza del software Revit. Questo si è rivelato in grado di riconoscere solo alune delle connessioni modellate con Advanced Steel. Questo ha comportato la realizzazione di un modello strutturale caratterizzato da un alto livello di dettaglio sulla piattaforma di Advanced Steel e uno altalenante su Revit. Infatti, all'interno di quest'ultimo software, mentre alcune connessioni sono modellate con un LOD intorno al 500 altre sono delle semplici connessioni generiche, puramente rappresentative, con un LOD pari a 100. Questa problematica è di facile soluzione se si passa da Revit 2017 a Revit 2018.

2.5.3 Modello MEP

Come spiegato approfonditamente nei capitoli precedenti, l'innovazione apportata dal BIM permette di sviluppare i diversi aspetti relativi ad un progetto parallelamente. Lo stesso vale per la componente impiantistica di una struttura. Questa dimensione dell'edificio, vista in secondo piano rispetto alle altre fino a poco tempo fa, assume lo stesso valore di quella architettonica e strutturale. Per questi motivi il software Revit mette a disposizione degli utenti delle apposite famiglie MEP (Mechanical Electrical Plumbing) per la modellazione dei diversi impianti. Queste permettono di effettuare diverse tipologie di analisi e sono legate a strumenti che automatizzano il layout del modello di fabbricazione.
All'interno del modello della serra bioclimatica, dal punto di vista degli impianti, sono stati modellati il sistema elettrico, quello idraulico ed un sistema di riscaldamento ad aria collegato ad un UTA.



33: Vista assonometrica del modello impiantistico
Fonte: estratto da Revit

Sietema idraulico

All'interno del progetto è stato modellato un impianto idraulico che collega tra di loro le varie attrezzature collocate nei servizi e nell'infermeria presenti nella struttura.

Per inserire nel modello dell'edificio i vari componenti dell'impianto idraulico, si è fatto ricorso sia a famiglie di sistema che a famiglie scaricate. Nel far ciò si è fatto attenzione che entrambe le tipologie di famiglie e la quota relativa al loro posizionamento, fossero adeguate alle particolari esigenze dell'utenza della struttura.

Dopo aver posizionato all'interno della serra i vari terminali idraulici, questi sono stati uniti tra di loro in tre sistemi che corrispondono all' acqua calda sanitaria, l'acqua fredda sanitaria e alle acque reflue. Successivamente alla definizione di questi tre sistemi, il software ha generato automaticamente i percorsi dei tre ipotetici impianti attraverso il comando genera layout. Percorsi modificati in un secondo momento in base alla posizione dei muri e dei punti di allacciamento alla

rete idraulica del centro. Durante questa operazione è stato necessario definire la quota altimetrica delle tubazioni pricipali e delle loro ramificazioni nelle impostazioni mecchaniche (presenti tra le impostazioni MEP).
Per passare alla modellazione delle tubature vera e propria, sulla base del layout definito precedentemente, sono state utilizzate delle famiglie di sistema e famiglie caricate messe a disposizione dall'azienda Wavin (leader europeo nell'offerta di tubazioni in materiale plastico per l'edilizia residenziale, non residenziale e per le opere di ingegneria civile). L'azienda in questione ha reso disponibile, nel sito della propria filiale italiana, un file Revit contenente delle famiglie parametriche di tubazioni e raccordi. Queste corrispondono, nella geometria e nei parametri prestazionali, ai componenti da loro prodotti.
Sempre nella sezione «Impostazioni meccaniche relative al sistema idraulico» sono state impostate come predefinite le famiglie importate, in modo da essere utilizzate sia per la modellazione delle tubazioni pricipali che per quella delle loro ramificazioni. Per concludere, in questa fase della modellazione sono state definite anche le angolazioni e le inclinazioni rispetto alle quali possono essere disposte tubazioni e raccordi. Il tutto in base a quanto specificato nel file divulgato dall'impresa. La stessa cosa vale per il loro dimensionamento, che dipende dalla velocità del fluido e dai vincoli imposti dai produttori.

Sistema elettrico

Gli elementi che costituiscono l'impianto elettrico modellato all'interno del progetto sono: diversi dispositivi di illuminazione, gli interruttori ad essi collegati ed i quadri elettrici che alimentano il tutto.
Durante la fase di progettazione si è optato per due differenti tipologie di dispositivi di illuminazione, in base alle differenti aree della struttura che vanno ad illuminare.
Per le due grandi sale polifunzionali della struttura sono stati scelti dei dispositivi tubolari a luce diretta. Questi ultimi, sospesi al di sopra delle stanze, sono alimentati da dei cavi passanti per delle passerelle, anch'esse sospese. Questo sistema sopraelevato ha il vantaggio di rendere l'impianto facilmente modificabile nel tempo, in quanto, grazie alle passerelle sospese, i cavi corrono lungo diversi punti perimetrali della stanza e non solo.
Per quanto riguarda, invece, l'area della struttura destinata ai servizi, si è optato per dei leggeri dispositivi di illuminazione indiretta a parete. Questi riescono ad

illuminare senza difficoltà degli spazi più piccoli di quelli precedentemente citati e non gravano eccessivamente sulle pareti perimetrali e i tramezzi interni. Infine, essendo dispositivi ad illuminazione indiretta, possono essere collocati ad una minore altezza dal terreno senza il rischio di abbagliare gli utenti della struttura, il che li rende più facilmente manutenibili da diversi punti di vista.
Questi dispositivi ed i loro interruttori fanno parte di tre sistemi distinti collegati a tre quadri elettrici che alimentano rispettivamente le due grandi sale polifunzionali e l'area dedicata ai servizi. In questo modo sarebbe teoricamente possibile isolare, dal punto di vista dell'alimentazione elettrica, una porzione della struttura se non utilizzata. Questi tre quadri sono a loro volta alimentati ad un ulteriore quadro che alimenta l'intera struttura e l'impianto di HVAC.
Dopo aver posizionato i quadri elettrici all'interno del progetto, è stato necessario configurarne il sistema di distribuzione.
Per far ciò si sono andati a definire nelle impostazioni elettriche (presenti tra le impostazioni MEP) i parametri di cablaggio, voltaggio ed infine la tipologia del sistema di distribuzione. Il sistema di distribuzione definito all'interno del progetto è un sistema a stella trifase neutro 125/220 che rispecchia quelli che sono i paremetri italiani in merito ai sistemi elettrici.

Sistema di ventilazione e riscaldamento

Per garantire un elevato comfort ambientale e non esporre l'utenza della struttura alle problematiche legate ad un tipo di ventilazione naturale (per sua natura imprecisa e legata all'intervento da parte del personale) si è optato per un sistema HVAC.
Come avvenuto predcedentemente, nel caso della modellazione del sistema idraulico, i vari dispositivi di ventilazione sono stati uniti in due sistemi, relativi all'aria di mandata e di ritorno, e connessi ad un UTA. Il percorso dei condotti è stato definito tramite il comando genera layout, ed opportunemente modificato, mentre i vari paremetri legati alle tipologie di condotti da impiegare ed il loro dimensionamento sono stati definiti nelle impostazioni meccaniche (presenti tra le impostazioni MEP).

2.6 Famiglie utilizzate

All'interno del modello sono state utilizzate diverse tipologie di famiglie. Sono state utilizzate, infatti, famiglie di sistema, famiglie caricabili, famiglie locali, e famiglie create appositamente per questo progetto sfruttando il sistema di modellazione parametrico messo a disposizione dal software.

Famiglie di sistema

Le famiglie di sistema sono delle entità definite dagli sviluppatori della casa produttrice del software. Queste famiglie sono state utilizzate principalmente durante la fase preliminare del progetto, per definire quella che sarebbe stata la conformazione dell'edificio e la relazione tra le sue varie parti. Successivamente la maggior parte sono state modificate, attraverso la creazione di più tipi, o sostituite da famiglie caricabili. Quelle che, attraverso modifiche dei parametri di tipo, sono state conformate alle esigenze di progetto.

In questo modo sono stati modificati:

- I pannelli di sistema standard, sostituiti da pannelli fotovoltaici in laminati vetro vetro (lastre di vetro con racchiuse al loro interno celle fotovoltaiche mono o policristalline ad elevate prestazioni) o da vetri bassoemissivi.
- il sistema di pavimentazione, caratterizzato da un rivestimento superficiale in poliuretano adatta ad una struttura assistenziale.

Riassumendo, questa tipologia di famiglie è particolarmente utile nella fase preliminare della modellazione, essendo messa a disposizione dal può essere utilizzata in tempi brevi, anche se questo può portare ad un'omologazione delle scelte progettuali.

Famiglie caricabili

Queste famiglie vengono create in file esterni, in formato RFA, e successivamente caricate in uno o più progetti. Questa tipologia di famiglia spesso viene messa a disposizione da parte di produttori per mostrare, a potenziali acquirenti, le caratteristiche e le potenzialità del proprio prodotto. Per questo motivo presentano un alto livello di LOD, livello di dettaglio.

Le principali famiglie caricabili utilizzate nel progetto sono:

- Le famiglie di tubazioni e raccordi con le quali è stato modellato il sistema idraulico, messe a disposizione dall'azienda Wavin (leader europeo nell'offerta di tubazioni in materiale plastico per l'edilizia residenziale, non residenziale e per le opere di ingegneria civile). L'azienda ha reso disponibile un file Revit contenente delle famiglie corrispondenti ai componenti da loro prodotti[40].

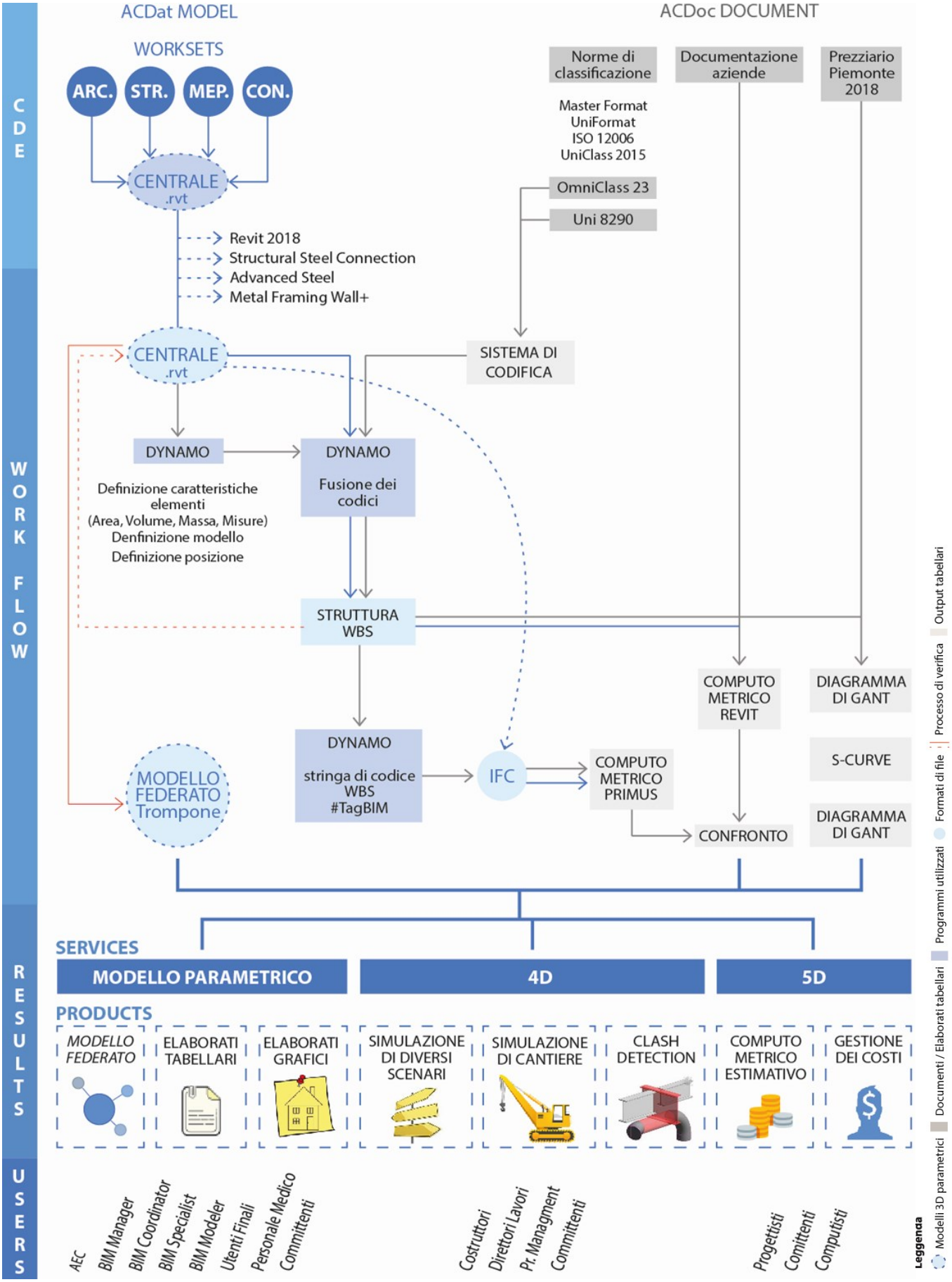
Famiglie caricabili modellate in fase di progetto

Per comprendere al meglio le potenzialità del software e successivamente per esigenze legate alla modellazione di determinati elementi, si è rivelata necessaria la modellazione di diverse famiglie.

Prima di modellare una famiglia di un componente edilizio da inserire nel progetto si è scelto di prendere familiarità con il sistema di modellazione offerto dal software, andando a creare un elemento più semplice, un tavolo.
Questo ha permesso di comprendere le modalità con cui generare nuove forme geometriche ed associarle a vincoli e parametri, usufruendo degli strumenti di editing grafico messi a disposizione dal programma.

Successivamente si è passati alla modellazione di una specifica famiglia di pannello da inserire all'interno della facciata continua.
Questo pannello, pur andando ad adattarsi a quella che è la griglia della facciata continua, conserva le caratteristiche di una porta vetrata. Il telaio mobile del serramento si adatta a quelle che sono le misure del pannello pur mantenendo la propria dimensione, che è legata ad un parametro, ed un rapporto di distanza. Inoltre, mentre sul lato esterno della porta è presente il modello di una maniglia, anch'esso modellato come famiglia generica, sul lato interno è presente un'estrusione su percorso che rappresenta una maniglia antipanico, entrambe sono vincolate. Allo stesso modo risulta parametrizzata la porzione di porta opaca inferiore. Questa superficie ha un'altezza pari a 40 cm che è quanto richiesto per evitare agli infissi possibili danni causati dall'attrito con le ruote delle carrozzine.

CONSTRUCTION MANAGEMENT



34: Schema metodologico per il Construction Management

2.7 Creazione del codice identificativo per la WBS

2.7.1 Codifiche normative

Prima di procedere nella definizione di una WBS, essenziale per lo sviluppo del Costruction Managment, si è dedicata molta attenzione alla scelta della codifica utilizzata per definirne i componenti. Attualmente, l'unica norma italiana che codifica gli elementi che compongono il sistema edilizio è l'UNI 8290.

Ad oggi sono presenti molti sistemi di classificazione delle informazioni e vi è una scarsa se non assente interconnessione tra di essi. Questo sia a causa delle differenze di legislazione e di lingua tra paesi diversi, sia a causa di metodologie costruttive differenti. Qui di seguito vengono riportate le differenti normative di classificazione prese in esame e le relative specifiche.

Uni 8290

L'Uni 8290 (Edilizia residenziale. Sistema tecnologico 1981), ispirata dai principi della Master List del CIB, è l'unica norma italiana che codifica gli elementi che compongono il sistema edilizio. Questa norma, e la codifica da essa proposta, si basa sulla scomposizione dell'edificio in classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche ed elementi tecnici, insiemi così demominati sulla base della UNI 7867 del 1978.

- Classi di unità tecnologiche: classi funzionali di unità tecnologiche.
- Unità tecnologica: unità che si identifica in un raggruppamento di funzioni, compatibili tecnologicamente (UNI 7867 Parte IV, 1978)
- Elemento tecnico: elemento che si identifica con un prodotto
- edilizio, più o meno complesso, capace di svolgere, completamente o parzialmente, funzioni proprie di una o più unità tecnologiche. L'insieme strutturato di unità tecnologiche o di elementi tecnici, rispettivamente secondo la fase operativa metaprogettuale del processo edilizio, determina un sistema tecnologico (UNI 7867 Parte IV, 1978).

I primi due livelli di classificazione raggruppano insiemi di elementi edilizi sulla base della loro funzione all'interno del sistema edilizio. Il terzo livello, invece, corrisponde a classi di prodotti che rispondono complessivamente o parzialmente alle funzioni delle unità tecnologiche. Ciò rende questo sistema di codifica adatto a considerare l'edificio come un insieme di opere compiute e può essere utilizzato

per stime analitiche (costo per unità di misura dei singoli interventi necessari alla realizzazione di un'opera) e stime elementari (costo per unità di misura delle unità tecnologiche).

Norma ISO 12006

La norma ISO 12006, redatta dall'International Organization for Standardization, consiste, nell' ambiente delle costruzioni, in uno standard internazionale per l'organizzazione delle informazioni. Questa norma è divisa in due parti. La prima è relativa alla struttura per la classificazione delle informazioni, mentre la seconda a quella legata allo scambio di di queste ultime.

Norma UniClass 2015

La norma UniClass 2015, pubblicata inizialmente nel 1997, è un sistema di classificazione per l'industria inglese. Questo è stato pensato in modo da poter comprendere al suo interno l'intera realtà del settore delle Costruzioni. Questa norma, ed il sistema di codifica da esso proposto, ha subito diverse modifiche nel corso degli anni. Tra queste la più importante è quella avvenuta tra il 2013 e il 2015, a cui si deve il nome UniClass 2015. Questa modifica ha modernizzato il contenuto della norma e lo ha reso compatibile con i nuovi sistemi di progettazione BIM.

Una delle specificità di questa norma è la possibilità d'impiegarla per classificare i dati relativi alle scelte tecnologiche e ai costi, il che è possibile grazie ad una struttura compatibile con la ISO12006-2. Inoltre, le tabelle in cui si articola la norma di codifica, sono strutturate in maniera tale da poter includere le nuove tecnologie presenti sul mercato ed ache quelle quelle in fase di sviluppo.

Il codice identificativo proposto da questo sistema di codifica è definito da coppie di numeri decimali che ne indicano progressivamente il livello di dettaglio. Queste partono dallo specificare il gruppo di appartenenza dell'elemento a cui sono associate fino a definirlo in maniera sempre più dettagliata ed univoca.

UniFormat II

L'UniFormat II è nata nel 1998 grazie alla alla collaborazione tra ASMT, CSI e CSC. Questo sistema di codifica rappresenta una soluzione standardizzata per organizzare le informazioni di costruzione. La norma prevede una struttura di classificazione articolato in tre livelli.

Nel primo livello le principali famiglie di oggetti vengono ripartite in macrocategorie, come: involucro, fondazioni, ecc... Il secondo livello, invece, consiste in una scomposizione del primo, mentre il terzo, a sua volta, da un'indicazione più specifica degli oggetti contenuti nel livello precedente. Recentemente è stato introdotto un quato livello, che, scomponendo ulteriormente il terzo livello, aumenta il livello di dettaglio.

OmniClass

Lo standard proposto dall'OmniClass, sviluppata ed impiegata specialmente in Nord America, rispetto a quelli precedentemente citati, è un innovativo sistema di classificazione nel settore delle costruzioni. Questa norma di codifica è articolata in maniera tale da seguire una costruzione per il suo intero ciclo di vita, dalle prime fasi di progettazione fino alla dismissione, comprendendone tutti i livelli di dettaglio indipendentemente dall'uso di quest'ultima (industriale, residenziale, commerciale, ecc..) o la tipologia di sviluppo (orrizzontale, verticale, ecc..). Qualunque informazione generata in qualunque momento del processo edilizio e successivamente è conservata per poter essere consultata in qualsiasi momento. L'Omniclass è composta da 15 tabelle relative a diverse informazioni della struttura.

Master Format

La Master Format è stata creata nel 1963 e modificata fino alla sua versione definitiva del 1974 grazie al contrbuto agli istituti di ricerca nord americani del CSI (Construction Specification Institute) e del CSC (Construction Specification Canada). Si tratta di un sistema di codifica delle informazioni, utilizzato principalmente negli Stati Uniti ed in Canada, legato all'industria delle costruzioni. La norma, infatti, è strutturata in un insieme di numeri e titoli che rappresentano pratiche costruttive anzichè prodotti da costruzione. La Master Format è generalmente impiegata per la titolazione e sistemazione di manuali di progettazione.

Questo sistema di codifica è costituito da un primo gruppo, privo di una classificazione numerica, e da dei sottogruppi caratterizzati da delle coppie di numeri decimali. Di conseguenza ogni oggetto viene identificato in maniera univoca per mezzo di un codice a 6 cifre. Questo può essere espanso liberamente senza che questo determini lo stravolgimento dell'intero sistema.

2.7.2 Codice identificativo

Come mostrato nei paragrafi precedenti, al giorno d'oggi esistono diversi sistemi di codifica. Questi sono caratterizzati da differenti fini, sistemi di raggruppamento e strutture gerarchiche interne.
Per creare un sistema di identificazione univoca da applicare agli elementi che compongono il progetto, si è scelto di utilizzare più sistemi di catalogazione, in modo da prendere il meglio da entrambi e compensarne le rispettive mancanze. Mentre la prima parte del codice identificativo si riferisce alla porzione di fabbricato di cui fa parte l'elemento edilizio, la seconda e la terza si rifanno rispettivamente alle codifiche riportate nella UNI 8290 e nella Omniclas 23.

La norma UNI 8290 permette di identificare facilmente gli elementi costruttivi sulla base della funzione che ricoprono all'interno del sistema edilizio. Di conseguenza, utilizzando questa tipologia di codifica, è possibile osservare quelle che sono le spese di costruzione legate a singole classi di unità tecnologiche (come strutture, chiusure, impianti, ecc..) e quale di queste incide maggiormente sul costo finale del progetto ed in che modo.
Tuttavia, questo sistema di classificazione non risulta sufficientemente dettagliato. Infatti, l'utilizzo di quest'unica codifica non sarebbe stato in grado di identificare in maniera univoca i diversi componenti edilizi che compongono il progetto. Ad esempio, sia le pareti perimetrali opache che le facciate vetrate continue, pur essendo due elementi chiaramente differenti tra di loro, avrebbero condiviso il codice “2.1.1” relativo a tutte le tipologie di pareti perimetrali verticali esterne.

Per questa ragione si è scelto di incrementare il codice indentificativo con la codifica suggerita dalla Omniclas 23. Questa tabella della Omniclass, in particolare, presenta un sistema di codifica con il più alto livello di dettaglio. Se l'Omniclass 21 può essere paragonata, per certi versi, all'UNI 8290, la 23 se ne differenzia fortemente. In questo caso, infatti, gli elementi costruttivi non sono più raggruppati da un punto di vista funzionale, ma sono visti come prodotti commerciali. Questo, non solo permette di identificare in maniera univoca le pareti perimetrali opache e le facciate vetrate con due codici distinti, ma anche di distinguerne i componenti costitutivi, come i pannelli vetrati e il telaio di

quest'ultima. Per concludere, l'utilizzo di questa doppia codifica permette di identificare gli elementi del progetto sia da un punto di vista funzionale che da un punto di vista del prodotto.

Dopo questi primi tre riferimenti il codice identificativo riporta anche il modello dell'elemento. Questo parametro varia in base a diverse caratteristiche di quest'ultimo quali: area, volume, peso e misure. Questa porzione del codice è particolarmente utile per identificare i pannelli prefabbricati, di diverse forme e dimensioni, che costituiscono il tamponamento opaco dell'edificio.

Infine, all'interno del codice identificativo è riportata la posizione dei singoli elementi ed un parametro progessivo che ne indica la posa.
Anche questi ultimi due parametri sono stati pensati principalmente per gestire il posizionamento e la posa dei pannelli di tamponamento prefabbricati. In questo modo, infatti, è possibile identificare univocamente il pannello prefabbricato in quanto tale, il suo modello, la sua posizione e sapere quando questo dovrà essere posizionato rispetto agli altri pannelli.

A_2.1.1_E10_M1_P.1_1

A Fabbricato in cui è impiegato l'elemento edilizio, A, B o C

2.1.1 Classificazione dell'elemento in base all'UNI 8290, questo permette di contraddistinguere l'elemento deilizio da un punto di vista funzionale

E10 Classificazione dell'elemento in base all'Omniclass 23, identificato i componenti edilizi come prodotti commerciali, permette di identificarli con un maggiore livello di dettaglio. I codici dell'Omniclass 23, essendo complessi e di non facile consultazione, sono stati convertiti. Qui di seguito è riportata la tabella di conversione

M1 Modello, questo valore contraddistingue i componenti edilizzi sulla base dell'area, del volume, della massa e delle misure

P.1 Posizione in cui va collocato il componente edilizio durante la posa

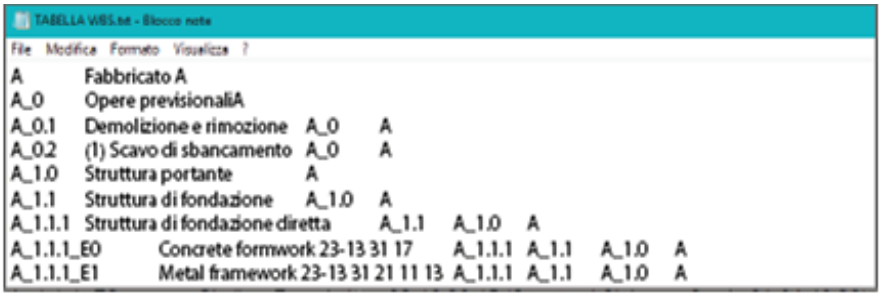
1 Ordine di posa del componente edilizio

E0	Concrete formwork 23-13 31 17
E1	Metal framework 23-13 31 21 11 13
E2	Shallow Foundations 23-13 29 15 (Structural Slabs-on-Grade 21-01 40 20)
E3	Columns 23-13 35 11 13 11
E4	Beams 23-13 35 11 13 13
E5	Web Beams and Joists 23-13 35 19 15
E6	(1)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
E7	(1)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
E8	(1)Curtain Wall Infill Panels 23-13 33 27 11 11 15
E9	(2)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
E10	Precast Modules 23-13 33 25
E11	Glazed Door 23-17 11 21
E12	(1)Metal Windows 23-17 13 13
E13	Expanded Polystyrene Slab and Board Thermal Insulation 23-13 25 19 11 11 11
E14	Cementitious Floor Underlayments 23-15 17 11 13
E15	Plastic Flooring 23-15 17 15 13
E16	Exterior Roof Panels 23-13 39 17
E17	Glazed Roof Structures 23-13 33 27 19
E18	Roof Windows 23-17 13 23
E19	(3)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
E20	Rock Wool Blanket Thermal Insulation 23-13 25 19 13 13
E21	Calcium Silicate Board Fireproofing 23-13 25 11 11 11

35: Elenco dei codici corrispondenti alla codifica proposta dalla Omniclass 23

2.8 Codice WBS nel progetto

Per associare i diversi elementi parametrici presenti nel progetto con i codici WBS corrispondenti, per poter procedere al costruction management della struttura, si è ricorso a diverse soluzioni. Inanzitutto è stato utilizzato un parametro di tipo, generato automaticamente dal software, con nome di *Nota chiave*, *Key Note* nella versione inglese, dalle caratteristiche singolari. Questo parametro, oltre ad essere associato a qualsiasi entità modellata, compresi gli elementi di dettaglio ed i materiali, può essere compilato in diversi modi. Il primo metodo, più comune, è la compilazione manuale, come se si trattasse di un qualsiasi altro parametro. Tuttavia, se nelle impostazioni di Revit si va nella sezione Nota chiave, all'interno della cartella Etichette, a sua volta contenuta nella sezione Annota, è possibile importare all'interno del programma un file esterno in formato TXT.



A	Fabbricato A					
A_0	Opere previsionaliA					
A_0.1	Demolizione e rimozione	A_0	A			
A_0.2	(1) Scavo di sbancamento	A_0	A			
A_1.0	Struttura portante	A				
A_1.1	Struttura di fondazione	A_1.0	A			
A_1.1.1	Struttura di fondazione diretta	A_1.1	A_1.0	A		
A_1.1.1_E0	Concrete formwork 23-13 31 17	A_1.1.1	A_1.1	A_1.0	A	
A_1.1.1_E1	Metal framework 23-13 31 21 11 13	A_1.1.1	A_1.1	A_1.0	A	

36: Stralcio del file .txt utilizzato per creare la WBS

In questo modo, non solo possono essere importati nel software i codici che verranno utilizzati per campire il parametro Nota chiave, ma questi possono anche essere classificati in una struttura gerarchica. Di conseguenza, si possono sfruttare le caratteristiche di questo specifico parametro per importare la struttura della WBS, oltre che i codici che la compongono, all'interno del programma. Il codice associato ai diversi tipi di famiglie, utilizzando il parametro Nota chiave, è stato generato identificando la porzione di fabbricato in cui fanno parte e il sistema di codifiche proposte dalla norma Uni 8290 e dall'Omniclas 23.

Note chiave - [C:\Users\Francesco\Desktop\Note chiave.txt]

Valore chiave	Testo nota chiave
A	Fabbricato A
A_0	Opere previsionali
A_0.1	Demolizione e rimozione
A_0.2	(1) Scavo di sbancamento
A_1.0	Struttura portante
A_1.1	Struttura di fondazione
A_1.1.1	Struttura di fondazione diretta
A_1.1.1_E0	Concrete formwork 23-13 31 17
A_1.1.1_E1	Metal framework 23-13 31 21 11 13
A_1.1.1_E2	Shallow Foundations 23-13 29 15 (Structural Slabs-on-Grad...
A_1.2	Struttura di elevazione
A_1.2.1	Strutture di elevazione verticali
A_1.2.1_E3	Columns 23-13 35 11 13 11
A_1.2.2	Strutture di elevazione orizzontali ed inclinate
A_1.2.2_E4	Beams 23-13 35 11 13 13
A_1.2.2_E5	Web Beams and Joists 23-13 35 19 15
A_1.2.2_E6	(1)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
A_2.0	Chiusura
A_2.1	Chiusura verticale
A_2.1.1	Pareti perimetrali verticali
A_2.1.1_E7	(1)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
A_2.1.1_E8	(1)Curtain Wall Infill Panels 23-13 33 27 11 11 15
A_2.1.1_E9	(2)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
A_2.1.1_E10	Precast Modules 23-13 33 25
A_2.1.2	Infissi esterni verticali
A_2.1.2_E11	Glazed Door 23-17 11 21
A_2.1.2_E12	Metal Windows 23-17 13 13
A_2.2	Chiusura orizzontale inferiore
A_2.2.1	Solai a terra
A_2.2.1_E13	Expanded Polystyrene Slab and Board Thermal Insulation 2...
A_2.2.1_E14	Cementitious Floor Underlayments 23-15 17 11 13 11
A_2.2.1_E15	Plastic Flooring 23-15 17 15 13
A_2.4	Chiusura superiore
A_2.4.1	Coperture
A_2.4.1_E16	Exterior Roof Panels 23-13 39 11
A_2.4.1_E17	Glazed Roof Structures 23-13 33 27 19
A_2.4.2	Infissi esterni orizzontali
A_2.4.2_E18	Roof Windows 23-17 13 23
A_3.0	Partizione interna
A_3.1	Partizione interna verticale
A_3.1.1	Pareti interne verticali
A_3.1.1_E19	(3)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
A_3.1.1_E20	Rock Wool Blanket Thermal Insulation 23-13 25 19 13 13
A_3.1.1_E21	Calcium Silicate Board Fireproofing 23-13 25 11 11 11
A_3.1.1_E22	Gypsum Plaster Fixed Partitions 23-15 11 11 13 11
A_3.1.1_E23	(2)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
A_3.1.1_E24	(2)Curtain Wall Infill Panels 23-13 33 27 11 11 15
A_3.1.2	Infissi interni verticali
A_3.1.2_E25	Plastic Doors 23-17 11 17
A_3.1.2_E26	Fire Doors 23-17 11 31
A_3.1.2_E27	Glazed Door 23-17 11 21
A_3.2	Partizione interna orizzontale
A_3.2_E28	Ceiling Panels 23-15 13 21
A_5.0	Impianto di fornitura servizi
A_5.1	Impianto di climatizzazione

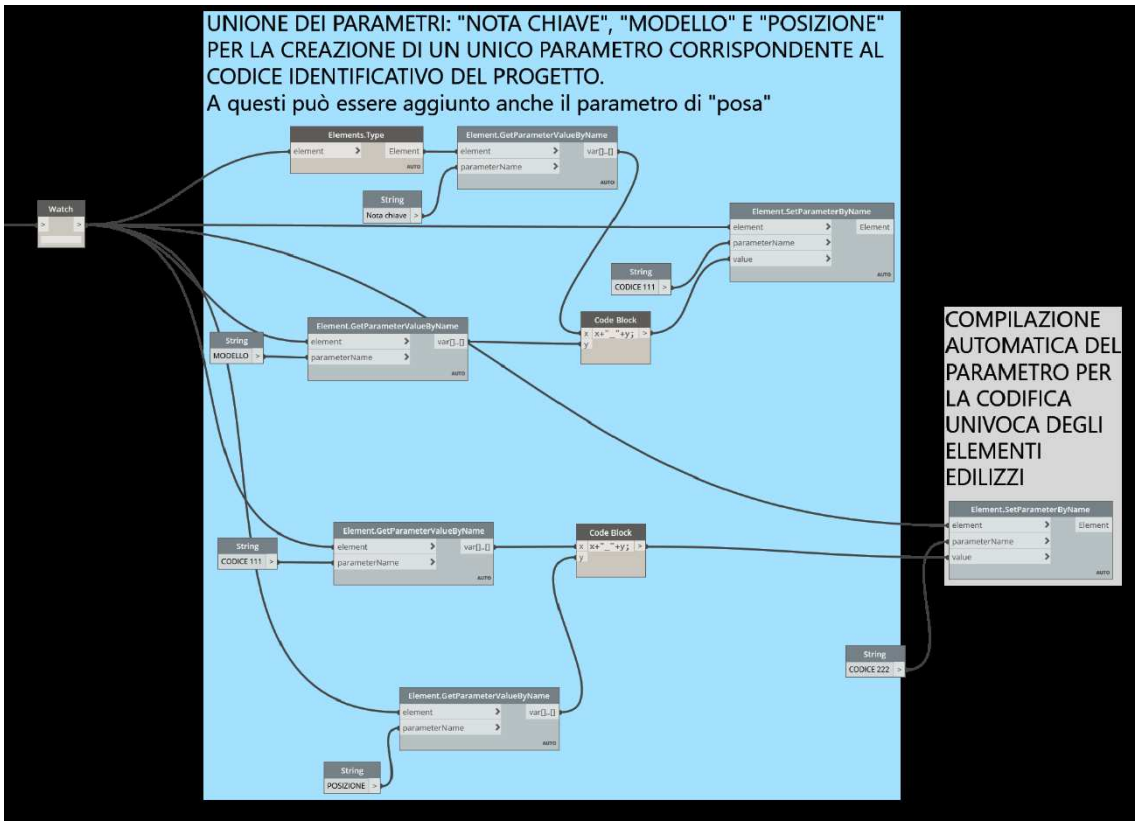
B_1.1.1_E0	Concrete formwork 23-13 31 17
B_1.1.1_E1	Metal framework 23-13 31 21 11 13
B_1.1.1_E2	Shallow Foundations 23-13 29 15 (Structural Slabs-on-Grad...
B_1.2	Struttura di elevazione
B_1.2.1	Strutture di elevazione verticali
B_1.2.1_E3	(3)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
B_1.2.2	Strutture di elevazione orizzontali ed inclinate
B_1.2.2_E4	(4)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
B_1.2.2_E5	Beams 23-13 35 11 13 13
B_2.0	Chiusura
B_2.1	Chiusura verticale
B_2.1.1	Pareti perimetrali verticali
B_2.1.1_E6	(3)Curtain Wall Infill Panels 23-13 33 27 11 11 15
B_2.1.2	Infissi esterni verticali
B_2.1.2_E7	Glazed Door 23-17 11 21
B_2.2	Chiusura orizzontale inferiore
B_2.2.1	Solai a terra
B_2.2.1_E8	Expanded Polystyrene Slab and Board Thermal Insulation 2...
B_2.2.1_E9	Cementitious Floor Underlayments 23-15 17 11 13 11
B_2.2.1_E10	Plastic Flooring 23-15 17 15 13
B_2.4	Chiusura superiore
B_2.4.1_E11	Exterior Roof Panels 23-13 39 11
C	Fabbricato C
C_0	Opere previsionali
C_0.2	(3) Scavo di sbancamento
C_1.0	Struttura portante
C_1.1	Struttura di fondazione
C_1.1.1	Strutture di fondazione dirette
C_1.1.1_E0	Concrete formwork 23-13 31 17
C_1.1.1_E1	Metal framework 23-13 31 21 11 13
C_1.1.1_E2	Shallow Foundations 23-13 29 15 (Structural Slabs-on-Grad...
C_1.2	Struttura di elevazione
C_1.2.1	Strutture di elevazione verticali
C_1.2.1_E3	(3)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
C_1.2.2	Strutture di elevazione orizzontali ed inclinate
C_1.2.2_E4	(4)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
C_1.2.2_E5	Beams 23-13 35 11 13 13
C_2.0	Chiusura
C_2.1	Chiusura verticale
C_2.1.1	Pareti perimetrali verticali
C_2.1.1_E6	(3)Curtain Wall Infill Panels 23-13 33 27 11 11 15
C_2.1.2	Infissi esterni verticali
C_2.1.2_E7	Glazed Door 23-17 11 21
C_2.2	Chiusura orizzontale inferiore
C_2.2.1	Solai a terra
C_2.2.1_E8	Expanded Polystyrene Slab and Board Thermal Insulation 2...
C_2.2.1_E9	Cementitious Floor Underlayments 23-15 17 11 13 11
C_2.2.1_E10	Plastic Flooring 23-15 17 15 13
C_2.4	Chiusura superiore
C_2.4.1	Coperture
C_2.4.1_E11	Exterior Roof Panels 23-13 39 11

Testo nota chiave:

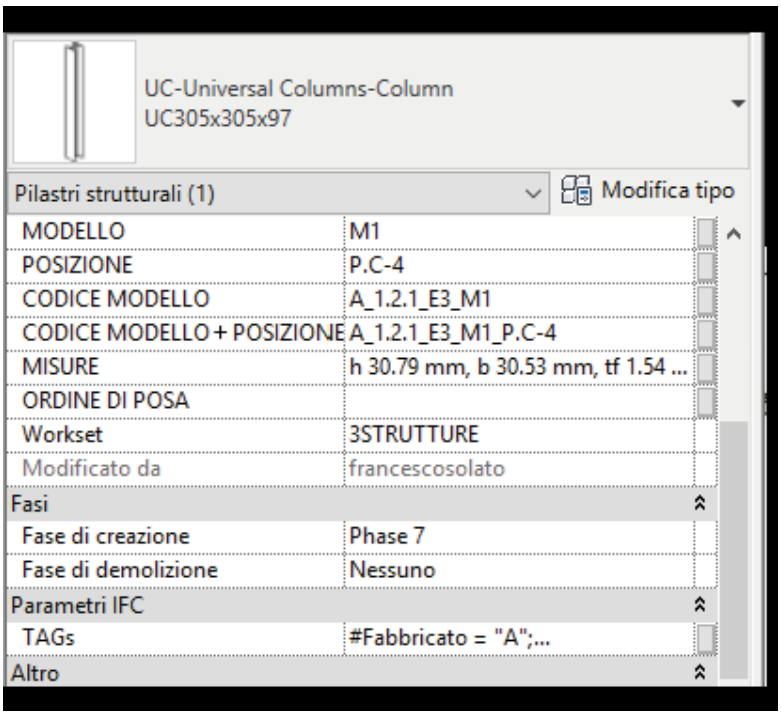
37: Parametro tipo "Nota chiave" creato tramite importazione di un file .txt ed articolato sulla base della WBS del progetto
Fonte: estratto da Revit

Tuttavia, trattandosi di un parametro di tipo, può portare solo ad una identificazione parziale degli elementi presenti all'interno del progetto. Se si vogliono identificare le singole istanze, è necessario creare, per l'appunto, dei parametri d'istanza. A questo proposito sono stati definiti i parametri relativi al modello, alla posizione ed alla posa dei singoli componenti edilizi, descritti nei paragrafi seguenti.

Di conseguenza il vero e proprio codice WBS, in grado di identificare in maniera univoca ogni elemento del modello virtuale, è la somma del parametro di tipo, Nota chiave, e dei tre parametri d'istanza precedentemente citati. Questi parametri sono stati effettivamente combinati tra di loro grazie all'utilizzo di Dynamo, un plug in di Revit utile per la gestione dei dati. Utilizzando questa applicazione è stato possibile estrarre da ogni elemento i valori relativi ai parametri, di tipo e d'istanza precedentemente menzionati, per poi riportarli in un nuovo unico parametro, che è la somma dei precedenti.



38: Script di Dynamo per la fusione e la compilazione automatica in un nuovo parametro di quelli in cui si scompone la WBS: Nota chiave, Modello, Posizione



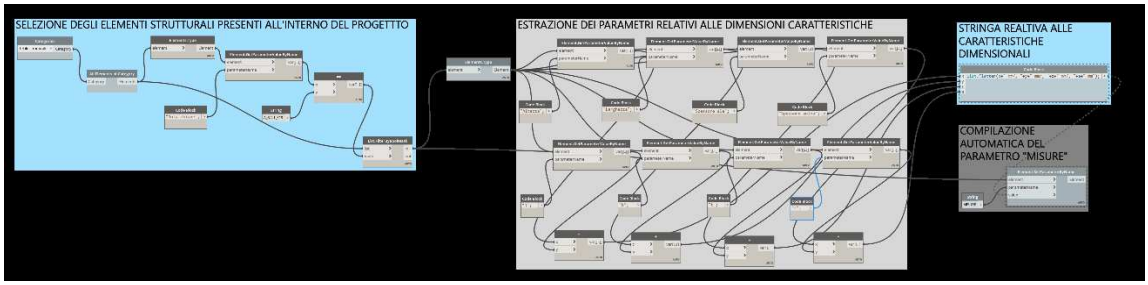
39: Parametri d'istanza che, insieme al parametro di tipo "Nota chiave", compongono un codice per l'identificazione univoca di ogni elemento presente all'interno del progetto
Fonte: estratto da Revit

L'attribuzione dei codici WBS in Revit ha avuto diversi vantaggi oltre a quello di poter realizzare una simulazione su Naviswork in un secondo momento. È stato possibile, infatti, creare un computo metrico del progetto che, se modifiato nei filtri o nelle impostazioni di raggruppamento, può mostrare il costo relativo ad un insieme più o meno ampio delle diverse voci della WBS. Inoltre, modificado i filtri relativi alle fasi di Revit in cui si articola il progetto, è possibile osservare quali elementi corrispondono ad ogni fase, il loro codice WBS identificativo ed il rispettivo costo.

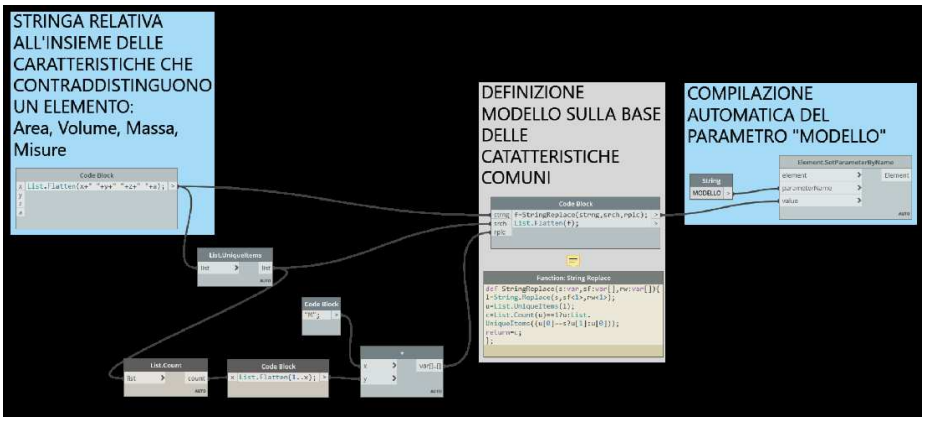
2.8.1 Parametro di modello

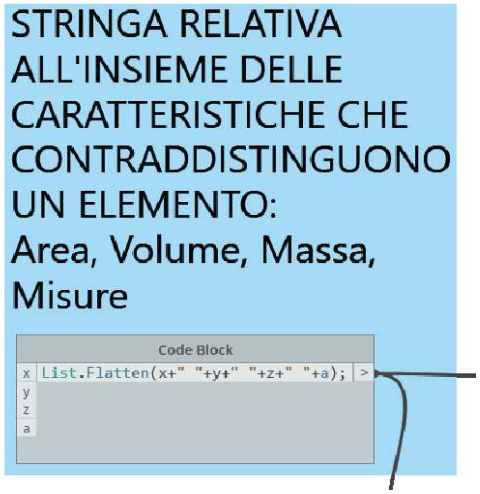
Come anticipato precedentemente, è stato creato un parametro d'istanza, successivamente condiviso, che riporta il modello di ogni elemento. Questo parametro varia in base alle diverse caratteristiche di ogni componente architettonico come: area, volume, massa e misure. In questo modo è possibile definire con esattezza la quantità di elementi di un determinato modello che vengono impiegati all'interno del progetto. Di conseguenza è possibile effettuare più facilmente l'ordine d'acquisto o la realizzazione di questi ultimi e operazioni di stoccaggio e posa in opera. Grazie ad uno script di Dynamo è stato possibile

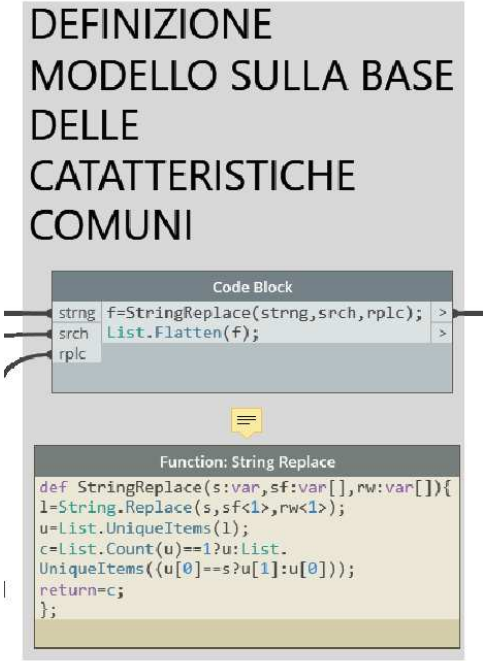
risalire alle caratteristiche dimensionali di ogni elemento e far corrispondere automaticamente gli elementi con le medesime specifiche ad un unico modello.

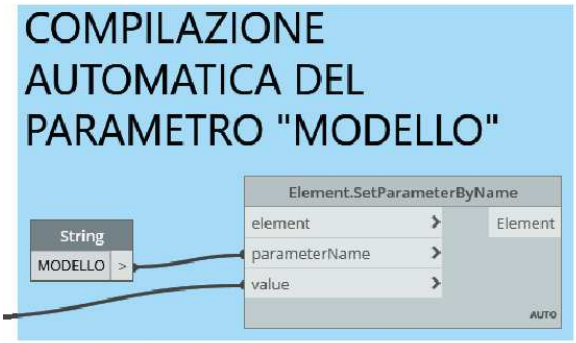


40: Script di Dynamo per l'estrazione dei parametri relativi alle misure caratteristiche dei diversi componenti edilizzi necessarie per definirne il modello









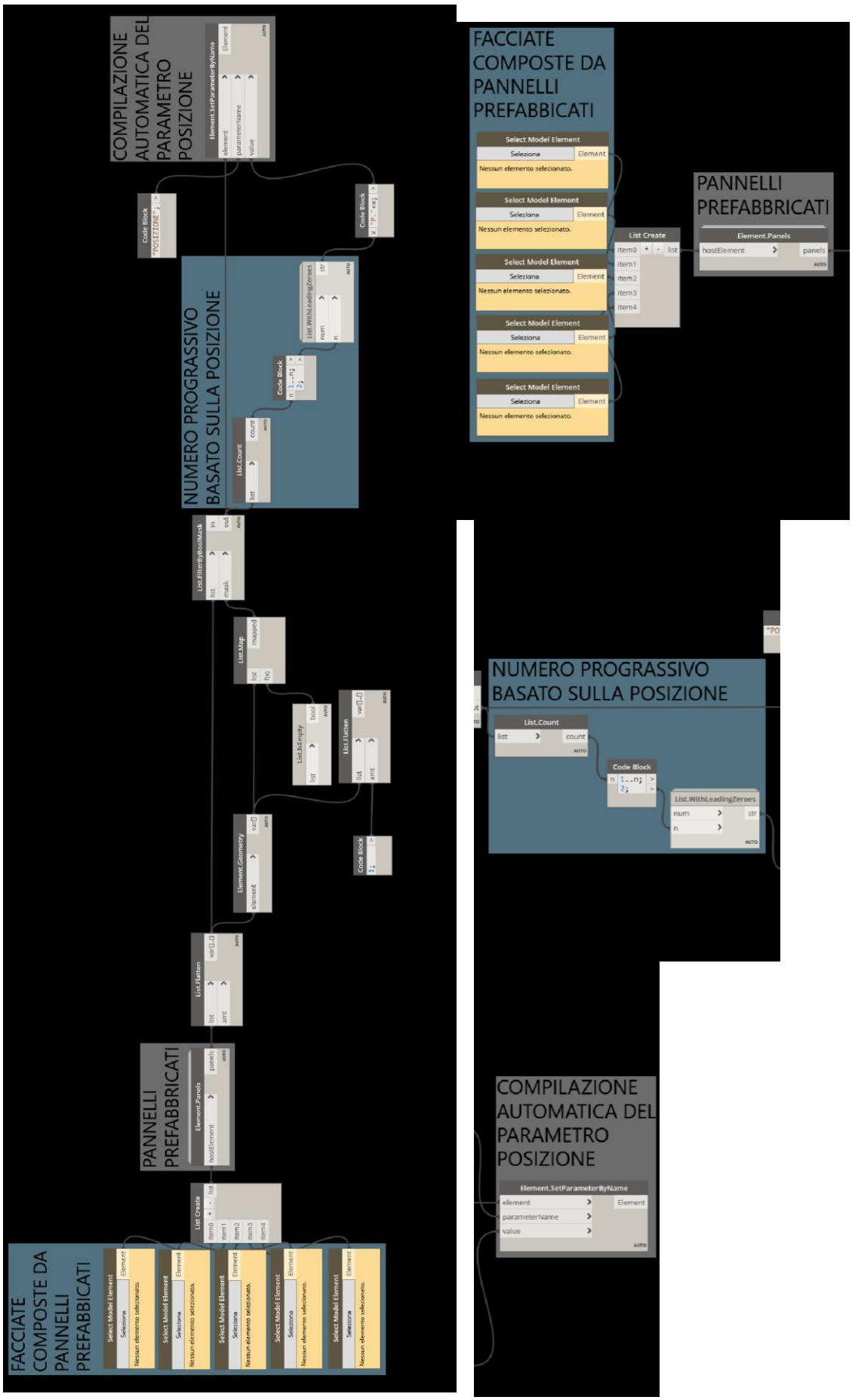
41: Script di Dynamo legato alla definizione e compilazione del parametro "modello"

2.8.2 Parametro di posizione

Il parametro relativo alla posizione occupata dai vari elementi edilizi presenti all'interno del progetto è stato quello più complesso da ottenere. Questo perchè Revit, il software utilizzato per la modellazione, identifica differentemente la posizione delle istanze appartenenti alle diverse famiglie presenti nel file. Infatti, se questo processo è automantico nel caso dei pilastri, che risconoscono la griglia strutturale sulla base della quale sono stati modellati, non lo è per altri elementi. Inoltre, mentre per elementi come pilastri, aperture e simili è sufficiente un riferimento spaziale puntuale, questo può non valere per altri elementi costruttivi come le travi e simili. Infine, i sistemi di riferimento adottati per definire la posizione di determinati elementi costruttivi possono non essere efficaci per altri. La griglia strutturale, utile per identificare la posizione di elementi strutturali come travi o pilastri, può rivelarsi inutile o imprecisa nel determinare la posizione di altri elementi come tramezzi interni o porte.

Per queste ragioni è stato necessario, prima di tutto, definire vari sistemi di riferimento per determinare la posizione dei diversi elementi. Infatti, se per definire la posizione degli elementi strutturali è stato spontaneo ricorrere alla griglia di questi ultimi, per altri elementi elementi la scelta non è stata altrettanto intutitiva.

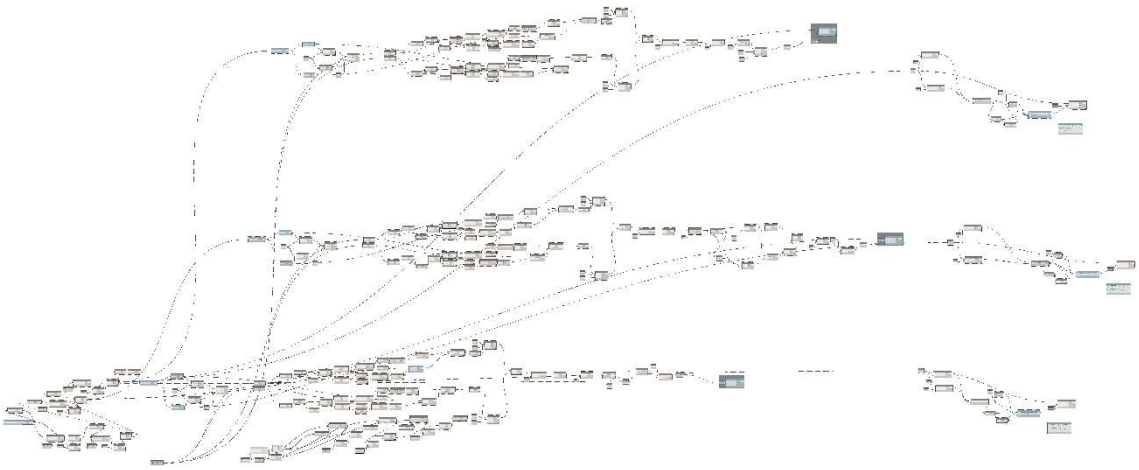
Inizialmente si è ipotizzato di riportare le coodinate X ed Y, espresse in cm, di ogni elemento, generate da un piano cartesiano avente come punto di origine uno dei vertici della plattea del fabbricato. Successivamente, benchè possibile grazie a degli script creati sul plug in Dynamo, questa soluzione è stata scartata in favore di un altra di più facile consultazione. Elementi come i pannelli prefabbricati, vetrati, ecc.., sono stati numerati progressivamente verso destra partendo dal vertice sinistro del fronte della struttura. In questo modo è possibile ottenere dal programma dei prospetti che riportano la posizione dei diversi elementi.



42: Script di Dynamo legato alla definizione e compilazione automatica del parametro "posizione"

Per quanto riguarda altri componenti edilizi, come le porte o gli strati di pavimentazione, la loro posizione è determinata dall'elemento costruttivo che li ospita o dalla porzione di fabbricato in cui si trovano. Successivamente è stato necessario utilizzare Dynamo, per poter definire questo parametro in tutte le famiglie ad esclusione di quella dei pilastri.

Gli elementi per cui è stato più difficile determinare il parametro di posizione sono le travi. Queste, pur essendo connesse ai pilastri, non ne condividono i parametri di posizione. Questa costituisce una grande criticità di Revit che, sfruttando il medesimo sitema di localizzazione dei pilastri, potrebbe determinare in automatico la posizione di ogni elemento strutturale presente all'interno del progetto. Inoltre, dovendo definire la posizione di travi con orientamenti diversi e di diverse tipologie, si è rivelata necessaria la creazione di numerosi script molto complessi e basati sulla nota chiave dei diversi elementi.



43: Script di Dynamo legato alla definizione e compilazione automatica del parametro "posizione"

Per concludere, si può affermare che la creazione di questo parametro si potrebbe rivelare molto utile in fase di cantire durante lo stoccaggio e l'effettivo posizionamento dei diversi elementi costruttivi, come i pilastri, le travi principali, i pannelli prefabbricati. Benchè questo, di fatto, non risulti necessario per tutti gli elementi che costituiscono il progetto, si è scelto nel corso di questa tesi di definire più o meno precisamente la posizione all'interno della struttura di tutte le istanze. Questo per osservare le potenzialità del programma, le diverse soluzioni

adottabili e la possibilità di ripetere questi procedimenti per le diverse categorie e famiglie utilizzate.

2.8.3 Parametro di posa

Per quanto riguarda il parametro di posa, si tratta di un semplice parametro d'istanza appositivamente creato e condiviso tra tutte le istanze presenti nel progetto. Sebbene attraverso la campitura di questo parametro sarebbe stato possibile determinare l'ordine di posa per ogni singolo elemento, si è scelto di farlo, a livello rappresentativo, solo per i pannelli di tamponamento prefabbricati della struttura. D'altra parte, questi elementi più di altri sono sensibili a questo parametro, in quanto richiedono di essere messi in opera in un determinato ordine.

2.9 LOD

2.9.1 Diversi livelli di LOD

Per la realizzazione del modello virtuale della serra bioclimatica sono state utilizzate famiglie di elementi edilizi caratterizzate da differenti livelli di dettaglio. Questo è dovuto principalmente alla diversa tipologia di famiglie utilizzate. Infatti, mentre alcune sono di sistema, altre sono state scaricate dai siti di produttori o create autonomamente nel corso del progetto.
Di conseguenza le famiglie caricate, messe a disposizione da professionisti del settore, hanno dei livelli di dettaglio molto più alti delle altre due tipologie, sia a livello di LOI (Level of informations) che di LOG (Level of geometry). Questo perché i produttori, che mettono a disposizione i modelli virtuali dei componenti edilizi da loro realizzati o venduti, sfruttano i modelli BIM per mostrare ad eventuali compratori le caratteristiche e potenzialità del proprio prodotto da diversi punti di vista.

Le famiglie di sistema, invece, essendo messe a disposizione dalla stessa casa produttrice del software, risultano molto curate a livello di accuratezza geometrica, metre risultano generiche per quanto riguardi i parametri legati ad aspetti come l'impresa produttrice, il metodo costruttivo, i materiali impiegati, ecc...

Le famiglie caratterizzate da un LOD più basso sono quelle create durante il corso del progetto. Alcune di queste, infatti, oltre ad avere un basso LOG a causa di un'iniziale inesperienza nella modellazione, contengono informazioni solo relativamente ai parametri dimensionali e al tipo di materiali a cui sono associate.

D'altra parte, anche i vari aspetti del progetto presentano tra di loro diversi livelli di sviluppo. La componente architettonica e quella strutturale sono chiaramente più sviluppate di quella impiantistica.
Questo è dovuto al fatto che, mentre ci si è limitati a sperimentare la modellazione del sistema impiantistico, il modello architettonico è stato sviluppato in modo da poter eseguire in un secondo momento il construction managment della struttura. Allo stesso modo l'impianto idraulico risulta più sviluppato che quello elettrico. Infatti, mentre il primo è talmente dettagliato che ai vari sistemi (acqua calda e fredda sanitaria ed acque reflue) corrisponde la modellazione delle singole tubazioni sulla base di modelli parametrici che si rifanno a prodotti effettivamente reperibili, il secondo è di gran lunga più semplificato. Quest'ultimo è definito nei suoi terminali e nei quadri elettrici a cui sono collegati da diverse famiglie di sistema e non si è passato ad un livello di dettaglio tale da giungere alla modellazione dei cavi. Questa scelta è stata fatta anche per una mancanza di conoscenza in materia di impianti elettrici. Inoltre, mentre i vari dispositivi idraulici potevano considerarsi accuratamente progettati e posizionati all'interno del progetto della struttura, lo stesso non vale per l'impianto elettrico, che è ancora frutto di una prima fase di progettazione e non tiene conto di eventuali attrezzature aggiuntive presenti nella struttura al di fuori del solo sistema d'illuminazione.

Per concludere, si è tentato, per quanto possibile, di utilizzare elementi con un elevato LOD, essendo necessario per il construction management un modello di LOD 350. Questo tentativo si è rilevato particolarmente difficile nel caso del modello strutturale come spiegato più approfonditamente nel capitolo 2.5. Tuttavia sarebbe un errore considerare il LOD del modello come la semplice media di quello che caratterizza i singoli elementi in esso contenuti. Il livello di sviluppo del modello, infatti, è strettamente connesso a quello che ne sarà l'utilizzo. Senza aver prima definito per quali fini esso verrà utilizzato, si potrebbe arrivare ad ottenere un modello con un LOD elevato, inteso come somma del

LOD dei singoli elementi, che tuttavia non contiene i dati e le informazioni necessarie per la verifica che s'intende eseguire o allo scopo per cui è stato creato.

2.10 Computazione del progetto

2.10.1 Creazione di un computo su Revit

Utilizzando Revit è possibile redarre degli abachi relativi alle diverse categorie di elementi modellati nel progetto. In questi elaborati possono essere riportati più parametri di questi ultimi e combinati tra loro. Di conseguenza, creando dei parametri relativi al costo unitario degli elementi modellati e il costo delle lavorazioni, è possibile ottenere un computo estimativo della struttura. Tuttavia, nel redarre tale output, si è preferito cercare di creare un unico elaborato tabellare comprendente tutte le categorie modellate, piuttosto che diversi abachi monocategoria.
Questa scelta è stata fatta per diverse ragioni. In primo luogo avrebbe permesso un più facile confronto tra il computo finale realizzato su Revit con quello onnicomprensivo ottenuto tramite Primus. Inoltre, disporre di un unico elaborato di computo permetterebbe una migliore fruizione di quest'ultimo e la possibilità di visualizzarlo in diverse modalità. Infatti, senza un abaco complessivo, non sarebbe possibile visualizzare, al variale della fase e dei filtri di quest'ultimo, quelli che sono gli importi corrispondenti alle diverse fasi di progetto. Inoltre, sempre grazie alla redazione di un unico abaco ed alla opportuna impostazione di filtri, è possibile determinare le spese della struttura in base alla funzione dei componenti che ne fanno parte. Quindi, è possibile mettere a confronto la spesa legata alla realizzazione della struttura portante con quella relativa al rivestimento o al sistema impiantistico.

Una prima problematica incontrata durante la redazione di questa tipologia di elaborato è stata l'impossibilità di creare un abaco multicategoria che di fatto riportasse all'interno tutte le categorie di elementi modellati nel progetto. Infatti, benchè il nome “abaco multicategoria” possa suggerire il contrario, questo strumento, messo a disposizione da Revit, non considera determinate categorie essenziali per la computazione del modello, come: muri, i pavimenti, coperture,

ecc... Questa mancanza da parte di Revit avrebbe potuto essere aggirata grazie a programmi a pagamento come BIM Link.
Si tratta di un software sviluppato dalla Ideate con l'obiettivo rendere le informazioni contenute nel modello bim gestibili anche da chi non ha dimestichezza con questa tipologia di programma. Questo permette, tra le varie cose, di creare una relazione biunivoca tra i dati contenuti nel modello bim e quelli esportati in un file Excel. Sarebbe quindi possibile, partendo dall'impostazione di un abaco multicategoria, esportare tutte le categorie presenti nel modello ed i parametri ad esse associate.
Scegliendo di ricorrere solamente a Revit, si è proceduto alla creazione di un abaco dei materiali. Benchè anche questo eleborato tabellare presenti dei limiti, non considerando determinati elementi che fanno parte del modello BIM, questi risultano meno invalidanti che quelli legati all'utilizzo di un abaco multicategoria. Infatti, molte spese legate a determinati elementi edilizi possono essere ribaltate su altri che ne condividono determinati parametri.
Una volta fatte queste considerazioni, ci si è reso conto che, sia gli abachi multicategoria che i computi dei materiali multicategotia, possono riportare solo determinati parametri, per l'esattezza solo i parametri condivisi. Tra questi parametri non sono compresi alcuni determinati per redarre un computo metrico come l'area, il volume o il peso dei diversi elementi da moltiplicare per i rispettivi costi unitati.

Per risolvere questo problema si è ricorso al plug in di Revit, Dynamo. Grazie a questa applicazione, i valori relativi a questi parametri dimensionali sono stati estratti dalle varie istanze ed inseriti in dei corrispettivi parametri condivisi. Si è ottenuto, quindi, un elaborato grazie al quale è possibile visualizzare l'andamento del cantiere nelle macrofasi di lavorazione. Inoltre è possibile confrontare le spese relative i diversi aspetti della struttura: strutturale, architettonico, impiantistico ecc... Tuttavia questa soluzione presenta numerosi svantaggi e, oltre a non essere consigliabile in quanto comporta un notevole dispendio di tempo, comporta la creazione di parametri che duplicano quelli esistenti riportandone i medesimi valori.

Computo Metrico Totale A

FAMIGLIA E TIPO	CODICE WBS	AREA	VOLUME	MASSA	COSTO U. mq	COSTO U. mc	COSTO U. Kg	COSTO
Pavimento: plattea	A_1.1.1_E2	234.45000 m²	105.50000 m³	253978.58 kg	0.00€	115.06€	0.00€	12138.83€
Pavimento: plattea								12138.83€
A_1.1.1_E2								12138.83€
UC-Universal Columns-Column: UC305x305x9	A_1.2.1_E3	0.00000 m²	0.04000 m³	314.11 kg	0.00€	0.00€	4.73€	1485.74€
UC-Universal Columns-Column: UC305x305x9	A_1.2.1_E3	0.00000 m²	0.04000 m³	314.11 kg	0.00€	0.00€	4.73€	1485.74€
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
UC-Universal Columns-Column: UC305x305x9	A_1.2.1_E3	0.00000 m²	0.04000 m³	314.11 kg	0.00€	0.00€	4.73€	1485.74€
UC-Universal Columns-Column: UC305x305x9	A_1.2.1_E3	0.00000 m²	0.03000 m³	235.59 kg	0.00€	0.00€	4.73€	1114.34€
UC-Universal Columns-Column: UC305x305x97								28600.75€
A_1.2.1_E3								28600.75€
UB-Universal Beams: UB152x89x16	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01970 m³	154.65 kg	0.00€	0.00€	4.73€	731.49€
UB-Universal Beams: UB152x89x16	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01970 m³	154.65 kg	0.00€	0.00€	4.73€	731.49€
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
UB-Universal Beams: UB152x89x16	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01970 m³	154.65 kg	0.00€	0.00€	4.73€	731.49€
UB-Universal Beams: UB152x89x16	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01970 m³	154.65 kg	0.00€	0.00€	4.73€	731.49€
UB-Universal Beams: UB152x89x16								5526.86€
UB-Universal Beams: UB203x102x23	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01830 m³	143.97 kg	0.00€	0.00€	4.73€	680.98€
UB-Universal Beams: UB203x102x23	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01920 m³	151.05 kg	0.00€	0.00€	4.73€	714.47€
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
UB-Universal Beams: UB203x102x23	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01920 m³	151.05 kg	0.00€	0.00€	4.73€	714.47€
UB-Universal Beams: UB203x102x23	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01920 m³	151.05 kg	0.00€	0.00€	4.73€	714.47€
UB-Universal Beams: UB203x102x23								9969.04€
UB-Universal Beams: UB305x102x25	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01090 m³	85.40 kg	0.00€	0.00€	4.73€	403.94€
UB-Universal Beams: UB305x102x25	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01090 m³	85.40 kg	0.00€	0.00€	4.73€	403.94€
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
UB-Universal Beams: UB305x102x25	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01090 m³	85.40 kg	0.00€	0.00€	4.73€	403.94€
UB-Universal Beams: UB305x102x25	A_1.2.2_E4	0.00000 m²	0.01090 m³	85.40 kg	0.00€	0.00€	4.73€	403.94€
UB-Universal Beams: UB305x102x25								4847.30€
A_1.2.2_E4								20343.21€

44: Stralcio di un computo estimativo realizzato su Revit ricorrendo alla creazione di un elaborato tabellare milticategoria
Fonte: Estratto da Revit

2.10.2 Prezziari BIM e #TagBIM

Il comune di Milano, in occasione dell'obbligo annuale di aggiornare i prezziari regionali, come previsto dal Nuovo Codice degli Appalti (art. 23, c.16), ha sviluppato e messo a disposizione degli elaborati che favoriscono l'integrazione tra i dati contenuti nel prezziario regionale e quelli che sono i software più utilizzati per la modellazione e progettazione digitale bim. Con intenti di carattere sperimentale, questa edizione del listino prezzi contiene, per un numero limitato di voci, un sistema di codifica analogo a quello proposto nella norma UNI 11337 parte 2, ancora in fase di elaborazione.

Questo nuovo sistema di codifica si basa sull'utilizzo degli #TagBim. Questi codici permettono, senza modificare gli attuali criteri di redazione dei prezzari (descrizioni, strutturazioni, modalità di redazione e/o aggiornamento, ecc.), di individuare per ogni voce del prezziario una o più caratteristiche in grado di identificarla in maniera univoca, ad esempio, dal punto di vista prestazionale, resistenza meccanica, conduttanza termica, classe di resistenza al fuoco, ecc... Queste caratteristiche definite dal nome, l'unità di misura ed altre informazioni, sono attribuite separatamente al materiale e alla corrispondente voce di prezzo sotto forma di tag. Questo consiste in un particolare tipo di etichetta, attualmente utilizzato all'interno di numerosi social network e motori di ricerca, che può essere utilizzato come aggregatore di informazioni, che vengono riconosciute ed

utilizzate come chiavi di ricerca su un predefinito target di dati. L'elenco dei tag individuati in ciascuna voce di elenco prezzi può essere riportato in un'unica stringa di testo dal nome #TagBIM. Si tratta di un formato aperto, scrivibile con qualsiasi editor di testi, facilmente leggibile ed interpretabile dal computer e o dall'uomo. Inoltre, può essere memorizzato in un qualsiasi DB, anche non SQL, e gestito facilmente da diversi software presenti sul mercato come PriMUs o Revit. È garantità, quindi, la flessibilità di tale sistema, che non necessita di strutture predefinite e rigide, una modalità di ricerca e indicizzazione moderna e funzionale, che si rifà a quella di motori di ricerca come Google, senza creare ambiguità in campo lavorativo. L'utilizzo di tale sistema, infatti, è facilmente integrabile in qualsiasi prezzario senza che sia necessaria una radicale trasformazione degli attuali criteri di redazione con cui i professionisti hanno familiarità. Per concludere, associando gli #TagBIM ai componenti edilizi modellati ed alle relative voci di prezzo, si crea una relazione biunivoca tra questi due elementi. Questa informazione si trasmetterà, quindi, senza distorsioni per tutto il workflow, riducendo notevolmente le possibilità di errori. Di conseguenza il compito del computista diventa quello di considerare le voci più opportune con le quali identificare componenti e le relative voci di prezzo.

Dati Generali...

	Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI par.ug.	lung.	larg.	H/peso	Quantità	IMPORTI unitario [1]	TOTALE
	1	01.A04.C03.01	Getto in opera di calcestruzzo cementizio eseç					105.50	8.17	861.94
	2	01.A04.B20.0 05	Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1, per strutture di fondazione (plinti, cordoli, pali, travi rovesce, paratie, platee) e muri interrati a contatto ... con altezza < 1.5 m, platee di fondazione e muri di spessore < 80 cm. Classe di resistenza a compressione minima C25/30 #Fabbricato = "A"; #8290 = "1.1.1"; #Omniclass = "E2"; MISURAZIONI:			105.500		105.50		
			SOMMANO m³					105.50	98.35	10 375.93
	3	01.A04.E00.0 05	Vibratura mediante vibratore ad immersione, compreso il compenso per la maggiore quantita' di materiale impiegato, noleggio vibratore e consumo energia elettrica o combustibile Di calcestruzzo cementizio armato #Fabbricato = "A"; #8290 = "1.1.1"; #Omniclass = "E2"; MISURAZIONI:			105.500		105.50		
			SOMMANO m³					105.50	8.55	902.03
			TOTALE euro							12 139.90
			AGGIUNGE NUOVA VOCE							

[m³] 105.50 * 98.35 = euro 10 375.93 (3 voci) Totale euro 12 139.90

45: Preziario BIM dotato di tagBIM definiti sulla base del codice WBS di progetto
Fonte: estratto da Primus

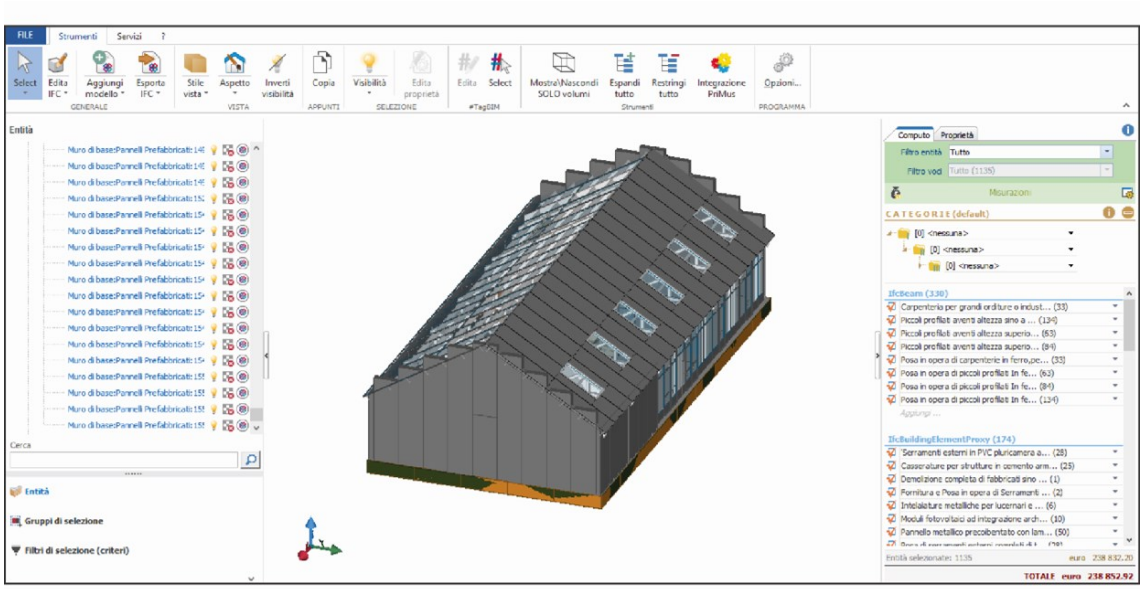
Durante la tesi la scelta delle voci con le quali identificare i vari componenti modellati e le relative voci di prezzo è ricaduta sui segmenti di codice che

compongono la WBS, descritta più approfonditamente nel paragrafo 1.2.2. Si è scelto di utilizzare i parametri che definiscono la WBS, perchè già creata ed inserita all'interno del modello per potersi approcciare al costruction managment in maniera tradizionale. Tuttavia questo dimostra come si sarebbe potuto utilizzare qualsiasi altro parametro che caratterizza i vari elementi, tra cui in particolare quelli relativi alle loro caratteristiche prestazionali. In questo caso quindi, per creare la relazione biunivoca tra questi due aspetti del progetto, è risultato più immediato utilizzare il codice WBS, che identifica univocamente i diversi elementi. Se questa non fosse già stata disponibile sarebbe stato più rapido ricorrere a dati come: lo spessore, la conducibilità, la resistenza meccanica, ecc… per contraddistinguere i vari elementi edilizi in alternativa all'utilizzo di sistemi di codifica come quelli proposti nelle nomative indicate nel capitolo 2.7.1. Tuttavia, essendo gli #TagBIM un formato aperto, scrivibile con qualsiasi editor di testi, facilmente leggibile ed interpretabile dal computer e o dall'uomo, come precedentemente riportato, si è sfruttata la flessibilità permessa da tale sistema per associarlo al codice WBS scomposto.

2.10.3 Interoperabilità tra Primus e Revit

Durante il corso della tesi si è cercato di valutare l'interoperabilità tra Revit, famoso software di modellazione parametrica, e Primus, programma specifico per la computazione. Quest'ultimo programma è stato sviluppato dalla software house ACCA per poter essere affiancato ai moderni software BIM e per poter sfruttare gli innovativi #TagBIM.

In primo luogo è utile sapere che qualsiasi modello virtuale e le informazioni in esso contenute, sia che sia stato prodotto su Revit o altri programmi BIM, può essere importato su Primus sotto forma di file IFC. Analogamente il file, una volta modificato su Primus, può a sua volta essere esportato in IFC ed importato su Revit.



46: Screenshot del modello .IFC importato all'interno di Primus dopo essere stato esportato da Revit con i relativi parametri
Fonte: estratto da Primus

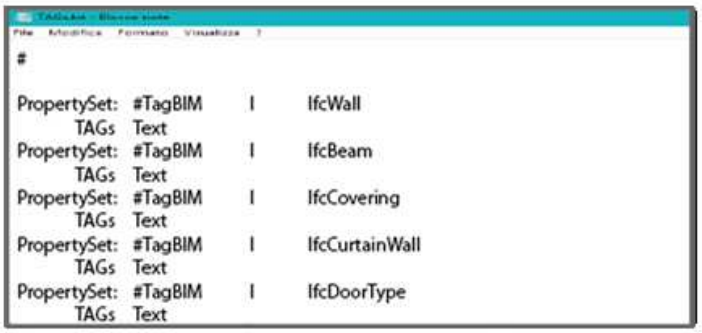
Importando il file IFC prodotto da primus in Revit ci si è potuti rendere conto che i tag BIM attribuiti ai componenti edilizi non vengono perduti come informazione, ma vengono convertiti in un parametro d'istanza nominato TAGs nel set di parametri Dati IFC.

Parametri IFC	
TAGs	#Fabbricato = "A";#8290 = "2.1.1";#Omniclass = "E10"

47: Parametro creato automaticamente all'interno di Revit in seguito all'importazione di un file .IFC sul quale sono stati associati dei Tag. Il parametro consiste in una stringa di codice che prende il nome di #TagBim in cui sono riportati tutti i Tag associati al medesimo elemento.
Fonte: estratto da Revit

Sulla base di questa osservazione si è ipotizzato che, allo stesso modo, un analogo parametro creato direttamente su Revit una volta esportato ed importato su Primus si sarebbe convertito in tag bim.
I primi tentativi si sono però rilevati fallimentari, infatti, il parametro in questione, anzichè generare un tag di riferimento, veniva solamente riportato tra i Dati IFC dell'elemento insieme ad altre informazioni. In un secondo momento si è considerato che nel software primus, parallelamente alla creazione del tag, avviene la creazione di un corrispettivo parametro chiamato TAGs nel set di parametri #TagBIM, lo stesso che nel corso dell'importazione in Revit si converte nel parametro TAGs. Si è provato quindi ad esportare il file IFC specificando una nuova nomeclatura del set del parameto TAGs per renderlo uguale al parametro

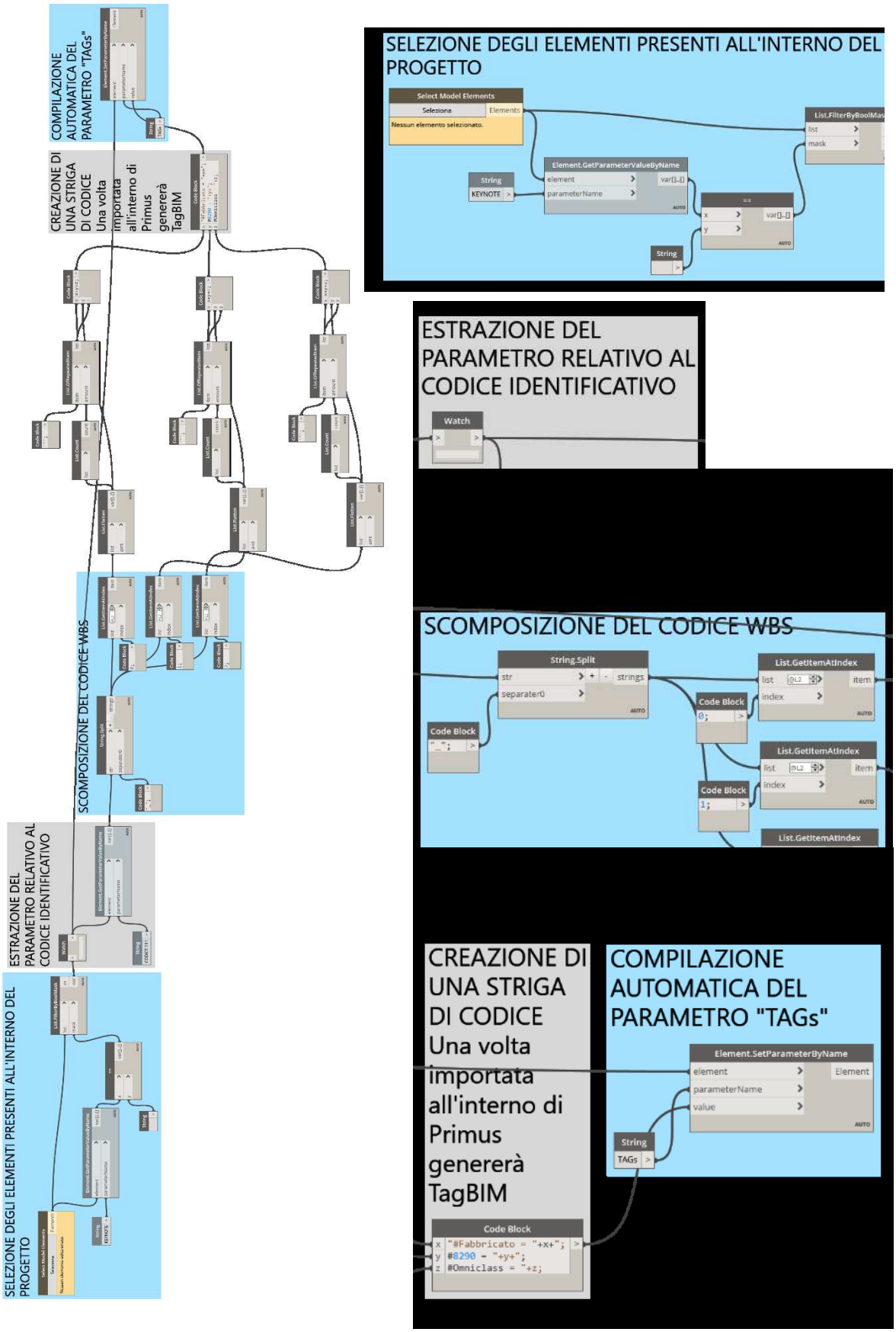
che viene prodotto su Primus parallelamente alla creazione di un tag. Questo è stato possibile grazie alla caratteristica di Revit che permette di creare set di proprietà IFC definiti dall'utente. Andando a modificare, nei settaggi relativi all'esportazione del IFC, le Property Sets e selezionando Export user defined property sets, è stato possibile importare un file di testo. Questo file permette di fare quanto precedentemente menzionato.



48: Stralcio del file .txt utilizzato per modificare la nomeclatura del set del parameto TAGs, creato su Revit, durante il processo di esportazione in un file .IFC. Questo file è caricato nelle “export user defined property sets”. Grazie a questo è stato possibile cambiare il set di proprietà da Dati IFC, come presente all’interno di Revit, a #TagBIM, una volta dopo aver importato il file .IFC all’interno di Primus

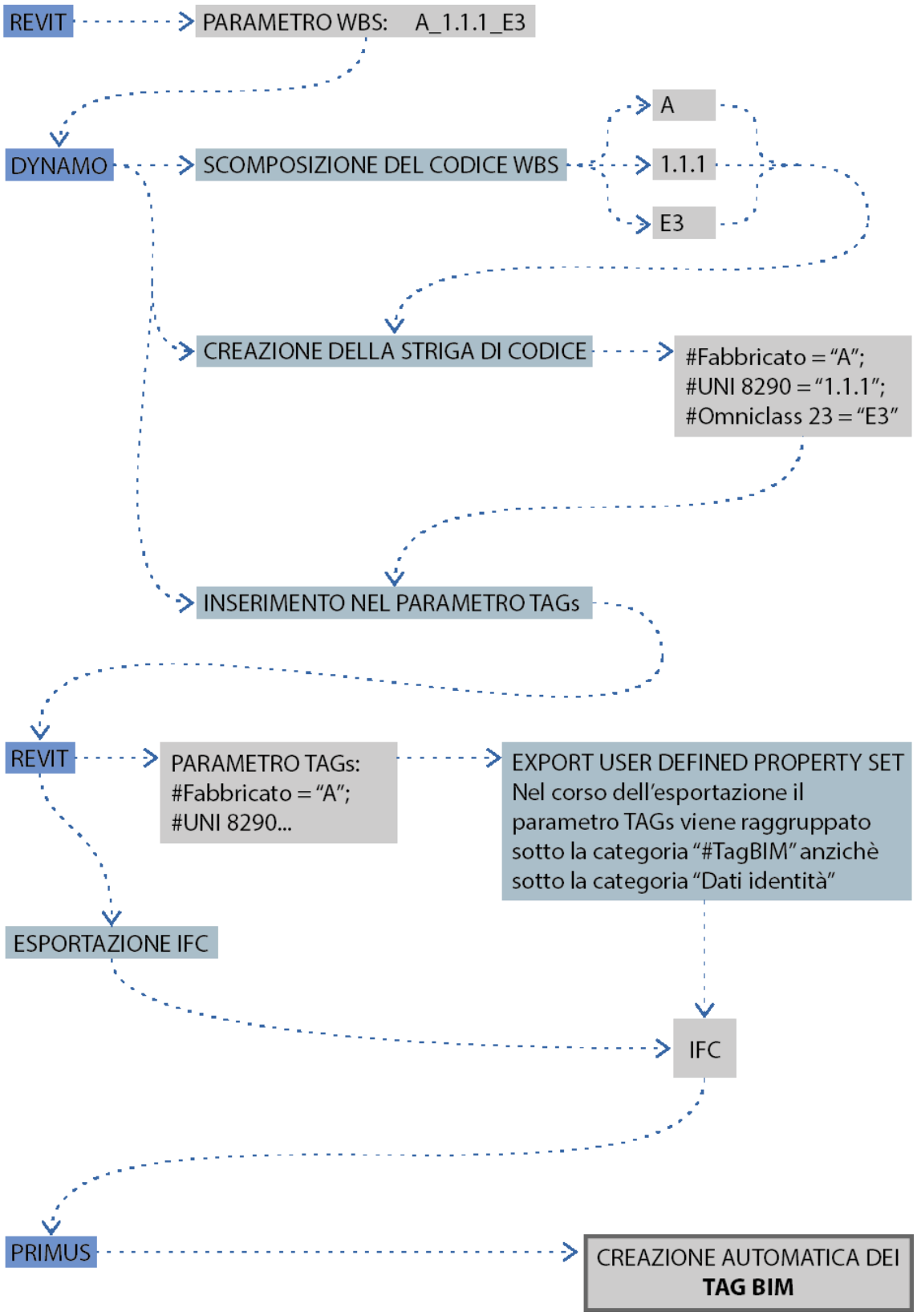
Per ottenere il risultato voluto è opportuno impostare il nome del PropertySet, se deve essere usato sull'istanza o sulle proprietà del tipo e l'elenco di elementi in cui si vuole applicare tale proprietà. Successivamente è necessario aggiungere la mappatura tra il nome IFC sulla sinistra e il nome dei parametri Revit sulla destra, insieme al suo tipo di dati (ad esempio Testo, Reale, Booleano ecc.).
Questo nuovo tentativo di esportazione ha riscontrato l'effetto voluto. Il parametro Revit, composto da una semplice stringa di codice, una volta esportato insieme al modello ed importato su Primus, oltre a cambiare il proprio set di proprietà da Dati IFC a #TagBIM, portava alla creazione automatica di veri e propri tag identificativi.
Successivamente questo processo è stato parzialmente automatizzato all'interno di Revit. Infatti, grazie a Dynamo, determinati parametri che identificano gli elementi di progetto (per comodità sono stati utilizzati quelli relativi alla WBS, ma si sarebbero potuti utilizzare anche quelli relativi alle carateristiche prestazionali o altri ancora) sono stati convertiti in un’unica stringa di codice e riportati nel parametro Tags delle diverse istanze, senza bisogno di efettuare questo

procedimento manualmente, per poi essere convertiti in Primus in tag veri e prorpri.



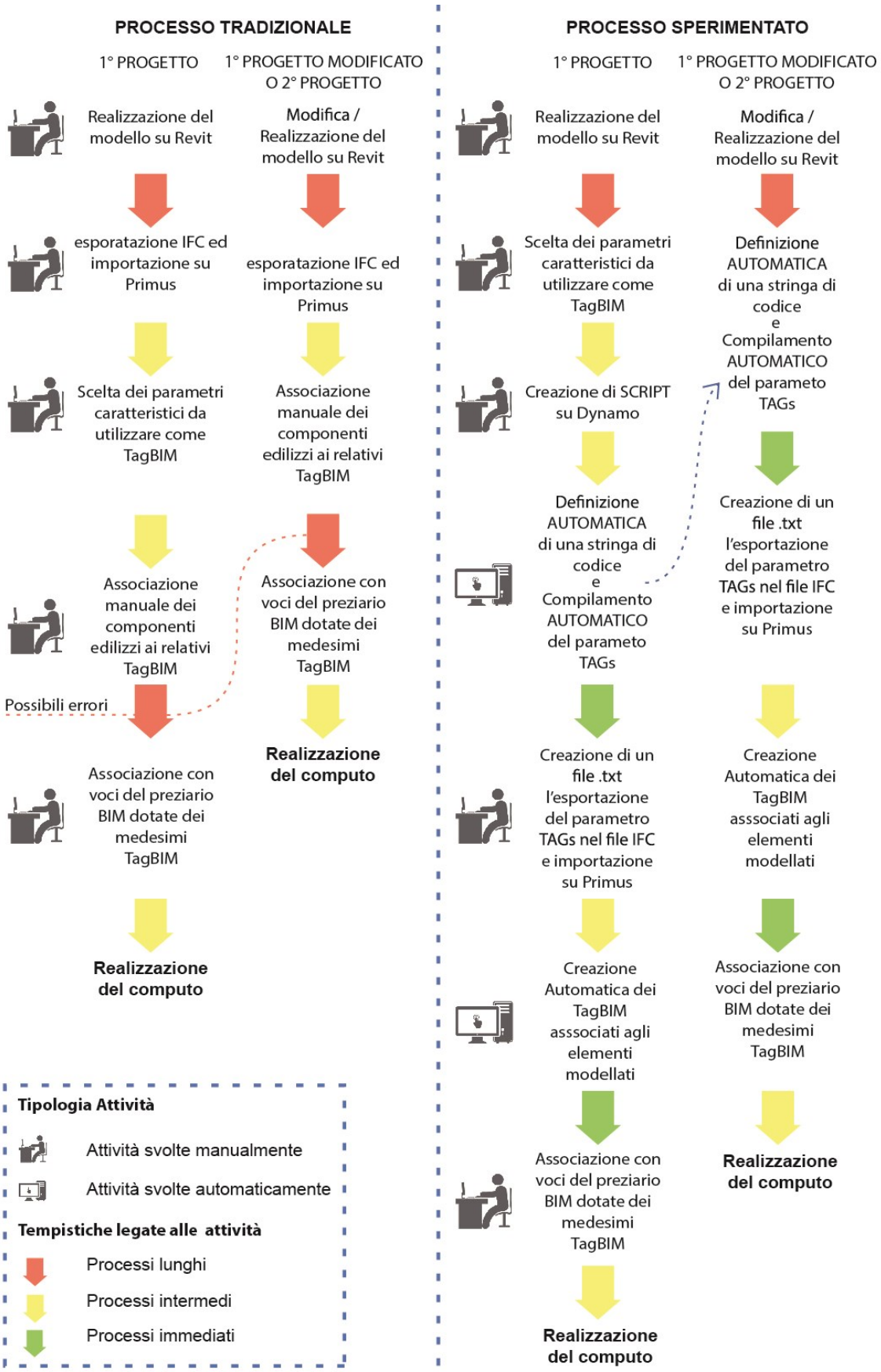
49: Script di Dynamo per la scomposizione del codice WBS, la creazione di una stringa di codice per la creazione dei TagBIM su primus e l'automatica compilazione del parametro TAGs

WORKFLOW PER LA CREAZIONE AUTOMATICA DEI TAG BIM

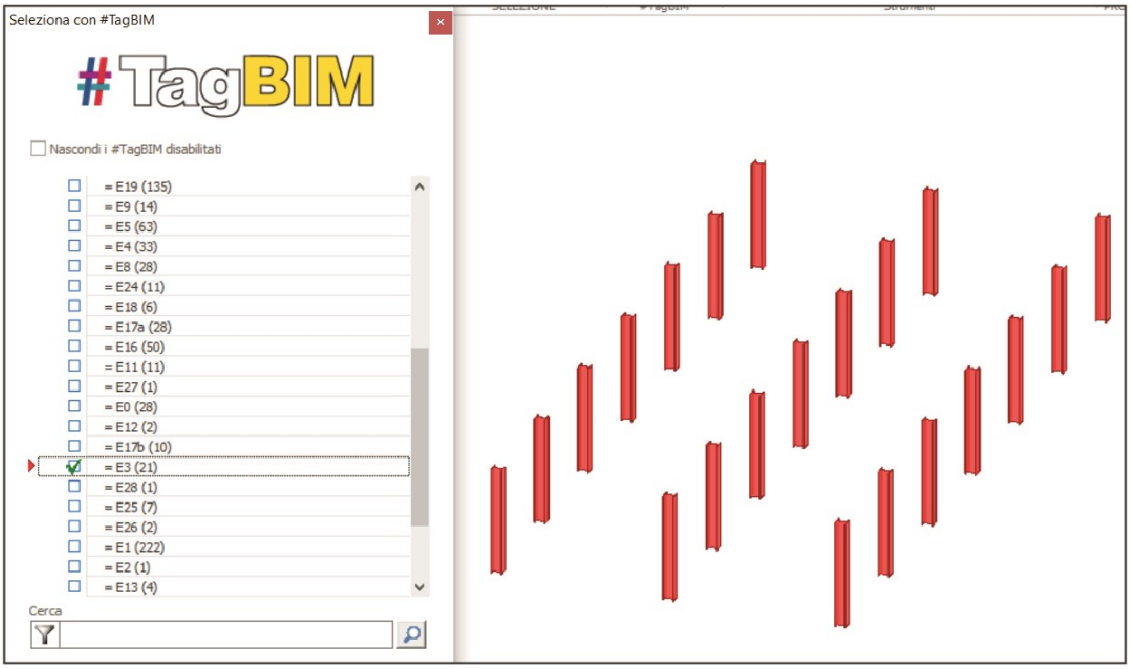


50: Schema della metodologia adottata per la creazione automatica dei tag BIM

COMPARAZIONE TRA LA METODOLOGIA SPERIMENTATA E QUELLA TRADIZIONALE RISPETTO ALL'UTILIZZO DEI TagBIM

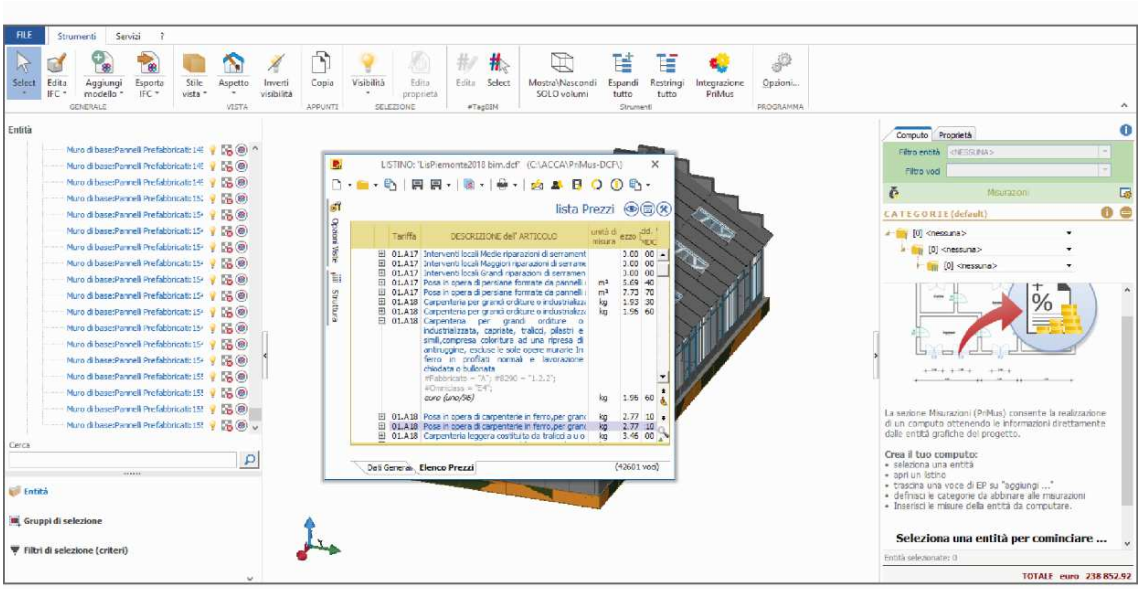


51: Confronto tra un utilizzo dei TagBIM tradizionale e la metodologia sperimentata



52: Screenshot di Primus, i componenti edilizzi del file IFC sono stati associati automaticamente ai relativi TagBIM comportando un considerevole riparmio di tempo.
Fonte: estratto da Primus

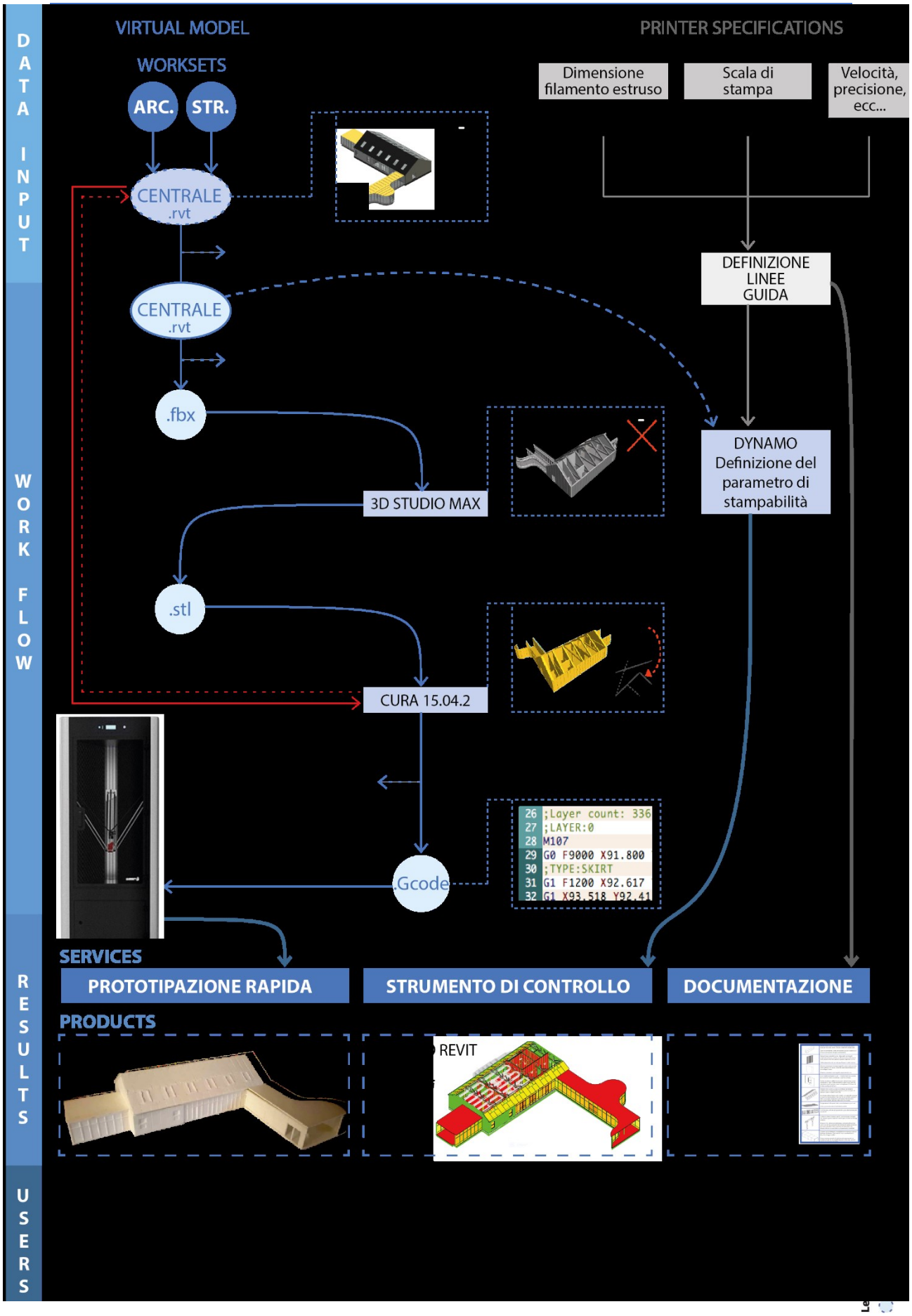
In questo modo un ipotetico fruitore di Primus non ha bisogno di definire i tag identificativi dei vari componenti edilizi, ma solo delle relative voci del prezziario comportando un consitente risparmio di tempo. Inoltre, questo sistema semplifica l'utilizzo del modello virtuale e delle informazioni in esso contenute per tutti coloro che, pur essendo specializzati nella computazione e nell'utilizzo di software come Primus, non hanno dimestichezza con programmi di modellazione parametrica come Revit e la gestione dei dati in esso contenuti. In alternativa, senza effettuare questo processo di automatizzazione, sarebbe stato necessario creare i TagBIM direttamente su Primus ed allungare di conseguenza i tempi legati alla fase di computazione del progetto.



53: Screenshot di Primus, il computo metrico del progetto viene realizzato associando ai diversi componenti edilizzi le rispettive voci di prezzo. Queste possono essere selezionate da un preziario BIM, come si può vedere in figura, o create autonomamente

Fonte: estratto da Primus

STAMPA 3D



54: Schema metodologico per la stampa 3D

2.11 Incontro tra il Politecnco (TO) e l'Università del Sacro Cuore (VC)

Sabato 15 settembre 2018, è stato organizzato nel complesso del Trompone un gemellaggio tra il laboratorio Drawing TO the Future, Politecnico di Torino DISEG (Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica), e l'Università Cattolica del Sacro Cuore, sede di Moncrivello. Durante questo evento, organizzato dalla prof.ssa Osello, responsabile del laboratorio Drawing TO the Future, si sono susseguiti diversi interventi legati al campo dell'architettura, dell'ingegneria, dell'innovazione e della medicina.

55: gemellaggio tra il laboratorio Drawing TO the Future, Politecnico di Torino DISEG (Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica), e l'Università Cattolica del Sacro Cuore, sede di Moncrivello

In questa circostanza si sono voluti mostrare i differenti progetti realizzati dai tesiti che hanno condiviso il caso studio del trompone, e quelli realzzati dagli studenti del corso d'ingegneria “Produzione edilizia e modellazione digitale” tenuto dalla prof.ssa Osello.

Per permettere agli ospiti presenti alla mostra di apprezzare a pieno i progetti precedentemente citati, si è scelto di sfruttare la stampante 3D Delta Wasp 4070 acquistata dal dipartimento. Questa è stata utilizzata per realizzare numerosi modelli tridimensionali relativi ai differenti progetti. In questo modo gli ospiti dell'evento hanno avuto la possibilità di toccare con mano e confrontare tra di loro i diversi progetti, non dovendo affidarsi esclusivamente alle tavole di progetto. Queste ultime, infatti, se visionate da persone prive di una certa esperienza, avrebbero potuto rivelarsi difficilmente leggibili.
Ci si è quindi occupati dell'intero processo relativo alla realizzazione dei modellini 3D. Questo va dalla realizzazione o modifica dei modelli virtuali tridimensionali fino alla stampa vera e propria.

2.12 Preparazione dei modelli

2.12.1 Definizione del LOD

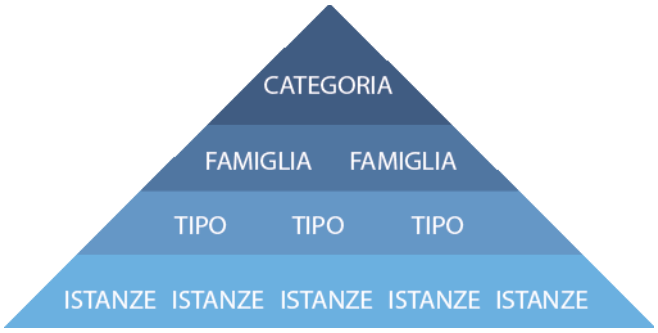
Prima di poter passare all'effettiva stampa 3D, si sono dovuti modificare i modelli virtuali. Trattandosi di progetti sviluppati durante i corsi di laurea o in occasione della tesi di laurea, non è stato necessario realizzare i modelli virtuali di questi ultimi partendo da zero. Infatti, per ogni progetto era già stato ralizzato un modello Revit. Tuttavia, se ciò non ha comportato la creazione di nuovi modelli, ha però richiesto una differente tipologia di lavoro. I modelli precedentemente citati sono stati relaizzati con un alto livello di dettaglio, sia dal punto di vista geometrico che informativo. Questo perchè tali modelli sono stati realizzati avendo come fine il costruction managment della struttura o la visualizzazione dell'integrazione tra le loro componenti architettoniche, strutturali ed impiantistiche.

Tuttavia, come spiegato meglio al paragrafo 1.1.3, il livello di sviluppo di un modello si basa, più che sulle informazioni geometriche e non in esso contenute, su quella che ne è la destinazione finale. Di conseguenza questi modelli, pur presentando un gran quantitativo d'informazioni, e quindi un livello di dettaglio elevato, sono caratterizzati da un basso livello di sviluppo. Le informazioni alfanumeriche contenute sono inutili, così come risulta eccessiva la modellazione dei singoli componenti edilizi che non tiene conto di quelle che sono le effettive potenzialità della stampante 3D.

Quindi, paradossalmente, per ottenere dei modelli funzionali, con un livello di sviluppo adeguato alla materializzazione tramite stampa 3D, è stato necessario procedere ad una semplificazione di questi ultimi. In conclusione, il livello di dettaglio è stato ridotto a favore del livello di sviluppo.

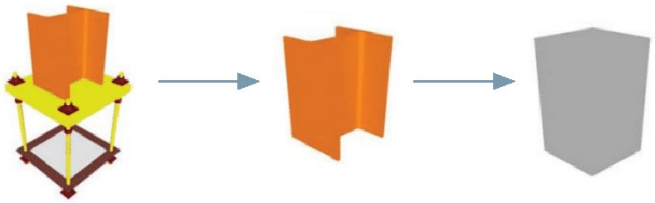
2.12.2 Rielaborazione delle famiglie

Come spiegato nel paragrafo precedente, prima di passare alla stampa dei modelli virtuali, è stata necessaria una semplificazione di questi ultimi. Questo procedimento è stato agevolato dalle caratteristiche di Revit, software BIM a cui si è ricorso per la modellazione. Su Revit i vari componenti edilizi modellati consistono in delle istanze corrispondenti ai tipi di una famiglia. Di conseguenza, se risulta necessaria la modifica di questi ultimi, non bisognerà intervenire sulle singole istanze, ma solo sulla famiglia di riferimento, il che comporta un considerevole risparmio di tempo. Questo è dovuto alla struttura gerarchica piramidale sulla base della quale è definito ogni oggetto presente all'interno di Revit.



56: SChema della struttura gerarchica piramidale degli oggetti presenti in Revit

Per procedere alla semplificazione degli elementi parametrici che compongono il modello, ci si è duvuti basare su quelle che sono le effettive potenzialità messe a disposizione dalla stampante 3D e la scala a cui si sarebbero stampati modelli finali. Se da un lato un'eccessiva semplificazione del modello avrebbe portato ad un risultato scadente, dall'altro un eccessivo livello dei dettagli avrebbe comportato la modellazione di elementi troppo piccoli per poter essere stampati correttamente.



57: Processo di semplificazione delle famiglie

La stampante di proprietà del laboratorio è un modello Delta Wasp 4070. Questo dispositivo è dotato di un estrusore di 0,7 mm di diametro. Di conseguenza, sulla base dello spessore del filamento termoplastico estruso, sono stati determinati gli spessori minimi reliativi alle diverse categorie di famiglie presenti nel progetto. Sulla base delle considerazioni effettuate è stato possibile determinare delle line guida per la realizzazione di un modello virtuale finalizzato alla stampa 3D. Quest'ultime sono riportate nel paragrafo 3.2.2.

2.12.3 Scomposizione del modello virtuale

Prima di procedere all'esportazione dei file fbx da Revit, è stato necessario determinare la tipologia di modellino alla quale si voleva giungere. I modelli relativi ai diversi progetti, infatti, sarebbero potutti essere costituiti dal semplice involucro esterno della struttura o essere più complessi. Si è scelto di renderli parzialmente scomponibili per permettere ai frequentatori della mostra di comprenderli più a fondo. Di conseguenza non sono stati realizzati come dei blocchi unici e, realizzando la copertura in un secondo momento, è stato possibile modellare l'articolazione degli spazi interni.

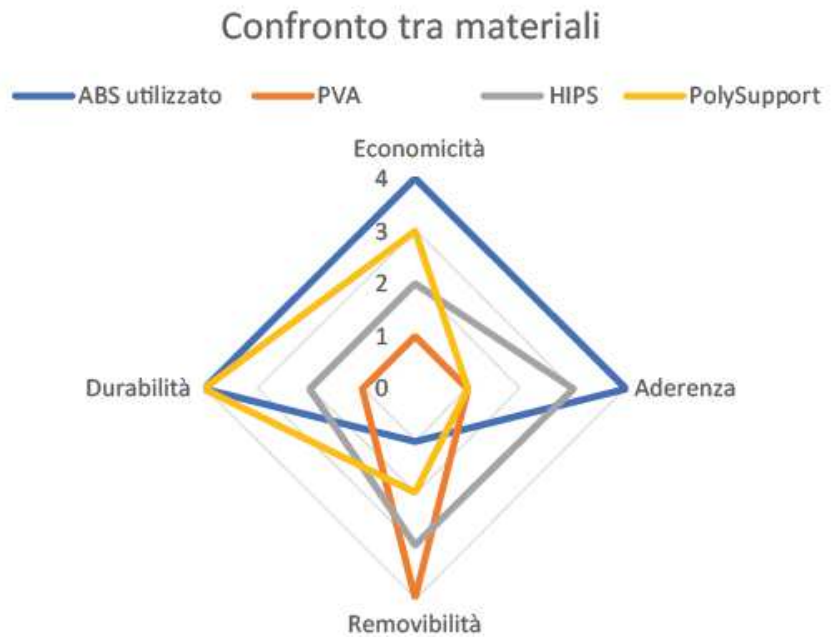
Questa scelta è ache legata ad una caratteristica che accomuna la maggior parte dei modelli stampati. Questi, infatti, riguardano principalmente il progetto relativo al gardino d'inverno. Di conseguenza, l'aspetto più caratteristico di questi progetti risiede nella loro struttura portante. Questa componente del progetto non sarebbe stata adeguatamente valorizzata se i modelli solidi non fossero stati realizzati in più fasi ed assemblati uin un secondo momento, soprattutto a causa dei supporti creati dalla stampante. Questi elementi vengono creati così che la stampante possa modellare tutte le geometrie aggettanti che non poggiano sulla base della macchina. La loro generazione avviene automaticamente all'interno del programma cura. Il programma, infatti, rileva automaticamente i volumi sospesi che, se privi di questi elementi di supporto, potrebbero cedere in fase di

stampa. Successivamente, attraverso i file g-code, i supporti, così come il modello virtuale principale, sono caricati all'interno della stampante 3D e possono essere stampati. Benchè questi elementi di supporto vengano realizzati dalla stampante 3D in modo da essere facilmente removibili non sempre ciò è possibile. In alcuni tentativi di stampa il procedimento di rimozione dei supporti e pulizia del modello è risultato impossibile. La quantità e la concentrazione di supporti era tale da non permettere la loro rimozione senza che questo portasse alla rottura dell'intero modellino.
Attualmente sono presenti sul commercio tipologie di stampanti 3D ed appositi estrusori che permettono di aggirare la problematica precedentemente citata. Queste apparecchiature, infatti, permettono di modellare il plastico e i suoi supporti con due materiali differenti. Questo secondo materiale è meno resistente, in modo da risultare facilmente removibile in un secondo momento, o presenta determinate caratteristiche chimiche che ne favoriscono l'impiego in questo campo. Si tratta, infatti, di materiali solubili in acqua o in sostanze con un ph acido.

Tra questa tipologia di materiali innovativi quelli attualmente più conosciuti sono: il PVA, il HIPS e PolySupport.
Il PVA, o PVOH, (alcool polivinilico) è un composto chimico frutto dell'idrolisi degli esteri polivinilici. Questo materiale termoplastico può essere stampato e successivamente disciolto nell'acqua. Per contro è molto costoso, mediamente tra i 60 ed i 100 €/Kg, ed allo stesso tempo altamente igroscopico. Difatti, una volta estratto dalla confezione sigillata, si degrada molto rapidamente nel giro di pochi giorni o settimane sulla base dell'umidità nell'aria. Infine, questo materiale rischia di aderire difficilmente al materiale principale utilizzato per la stampa del modello 3D, il che può rendere necessaria la realizzazione di supporti con determinate strutture come quella a nido d'ape.
Il HIPS (High Impact PolyStyrene) è un polistirene antiurto, frutto dell'unione del polistirene con la gomma SBR. Questo materiale, a differenza del precedente, ha la proprietà di dissolversi se immerso in una soluzione ricca di D-Lemonene. Questo solvente è un idrocarburo sgrassante frutto di lavorazioni industriali di agrumi. Inoltre, non è igroscopico come il PVA, per cui può essere conservato per più tempo, ed aderisce a molti materiali utilizzati per la stampa 3D e difficilmente tende a deformarsi o distaccarsi. Il processo di dissoluzione del

materiale avviene senza che questo si ammorbidisca progressivamente, come il materiale precedentemente descritto, e dura dalle 24 alle 30 ore. Tuttavia, l'utilizzo dell'HIPS come materiale di supporto comporta anche l'acquisto del D-Lemonene, circa 30 €/l, che in determinate circostanze può determinare il deterioramento di alcuni tipi di ABS.

Per concludere, il PolySuport, materiale prodotto dalla Polymaker, a differenza dei precedenti non è un materiale solubile. Come spiegato dall'azienda produttrice, il punto di forza di questo materiale sta nella sua capacità di essere sufficientemente robusto da sorreggere la struttura e allo stesso tempo è removibile a mano. Questo perche, pur sostenedo alla struttura, non aderisce a quest'ultima. A differenza dei materiali precedentemente citati, è molto durevole nel tempo, è particolarmente facile da stampare ed il suo costo è compreso tra i 70 ed i 90 €/Kg.



58: Grafico di confronto rispetto alle proprietà dei materiali precedementemente considerati, la scala va da "0" poco a "4" molto

Pur essendoci queste possibilità, dovendo contare sulle effettive prestazioni permesse dall'apparecchiatura a nostra disposizione, si è scelto di realizzare i modelli in più parti e ricomporli in un secondo momento.

2.12.4 Realizzazione del modello delle masse

Oltre a realizzare i modelli relativi alle diverse ipotesi di progetto studiate per il Trompone in scala 1:100, è stato realizzato un modello complessivo del del sito in scala 1:500.

Questo modello, essendo caratterizzato da una scala ridotta rispetto a quelli precedentemente citati, ha richiesto un livello di dettaglio più basso. Se per i precedenti plastici sono stati modellati, seppur con una certa approssimazione, i telai delle finestre ed altri elementi costruttivi, questo modellino è composto dalle sole masse dei fabbricati che compongono il Trompone.

In un primo momento, dovendosi limitare a stampare delle masse, si è pensato di rielaborare il file Revit in cui sono state modellati i volumi relativi alle diverse porzioni del complesso ospedaliero. Questo modello virtuale è stato creato dai precedenti tesisti sulla base di planimetrie del sito e modificato successivamante sulla base della nuvola di punti di quest'ultimo. Pur essendo molto accurato rispetto all'impronta a terra, riporta tutti i piani dei fabbricati ad eccezione delle coperture. Le masse presenti all'interno di questo file sono state create come estrusioni di forme piane parallele al livello del suolo. Di conseguenza le superfici orrizzontali di questi parallelepipedi non sono modificabili, a differenza di quelle che le connettono tra di loro. Per questo motivo e a causa del poco tempo a disposizione, si è provato ad aggiungere separatamente delle masse che riprendono la volumetria delle coperture dei diversi fabbricati.

Sfortunatamente questa soluzione si è rilevata inefficace. In fase di stampa si sono riscontrati degli errori che hanno compromesso il modellino.

Per risolvere questa problematica è stato necessario semplificare le masse corrispondenti alle porzioni del complesso ospedaliero e riprodurle come estrusioni di superfici perpendicollari al livello del suolo. In questo modo è stato possibile modificare il vertice superiore delle diverse masse e creare dei parallelepipedi complessi che rappresentano le diverse porzioni di edificio dotate di copertura.

Questo secondo tentativo ha avuto successo. Quanto precedentemente descritto evidenzia una criticità di Revit. Infatti, sulla base di come le masse vengono create al'interno del modello, sono modificabili in maniera differenti. Questa può risultare come una problematicità se le masse vengono utilizzate in una fase preliminare del progetto, più concettuale, durante la quale non si ha ancora una

chiara idea di come questo andrà a svilupparsi ed articolarsi nello spazio. Allo stesso modo, come in questo caso, sulla base di diversi fini, può rivelarsi necessario modellare le masse in maniera differente. Di conseguenza uno stesso modello delle masse non può essere utilizzato per due differenti scopi.

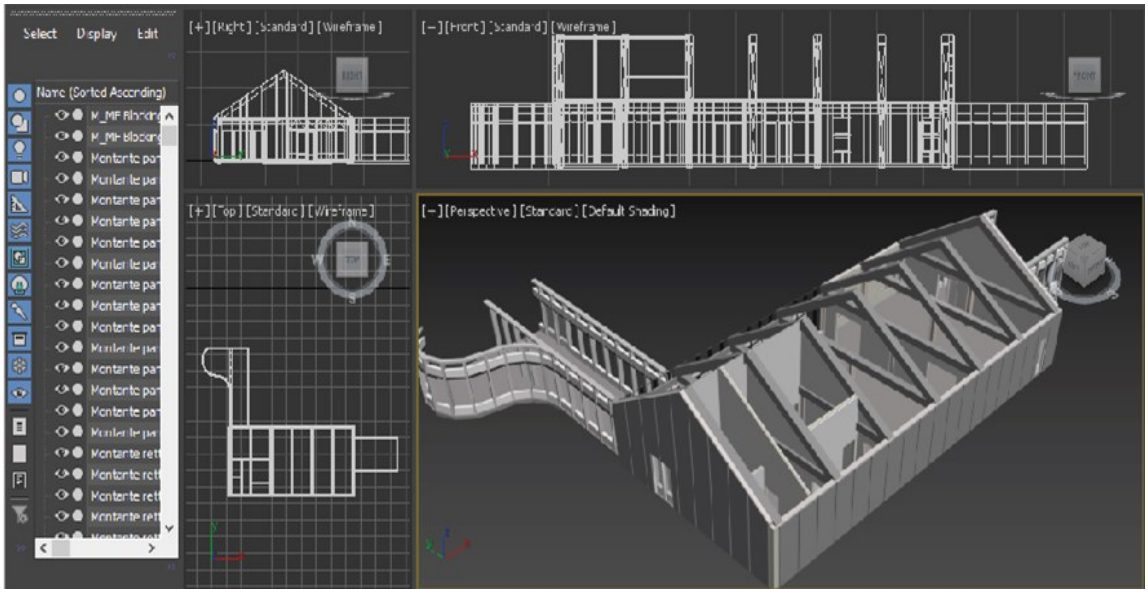
2.13 Workflow

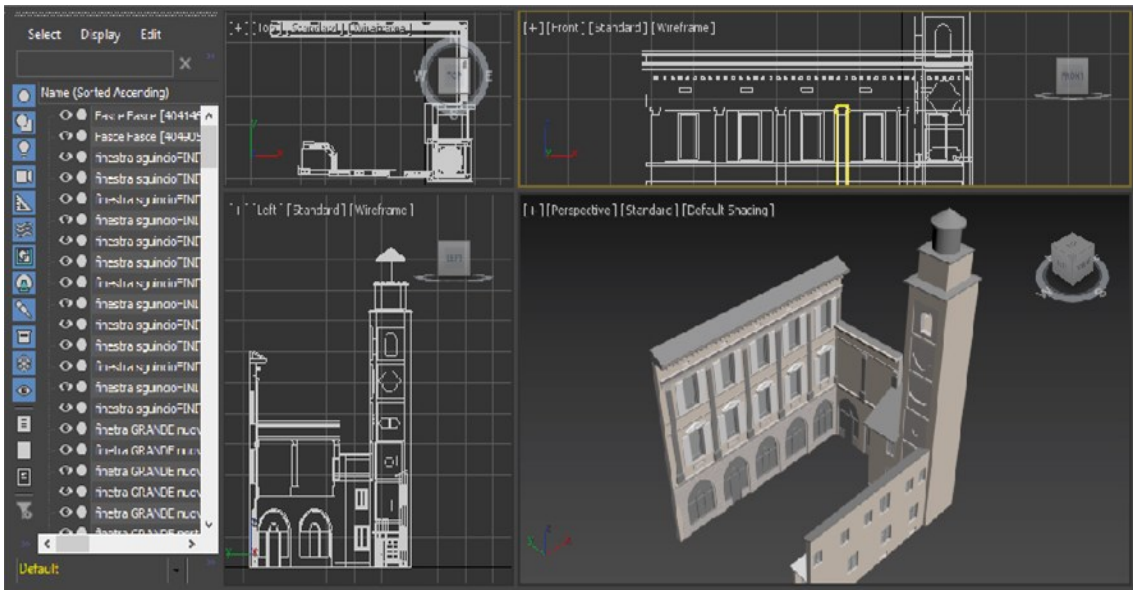
2.13.1 Revit ed esportazione

Una volta rielaborato il modello virtuale ed averlo reso pronto per la stampa, è stato necessario esportare il file revit. Infatti, come spiegato dettagliatamente nel paragrafo 1.1.3, il modello virtuale necessita di essere esportato in un file .STL, un formato che semplifica ed alleggerisce il modello geometrico. In questo modo il file .STL potrà a sua volta essere converito in un file .G-code. Un formato basato su un semplice linguaggio di programmazione di vecchia concezione, trattato anche da piccole unità di elaborazione e per questo da sempre impiegato nella produzione assistita da computer. Il contenuto di questo formato consiste in una lunga serie di comandi che corrispondono ai movimenti che la stampante dovrà compiere per creare fisicamante il modello.

Attualmente Revit consente, grazie ad appositi plug in, di esportare il modello in un file .STL. Tuttavia questa tipologia di esportazione non è stata presa in cosiderazione perchè presenta diversi svantaggi. Durante l'esportazione del modello bisogna definire quali sono le categorie da esportare. Dopo aver affrontato questo passaggio, l'esportazione non tiene conto di quelle che sono le impostazioni di visualizzazione delle viste Revit. Di conseguenza, pur potendo scegliere di non esportare determinate categorie, le restanti categorie del modello vengono esportate nella loro interezza. Questo aspetto risulta molto limitante. Non è possibile, ad esempio, stampare solo un piano di un'ipotetica struttura senza dover prima cancellare definitivamente dal modello tutti i piani ed elementi non necessari. Inoltre, adottando questo sistema, per ralizzare un unico modello 3D stampandolo in diverse parti, bisognerebbe disporre di tanti modelli virtuali quante sono le stampe.

Per non incorrere in queste problematiche si è optato per un procedimento di esportazione più macchinoso ma allo stesso tempo funzionale. I file revit sono stati convertiti in file fbx (Film BoX). Si tratta di un formato leggero sviluppato da Kayadra e di proprietà di Autodesk dal 2006 utilizzato per garatire l'interoperabilità tra appliacazioni di creazione di contenuti digitali. Dopo aver effettuato questa esportazione i file sono stati importati su 3d studio max solo per poter essere poi esportati come file stl.





59: File .fbx importati su 3D StudioMax

Questo procedimento presenta dei vantaggi rispetto a quello precedentemente citato, in quanto ricorrere al formato .fbx permette l'esportazione dei soli elementi visibili in una determinata vista di Revit.

In questo modo è possibile esportare rapidamente diverse porzioni di un unico modello virtuale, in modo da poterle stampare separatamente e ricomporle in un secondo momento, semplicemente nascondendo determinati elementi e utilizzando il riquadro di selezione.

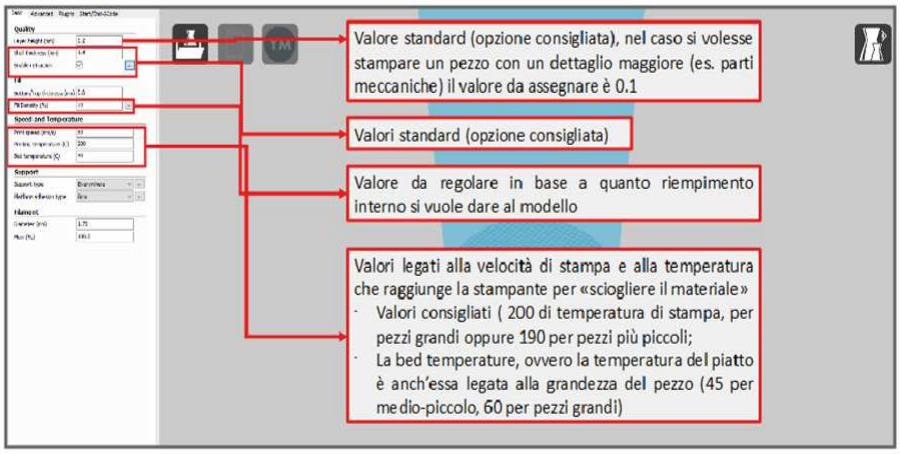
Come si può notare, vi è una certa interoperabilità tra Cura, software gratuito per preparare i modelli virtuali alla stampa, e Revit. Si tratta di una tipologia d'interoperabilità indiretta. In questo caso, infatti, 3D studio max fa da programma intermedio tra i due. Come anticipato precedentemente non si è scelto di ricorrere a questa soluzione a causa di un impossibile interoperabilità diretta tra cura e revit, da cui è possibile esportare file stl, ma perche questo sistema, per quanto indiretto, permette di gestire più facilmente il modello virtuale articolandolo in diverse viste.

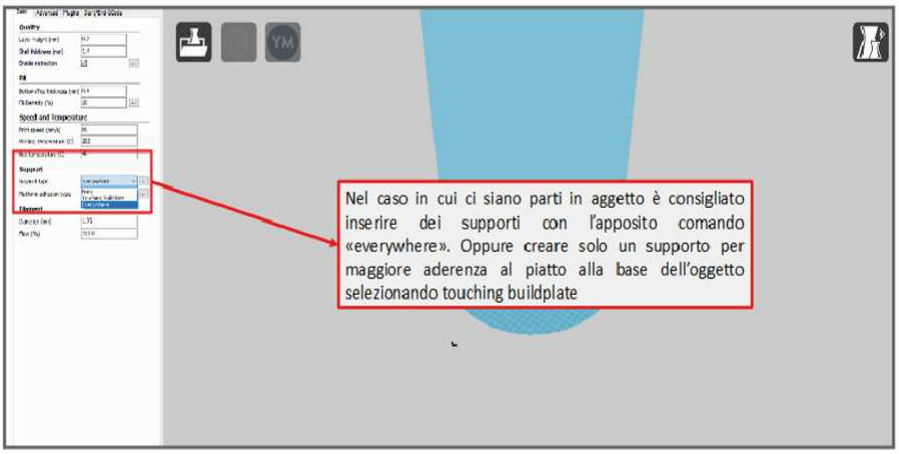
2.13.2 Interoperabilità tra Revit, 3D Studio Max e Cura

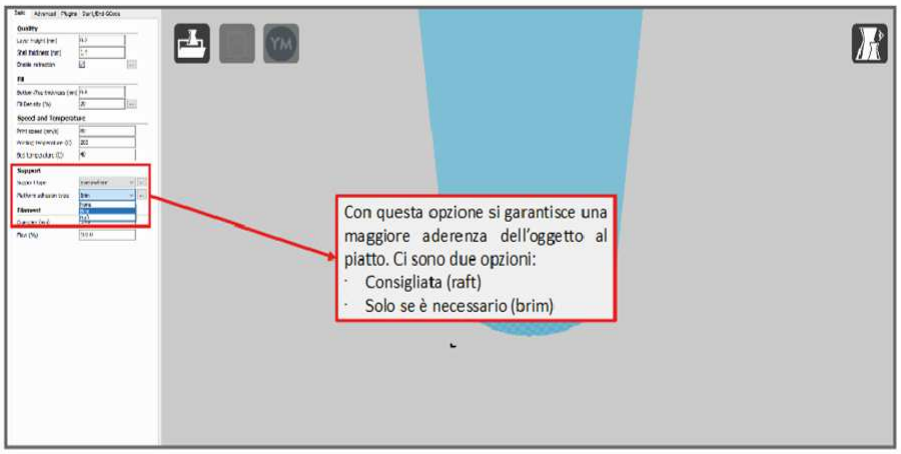
Dopo aver esportato le porzioni di modello relative alle differenti viste di revit in formati fbx, è stato necessario effettuare la conversione di questi ultimi in file .STL. Come spiegato nel dettaglio al paragrafo 1.3.3, questo è un passaggio fondamentale per poter procedere alla stampa dei modelli tridimensionali. Questa tipologia di formato, infatti, semplifica il modello virtuale esportandone solamente i dati geometrici e ne sostituisce le superfici con una griglia composta da triangoli che ne riproduce l'andamento. Questa conversione è stata effettuata attraverso il programma 3D studio max. Questo software, prodotto dalla Autodesk, permette l'importazione di file fbx e l'esportazione di file Stl. Questi ultimi sono apribili all'interno di cura, in modo da poter essere convertiti a loro volta in file G-code.

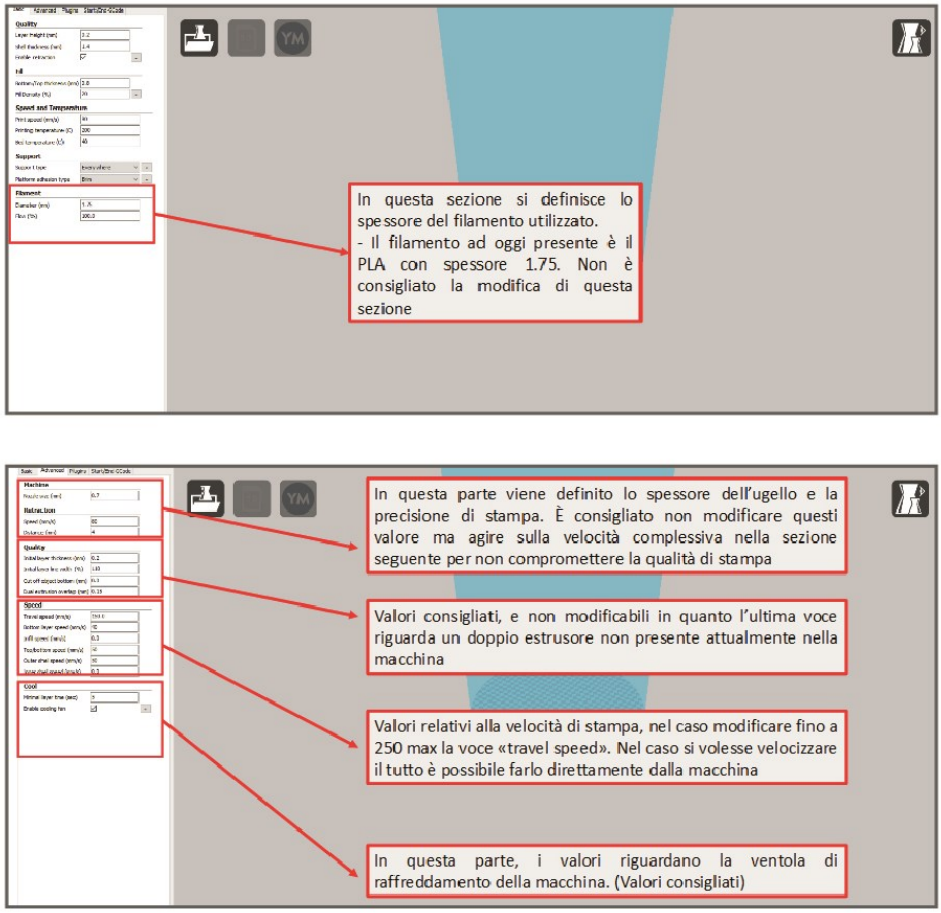
2.13.3 Utilizzo di Cura 15.04.2, software CAM per la modellazione

Dopo aver ottenuto i file .STL, questi sono stati aperti sul programma Cura, in particolare la versione 15.04.2. Questo software ha come scopo quello di preparare i modelli virtuali alla stampa 3D. Prima di procedere all'apertura dei file .STL è stato necessario settare tutti i parametri relativi alle caratteristiche della stampante 3D con la quale si vuole effettuare il processo di stampa e quelle relative al materiale impiegato. Questi ultimi sono presentati e descritti nelle immagini qui di seguito.



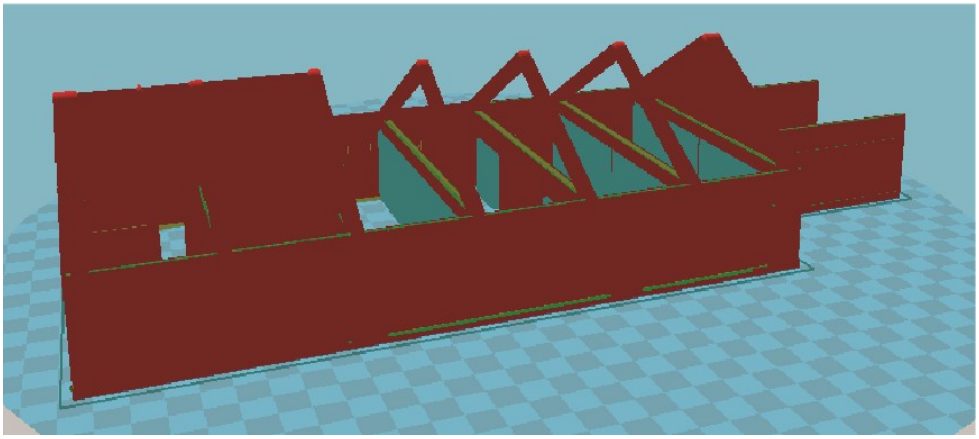


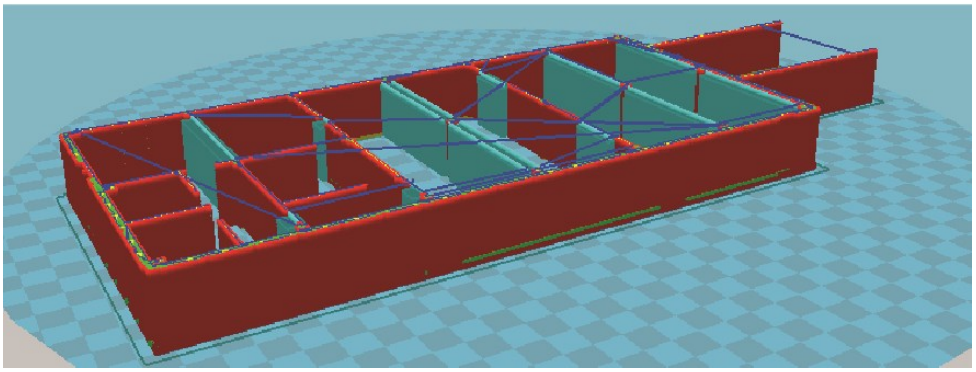




60: Impostazioni di Cura relative alle caratteristiche della stampata e del materiale termoplastico utilizzato

Successivamente, i modelli importati nel programma sono stati appositivamente dimensionati, ruotati e posizionati sulla rappresentazione virtuale della base della stampante 3D. A questo punto, modificando le modalità di visualizzazione, il software permette la visualizzazione dei supporti necessari per facilitare la realizzazione del modello. Questi vengono visualizzati con un colore differente rispetto a quello del resto del solido stampato. Di conseguenza, sulla base della geometria del modello da stampare, si possono ipotizzare diversi orientamenti rispetto al piano di stampa, in modo da ridurre al minimo la quantità di supporti. Questi elementi, per quanto utili, oltre a rivelarsi talvolta difficoltosi da rimuovere, comportano un incremento dei tempi di stampa e comportano un maggior consumo di materiale. Inoltre, questa modalità di visualizzazione permette di osservare come verrà effettivamente realizzata la struttura layer per layer.

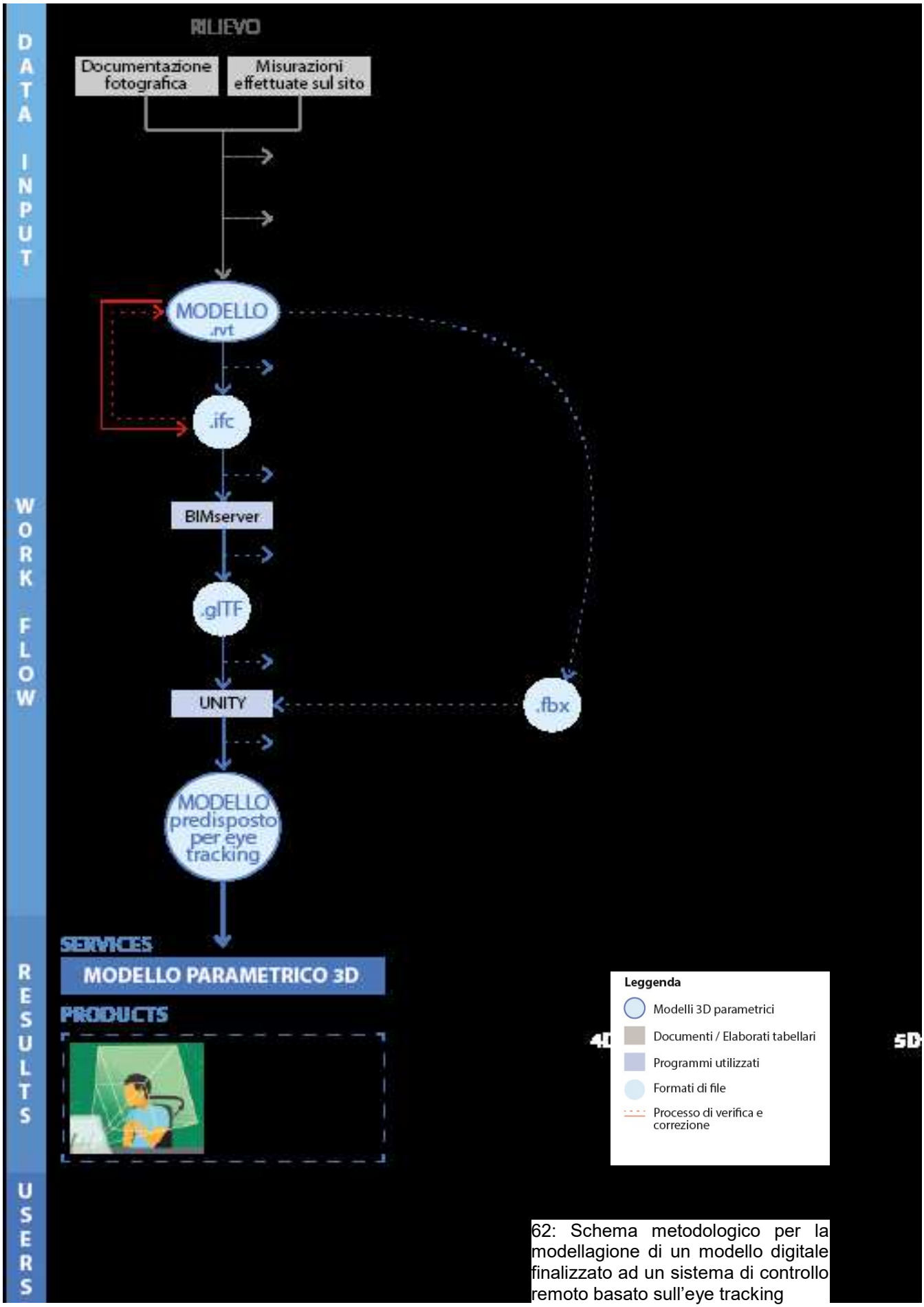




61: Screenshot di Cura, è possibile visualizzare come verrà stampata la geometria del modello (elementi in rosso) e l'eventuale disposizione dei supporti (elementi in azzurro)
Fonte: estratto da Cura

Questo permette di valutare se tutte le geometrie del modello virtuale verranno effettivamante modellate dalla stampante o se sono presrenti disconinuità che potrebbero mettere a rischio l'intera stampa. Per concludere è anche possibile visualizzare quelli che saranno i movimenti compiuti dalla macchina in fase di stampa per la realizzazione del modello.

Quest'ultima informazione, in particolare, fa parte dei dati che una volta esportati vanno a costituire il contenuto dei file G-code. Una tipologia di formati creati da software CAM (Computer Aided Manufacturing) utilizzati per controllare ogni tipo di macchina a controllo numerico (Cnc), tra cui le stampanti 3D. Come spiegato nel dettaglio al capitolo 1.3.3, i G-code si basano su un semplice linguaggio di programmazione di vecchia concezione, trattato anche da piccole unità di elaborazione, da sempre impiegato nella produzione assistita da computer. Il contenuto di questo formato consiste in una lunga serie di comandi, che corrispondono ai movimenti che la stampante dovrà compiere per creare fisicamante il modello. Una volta effettuato quest'ultimo passaggio, il modello è pronto per essere caricato, mediante chiavetta, nella stampante 3D e realizzato.



62: Schema metodologico per la modellagione di un modello digitale finalizzato ad un sistema di controllo remoto basato sull'eye tracking

2.14 Interoperabilità tra ambiti interdisciplinari

Il focus della tesi relativo allo sviluppo di un modello operativo per ottimizzare l'uso del modello da parte dei pazienti della struttura afgfetti dalla SLA è stato svolto in collaborazione con Alotti Francesco, un laureando della magistrale d'ingegneria biomedica. Questo studente, come me e molti altri, ha svolto una tesi sul caso studio del Trompone, anche se da un punto di vista differente.

Il suo intento è quello di sviluppare un'interfaccia che, coadiuvata da un sistema di eye tracking ed appositi dispositivi elettronici comandabili da remoto, aumenti l'autonomia dei pazienti con ridotte capacità motorie e di conseguenza una migliore qualità della vita. Questo sarebbe possibile permettendo a questi ultimi d'interagire, grazie ad un sistema di controllo oculare, con un modello virtuale della stanza di degenza in cui si trovano e di conseguenza con l'ambiente circostante.

La nostra collaborazione è nata a partire dalla sua esigenza di disporre di un modello virtuale di una stanza di degenza situata all'interno della RSA (Residenza Sanitaria Assistenziale), area nella quale vengono ospitati pazienti affetti da malattie degenerative di varia natura.

Per questo motivo, a seguito di un sopralluogo, è stata realizzata una riproduzione di una camera ospedaliera esistente, comprendente gli elementi architettonici, le attrezzature, gli arredi e gli impianti presenti al suo interno. In questa maniera sono state modellate le attrezzature sulle quali il soggetto potrebbe esercitare un controllo remoto ed allo stesso tempo anche gli elementi architettonici che gli permetterebbero di riconoscere, nella riproduzione virtuale con cui s'interfaccia, l'ambiente che lo circonda. Inoltre, questo modello, prima di essere importato su Unity, sarà caricato su BIM Server. In questo modo i parametri in esso contenuti, dimensionali e non, sarebbero costantemente a disposizione di tutti i potenziali professionisti che necessitassero di consultarli ed aggiornarli. Queste azioni possono essere svolte da qualsiasi luogo dotato di una comune connessione Internet e in diverse modalità sulla base del ruolo con cui ci si approccia al modello.

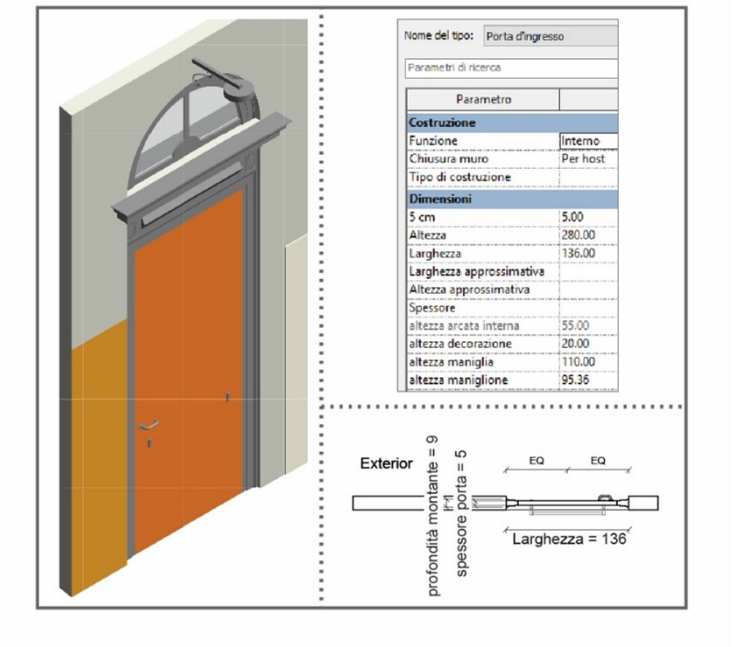
Successivamente questo modello verrà esportato il formato .glTF in modo da poter essere importato all'interno di Unity e, grazie a degli appositi script, modificato per consentire l'utilizzo di un sistema eye tracking.

2.14.1 Creazione di famiglie post rilievo

Dovendo realizzare una riproduzione virtuale di una stanza esistente è stato necessario ricorrere alla creazione di numerose famiglie che rispecchiassero i vari elementi, architettonici e non, presenti all'interno della camera.
Tra queste quelle che hanno richiesto un maggiore impegno a livello di modellazione sono quella della porta d'ingresso e quelle corrispondenti a diversi elementi di arredo fisso.

L'ingresso alla camera di degenza è costituito da una porta antica. Questo infisso è caratterizzato da un telaio in legno con una sagomatura complessa sormontato da un architrave riccamente decorato. Quest'ultimo a sua volta sorregge un infisso semicircolare, anch'esso accuratamente sagomato. Non avendo preso durante il primo sopralluogo le misure relative alla complessa geometria del telaio, si è scelto di rendere la famiglia della porta altamente parametrica. In questo modo il profilo del telaio può essere eventualmente modificato in un secondo momento senza determinare delle considerevoli perdite di tempo. Per queste ragioni la sagomatura che caratterizza il telaio fisso dell'infisso è stata modellata ricorrendo all'estrusione su percorso di un profilo. I contorni di quest'ultimo sono stati modellati in una apposita famiglia, mentre il percorso è dato dalla traccia dell'apertura all'interno della parete. In questo modo, se successivamente il profilo del telaio dovesse essere modificato, basterebbe effettuare le opportune modifiche sulla famiglia del profilo. Questa, una volta importata nella famiglia della porta comporterebbe la sovrascrizione del profilo utilizzato per l'estrusione su percorso. Di conseguenza, nella famiglia della porta, il telaio risulterebbe come l'estrusione del nuovo tracciato e si adatterebbe alla nuova geometria.
La stessa soluzione è stata adottata per la modellazione del telaio del serramento semicircolare che sovrasta la porta d'ingresso. Anche questo è il frutto di una estrusione su percorso vincolata a quelli che sono in margini dell'apertura nella parete.
Un ragionamento analogo è stato fatto anche al momento di modellare parte dell'architrave che separa la porta dell'infisso sovrastante. La complessa volumetria della porzione superiore di quest'ultimo è stata realizzata, come nei casi precedentemente citati, grazie ad un'estrusione su percorso. In questo caso

il percorso lungo il quale viene estruso il profilo è il contorno superiore degli elementi decorativi al di sopra dei quali si trova questo elemento.
Tali elementi decorativi, a differenza di quelli citati fino a questo momento, non sono frutto di un qualche tipo di estrusione ma sono, invece, delle famiglie di modelli generici importate e vincolate a un piano, vincolato a sua volta alla porzione superiore del montante fisso della porta d'ingresso.



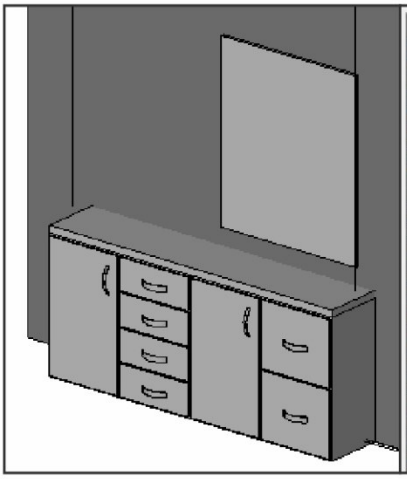
63: Famiglia parametrica di una porta realizzata in seguito ad un rilievo e relativi parametri.
Fonte: estratto da Revit

In questo modo si è ottenuta una famiglia parametrica nidificata, ossia una famiglia al cui interno sono caricate altre famiglie parametriche. Tuttavia, gli elementi interni a queste famiglie nidificate non compaiono all'interno degli abachi relativi al progetto della camera di degenza. Questo perché è stato opportunamente deflaggato il parametro **"*condividi*"** durante la realizzazione di questi ultimi.

Nella modellazione dell'arredo fisso della stanza, come fatto precedentemente, si è scelto di creare delle famiglie parametriche altamente modificabili. Infatti, sebbene dalle foto effettuate durante il sopraluogo fosse chiara la geometria di base del mobilio, la mancanza delle misure precise di quest'ultimo impediva un'immediata modellazione fedele all'originale. Di conseguenza, anche in questo caso si è proceduto alla modellazione di elementi altamente parametrici. Difatti,

ogni volume che caratterizza l'arredo, sia aperto che chiuso, è modificabile nei parametri relativi all'altezza, la larghezza e la profondità.

Nonostante questo, le varie estrusioni che rappresentano il mobilio sono modellate in maniera tale che, pur modificando i parametri dimensionali precedentemente citati, non si perde la struttura di base dell'elemento finito. I vari corpi del mobile, infatti, risultano sempre allineati su un lato piuttosto che un altro e le relazioni dimensionali rimangono invariate, mentre le ante, dotate di maniglie, si adattano senza che debbano essere né corrette ne modificate.



Parametro	Valore	Formula	
Dimensioni			
000	0.00	=	☑
2 spessore bordi cassetti inf	1.00	=	☑
LUNGHEZZA MENSOLA	176.00	= larghezza b	☑
Profondità		=	☑
Larghezza		=	☑
Altezza		=	☑
altezza h automatica	74.00	= altezza h -	☑
altezza lavagna	100.00	=	☐
altezza lavagna dal piano	18.56	=	☐
altezza maniglia	168.46	= cassetto pi	☐
altezza penisola	4.00	=	☐
cassetto piccolo	336.91	=	☐
distanza lavagna dal piano	17.56	=	☐
larghezza b	44.00	=	☑
altezza h	75.00	=	☑
larghezza lavagna	84.00	=	☐
m	0.50	=	☑
profondità mobili	33.00	=	☑
profondità penisola	80.00	=	☑
spessore lavagna	2.00	=	☐

64: Famiglia parametrica di un elemento di arredo realizzata in seguito ad un sopralluogo e relativi parametri
Fonte: estratto da Revit

3 RISULTATI

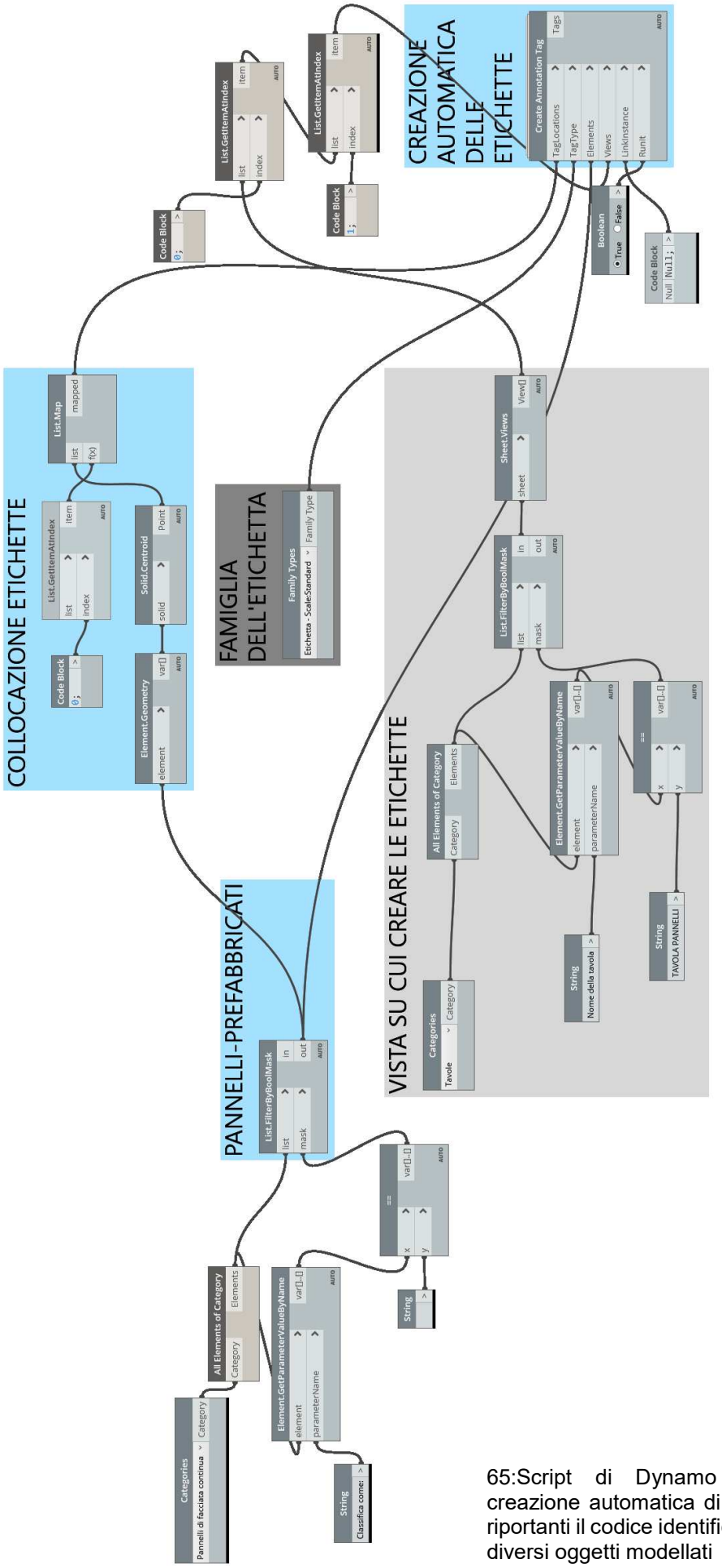
3.1 Modellazione per il Construction management

3.1.1 Elaborati per l'identificazione univoca degli elementi edilizzi

Grazie al codice identificativo realizzato per il construction management della struttura è possibile identificare in maniera univoca i diversi componenti edilizi che compongono il progetto. Questo vale in particolare per i pannelli prefabbricati. Di questi, infatti, viene definito:

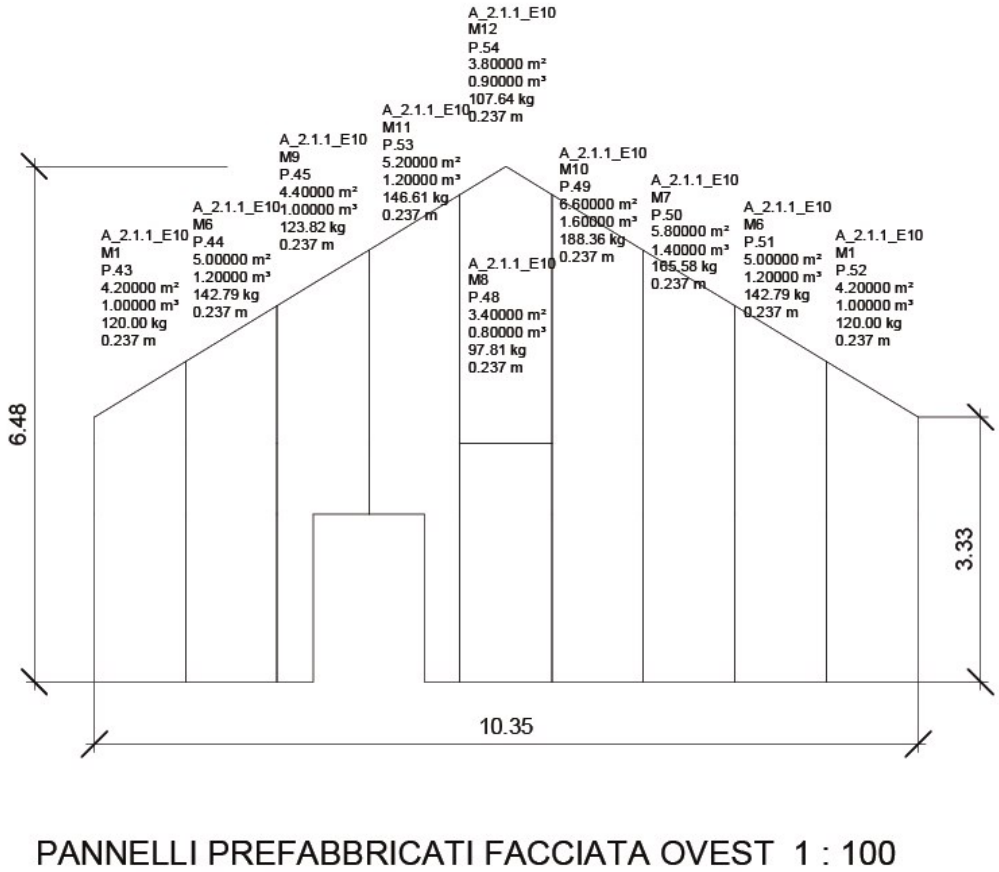
- il fabbricato in cui sono posizionati
- la funzione; sulla base dell'UNI 8290
- la tipologia di elemento; sulla base dell'Omniclass 23
- il modello; che dipende dalle sue caratteristiche specifiche (area, volume, massa e spessore)
- la posizione occupata
- l'ordine di posa

Disponendo di questi dati, è possibile sapere quanti pannelli prefabbricati acquistare di un determinato tipo. Inoltre, questo codice può essere utilizzato in fase di cantiere per identificare i diversi pannelli durante le fasi di stoccaggio del materiale e durante le fasi di posizionamento.
Per favorire questi procedimenti è stato realizzato un apposito script di Dynamo. Quest'ultimo crea automanicamente delle etichette che vengono applicate a tutti i pannelli prefabbricati presenti all'interno del progetto e ne riportano il codice identificativo.



65:Script di Dynamo per la creazione automatica di etichette riportanti il codice identificativo dei diversi oggetti modellati

In questo modo e grazie ad appositi filtri di visualizzazione è possibile realizzare rapidamente degli elaborati grafici, come quello riportato, utilizzabili in fase di cantiere.



66: Stralcio di una vista prospettica estratta da Revit dei pannelli di facciata prefabbricati a cui sono stati attribuite automaticamente le etichette grazie ad uno scipt di Dynamo

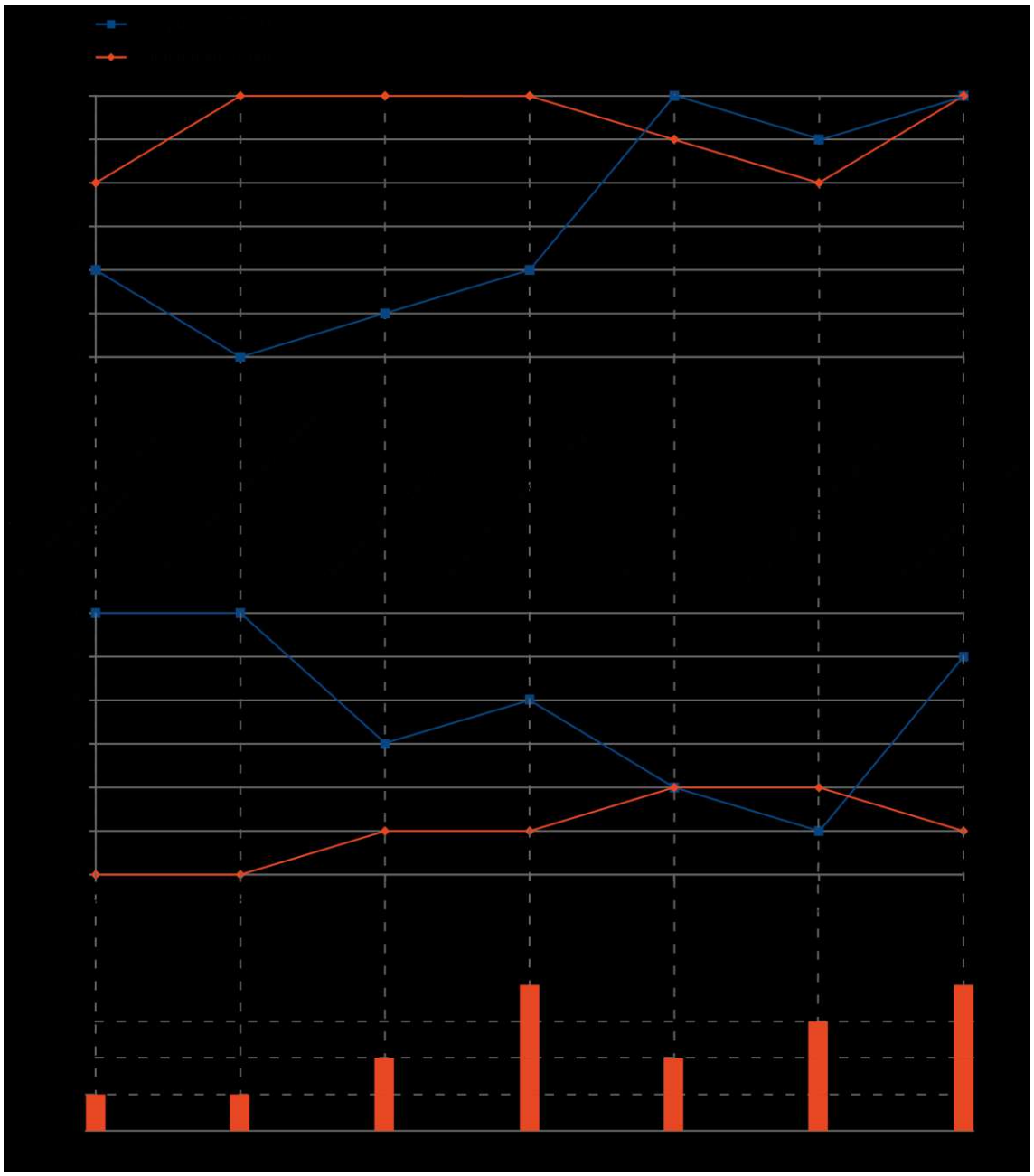
3.1.2 Confronto tra computi realizzati su Revit e Primus

Nello sviluppo della quinta dimensione del modello virtuale, quella relativa all'aspetto economico della struttura, si è scelto di confrontare le potenzialità di Revit, il software nel quale il sistema edilizio è stato effettivamente modellato, con quelle di Primus, un programma specifico per la computazione. In questo modo è stato possibile vedere i vantaggi e gli svantaggi legati all'utilizzo di questi due strumenti, le criticità di Revit rispetto alla computazione e le conseguenze legate all'adozione di due differenti metodologie di lavoro.

Nel primo caso, infatti, è stato adotto un approccio stand-alone attraverso il quale gli outputs relativi al processo costruttivo sono stati ottenuti attraverso il solo

utilizzo del software di modellazione parametrica Revit ed i sui plug-in, in particolare Dynamo. Nel secondo caso, invece, si è ricorso a un software che presenta un'elevata interoperabilità con Revit, Primus, adottando una metodologia di lavoro più vicina ai principi d'interoperabilità e condivisione dei dati proposta dal BIM.

COMPUTO REVIT	COMPUTO PRIMUS
I parametri disponibili all'interno di Revit non sono utilizzabili all'interno degli elaborati tabellari multicategoria, a meno che non si tratti di parametri condivisi o relativi ai materiali.	In Primus, grazie al formato IFC, vengono importati e sono utilizzabili tutti i parametri sviluppati su Revit, fatta eccezione per le proprietà dei materiali che non vengono esportate.
Nonostante le diverse strategie adottate, non è possibile creare all'interno di Revit un elaborato tabellare che contenga e tutte le famiglie di elementi edilizi modellati e che permetta di conseguenza la creazione di un un computo metrico omnicomprensivo.	In Primus è possibile creare un unico elaborato tabellare per computare tutti gli elementi edilizzi modellati all'interno del progetto.
Ai diversi elementi modellati corrisponde un unico prezzo unitario (somma dei prezzi unitari relativi alle diverse voci di prezzo).	Ad un un unico elemento possono essere associate più voci di lavorazioni (non si perdono i singoli prezzi unitari ed altri dati come la diversa incidenza della manodopera.
I prezzi unitari vengono associati ai diversi elementi edilizzi per mezzo di un parametro condiviso (tra questi elementi non vi è alcun'altra relazione).	Le voci del computo metrico sono associate ai diversi elementi modellati grazie agli #TagBIM che creano una relazione biunivoca.
Sfruttando i filtri degli abachi è possibile determinare i costi delle sigole fasi di costruzione e delle classi di elementi edilizzi.	Riccorrendo agli #TagBIM è possibile determinare i costi delle delle sigole fasi di costruzione e delle classi di elementi edilizzi.
I computi realizzati attraverso gli abachi monocategoria tengono conto delle modifiche efettuate sul progetto in tempo reale, in questo modo è possibile tenere conto di questo aspetto durante la fase di progettazione. In alternativa è possibile ricorrere a Dynamo.	Nonostante l'interoperabilità garantità tra Revit e Primus, l'aggionamento del computo è legato all'esportazione del modello in IFC e alla conversione di appositi parametri Revit in stringhe di codice. Questi, importati all'interno di Primus, generano #TagBIM.
All'interno di Revit i valori numerici possono essere approssimati per eccesso o per difetto oltre le tre cifre decimali.	All'interno di Primus i valori numerici possono essere approssimati per eccesso o per difetto oltre le tre cifre decimali.



67: Tabella e schemi per un confronto tra il computo realizzato attraverso Revit e quello realizzato grazie a Primus.

Gli schemi riportati mostrano, a seconda degli aspetti che si vanno a considerare, i risultati ed i costi in termini di tempo legati all'utilizzo di questi programmi.

Come accennato precedentemente, non è possibile estrarre da Revit degli elaborati tabellari che consistano in un computo metrico complessivo della struttura. Inoltre, tentare di ottenere un risultato vicino a quanto detto comporta un eccessivo costo in termini di tempo a fronte del risultato ottenuto.

Inoltre, Primus ha il vantaggio di mantenere tutte le informazioni relative alla voce di prezzo che viene utilizzata, tra cui l'incidenza della manodopera. Infatti, a differenza di Revit, nel quale ai diversi elementi modellati corrisponde un’unica

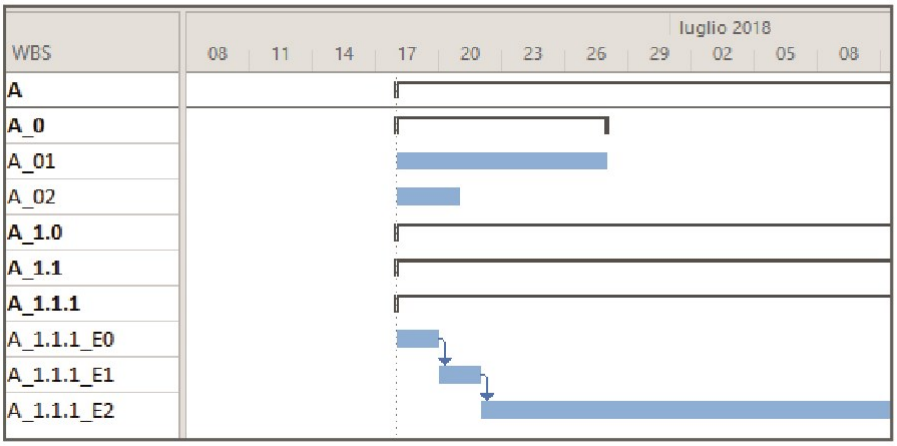
voce di costo, è possibile associare ad un elemento più lavorazioni è risparmiare tempo interfacciandosi direttamente con un preziario informatico modificabile.
Sempre in Primus, grazie all'inovativo sistema dei TagBIM, è garantita una relazione biunivoca tra gli oggetti modellati e le relative voci di prezzo, il che riduce i possibili errori e le ambiguità a cui è soggetto il computo realizzato su Revit.
Infine, per quanto questi software siano interoperabili, l'aggiornamento del computo su Primus è legato all'esportazione di un file IFC da Revit. D'altra parte, il computo realizzato su Revit permette di visualizzare immediatamente le modifiche apportate al progetto.
Quest'ultimo risulta il principale vantaggio legato all'utilizzo di Revit per la computazione. Di conseguenza, sulla base di quanto osservato, Revit si presenta come il software migliore da usare in una fase iniziale di progettazione per confrontare rapidamente, senza scendere nel dettaglio, l'impatto delle diverse scelte progettuali. Al contrario, Primus risulta più adatto per la computazione di un modello che ha raggiunto un buon livello di definizione e per la creazione di elaborati finali.

3.1.3 Diagramma di Gantt

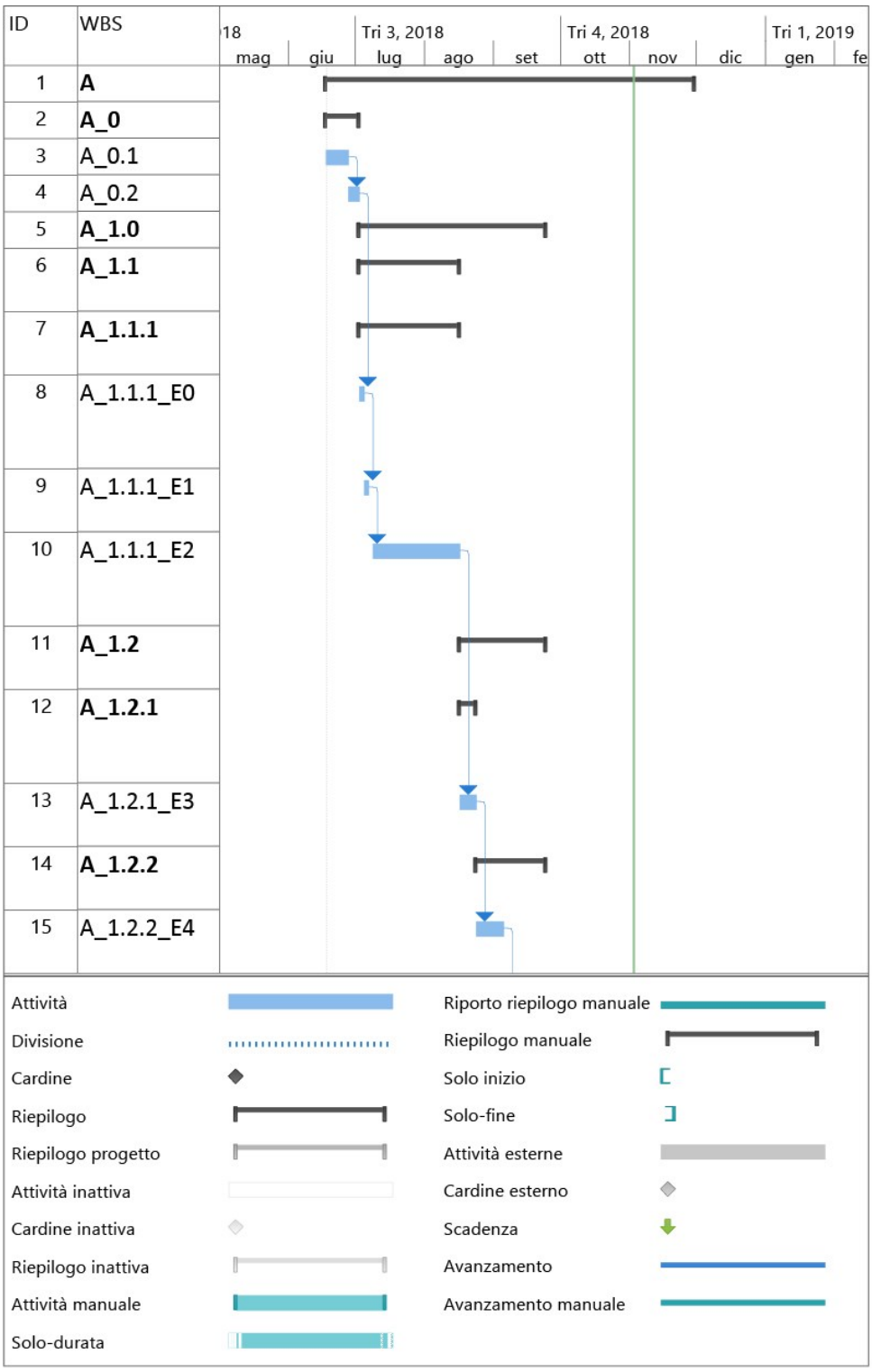
Il diagramma di Gantt relativo al progetto della serra bioclimatica è stato realizzando per mezzo di Microsoft Project. Questo è un software utile alla gestione dei progetti, delle risorse e del portfolio e viene descritto più approfonditamente nel paragrafo 1.2.4. In una colonna del grafico sono stati riportati i codici WBS corrispondenti alle diverse attività costruttive. In questo modo, in un secodo momento, sarà possibile associare su Naviswork i dati contenuti nel file project con gli elementi modellati in Revit sulla base di un comune codice identificativo e produrre una simulazione di cantiere.
Successivamente è stata determinata la durata delle singole attività, preoccupandosi che il programma considerasse automaticamente l'alternarsi di giorni lavorativi e festivi e considerasse una giornata lavorativa di 8 ore. Parallelamente, sono state impostate per ogni fase lavorativa quelle successive e/o precedenti. La relazione tra le diverse attività può essere: FI (Fine-Inizio), FF (Fine-Fine), II (Inizio-Inizio) e IF (Inizio-Fine). Per concludere sono stati inseriti all'interno del programma i dati relativi al costo delle varie attività. Questi sono

stati ottenuti precedentemente tramite Revit sulla base delle informazioni contenute nel Preziario Regionale Piemonte del 2018, considerando sia il costo dei materiali che l'incidenza della manodopera.

Il diagramma di Gantt ottenuto permette, quindi, di visualizzare graficamente il susseguisi delle diverse fasi di cantiere, le relazioni che s'instaurano tra queste, la loro durata e le risorse economiche impiegate.



68: Stralcio del diagramma di Gantt, strutturato sulla base della WBS di progetto
Fonte: estratto da Microsoft Project



69: Diagramma di Gantt basato sul codice WBS di progetto
Fonte: estratto da Microsoft project

Inoltre, il cronoprogramma tabellare a cui fa riferimento è articolato sulla base della struttura della WBS. Di conseguenza è possibile visualizzare non solo i dati relativi alle tempistiche e le risorse impiegate legati alle sigole lavorazioni ma anche quelli relativi all'interno progetto, alla realizzazione dei tre fabbricati che lo compongono e alle classi funzionali di unità tecnologica definite dall'UNI 8290.

ID	WBS	Nome attività	Durata	Costo
1	**A**	**Fabbricato A**	**119,06 g**	**€278.144,43**
103	**B**	**Fabbricato B**	**69,38 g**	**€20.852,83**
130	**C**	**Fabbricato C**	**55 g**	**€139.452,17**

70: Cronoprogramma tabellare basato sul codice WBS di progetto raggruppato rispetto ai fabbricati A, B e C
Fonte: estratto da Microsoft Project

WBS	Nome attività	Durata	Predecessori	Costo	Tipologia attività
A	**Fabbricato A**	**119,06 g**		**€278.144,43**	
A_0	**Opere previsionali**	**11 g**		**€7.329,33**	
A_0.1	Demolizione	8 g		€6.760,11	Demolizione
A_0.2	Scavo	3 g	3	€569,22	Costruzione
A_1.0	**Struttura portante**	**59,75 g**		**€82.052,24**	
A_1.1	**Struttura di fondazione**	**33 g**		**€18.112,01**	
A_1.1.1	**Struttura di fondazione diretta**	**33 g**		**€18.112,01**	
A_1.1.1_E0	Concrete formwork 23-13 31 17	2 g	4	€1.636,82	Temporaneo
A_1.1.1_E1	Metal framework 23-13 31 21 11 13	2 g	8	€4.336,36	Costruzione
A_1.1.1_E2	Shallow Foundations 23-13 29 15 (Structural Slabs-on-Grade 21-01 40 20)	29 g	9	€12.138,83	Costruzione

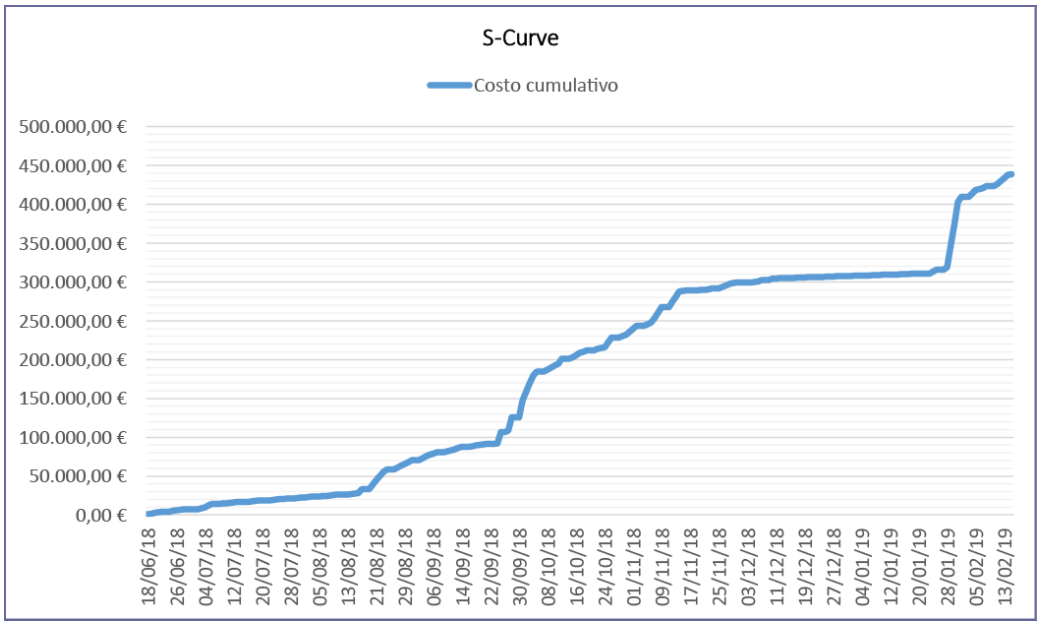
71: Cronoprogramma tabellare basato sul codice WBS esteso rispetto alla macroattività relativa al fabbricato A
Fonte: estratto da Microsoft Project

3.1.4 S curve

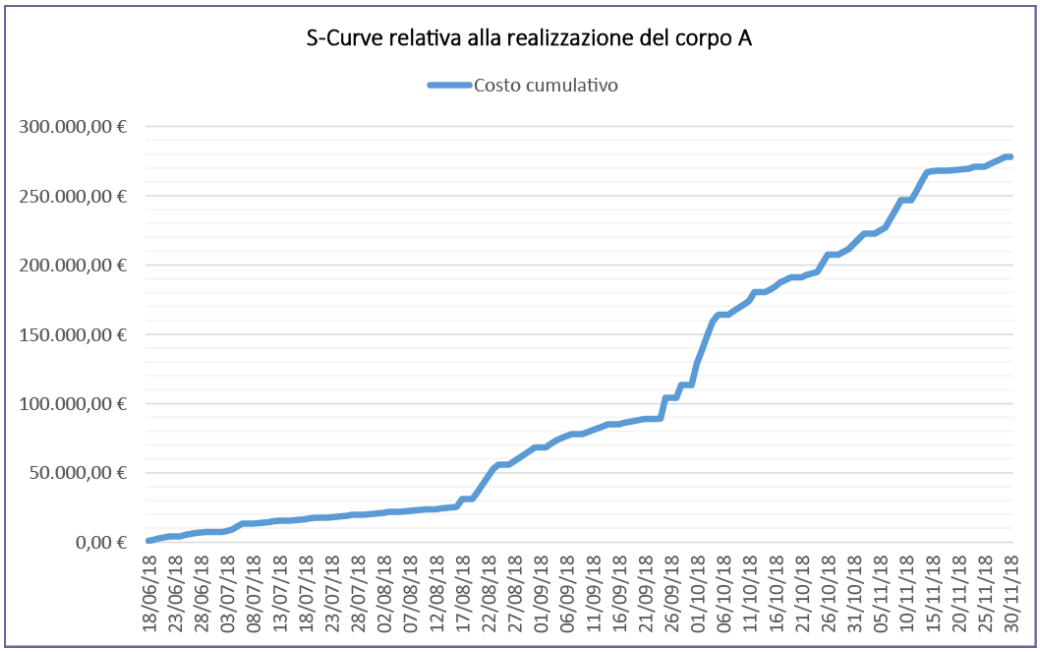
Sempre attraverso Microsoft Project e con i dati utilizzati per redarre il diagramma di Gant, è stato possibile estrarre dal programma la curva ad S relativa al progetto. Questo strumento, descritto più dettagliatamente al paragrafo 1.2.4, rappresenta graficamente l'incremento del costo totale del progetto durante la sua ralizzazione. Questo elaborato si è rivelato molto utile per l'analisi e la gestione dei costi di progetto.

Tradizionalmente la curva ad S di un progetto, basandosi sul costo comulativo dell'opera, ha un lento incremento nelle fasi iniziali e finali di cantiere che si fa più rapido durante le attività intermedie.

In questo caso, tuttavia, sono state considerate paricolari scelte costruttive che vanno ad alterare quanto appena detto. Infatti, osservando la curva ad S si può notare un anomalo incremento dei costi nella fase finale di cantiere.



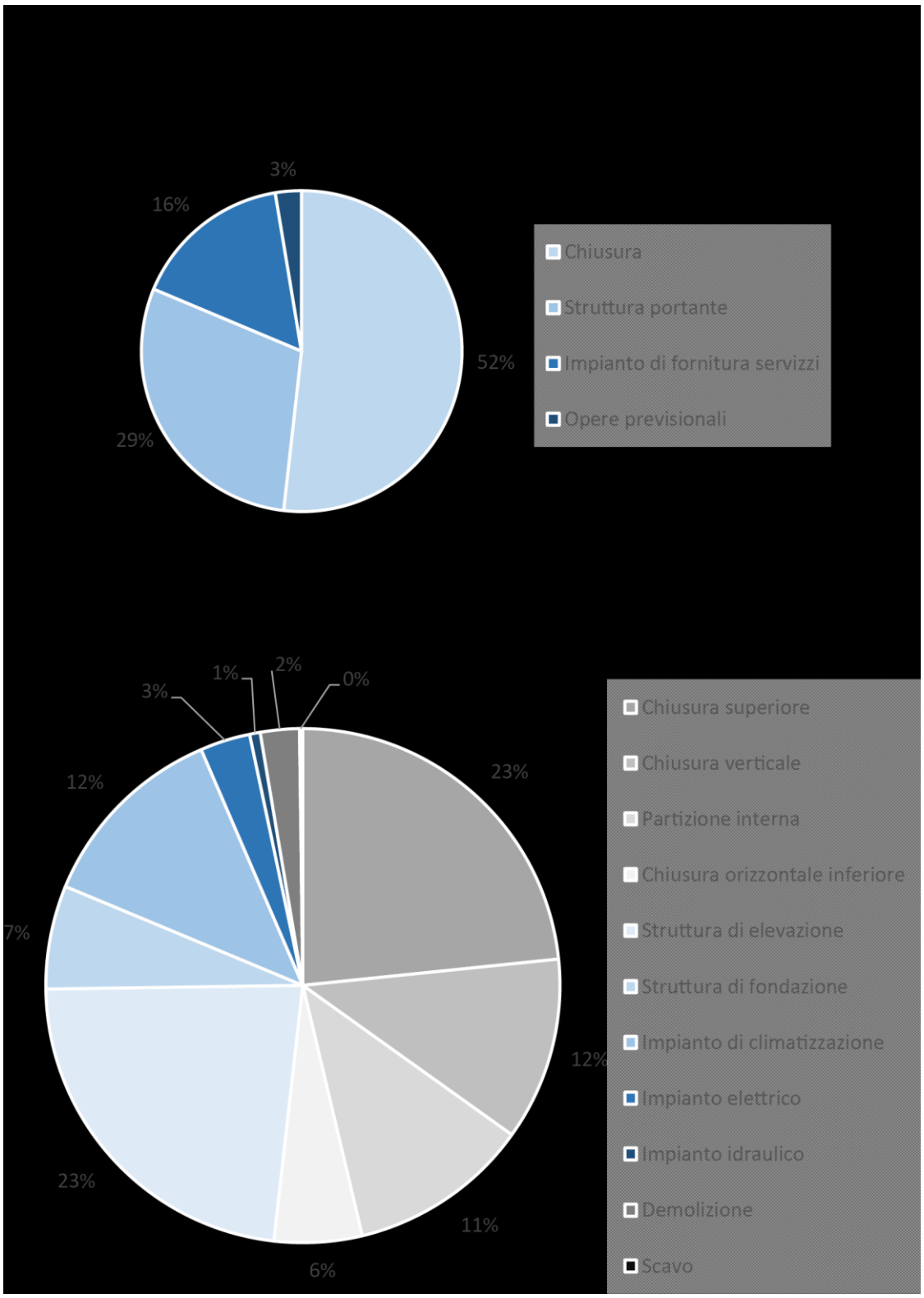
72: S curve relativa alla costruzione dei tre fabbricati in cui si articola il progetto della serra bioclimatica
Fonte: estratto da Microsoft Project

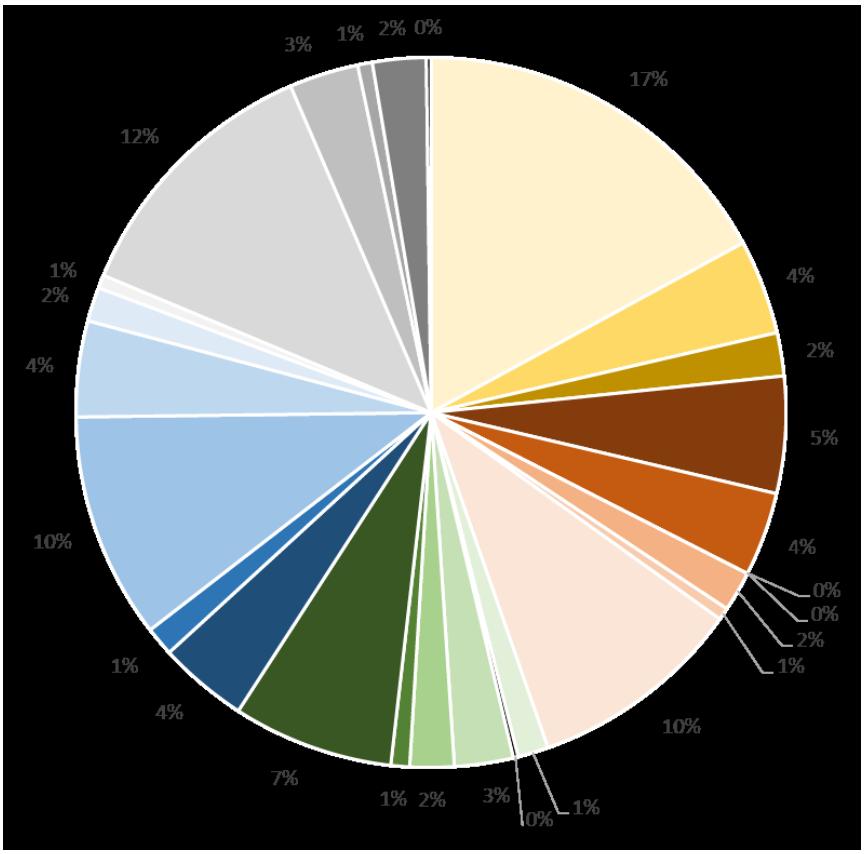


73: S curve relativa alla costruzione del solo corpo della serra bioclimatica, fabbricato "A"
Fonte: estratto da Microsoft Project

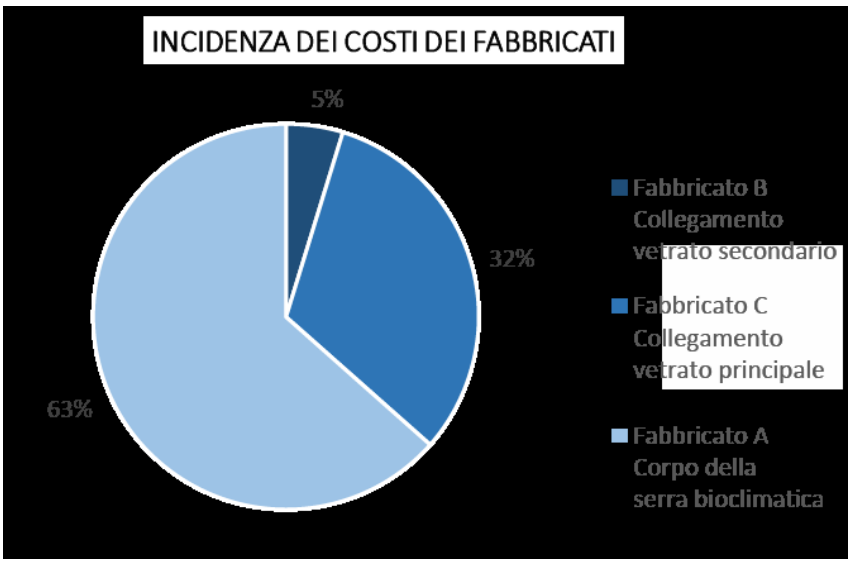
Questo perchè, mentre si è ipotizzato di realizzare contemporaneamente la serra bioclimatica e il collegamento, più corto, che la connette alle attuali lavanderie del Trompone, lo stesso non vale per la realizzazione del fabbricato di collegamento principale. La realizzazione di quest'ultimo, infatti, è stata ipotizzata come successiva a quelle precedentemente citate. Questa scelta è legata al fatto che la realizzazione di questo secondo corridoio vetrato risulta molto più onerosa del primo. Di conseguenza, dato che la serra disporrebbe già di un collegamento diretto con il resto della struttura ospedaliera, la realizzazione del sistema di collegamento principale dipenderebbe dalla disponibilità di risorse economiche. Sulla base di queste protrebbe essere realizzato una volta terminati i primi due cantieri o, in alternativa, anche in un secondo momento a distanza di anni.

Questo strumento può essere sfruttato per confrontare tra di loro diversi scenari sulla base di differenti scelte progettuali, attrezzature impiegate, vincoli o impedimenti temporali. Nei capitoli successivi verrà, infatti, utilizzato per mettere a confronto due differenti scenari costruttivi.


3%
16%
52%
29%
Chiusura
Struttura portante
Impianto di fornitura servizzi
Opere previsionali
1%
2%
0%
3%
23%
12%
7%
12%
23%
11%
6%
Chiusura superiore
Chiusura verticale
Partizione interna
Chiusura orizzontale inferiore
Struttura di elevazione
Struttura di fondazione
Impianto di climatizzazione
Impianto elettrico
Impianto idraulico
Demolizione
Scavo



- Glazed Roof Structures 23-13 33 27 19
- Exterior Roof Panels 23-13 39 11
- Roof Windows 23-17 13 23
- Precast Modules 23-13 33 25
- (1)Curtain Wall Infill Panels 23-13 33 27 11 11 15
- (1)Curtain Wall Frames 23-13 33 27 11 11 11
- (2)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
- Glazed Door 23-17 11 21
- Metal Windows 23-17 13 13
- Pareti interne verticali
- Infissi interni verticali
- Ceiling Panels 23-15 13 21
- Plastic Flooring 23-15 17 15 13
- Cementitious Floor Underlayments 23-15 17 11 13 11
- Expanded Polystyrene Slab and Board Thermal Insulation 23-13 25 19 11 11 11
- Beams 23-13 35 11 13 13
- Web Beams and Joists 23-13 35 19 15
- (1)Ferrous Metal Rigid Profiles 23-13 17 11 11
- Columns 23-13 35 11 13 11
- Shallow Foundations 23-13 29 15 (Structural Slabs-on-Grade 21-01 40 20)
- Metal framework 23-13 31 21 11 13
- Concrete formwork 23-13 31 17
- Impianto di climatizzazione
- Impianto elettrico
- Impianto idraulico
- Demolizione
- Scavo

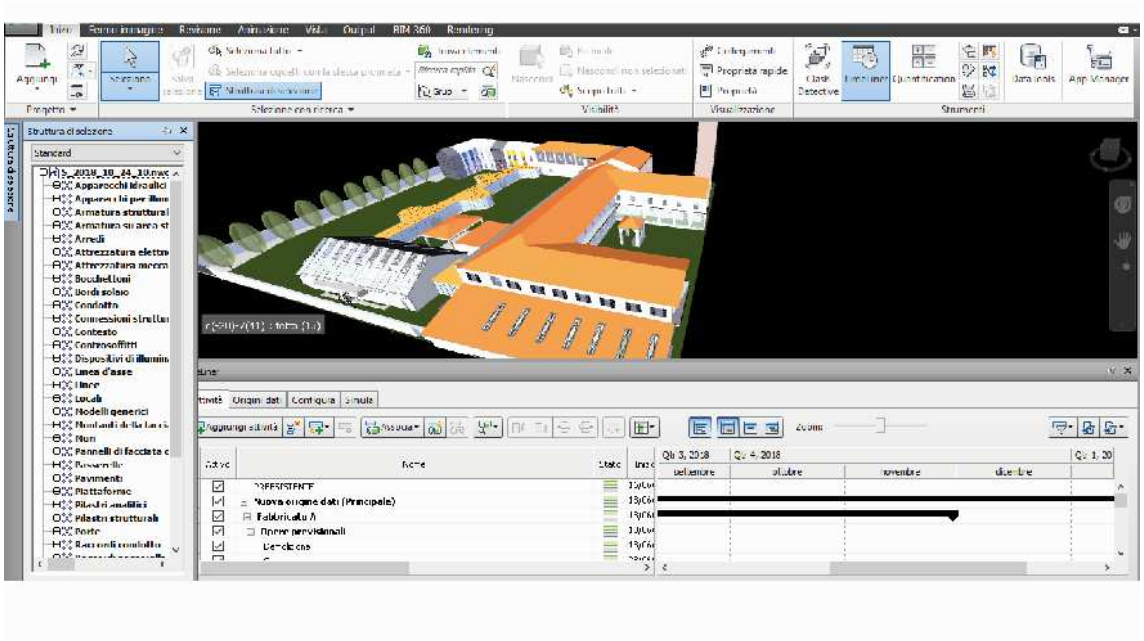


74: Grafici relativi all'incidenza dei costi strutturati sulla base del codice WBS
Fonte: estratto da Microsoft Project

3.1.5 Simulazione su Naviswork

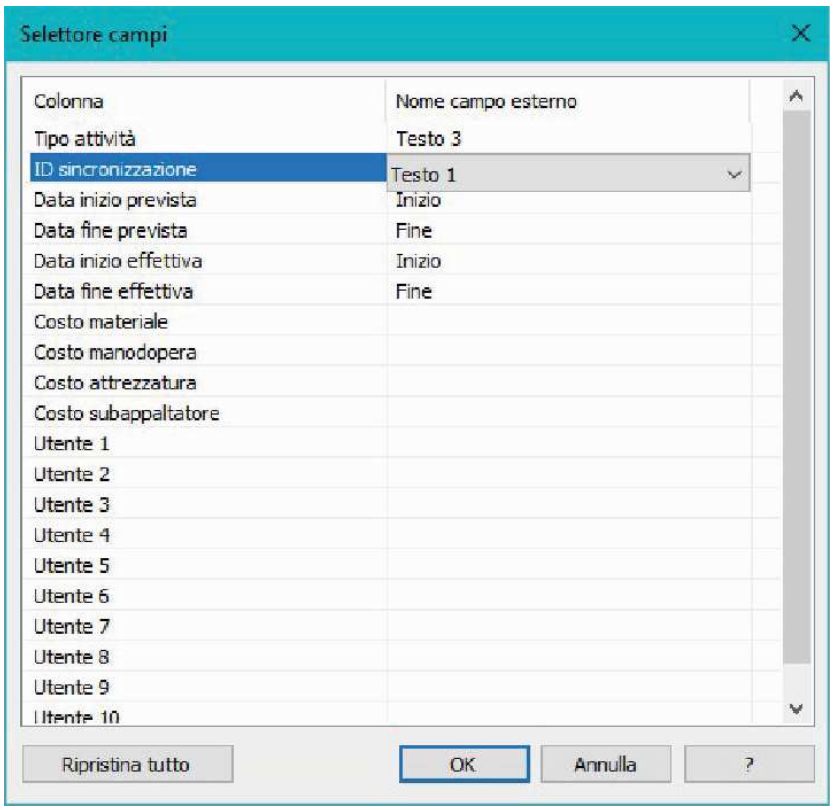
La scomposizione del progetto sulla base di una WBS, la definizione di un sistema di codifica e la realizzazione del diagramma di un cronoprogramma dei lavori su Microsoft Project hanno permesso la realizzazione di una simulazione di cantiere su Naviswork. Questo programma permette di associare gli oggetti modellati su Revit con i dati contenuti in Microsoft Project sulla base di un codice identificativo comune.

Il modello virtuale realizzato su Revit è stato esportato come .nwc e successivamente importato su Naviswork. In questo modo è stato possibile trasferire non solo la componente geometrica, ma anche i parametri dei vari elementi modellati, tra cui il loro codice identificativo. Questo processo di esportazione risulta semplificato grazie all'interoperabilità di questi due programmi. Revit, infatti, dispone di un apposito plug-in che permette un trasferimento dei dati in questo formato.
Inoltre, selezionando le apposite impostazioni, è stato possibile esportare solamente gli elementi visibili in una determinata vista di Revit, compresi quelli appartenenti a file linkati. In questo modo è stato possibile esportare sia il modello della serra bioclimatica sia la preesistenza. Quest'ultima, infatti, si trova in un file a parte linkato al modello di progetto.



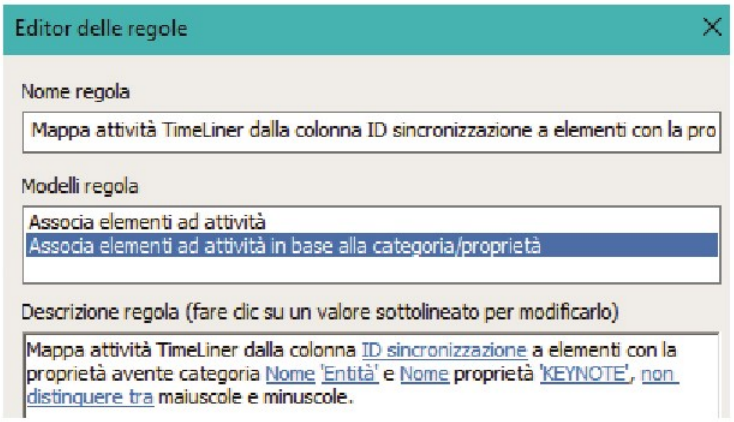
75: Modello della serra bioclimatica esportato in formato .nwc ed aperto su Naviswork
Fonte: estratto da Naviswork

Successivamente, dopo aver importato il modello all'interno di Naviswork, è stato possibile caricare i dati contenuti nel file .mpp, contenente il cronoprogramma dei lavori, andando nella sezione origine dati. In seguito a questo passaggio, è stato necessario definire un'iniziale associazione tra le colonne compilate su Project e la tipologia di dati riconosciuta da Naviswork. Tra questi vi sono il codice identificativo degli elementi, la tipologia di attività (costruzione, demolizione, temporaneo) e la data d'inizio e fine delle lavorazioni.



76: Selettore campi per associazione tra le colonne compilate su Project e la tipologia di dati riconosciuta da Naviswork
Fonte: estratto da Navoswork

Dopo si è passato alla creazione di una regola di associazione automatica tra gli elementi di progetto e le attività lavorative del cronoprogramma basata quello che è stato precedentemente definito come il codice identificativo.

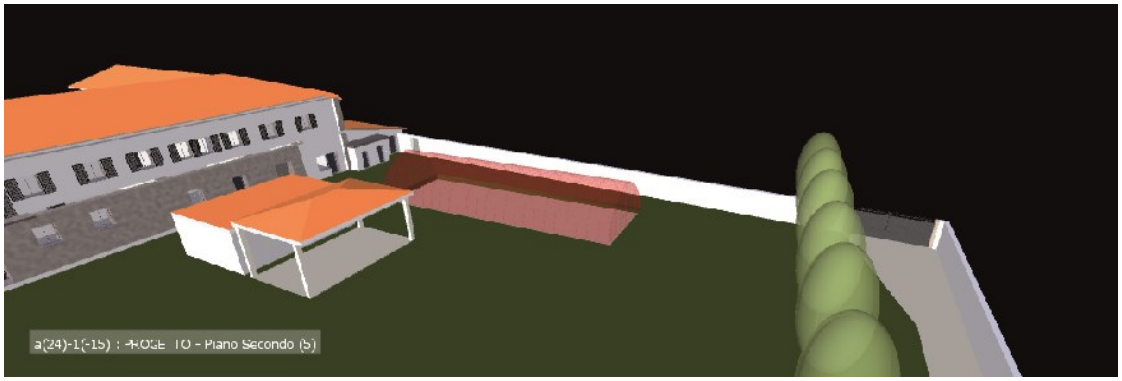


77: Creazione delle regole di associazione per il codice WBS
Fonte: estratto da Naviswork

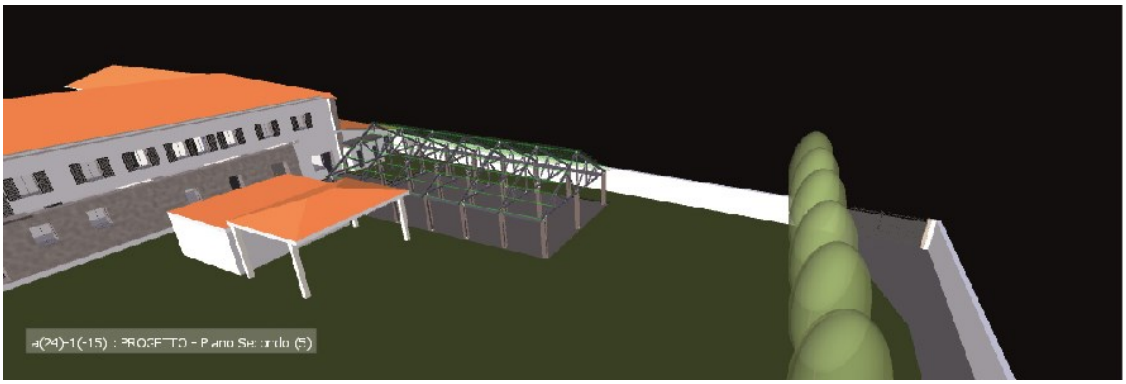
Le associazioni relative alle fasi di scavo sono state eseguite manualmente, in quanto all'interno di Revit lo scavo coincide con l'elemento topografico. Questo

ha comportato alcune difficoltà, in quanto a una fase di scavo presente sul diagramma di Gant corrispondevano due attività a livello di simulazione. La demolizione della precedente topografia e la creazione di una nuova contenente lo scavo.

Dopo aver terminato questi aspetti e aver opportunatamente settato le configurazioni di visualizzazione, si è potuto lanciare la simulazione del processo costruttivo. Quest'ultima si è rivelata molto utile per effettuare un controllo di cantiere. Si è potuta assicurare la linearità delle fasi lavorative e che non vi fossero errori nel cronoprogramma o nell'attribuzione dei codici identificativi. Inoltre, grazie alla simulazione, è stato possibile verificare che la contemporaneità di più lavorazioni non creasse delle problematiche in fase di cantiere.



78: Simulazione realizzata su Naviswork, è possibile visualizzare l'alternarsi di fasi di demolizione e costruzione
Fonte: estratto da Naviswork



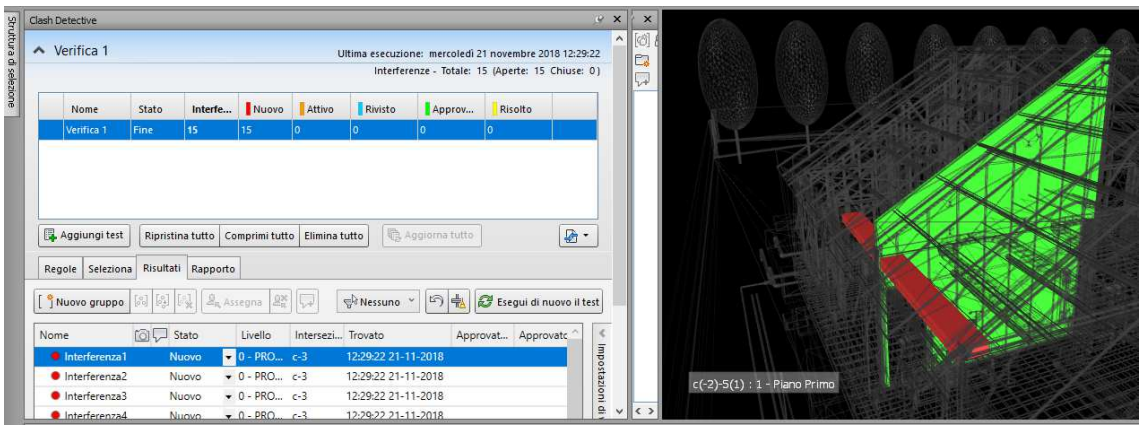
79: Simulazione realizzata su Naviswork, è possibile visualizzare il susseguirsi delle diverse fasi costruttive
Fonte: estratto da Naviswork

80: Qr code per visualizzare la simulazione

3.1.6 Clash detection, analisi delle interferenze

Dopo aver realizzato una simulazione del processo costruttivo su Naviswork, è stato possibile effettuare due differenti tipologie di clash detection per l'analisi delle interferenze all'interno del modello.

La prima, più immediata, riguarda le interferenze che si creano tra gli elementi appartenenti ad ambiti disciplinari differenti, indipendentemente che questi siano stati modellati su di un unico file centrale, ricorrendo al sistema dei worksets, o su file distinti linkati tra di loro. Tale tipologia di verifica può quindi essere utile per visualizzare le interferenze che si creano tra le componenti architettoniche, strutturali ed impiantistiche del progetto.
Nell'immagine riportata viene evidenziata l'interferenza tra uno dei tramezzi interni alla serra bioclimatica e un condotto facente parte del sistema di ventilazione. Questo test è utile per individuare e risolvere tale tipologia di problematiche che, se afforntate in fase di cantiere, potrebbero tradursi in ritardi e costi aggiuntivi. Sulla base di quanto emerso, infatti, è possibile modificare il file di partenza andando a modellare nella parete un'apertura che permetta il passaggioio del condotto. In questo modo, osservando gli elaborati estratti da Revit, degli ipotetici costruttori realizzerebbero il tramezzo e ne disporrebbero l'orditura interna tenedo conto di questo passaggio in maniera analoga a quanto viene fatto per le aperture che ospitano i serramenti. Non si renderebbe quindi necessaria la realizzazione di un foro o la ricostruzione della parete in un secondo momento.



81: Clash detection tra la componente architettonica ed impiantistica del progetto
Fonte: estratto da Naviswork

La seconda tipologia di verifica effettuata è una workflow clash. Questo test valuta le interferenze tra le attività lavorative in cui si articola il processo costruttivo.

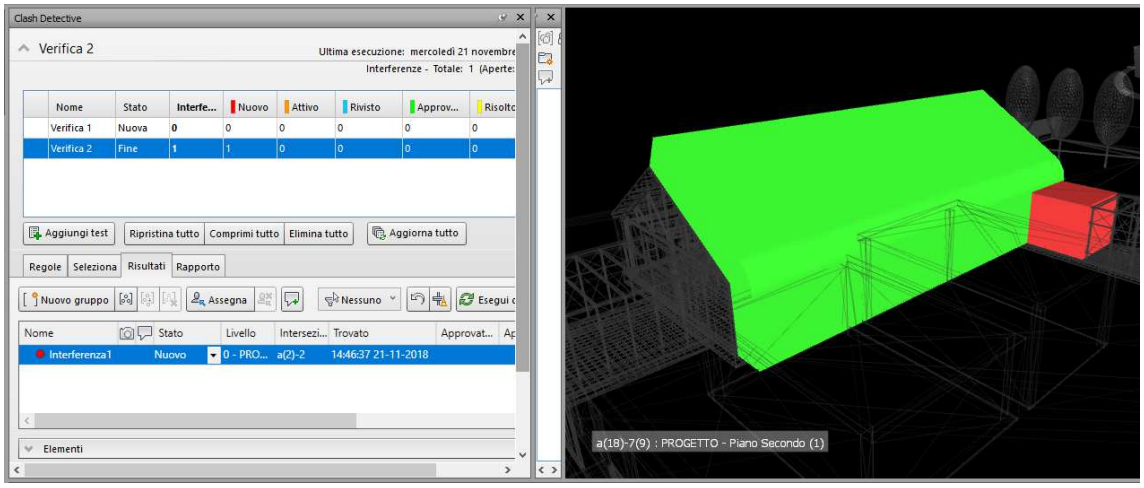
Per effettuarla sono state realizzate due masse. La prima rappresenta l'area di lavoro legata alla realizzazione di una porzione del collegamento vetrato della struttura. La seconda, invece, rappresenta lo spazio da lasciare libero per motivi di sicurezza durante la posa dei pannelli di copertura.

I risultati riportati mostrano come sia impossibile una contemporaneità tra queste due attività lavorative, in quanto metterebbero in pericolo la sicurezza degli operai. Quanto osservato può portare a due differenti soluzioni.

La prima consiste nell'eliminazione della contemporaneità di queste attività, che si può tradurre in un allungamento nelle tempistiche di cantiere.

La seconda, invece, nella realizzazione di un cronoprogramma e di una simulazione di cantiere più dettagliata. Nella realizzazione della simulazione, infatti, per non scendere ad un livello di dettaglio eccessivo, si è scelto di attribuire a tutti gli elementi leagti a un'unica attività lavorativa il medesimo codice identificativo che corrisponde ad una macroattività. Di conseguenza, non è possibile osservare come le attività legate alla realizzazione del collegamento vetrato precedentemente citato vengono svolte nella sua lunghezza nell'arco del tempo. In conclusione, potrebbe non essere necessario eleminare la contemporaneità delle attività se il fabbricato di collegamento comincia ad essere realizzato dalla porzione più lontana dalla serra bioclimatica nel momento in cui vengono movimentati i pannelli di copertura. Per verificare ciò sarebbe necessario disgregare queste macroattività come effettuato a titolo

esemplificativo per la macroattività relativa alla posa in opera dei pannelli prefabbricati. Quest'ultimi, infatti, vengono visualizzati all'interno della simulazione sulla base del loro parametro di posa che varia da singola istanza.



82: Clash detection tra differenti attività lavorative, la posa in opera dei pannelli di copertura e la realizzazione di una porzione del corridoio vetrato
Fonte: estratto da Naviswork

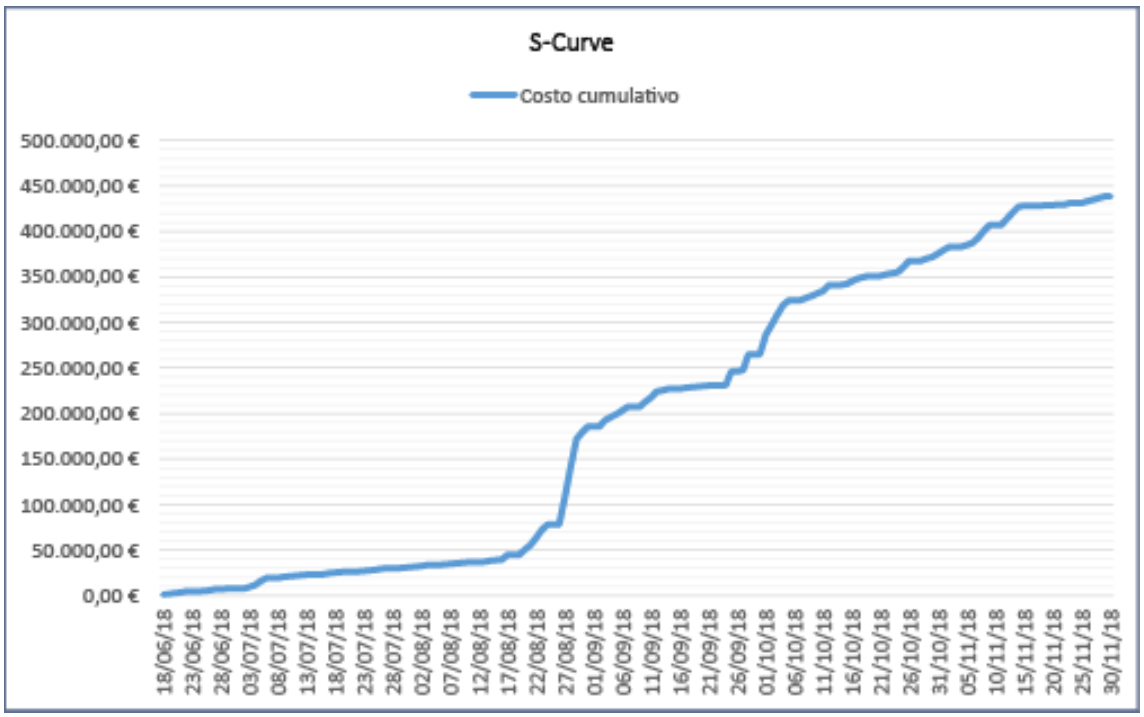
3.1.7 Diversi scenari a confronto

La realizzazione del cronoprogramma, di diversi elaborati grafici, tra cui il diagramma di Gant e la S curve, e di una simulazione del processo cosruttivo su Naviswork hanno permesso il confronto tra diversi scenari costruttivi possibili.

In un primo momento, come spiegato nei capitoli precedenti, si è ipotizzato di realizzare contemporaneamente la serra bioclimatica e il collegamento vetrato più corto e solo successivamente il collegamento principale ipotizzando la disponibilità di un budget limitato.

Considerando questo scenario, come spiegato nei capitoli precedenti, la S curve ottenuta grazie a Microsoft Project ha un andamneto inconsueto. Infatti vi è un incremento dei costi nella fase finale di cantiere dovuti alla realizzazione del collegamento vetrato principale.

Si è voluto quindi considerare uno scenario alternativo, più ottimistico, che preveda una disponibilità di budget tale da non doversi porre le problematiche precedentemente considerate. In questo caso i tre fabbricati in cui è articolata la struttura potrebbero essere realizzati simultaneamente.



83: S curve relativa ad uno scenario costruttivo alternativo
Fonte: estratto da Maicrosoft Project

In questo caso la S curve relativa al processo costruttivo ha un aspetto tradizionale in quanto le spese di costruzione si distribiscono uniformente nel tempo.

Successivamente, sulla base del nuovo cronoprogramma realtivo al nuovo scenario costruttivo, si è realizzata una nuova simulazione su Naviswork. Questa ha permesso di visualizzare la consequenzialità delle attività lavorative ed efettuare delle apposite verifiche per le interferenze. Queste verifiche ed i loro risultati sono riportati nel paragrafo 3.1.6.

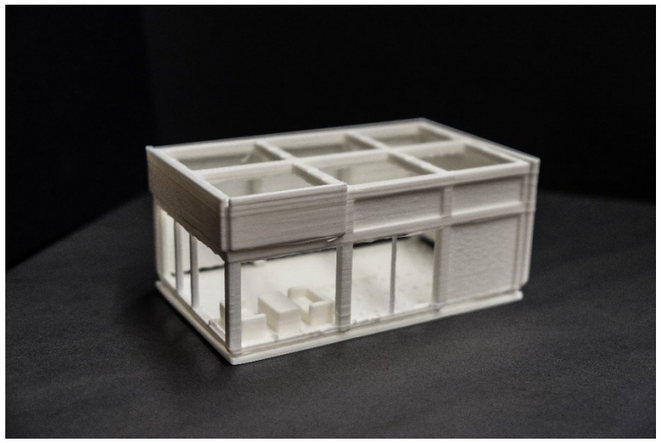
3.2 Modellazione per la stampa 3D

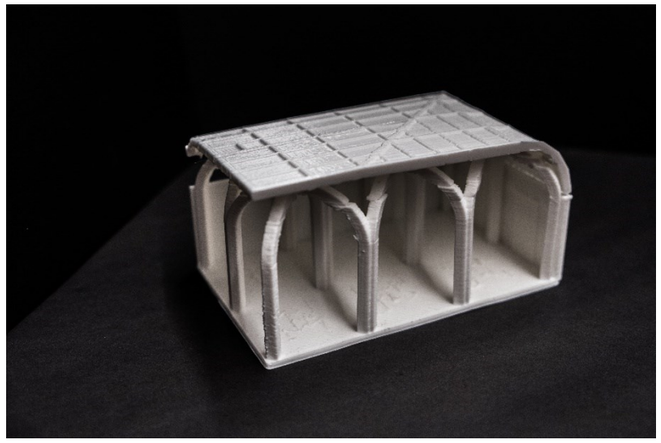
3.2.1 Modelli 3D

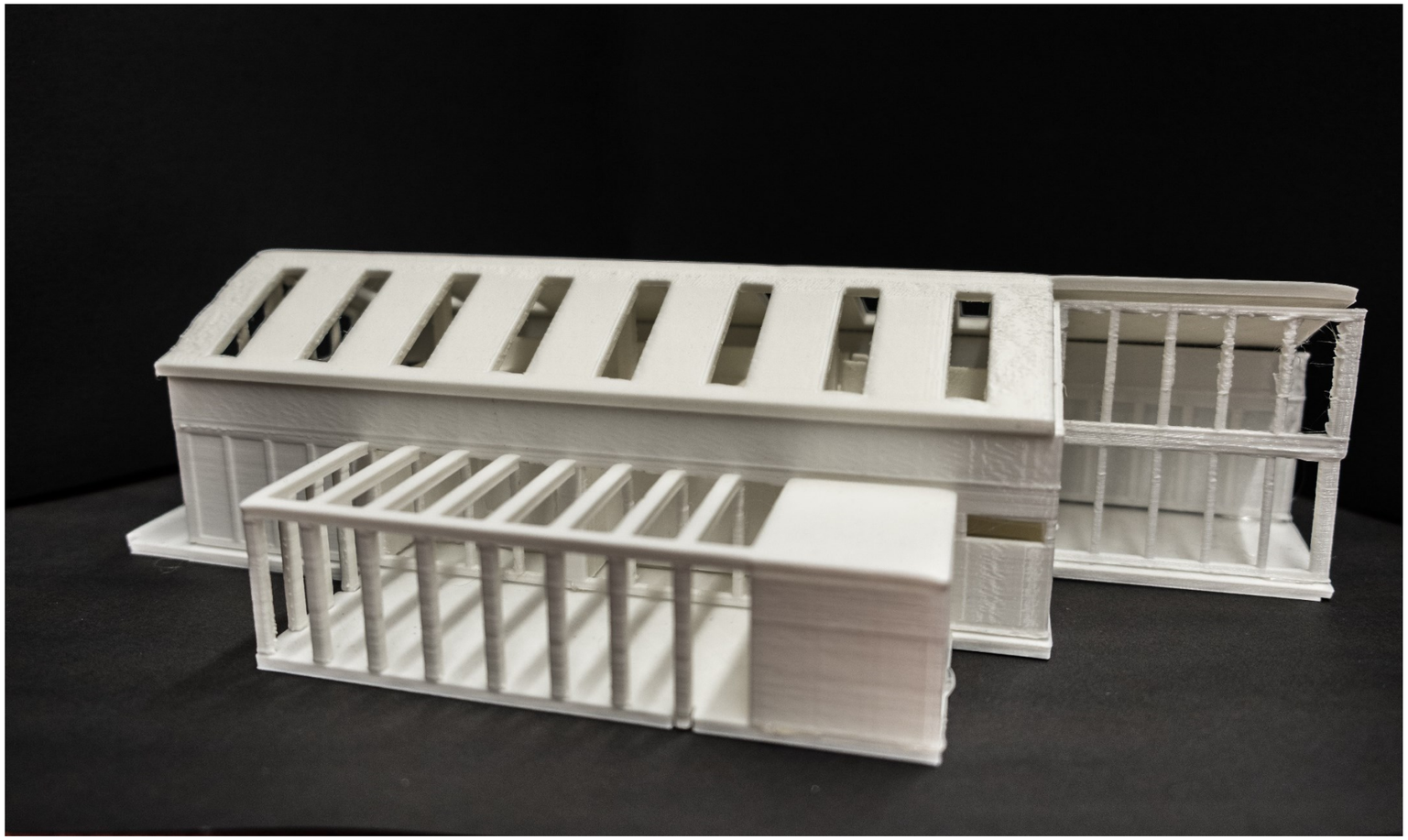
La metodologia esposta nei paragrafi precedenti illustra il processo grazie a cui è stato possibile, in occasione del gemellaggio organizzato il 15 settembre 2018 nel complesso del Trompone, realizzare i modellini relativi a diverse proposte progettuali per la struttura ospedaliera ospitante, attraverso l'uso di una stampante 3D Delta Wasp 4070. Le varie soluzioni sono frutto del lavoro di sudenti di ingegneria ed architettura del Politecnico di Torino.

L'insieme dei modellini realizzati è composto da:

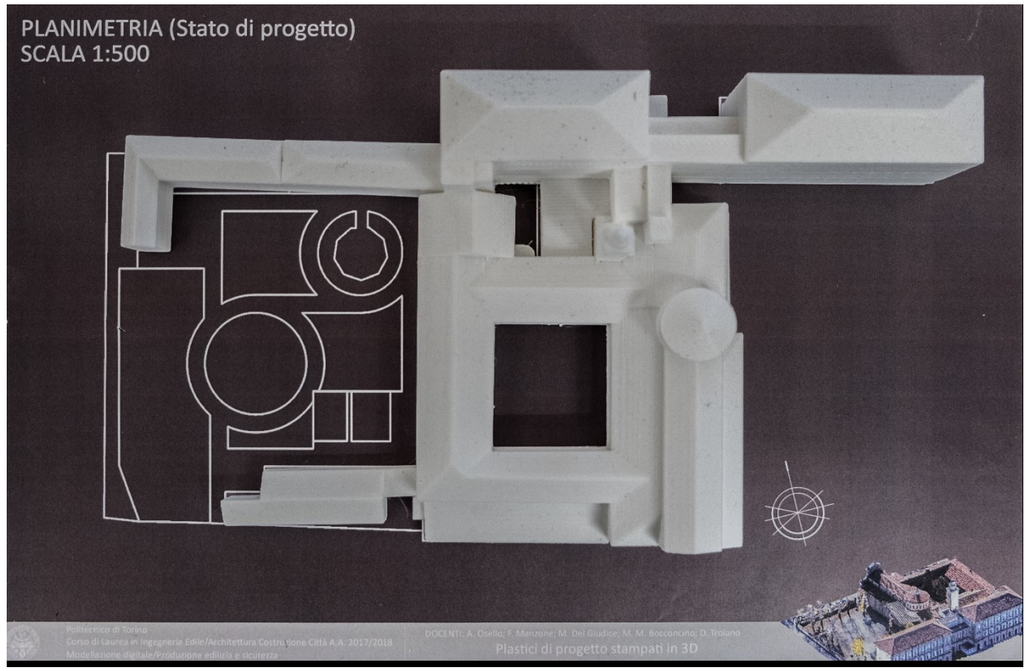
- Quattro modelli stampati in scala 1:100 relativi ai progetti sviluppati per l'ambito progettuale del giardino d'inverno durante il corso d'ingegneria "Produzione edilizia e modellazione digitale" tenuto dalla prof.ssa Osello
- Un modello in scala 1:100 di un'ipotesi di progetto per la realizzazione della serra bioclimatica sviluppata durante il corso di architettura "Modellazione digitale parametrica A", anch'esso tenuto dalla prof.ssa Osello
- Un modello generale della struttura ospedaliera stampato in scala 1:500 comprensivo dei volumi relativi ai progetti sviluppati da Isabella Dusi (nuova manica alzheimer), Sara Rosato (serra bioclimatica), Francesco Montaldo (giardino d'inverno) in occasione delle relative tesi.
- Tre modelli in scala 1:100 delle ipotesi progettuali precedentemente citate.
- Un modello realizzato in scala 1:100 relativo al progetto di una serra bioclimatica iniziato durante il corso tenuto dalla professoressa Osello "Modellazione digitale parametrica A" e sviluppato nello svolgimento di questa tesi.

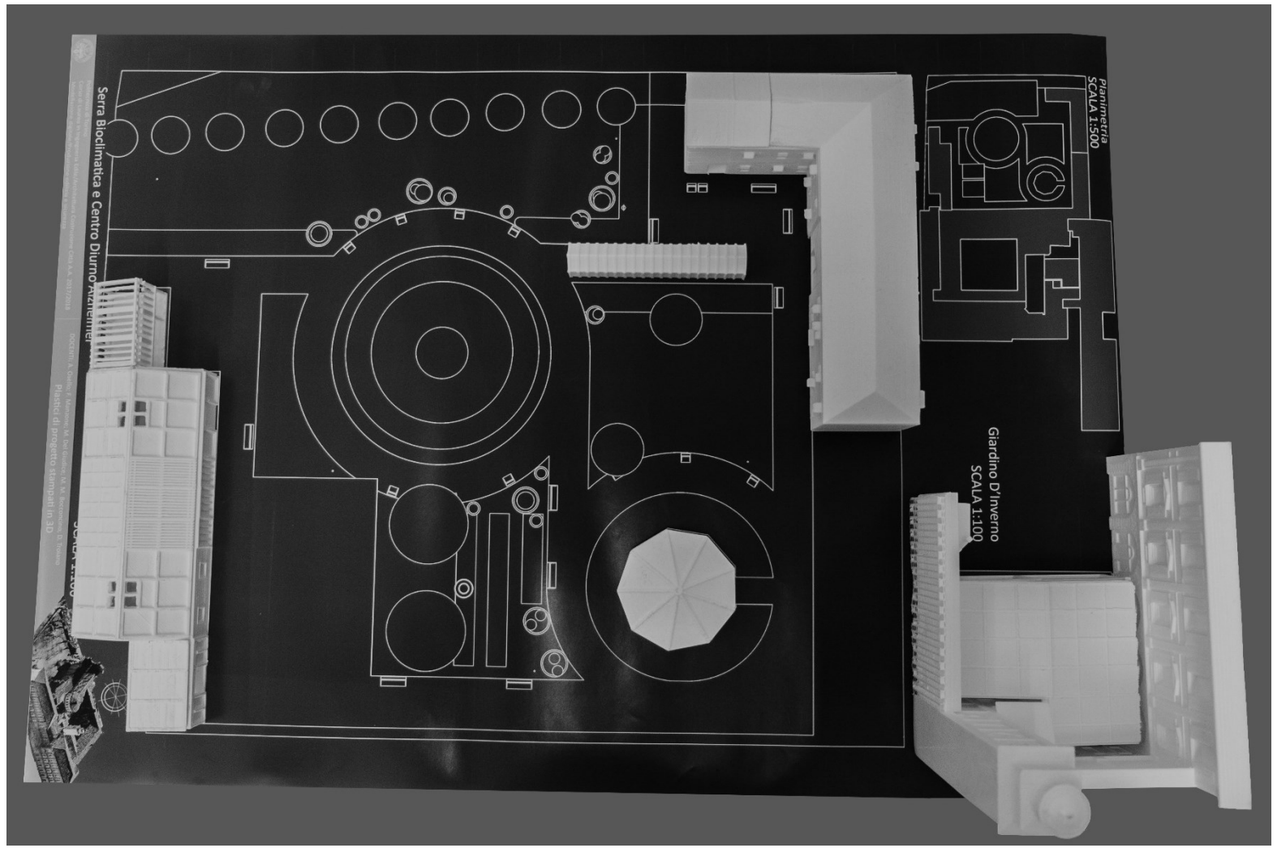


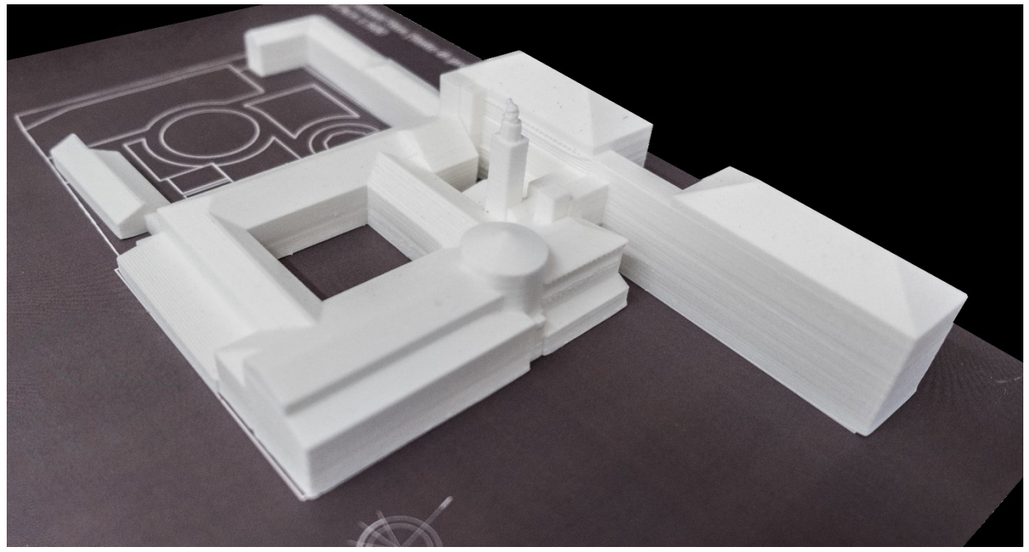




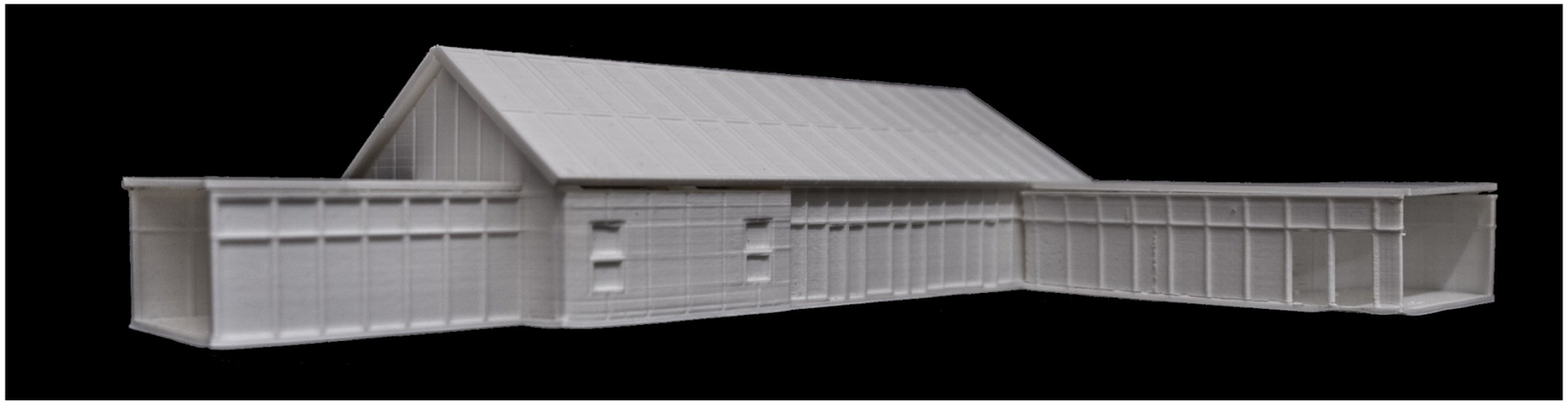
84: Modellini in scala 1:100 di quattro progetti relativi al giardino d'inverno sviluppati durante il corso d'ingegneria "Produzione edilizia e modellazione digitale" (a sinistra) e un'ipotesi di progetto per la serra bioclimatica svilluppata durante il corso di architettura "Modellazione digitale parametrica A" (a destra)

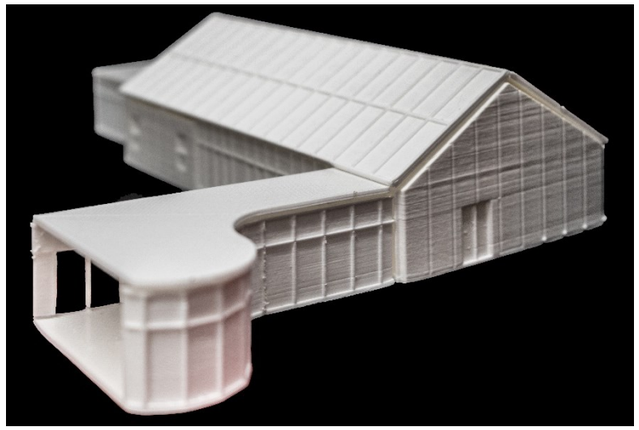


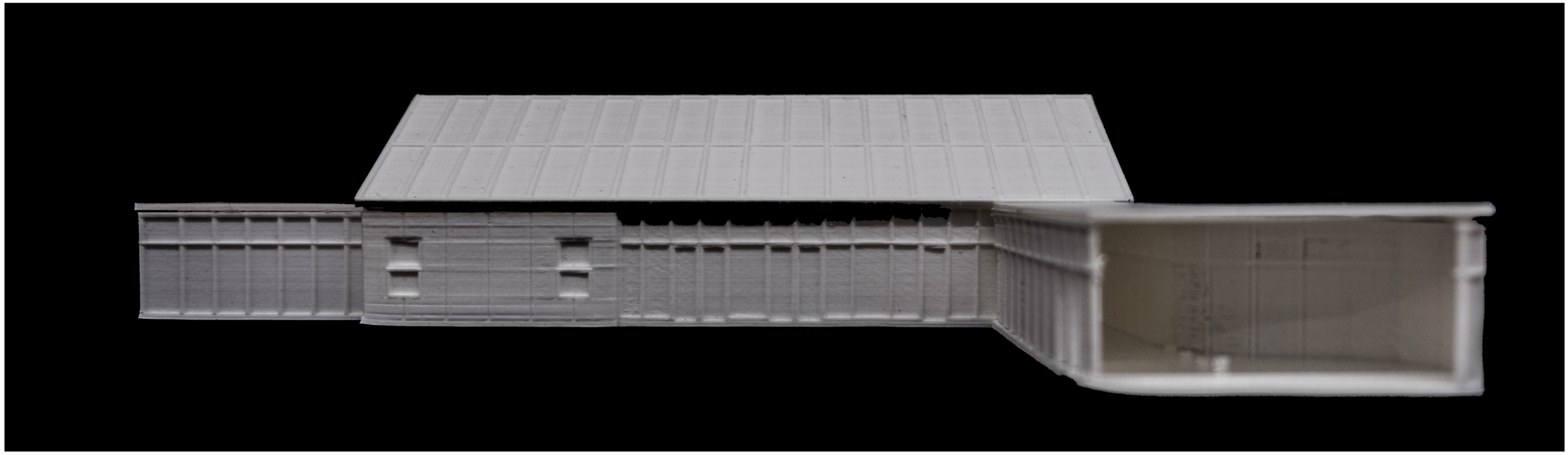




85: Modellini del Trompone. A sinistra il modello delle masse della struttura in scala 1:500, comprensivo dei volumi relativi ai progetti sviluppati da Isabella Dusi (nuova manica alzheimer), Sara Rosato (serra bioclimatica), Francesco Montaldo (giardino d'inverno) in occasione delle relative tesi. A destra i modelli in scala 1:100 delle ipotesi progettuali precedentemente citate.







86: Modellino in scala 1:100 relativo all'ipotesi di progetto per la serra bioclimatica sviluppato nel corso di questa tesi

87: Foto di dettaglio del modellino realizzato in scala 1:100 relativo all'ipotesi di progetto per un giardino d'inverno sviluppata da tesista Francesco Montaldo nella realizzazione della propria tesi.

Come si può dedurre dalla documentazione fotografica riportata, l'utilizzo della stampante 3D per la prototipazione rapida può avere diverse potenzialità nell'ambito dell'architettura e del design. Grazie a questa innovazione, infatti, è possibile creare modellini relativi a differenti ipotesi di progetto e coinvolgere i vari membri del team, gli investitori, gli utenti finali ed altri soggetti, nel processo

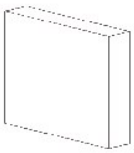
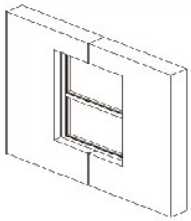
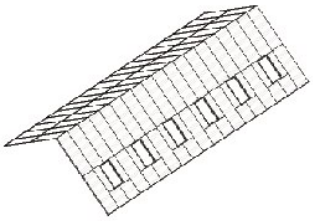
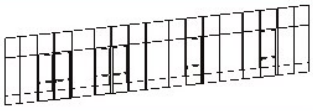
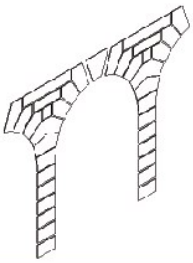
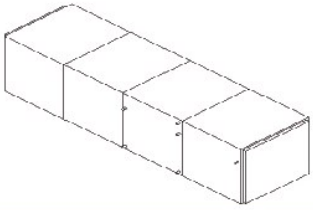
di progettazione. Questo rende la stampa 3D uno strumento utile in un'ottica di progettazione partecipata. Infatti, la possibilità di concretizzare una proposta progettuale dà la possibilità di relazionarsi direttamente e in maniera pratica a quella che è l'idea di progetto, anche a chi non è del mestiere.

Infine, come mostrano le ultime foto riportate, questa forma di prototipazione rapida permette di raggiungere elevati livelli di dettaglio in termini di modellazione, riproducendo fedelmente anche la preesistenza, in modo da valutare l'impatto visivo dei progetti e le possibili interferenze

3.2.2 Definizione linee guida

Come anticipato precedentemente, per assicurarsi che i modelli virtuali vengano stampati correttamente, è necessario considerare la scala di stampa (in questo caso 1:100) e lo spessore del materiale termoplastico estruso (0,7 mm). Questi due aspetti, infatti, determinano gli spessori minimi che possono essere stampati correttamente.

Sulla base di questa esperienza sono state riportate delle linee guida per la realizzazione di un modello virtuale finalizzato alla stampa 3D. Nello schema riportato sono definite le dimensioni minime ammissibili per i diversi elementi costruttivi sulla base della propria categoria. Nella definizione di queste regole ci si è riferiti ad un numero limitato di categorie rispetto alla totalità di quelle esistenti su Revit. Questo perchè si è tenuto conto della scala a cui sono stati realizzati i modelli e di conseguenza delle categorie di elementi architettonici effettivamente stampabili a questa scala di dettaglio. Per questo determinate tipologie di categorie, come quelle relative ai componenti impiantistici o alle connessioni strutturali, non sono state prese in considerazione. Tuttavia, avendo maggiore tempo a disposizione, sarebbe stato possibile estendere queste linee guida a tutte le categorie esistenti.
Va sottolineato che lo schema riportato si riferisce alle dimensioni finali minime, espresse in millimetri, che dovranno presentare gli elementi facenti parte di un prototipo stampato, con l'utilizzo di una stampante 3D Delta Wasp 4070 ed indipendentemente dalla scala di stampa, per poter essere stampati correttamenete. A titolo esemplificativo, la stampante sarà in grado di modellare solamente gli elementi apparteneti alla categoria muri dotati di uno spessore superiore o uguale a 0,8 mm, mentre, ha causa delle dimensioni dell’estrusore, non potrà creare elementi con uno spessore inferiore. Inoltre, queste linee guida tengono anche conto delle impostazioni della stampata, indicate al capitolo 2.13.3, come la velocità impostata o l'accuratezza.

	Elementi lineari come travi e pilastri, caratterizzati da diverse tipologie di profilati, devono essere convertiti in volumi pieni. Questi volumi devono avere uno spessore uguale o superiore a 4 mm per poter essere stampati correttamente.
	Elementi lineari e ripetuti, come i brise soleil, se stampati orrizzontalmente o a contatto con altri elementi continui come muri, possono avere uno spessore uguale o superiore a 2 mm. Tuttavia è possibile che si producano filamenti e deformazioni.
	Elementi caratterizzati da ampie superfici, come i muri, possono essere stampati con spessori inferiori rispetto agli elementi con uno sviluppo lineare. Gli spessori possono essere uguali o superiori a 0,8 mm.
	In un modello stampato in scala 1:100 deve essere data un idea dei serramenti (telaio, controtelaio, superficie vetrata). Perché sia visibile, la differenza tra questi elementi deve essere superiore a 0,5 mm. Gli elementi estrusi rispetto alla superficie, come telai e simili, possono avere una larghezza di 0,8 mm, o di 0,6 mm se addossati al muro.
	Gli elementi di copertura, come già detto per gli elementi caratterizzati da ampie superfici, possono essere stampati con spessori uguali o superiori a 0,8 mm. Per rendere visibile l'interno del modello è consigliabile stampare la copertura separatamente. Nel caso di una comune copertura a falde è necessario stamparla in verticale per minimizzare la quantità di supporti prodotti, difficlmente removibili.
	Per i pavimenti vale quanto detto precedentemente per i muri. Inoltre questo elemento dà stabilità al modello.
	Per le facciate continue vale quanto detto precedentemente per i serramenti.
	Le trame in rilievo di ampie superfici possono essere stampate con spessori uguali o superiori a 0,3 mm perché la trama rimanga evidente. Gli spessori tra gli elementi della trama, trattandosi di porzioni vuote, non devono sottostare alla dimensione del filo polimerico (in questo caso di 0,7 mm) e possono partire da 0,35 mm, distanze inferiori non verrebbero adeguatamente modellate.
	A questa scala di dettaglio è consigliabile non stampare nessuna tipologia d'impianto. Questi elementi sono caratterizzati da dimensioni troppo ridotte. Possono essere stampati solo gli elementi rappresentati nel modello virtuale da volumi pieni tenendo conto degli spessori minimi precedentemente citati.

88: Linee guida per la realizzazione di un modello virtuale finalizzato ad una stampa 3D

Come mostrato nella tabella, i pilastri, come anche le travi, sono caratterizzati da un’anima troppo sottile per essere stampata. Di conseguenza è stato necessario rendere questi elementi lineari pieni e con una sezione trasversale rettangolare. Questo è stato possibile modellando nella famiglia di riferimento un solido che inglobasse l'originale sezione del pilastro. Questa massa è stata vincolata al profilo della trave e ai sui piani di riferimento di origine e fine. In questo modo, dopo aver importato la famiglia nel modello, tutte le travi ed i pilastri presenti nel progetto sono stati convertiti. Hanno mantenuto le stesse caratteristiche dimensionali d'istanza e sono stati rivestiti da un solido per il loro intero sviluppo. Tale procedimento è stato adotttato per tutte le tipologie di pilastri e travi indipendentemente dal loro profilo interno (ad I, T, cilindrico, ecc..).
In un primo momento si è pensato di modificare il modello originale senza compromettere i dati contenuti in modo da poterlo utilizzare anche per altre verifiche e scopi.
Per questo motivo al solido che racchiude l'anima delle travi è stato attribuito il materiale aria. In questo modo, pur avendo modificato la famiglia nella visualizzazione della sua geometria, le sue caratteristiche termofisiche sarebbero rimaste inalterate. Tuttavia, procedendo in questa operazione di rielaborazione dei modelli virtuali, ci si è resi conto dell'impossibilità di quanto precedentemente detto. La semplificazione a cui deve essere sottoposto il modello è tale da non permettere questo tipo di approccio per tutte le famiglie presenti all'interno del progetto. Inoltre, ci si è resi conto di un’ulteriore limitazione imposta dalla stampante. Anche se questa permette di realizzare superfici di uno spessore minimo di 0,8 mm, presenta delle difficoltà nella modellazione di elementi lineari verticali o inclinati rispetto alla base della stampante. I primi risultati ottenuti rispetto alla modellazione dei pilastri si sono rivelati insoddisfacenti. Questi, pur essendo stati stampati con uno spessore pari a 3,0 mm, sono stati realizzati sommariamente e con imprecisioni. Di conseguenza è stato necessario stampare questi elementi dopo averli sovradimensionati all'interno del progetto da 300,0 mm a 400,0 mm. Questo ragionamento si applica a tutti gli elementi lineari, a meno che non vengano stampati su un piano orrizzontale, come è stato fatto per i brise soleil di un progetto.

Per quanto riguarda, invece, le famiglie di elementi caratterizzati da ampie superfici, come: muri, pavimentazioni, sistemi di copertura, ecc.… si è considerato 0,8 mm come lo spessore minimo in fase di stampa.
Infine, trattandosi di un modello realizzato in una scala 1:100, si è ritenuto opportuna dare un'idea delle parti costitutive dei serramenti (telaio, controtelaio e superficie vetrata). Perchè la geometria di qesti elementi sia ben definita, è necessario un dislivello superiore a 0,5 mm. In questo caso è tollerabile una misura inferiore a 0,8 mm, in quanto non ci si sta riferimento ad uno spessore pieno ma, al contrario, ad una mancanza di materiale.

3.2.3 Parametro stampabilità

Dopo aver definito le linee guida per la realizzazione di un modello virtuale finalizzato alla stampa 3D, si è voluto creare, su Revit, un procedimento per determinare automaticamente la stampabilità del modello virtuale.
A tale scopo è stato creato un apposito parametro d'istanza condiviso, compilato automaticamente grazie a Dynamo, che, insieme all'utilizzo di opportuni filtri di visualizzazione, permette di identificare gli elementi con le caratteristiche adatte per poter essere stampati.

Per ottenere la compilazione automatica di questo parametro attraverso degli script di Dynamo sono stati estratti, dalle istanze presenti nel modello, i parametri relativi ai loro spessori e larghezze in modo da poterli confrontare con quanto definito nelle linee guida per categorie precedentemente citate.
Questa guida si riferisce al numero limitato di categorie che verrebbero effettivamente stampate in una scala 1:100. Tuttavia, approfondendo la definizione di queste linee guida, attraverso nuove sperimentazioni, sarebbe possibile adottare questo procedimento a qualsiasi categoria presente nel progetto.

L'estrazione tramite Dynamo dei parametri precedentemente citati risulta immediata nel caso delle famiglie di sistema, come i muri, le pavimentazioni, i pannelli di facciata continua di sistema, ecc... Queste famiglie, infatti, dispongono di parametri relativi al loro spessore che vengono creati di default da Revit. Al contrario, le famiglie caricate, come i pannelli di facciata continua, che

costituiscono le porte vetrate della serra bioclimatica, possono essere caratterizzate da parametri che, non condividendo una specifica nomenclatura, impediscono il riconoscimento da parte di Dynamo.

Di conseguenza, per evitare questa problematica, è necessario definire un'apposita nomenclatura per questa tipologia di parametri. Questa potrebbe definire una delle condizioni da rispettare per la modellazione di famiglie finalizzate alla stampa 3D.

Va considerato che per alcune categorie, come i muri, è necessario valutare solo un parametro (lo spessore) per determinarne la stampabilità, per altri, invece, il procedimento è più complesso. Nel caso dei montanti della facciata continua, per esempio, bisogna considerare sia la larghezza che la profondità del montante. Per questo motivo è stata realizzata una tabella che determina la tipologia di parametri da considerare in relazione alle differenti categorie.

Dopo aver estratto questi parametri è possibile definire la stampabilità o meno delle diverse istanze. All'interno di Dynamo i valori ottenuti vengono confrontati sia con la scala di stampa del modello finale che con lo spessore del materiale termoplastico estruso.
Questo script ragiona in base ad un algoritmo secondo cui viene determinato il parametro di stampabilità delle istanze.

if (A = {x; y; z} ≥ (a * b) * c, “True”, “False”)

x; y; z	Valori relativi a determinati parametri dimensionali espressi in mm
a	Diametro dell’estrusore
b	Scala a cui verra stampato il modello
c	Coefficiente variabile sulla base della categoria dell’elemento

Questo si basa a sua volta su una tabella sviluppata durante lo svolgimento della tesi ed integrabile.

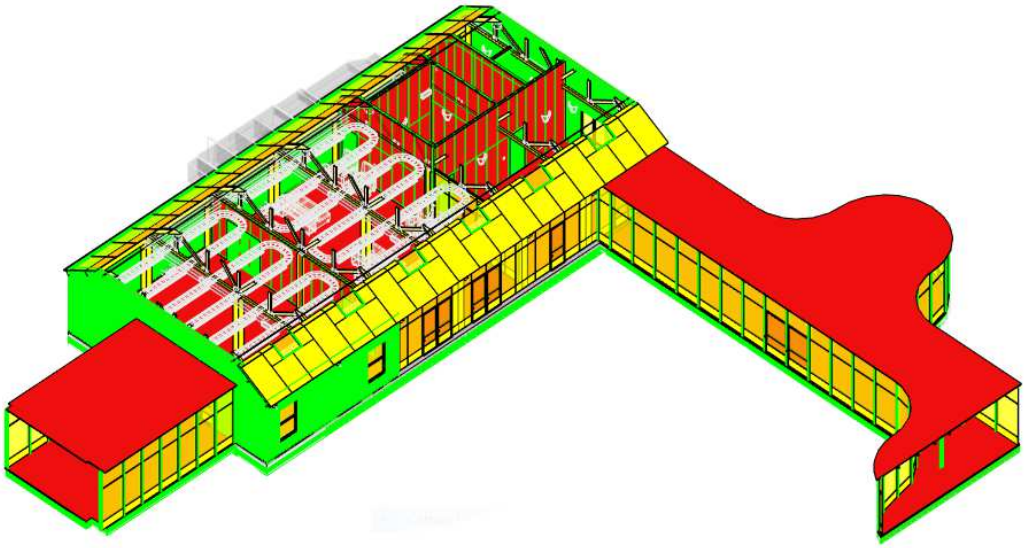
		x'	y'	z'	c
Muri					
Larghezza	x	1			1
/	y		0		
/	z			0	
Pavimenti					
Spessore di default	x	1			1
/	y		0		
/	z			0	
Coperture					
Spessore di default	x	1			1
/	y		0		
/	z			0	
Controsoffitti					
Spessore	x	1			1
/	y		0		
/	z			0	
Pannelli di facciata continua					
Spessore; Larghezza	x	1			1
/	y		0		
/	z			0	
Montanti di facciata continua					
Spessore	x	1			1
Larghezza sul lato 1; ... 2	y		1		
/	z			0	
Pilastri strutturali					
h	x	1			5
b	y		1		
/	z			0	
Telaio strutturale					
h	x	1			5
b	y		1		
/	z			0	
Finestre					
Spessore telaio	x	1			1
Larghezza telaio	y		1		
Sperrore minimo	z			1	
Porte					
Spessore telaio	x	1			1
Larghezza telaio	y		1		
Sperrore minimo	z			1	

89: Matrice relativa ai valori da considerare per un corretto funzionamento del logaritmo di stampabilità relativi alle differenti categorie prese in considerazione

Quanto riportato è stato eseguito solo per determinate categorie di elementi, ovvero quelle trattate nella stampa di un modello 1:100. Tuttavia questo sistema

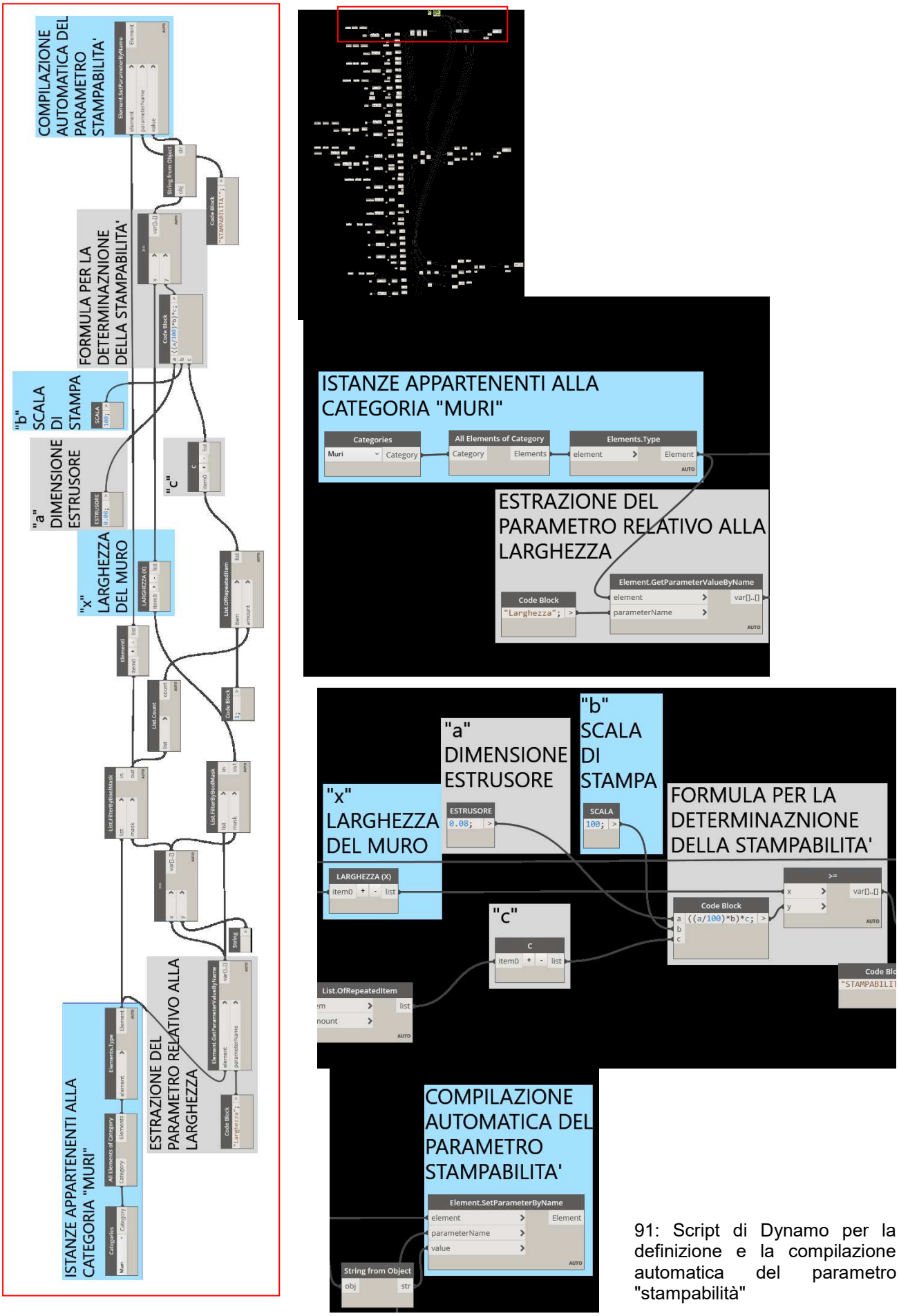
ha la possibilità di essere generalizzato ed esteso a tutte le categorie presenti nel progetto. Inoltre, modificando all'interno dello script i parametri relativi alla scala di stampa e allo spessore dell'estrusore è possibile verificare la stampabilità del modello virtuale a differenti scale e ricorrendo a differenti estrusori.

Sulla base di questo parametro e di appositi filtri è possibile, all'interno di una specifica vista 3D, visualizzare in rosso le istanze che, non avendo gli spessori adeguati, non potranno essere stampate correttamente, in verde gli elementi che soddisfano le linee guida precedentemente definite e in giallo quelli che non possono essere confrontati con queste.



90: Vista 3D di Revit dotata di appositi filtri per verificare la stampabilità degli elementi modellati

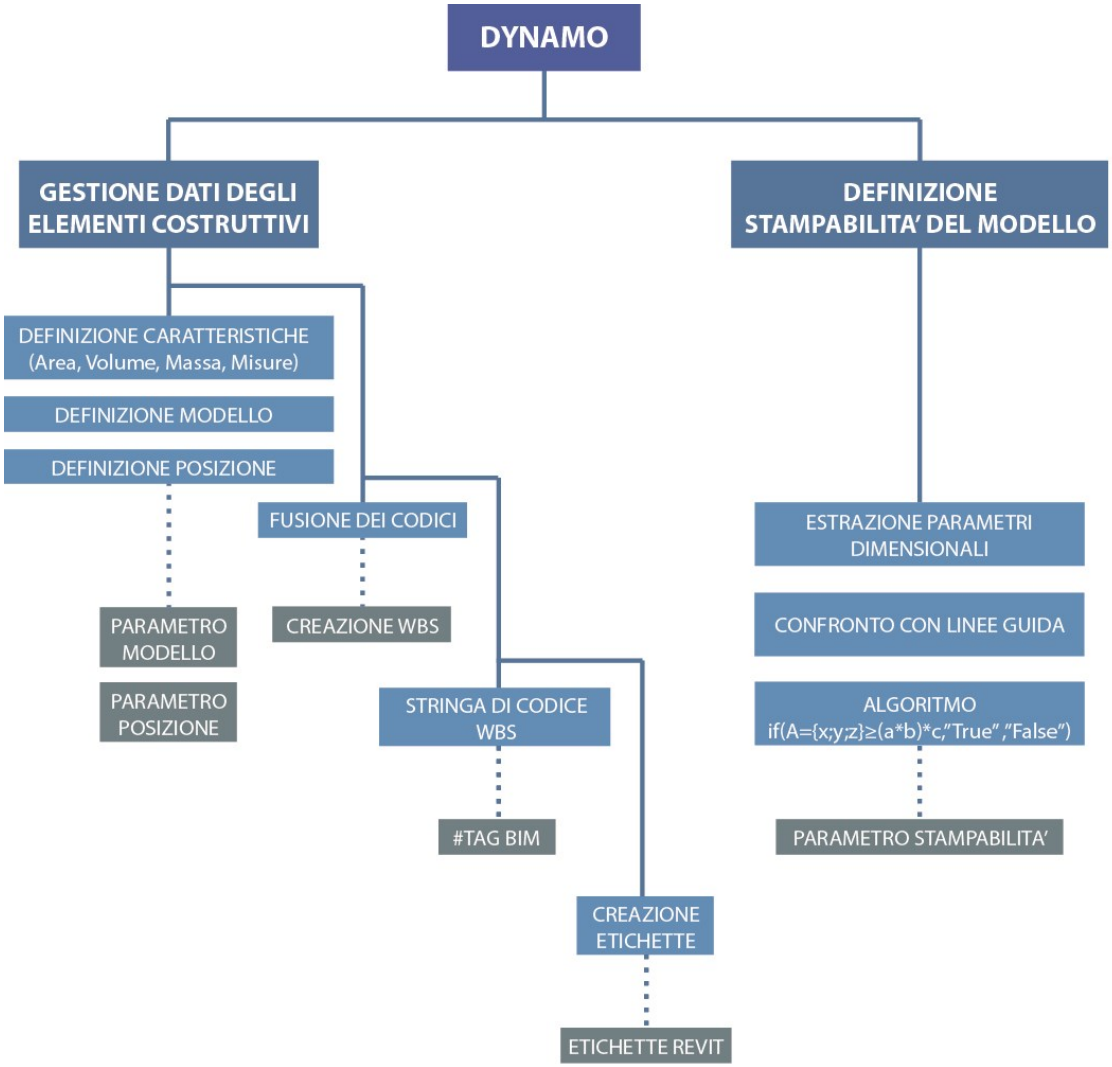
Questo procedimento per determinare la stampabilità del modello è legato all'utilizzo di uno script di Dynamo, di un parametro d'istanza condiviso e di tre filtri di visualizzazione. Di conseguenza, dopo aver creato questi filtri ed un apposito parametro condiviso, il sistema descritto può essere utilizzato per verificare la stampabilità di qualsiasi modello.



91: Script di Dynamo per la definizione e la compilazione automatica del parametro "stampabilità"

3.3 Applicazioni di Dynamo

Grazie a questa interfaccia grafica di programmazione è stato possibile definire automaticamente il valore di determinati parametri condivisi tra più elementi presenti all'interno del modello virtuale.



92: Schema delle divere applicazioni di Dynamo nello svolgimento della tesi

Uno di questi è la massa dei pilastri e delle travi in acciaio, parametro indispensabile per la computazione della struttura portante della struttura. Questo parametro, che non viene generato automaticamente dal software, è stato ottenuto moltiplicando il volume dei vari componenti costruttivi per il peso specifico del materiale che li compone, due parametri a loro volta estratti grazie a Dynamo. In questo modo è stato possibile realizzare il computo metrico della struttura.

Successivamente, grazie a Dynamo è stato possibile definire automaticamente un parametro che contraddistinguesse i componenti edilizi appartenenti ad una medesima categoria accomunati da determinate caratteristiche (area, volume, massa e spessore). Questo parametro definisce, quindi, il modello (legato a determinate caratteristiche) dei componenti edilizi. Ciò si è rivelato particolarmente utile per identificare in maniera univoca i diversi pannelli di tamponamento prefabbricato impiegati nella struttura. Questi, infatti, pur essendo considerabili come il medesimo elemento architettonico, sono caratterizzati da forme diverse e pertanto e necessitano di essere classificati in modelli per poter essere identificati in maniera univoca.

Successivamente, questo plug in è stato utilizzato per definire automaticamente un parametro relativo alla posizione delle diverse istanze.

Inoltre, attraverso diversi script, è stato possibile combinare tra di loro i diversi parametri che compongono il codice WBS in un unico parametro condiviso che, unendo il parametro Nota chiave, di modello, di posizione e di posa, permette di identificare in maniera univoca i componenti costruttivi.

Successivamente questa estensione di Revit è stata utilizzata anche per generare automaticamente delle etichette in determinate viste del modello. Queste riportano il codice identificativo di ogni pannello di tamponamento prefabbricato, oltre che le sue caratteristiche di area, volume, massa e spessore che sarebbero comunque definibili dal modello. Questa potenzialità del programma potrebbe rivelarsi particolarmente utile in fase di cantiere per identificare i diversi componenti costruttivi, i quali potrebbero potrebbero essere resi identificabili dalle aziende produttrici tramite l'applicazione di etichette che ne riportino il codice identificativo.

Dynamo è stato utilizzato anche durante la fase di computazione del progetto. Per migliorare l'interoperabilità e lo scambio di dati tra Revit e Primus, software ACCA per la computazione, si è provato ad automatizzare il procedimento di attribuzione dei TAGs BIM. Tradizionalmente questa tipologia di etichetta identificativa, descritta dettagliatamente nel paragrafo 2.10.2, dovrebbe essere attribuita manualmente ai diversi componenti edilizi su Primus. Come spiegato

nel paragrafo 2.10.3 attraverso Dynamo è stata realizzata realizzata automaticamente una stringa di codice che, una volta dopo un’apposita esportazione ed importazione del progetto in Primus, comporta l'applicazione automatica dei tag comportando un considerevole risparmio di tempo.

Per concludere, attraverso questo plug in di Revit è stato definito un parametro d'istanza relativo alla stampabilità degli elementi che compongono il modello virtuale. Lo script mette a confronto gli spessori relativi agli elementi di determinate categorie presenti su Revit con quelle che sono state precedentemente definite come le linee guida per la realizzazione di un modello parametrico finalizzato alla stampa 3D. Questo parametro può riportare tre differenti valori:

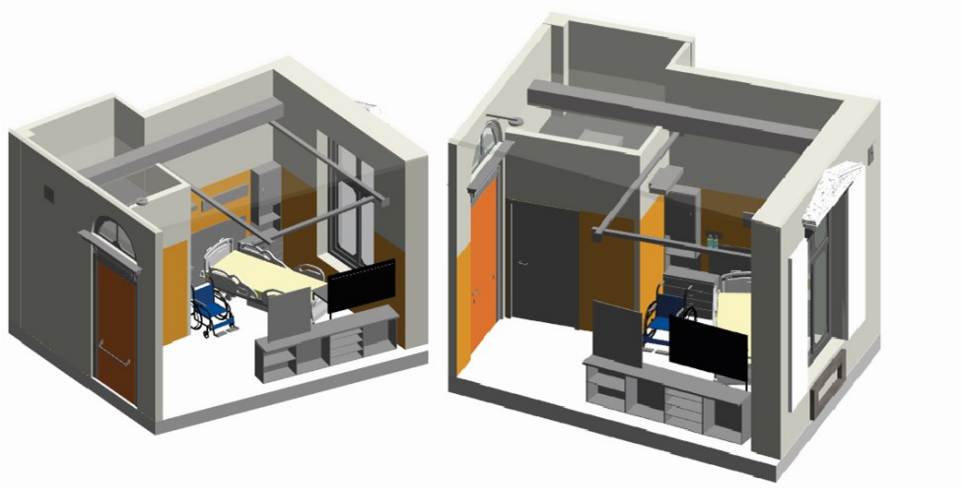
- True; le istanze rispettano gli spessori minimi definiti per la stampa
- False; gli spessori risultano inferiori
- ???; la famiglia dell'istanza è stata realizzata ricorrendo a una nomenclatura dei parametri che non permette di estrarne il parametro relativo allo spessore attraverso Dynamo per effettuare il confronto.

Quest'ultima condizione è verificabile solo nel caso delle famiglie caricabili, come quelle relative alle porte o finestre, che a differenza di quelle di sistema, come muri, pavimentazioni e sistemi di copertura, non presentano un parametro di spessore definito automaticamente da Revit.

3.4 Modellazione per applicazione eye tracking

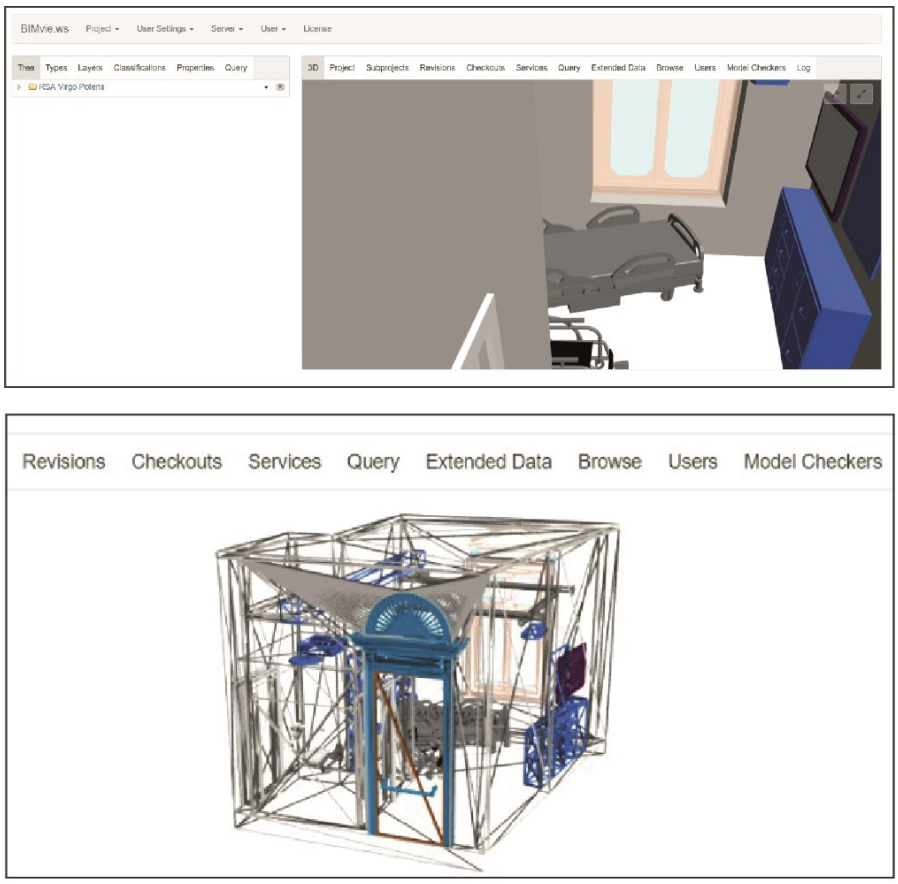
3.4.1 Modello IFC e glTF

In seguito al rilievo e alla modellazione su Revit di una camera di degenza dell'RSA del Trompone, come descritto nel capitolo 2.14, si è ottenuta la riproduzione virtuale di quest'ultima.



93: Modelli virtuali della camera di degenza realizzati su revit
Fonte: estratto da Revit

Successivamente si potuto esportare il modello in formato IFC in modo da non perdere le informazioni in esso contenute e poterlo caricare su BIM Server.



94: Viste del modello IFC caricato su BIMserver
Fonte: estratto da BIMserver

Dopo l'importazione su BIM Server e di conseguenza aver reso il modello accessibile a tutti i potenziali fruitori, quest'ultimo è stato esportato nel formato glTF (GL Transmission Format).

Si tratta di un formato di nuova concezione, altamente interoperabile, che si sta sviluppando per diventare un nuovo standard di riferimento. Descritto dalla Khronos Group, i suoi sviluppatori, come un “JPEG of 3D” definisce un formato di pubblicazione comune per gli strumenti e i servizi di contenuto 3D. Consiste in un efficiente formato di distribuzione delle risorse che comprime le dimensioni di scene e modelli 3D oltre a ridurre l'elaborazione runtime di applicazioni che utilizzano WebGL e altre API.

Dopo aver effettuato questi passaggi, il modello e le relative viste interne sono stati importati su Unity grazie ad una libreria resa disponibile dalla stessa Khronos Group.

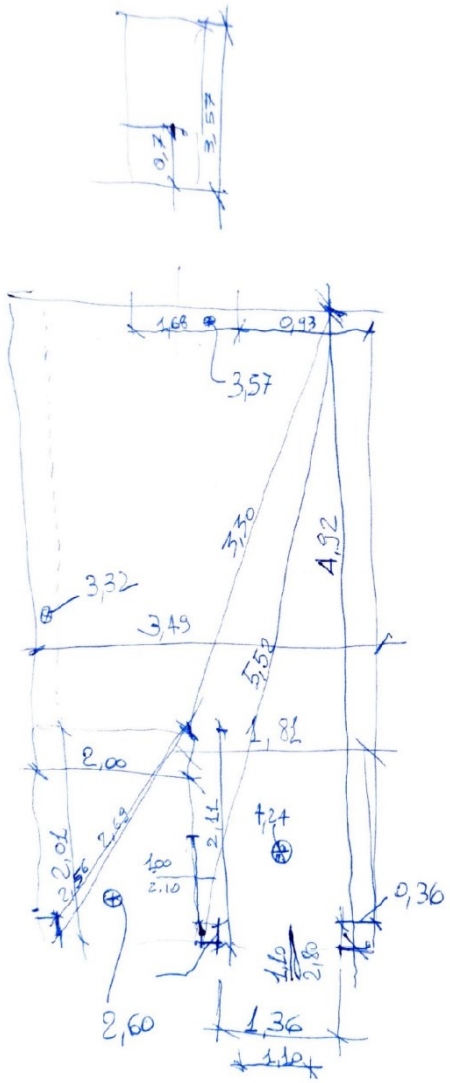
Una volta all'interno di questo programma, grazie alla creazione di appositi script, sarà possibile predisporre il modello virtuale ad un sistema di controllo remoto basato sul eye tracking.

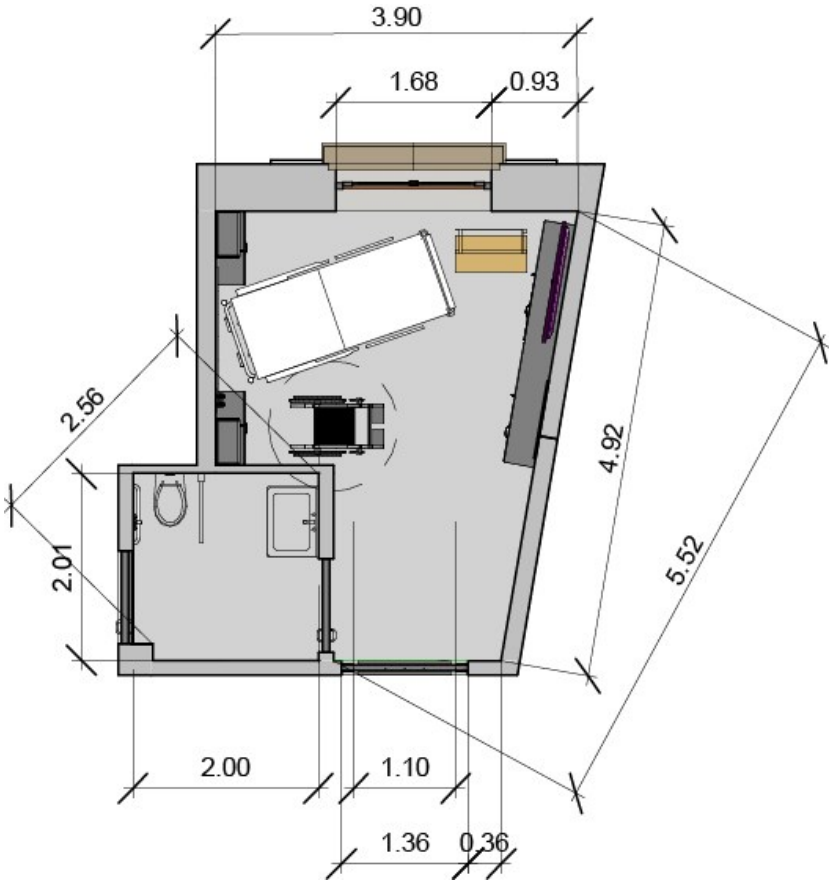
3.4.2 Camera di degenza e requisiti di progetto

La camera di degenza modellata è una stanza singola dalla quale si può accedere ad un bagno condiviso con la camera speculare. Questo spazio è provvisto di diversi arredi fissi, impianti ed attrezzature mediche di varia natura.
La realizzazione di un modello virtuale di quest'area ha dato la possibilità di analizzare le caratteristiche del locale è valutarne la conformità rispetto ai requisiti riportati nei manuali degli architetti, costantemente aggiornati rispetto alle vigenti normative legate alla progettazione e requisiti edilizi.

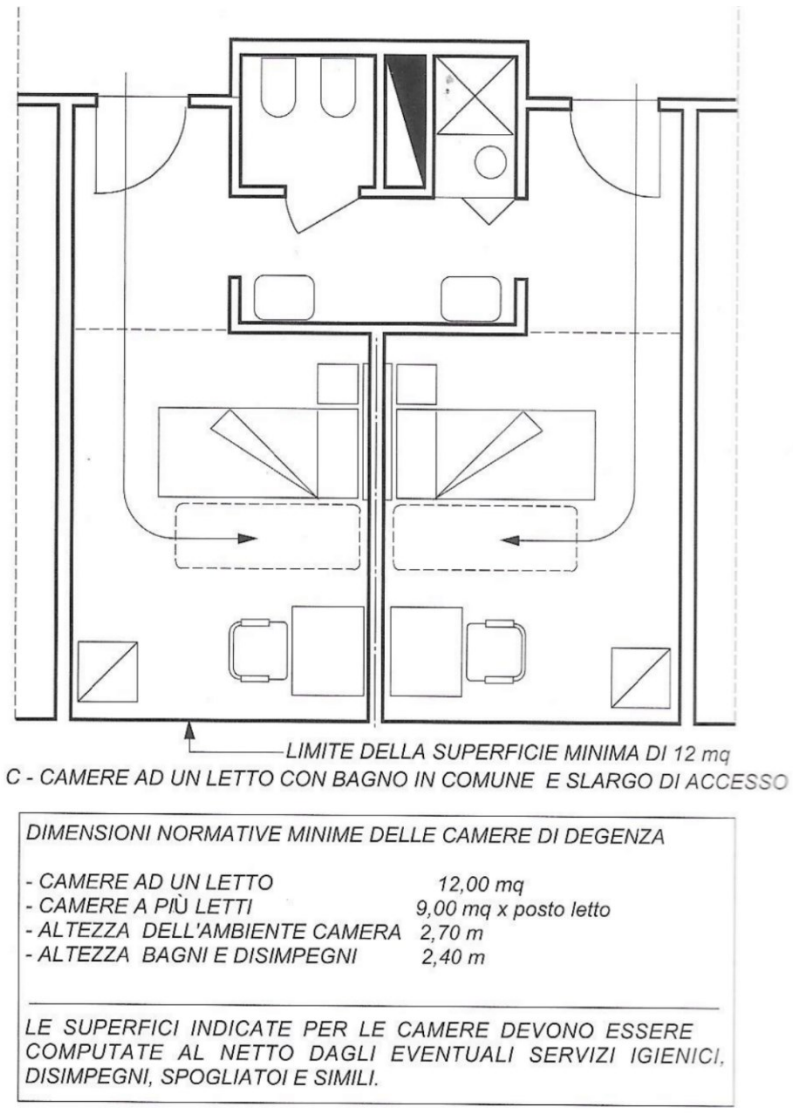
«L'articolazione funzionale interna deve garantire la presenza di spazi per lo svolgimento della funzione di supporto sanitario e di degenza. La funzione di degenza deve essere organizzata in modo tale da garantire il rispetto della privacy del paziente ospedalizzato e il comfort di tipo alberghiero»[41].

Questi sono gli obiettivi funzionali delle aree adibite alla degenza secondo quanto riportato all'interno del «Il nuovissimo manuale del architetto». Questa tipologia di stanza per la degenza, che rispecchia un tipo di articolazione spaziale proposta all'interno del volume precedentemente citato, persegue queste finalità. Infatti, quest'ambiente, pur avendo i servizi in comune con la camera adiacente, garantisce un elevato livello di privacy trattandosi di una singola avente un unico posto letto.





95: Misure rilevate durante il sopralluogo e planimetria quotata della camera di degenza
Fonte: Sopralluogo ed estratto da Revit



96: Articolazione spaziale per una camera di degenza singola con i servizzi in comune proposta all'interno del "Nuovissimo manuale dell'architetto"

Fonte: Il nuovissimo manuale dell'architetto, a cura di L.Zevi, Roma, Mancosu Editore, 2008 [1 ed. 1996], Vol. 1, pp. 235, figura B.7.2. /6 Degenza – schemi di distribuzione e arredo di camere di degenza con servizi.

Questo livello di intimità è necessario sulla base delle specifiche esigenze dei soggetti ospitati in quest'area del centro. Si tratta, infatti, di persone affette da gravi forme di malattie degenerative e o limitate capacità motorie a causa delle quali sono costrette nelle proprie camere per un lungo periodo di degenza senza avere la possibilità di spostarsi autonomamente. La stanza in questione si differenzia dal modello suggerito all'interno del manuale rispetto all'organizzazione dell'area dei servizi. Nella planimetria riportata all'interno del volume i servizi delle camere risultano divisi tra di loro. In due aree delimitate si trovano i water mentre nel corridoio che permette di accedervi sono collocati i lavabi. Nel caso in questione, invece, è presente un'unica area destinata ai

servizi. Questo si traduce in un minore livello della privacy nel momento in cui si ricorrere a tale locale.

Come definito all'interno del manuale, da un punto di vista dimensionale, le camere ad un letto devono avere una superficie minima di 12,0 mq, al netto di eventuali servizi igenici, disimpegni e simili, e un'altezza minima di 2,70 m, che può essere ridotta a 2,40 m in corrispondenza di bagni e disimpegni. La stanza modellata ha una superficie calpestabile di circa 14,0 mq ed un'altezza di 4,24 m che si riduce a 2,60 m in corrispondenza dei servizi.

Inoltre, in conformità alle richieste prestazionali per i singoli ambienti, l'articolazione degli spazi è strutturata in modo da garantire l'accesso ed il movimento di una barella all'interno del locale oltre che lo spazio per il letto e il soggiorno del paziente.

Per quanto riguarda, invece, la dotazione di attrezzature ed arredi previsti questi sono costituiti da:

- Trave testaletto
- Letto mobile (preferibilmente a 3 nodi)
- Comodino
- Armadio
- Tavolo soggiorno – pranzo
- Una sedia a braccioli per ogni posto letto
- Servizi igienici delle camere di degenza:
  vaso lavabo e bidet – piatto doccia con box e sgabello

Come si può osservare dall’abaco multicategoria delle famiglie collocate all'interno del progetto, realizzato grazie a Revit, questi elementi sono presenti all'interno del modello virtuale e di conseguenza all'interno della stanza di degenza originale fatta eccezione per il piatto doccia. In questo modo è possibile verificare la presenza o meno all'interno della camera delle attrezzature ed arredi previsti.

A	
Categoria	
Condotto	Condotto rettangolare: Default
Porte	Porta: Porta sanitari
Apparecchi per illuminazione	M_Lampada a muro- Sostegno: 100W - 120V
Apparecchi per illuminazione	M_Lampada a muro- Sostegno: 100W - 120V
Finestre	finistra_intercambiabile dettagliata: finestra_con_
Bocchettoni	M_Bocchetta di mandata - Sidewall: 450 x 200
Attrezzature speciali	LETTO OSPEDALIERO: Advanta
Arredi fissi	arredo fisso 2: Tipo 1
Arredi fissi	arredo fisso 2: Tipo 1
Contesto	Sedia a Rotelle: 1400dia
Attrezzature speciali	Famiglia4: Famiglia4
Attrezzature speciali	Famiglia4: Famiglia4
Attrezzature speciali	montane 2: montane 2
Apparecchi idraulici	Maniglia anticaduta 1: modello 1

97: Abaco multicategoria relativo al modello virtuale della camera di degenza, viene riportato il parametro "Categoria" e "Famiglia e Ttpo" di ogni elemento modellato all'interno del progetto
Fonte: estratto da Revit

Allo stesso modo è possibile svolgere un procedimento analogo anche per verificare la presenza all'interno del locale dei supporti sanitari necessari. Questi sono costituiti da:

- Presidi medico – chirurgici relazionati alla tipologia dell'unità operativa
- Dotazione minima per pronto soccorso medico e chirurgico
- Unità di ventilazione manuale, maschere facciali e cannule di Guedel

Tuttavia, trattandosi per la maggior parte di attrezzature mediche che vanno oltre alle mie competenze e di strumenti che vengono sostituiti ripetutamente, si è scelto di non considerare alcuni di questi aspetti. D'altra parte, se questi aspetti fossero stai in qualche modo modellati e o parametrizzati, questo modello virtuale avrebbe potuto essere utilizzato per eseguire un controllo ed una gestione periodica del materiale e delle attrezzature presenti, mancanti e che devono essere sostituite.

Proseguendo nella lettura del «Il nuovissimo manuale del architetto» vengono definite anche quelle che sono le dotazioni impiantistiche richieste per gli ambienti destinati alla degenza.
Per quanto riguarda l'impianto elettrico, questo prevede un impianto d'illuminazione d'emergenza, almeno una presa per l'alimentazione elettrica ed almeno una presa per forza motrice.
Per quanto riguarda, invece, gli impianti speciali e di altra natura, ne fanno parte l'impianto di chiamata con segnalazione acustica e luminosa, l'impianto di

rilevazione incendi e l'impianto di gas medicali, come: prese vuoto, ossigeno ed aria compressa.
Anche in questo caso, come per i precedenti, la presenza di tali elementi all'interno della camera preesistente emerge dagli abachi realizzati grazie a Revit.

Per concludere, come definito dalle caratteristiche materiali riportate nel manuale, i pavimenti sono caratterizzati da superfici impermeabili facilmente lavabili e disinfettabili. Lo stesso vale per il rivestimento delle pareti perimetrali fino a una quota di 2,0 m di altezza.

4 SVILUPPI FUTURI

4.1 Modellazione per il Construction Mangement

4.1.1 Simulazione con un maggior livello di dettaglio

Per mettere a confronto i diversi scenari relativi alla costruzione della serra bioclimatica e dei fabbricati che la connettono alla struttura preesistente sarebbe stato utile, in determinati casi, disgregare le macro attività, accomunate da un unico codice identificativo, in cui si articola il cronoprogramma.

All'interno di Revit sono già presenti, per ogni istanza modellata, i parametri che, se compilati, permetterebbero sviluppo.

Inoltre, ricorrendo ad apposite voci di prezzo e documentazioni sarebbe stato possibile modellare e computare anche le attrezzature utilizzate in fase di cantiere ed alcune opere previsionali come quella relativa ai ponteggi.

Tutto questo avrebbe contribuito ad aumentare il controllo esercitato sulla componente 4D e 5D del progetto.

4.2 Modellazione per la stampa 3D

4.2.1 Linee guida e parametro stampabilità

Le linee guida relative alla stampabilità dei modelli virtuali sono state definite per un numero limitato di categorie, quelle stampabili in una scala 1:100. Tuttavia, attraverso la sperimentazione, sarebbe possibile estendere queste regole di riferimento a tutte le categorie presenti su Revit.

Parallelamente, lo script di Dynamo legato alla definizione del parametro di stampabilità delle singole istanze modellate all'interno del progetto potrebbe essere esteso a tutte le categorie. Quest'ultimo, infatti, si basa su di un algoritmo che se affiancato alle linee guida è generalizzabile ed adottabile per qualsiasi categoria.

4.3 Modellazione per applicazione eye tracking

4.3.1 Verifiche

All'interno de «Il nuovissimo manuale dell'architetto» sono riportate anche le caratteristiche prestazionali di un locale adibito alla degenza dal punto di vista

termico, illuminotecnico, acustico e quello relativo alla ventilazione (purezza dell'aria, umidità, ecc.…).
Se la ricostruzione di questo modello avesse riguardato il fabbricato nel suo insieme, provvisto dei relativi impianti, e non solamente una stanza della RSA, sarebbe stato possibile utilizzarlo per svolgere verifiche di diversa natura e verificare il raggiungimento di tali requisiti.

Non potendo effettuare la maggior parte delle verifiche, per mancanza di tempo e dati relativi alla struttura ed alle sue caratteristiche, dimensionali e non, si sarebbero potute sfruttare le potenzialità di Revit per effettuare un'analisi illuminotecnica della stanza. Questa verifica tuttavia non avrebbe potuto essere considerata attendibile non avendo a disposizione le caratteristiche relative ai materiali dei vari elementi costruttivi. Inoltre, essendo stata modellata solo la camera in questione, non si sarebbe potuto tener conto dell'ombreggiamento generato da elementi esterni all'edificio come alberi o altri edifici.

4.3.2 Modello digitale as is

Dopo aver modellato su Revit una riproduzione virtuale di una camera di degenza della RSA del Trompone, quest'ultima è stata esportata in formato IFC e caricata su BIM Server. Il modello in questione, essendo stato realizzato per la realtà virtuale, pur essendo caratterizzato da un elevato LOG presenta un basso livello di LOI.
I muri della stanza, ad esempio, sono stati modellati come dei semplici muri generici senza considerare i possibili materiali costituenti e le loro caratteristiche. Avendo maggiore tempo a disposizione e informazioni relative alla struttura, sarebbe stato possibile realizzare un modello più accurato da un punto di vista informativo ed ottenere, con le opportune modifiche, un modello As is della camera di degenza.
Quest'ultimo, se affiancato ai modelli degli altri locali dell'RSA, caricato all'interno di BIM server avrebbe potuto divenire un utile strumento per tutti i professionisti che si sarebbero interfacciati alla struttura a diverso titolo.

5 CONCLUSIONE

La messa a confronto di differenti modelli digitali legati al caso studio del complesso ospedaliero del Trompone ha evidenziato diversi aspetti.
Primo tra tutti l'impossibilità di creare un unico modello 3D parametrico capace di assimilare l'intero processo edilizio e di poter essere utilizzato per qualsiasi uso.

Benchè sia questo il modello ideale a cui tende la metodologia BIM, attualmente non è possibile svilupparlo pienamente e in maniera diretta. A diversi usi del modello corrispondono diversi livelli di dettaglio e, di conseguenza, una differente metodologia di modellazione basata sugli obiettivi che devere raggiungere.
Inoltre, la tesi ha evidenziato che un elevato livello di dettaglio non corrisponde necessariamente ad un elevato livello di sviluppo. Un modello realizzato per il construction management, pur avendo un elevato LOD in termini di LOG e LOI, presenta un basso livello di sviluppo se impiegato per la prototipazione rapida.
Di conseguenza è necessario aver chiari fin da subito gli obiettivi della modellazione in modo da definire i dati input ed output in funzione delle finalità da raggiungere.

Questo evidenzia l'importanza che ricopre all'interno del processo BIM l'interoperabilità tra i vari software. Infatti, non potendo fare affidamento su un unico modello omnicomprensivo, è necessario che i vari modelli, realizzati attraverso l'utilizzo di programmi specifici da differenti attori, possano comunicare tra di loro e garantire un correto scambio di dati.

D'altra parte, se non è possibile realizzare un unico modello 3D parametrico per i motivi precedentemente indicati, in alcuni casi è possibile linkare tra di loro i modelli creati per differenti usi e giungere, anche se indirettamente, alla creazione di un modello federato che racchiude in sè differenti modelli.

Inoltre è possibile notare che, grazie all'interoperabilità tra i software e le diverse figure professionali, garantita dai software e dalla metodologia di lavoro che sta alla base del BIM, il ruolo dell'architetto è destinato ad evolversi nel corso degli anni. In questo nuovo ambiente di condivisione l'architetto può relazionarsi e

scambiare dati con differenti tipologie di professionisti e ciò comporta e rende necessaria un'estensione delle sue competenze ed attitudini.

Qureste considerazioni sono il risultato della messa a confronto di tre tipologie di modelli 3D parametrici:

- Un modello realizzato per il construction management, ripartito in tre worksets: architettonico, strutturale ed impiantistico.
- Un modello finalizzato alla prototipazione rapida
- Un modello sviluppato in collaborazione con un laureando in ingegneria biomedica, per lo sviluppo di un'applicazione basata sull'eye tracking

Il modello realizzato per il Construction management è caratterizzato da differenti parametri a seconda che si consideri lo sviluppo della quarta o della quinta dimensione del progetto.
Rispetto alla dimensione temporale sono stati inseriti come input i codici wbs, utilizzati anche per la redazione del cronoprogramma. Gli output ottenuti al termine del workflow sono delle istanze associate a un codice identificativo e caratterizzate da delle tempistiche di lavoro.
Rispetto alla dimensione economica, gli input differiscono in base alla metodologia applicata. Ricorrendo esclusivamente all'utilizzo di Revit, questi sono rappresentati dal codice wbs e dal costo unitario relativo all'acquisto e alla posa in opera dei diversi componenti edilizi. Sfruttando, invece, l'interoperabilità tra Revit e Primus, è possibile partire dal codice wbs per sviluppare dei parametri che, importati sul software di computazione, comportano la creazione automatica di #TagBIM.

Questo evidenzia la possibilità di utilizzare tale tipologia di modelli per gestire le tempistiche ed i costi legati alla realizzazione del progetto e mettere a confronto diverse simulazioni di cantiere. Il che si traduce in una riduzione dei costi di costruzione e delle problematiche che possono verificarsi in fase di cantiere. D'altra parte il confronto tra le diverse metodologie legate alla computazione del progetto evidenzia i vantaggi ottenibili grazie all'interoperabilità presente tra i vari software e la diminuzione degli errori nel workflow dovuta all'automatizzazione di determinate attività e all'utilizzo di strategie condivise, come l'innovativo utilizzo dei TagBIM.

Il modello finalizzato alla stampa 3D è stato definito sulla base di determinate linee guida in merito allo spessore dei materiali ed è caratterizzato da un parametro d'istanza legato alla stampabilità dei componenti architettonici. Questo è definito su Dynamo sulla base di un semplice algoritmo, if(A={x,y,z}≥(a*b)*c.

Questo mostra il modo in cui, grazie ai sistemi BIM, è possibile relazionarsi con altri sistemi innovativi che possono andare dalla realtà virtale alla prototipazione rapida: tecnologie che ampliano gli orizzonti dell'architettura sia rispetto alla visalizzazione del progetto sia rispetto alla fabbricazione dell'edificio e dei suoi componenti edilizi.

Il modello realizzato in collaborazione con il laureando in ingegneria biomedica è stato realizzato a partire da un rilievo e attrraverso la modellazione di apposite famiglie sulla base dei componenti edilizi esistenti. Il risultato consiste in un modello aderente al reale che può essere caricato come file .glTF su Unity in modo da divenire la base per un sistema di controllo remoto basato sull'eye tracking.

Questo evidenzia il modo in cui i sistemi BIM favoriscono l'interoperabilità tra diversi ambiti interdisciplinari. L'architetto ha la possibilità di relazionarsi ed interfacciarsi con altre professionalità, in questo caso un biomedico, e di conseguenza vi è un'estensione delle sue competenze.

Per concludere, in diversi aspetti relativi alla realizzazione dei modelli, è risultato utile, se non fondamentale, l'utilizzo del software Dynamo. Questo programma, infatti, importante sia per la modellazione che per la gestione dei dati, ha permesso di estendere le potenzialità del processo BIM.
Grazie ai nodi "celle di programma", su cui si basa il suo funzionamento, è possibile sviluppare, pur non conoscendo un linguaggio di programmazione, dei programmi ausiliari che consentono di aumentare le applicazioni del software principale. Tale tipologia di programmazione visuale può rappresentare un'importante applicazione che permettere ai diversi professionisti legati al processo costruttivo di rendere maggiormente flessibili i software utilizzati in vista delle loro specifiche necessità.

6 RIFERIMENTI

Bibliografia

Testi, articoli e pubblicazioni

Silenziosi Operai della Croce, *La beata vergine potente del Trompone*, Moncrivello, Edizioni CVS, 2016.

Il nuovissimo manuale dell'architetto, a cura di L.Zevi, Roma, Mancosu Editore, 2008 [1 ed. 1996], Vol. 1.

A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

C.K. Chua, K.F. Leong, C.S. Lim, *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, World Scientific Publishing Co, 2003 [1 ed. 1998].

C.H. Morimoto, M.R.M. Mimica, *Eye gaze tracking techniques for interactive applications,* Computer Vision and Image Understanding, 2005, n°98.

Bim Forum, *Level of Development Specification*, 30 Ottobre 2015.

B. Hardin, *BIM and Construction Management*, Wiley, 11 maggio 2009.

Conferenze

Mehmet Sakin, Yusuf Caner Kiroglu, *3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM*, 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-17, 5-7 luglio 2017, Chania, Crete, Greece.

D.Hansen, J. Hansen, *Review of Current Camera-based Eye Trackers,* First Conference on Communication by Gaze Interaction, 2005.

Tesi di laurea

Tesi di laurea, I. Dusi, Relatore: Prof.ssa A. Osello, Correlatore: Ing. M. Del Giudice, *Processo BIM e VR per l'edilizia sanitaria, caso studio: centro diurno per malati di alzheimer per il complesso del Trompone*, Laurea magistrale in Architettura Costruzione e Città, Plitecnico di Torino, 2018.

Tesi di laurea, A. Pollara, Relatore: Prof. Arch. A. Pavan, *Tesi Sistemi di classificazione*, Corso di Laurea in Ingegneria dei Sistemi Edilizzi, Milano, 2016

Tesi di laurea, R. Via, Relatore: Prof. G. Baroni, Correlatore: Ing. A. Fassi, *Studio e sviluppo progettuale di un dispositivo di eye tracking per trattamenti di radioterapia oculare*, Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica, Milano, 2011.

Normativa e documenti

National Institute of Building Sciences, *National Building Information Modeling Standard™*, 2007.

C.W. Hull, *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*, Brevetto U.S. 4,575,330, 11/03/1986.

Uni 11337:2017 parte 4, Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: *Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti.*

BS PAS 1192:2 2013, *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*.

Sitografia

ESA, Agenzia Spaziale Europea, *N°31-2013: Call for media: Taking 3D printing into the metal age*, 03/10/2013.

Ubergizmo, D. Bertolino, *L'ESA sta testando la prima antenna per satelliti stampata in 3D*, 21/03/2016.

Trapianti in rete, *Primo impianto al mondo di un cranio stampato in 3D,* 07/01/2015.

The shaper, *Dalla stampa 3D un aiuto alla lotta contro il cancro*, 28/5/2014.

The shaper, *Con la stampa 3D nuove protesi a basso costo*, 28/05/2014.

Corriere, C. Marrone, *Corriere - Bimba di due anni salva grazie al cuore stampato in 3D*, 26/01/2016.

Abc news, J. Silverstein, *Organ Printing' Could Drastically Change Medicine*, 10/02/2006.

The shaper, *Contour Crafting: come stampare una casa in 3D*, 20/01/2014.

Sculpteo, L. Gaget, *3D printing for construction: What is Countour Crafting?* 27/06/2018.

Countour crafting corporation, *Building automated construction.*

Stampa 3D forum*, A. Tassinari, D-Shape, la stampante 3D italiana che stampa pietra in qualsiasi dimensione, 27/04/2014.*

It espresso, *A Cibus 2016, Barilla stampa la pasta con il 3D printing, 10/05/2016.*

Barilla group, La pasta del futuro, 25/10/2016.

Bilcotech, *I vantaggi della stampa 3D per architettura e design*, 17/10/2017.

Ultimaker, *what is g-code.*

3D printing creative*, P. Aliverti, Come funzionano i Gcode, 28/12/2016.*

Wikipedia*, Oculometria, 05/02/2018.*

Treccani*, Elettrooculografia.*

Wikipedia, *Santuario della Beata Vergine del Trompone*, 09/06/2018.

Note di chiusura

[1]National Institute of Building Sciences, *National Building Information Modeling Standard*™, 2007, pp. 23, [Online]. Available: https://www.1stpricing.com/pdf/NBIMSv1_ConsolidatedBody_Mar07.pdf.

[2]Charles W. Hull, *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*, Brevetto U.S. 4,575,330,11/03/1986, [Online]. Available: https://patents.google.com/patent/US4575330.

[3]ESA, Agenzia Spaziale Europea, *N°31-2013: Call for media: Taking 3D printing into the metal age*, 03/10/2013, [Online]. Available: http://www.esa.int/For_Media/Press_Releases/Call_for_Media_Taking_3D_printing_into_the_metal_age. [Consultato il 13/08/2018].

[4]Ubergizmo, D. Bertolino, *L'ESA sta testando la prima antenna per satelliti stampata in 3D*, 21/03/2016, [Online]. Available: https://it.ubergizmo.com/2016/03/21/esa-antenna-satellite-stampa-3d.html. [Consultato il 18/08/2018].

[5]Trapianti in rete, *Primo impianto al mondo di un cranio stampato in 3D,* 07/01/2015, [Online]. Available: http://trapianti.net/news-letteratura/primo-impianto-al-mondo-di-un-cranio-stampato-in-3d/. [Consultato il 18/08/2018].

[6]The shaper, *Dalla stampa 3D un aiuto alla lotta contro il cancro*, 28/5/2014, [Online]. Available: https://www.theshaper.net/news/104-dalla-stampa-3d-un-aiuto-alla-lotta-contro-il-cancro.html. [Consultato il 18/08/2018].

[7]Ivi.

[8]The shaper, *Con la stampa 3D nuove protesi a basso costo*, 28/05/2014, [Online]. Available: https://www.theshaper.net/news/105-con-la-stampa-3d-nuove-protesi-a-basso-costo.html. [Consultato il 18/08/2018].

[9]Corriere, C. Marrone, *Corriere - Bimba di due anni salva grazie al cuore stampato in 3D*, 26/01/2016, [Online]. Available: https://www.corriere.it/salute/pediatria/15_gennaio_26/bimba-due-anni-salva-grazie-cuore-stampato-3d-881015de-a53d-11e4-a533-e296b60b914a.shtml. [Consultato il 18/08/2018].

[10]Abc news, J. Silverstein, *Organ Printing' Could Drastically Change Medicine*, 10/02/2006, [Online]. Available: https://abcnews.go.com/Technology/story?id=1603783&page=1. [Consultato il 18/08/2018].

[11]The shaper, *Contour Crafting: come stampare una casa in 3D*, 20/01/2014, [Online]. Available: https://www.theshaper.net/news/95-contour-crafting-come-stampare-una-casa-in-3d.html. [Consultato il 18/08/2018].

[12]Sculpteo, L. Gaget, *3D printing for construction: What is Countour Crafting?*, 27/06/2018, [Online]. Available: https://www.sculpteo.com/blog/2018/06/27/3d-printing-for-construction-what-is-contour-crafting/. [Consultato il 18/08/2018].

[13]Countour crafting corporation, *Building automated construction*, [Online]. Available: http://contourcrafting.com/building-construction/. [Consultato il 18/08/2018].

[14]Sculpteo, L. Gaget, *3D printing for construction: What is Countour Crafting?*, ...

[15]Dezeen, A. Frearson, *«Robotic construction and 3D printing are the future» says Wolf D. Prix*, 23/10/2015, [Online]. Available: https://www.dezeen.com/2015/10/23/robotic-construction-3d-printing-future-wolf-d-prix-interview/. [Consultato il 20/08/2018].

[16]Ivi.

[17]Stampa 3D forum, A. Tassinari, *D-Shape, la stampante 3D italiana che stampa pietra in qualsiasi dimensione*, 27/04/2014, [Online]. Available: https://www.stampa3d-forum.it/d-shape-stampante-3d/. [Consultato il 18/08/2018].

[18]It espresso, *A Cibus 2016, Barilla stampa la pasta con il 3D printing*, 10/05/2016, [Online]. Available: https://www.itespresso.it/a-cibus-2016-barilla-stampa-la-pasta-con-il-3d-printing-118353.html. [Consultato il 18/08/2018]

[19]Barilla group, *La pasta del futuro,* 25/10/2016, [Online]. Available: https://www.barillagroup.com/it/comunicati-stampa/la-pasta-del-futuro-%C3%A8-stampata-3d. [Consultato il 18/08/2018].

[20]Bilcotech, *I vantaggi della stampa 3D per architettura e design*, 17/10/2017, [Online]. Available: https://www.bilcotech.it/i-vantaggi-della-stampa-3d-per-architettura-e-design/. [Consultato il 18/08/2018].

[21]M. Sakin, Y.C. Kiroglu, *3D Printing of Buildings, Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM,* 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-17, 5-7 July 2017, Canea, Creta, Grecia, pp. 702-711, [Online]. Available: https://ac.els-cdn.com/S1876610217346969/1-s2.0-S1876610217346969-main.pdf?_tid=92400a9f-d742-4d96-8fb1-d01c76c4a3b6&acdnat=1543749466_e55d43205eee83268c329f8ec6cb4f04.

[22]C.K. Chua, K.F. Leong, C.S. Lim, *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, World Scientific Publishing Co, 2003 [1 ed. 1998], pp. 237.

[23]M. Sakin, Y.C. Kiroglu, *3D Printing of Buildings, Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM,* 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-17, 5-7 July 2017, Canea, Creta, Grecia, pp. 707, [Online]…

[24]M. Sakin, Y.C. Kiroglu, *3D Printing of Buildings, Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM, ...*

[25]Ultimaker, *What is g-code*, [Online]. Available: https://ultimaker.com/en/resources/39071-what-is-g-code. [Consultato il 05/11/2018].

[26]Ivi.

[27]Ivi.

[28]Wikipedia, *Oculometria*, 05/02/2018, [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Oculometria. [Consultato il 14/07/2018].

[29]Treccani, *Elettrooculografia*, [Online]. Available: http://www.treccani.it/enciclopedia/elettrooculografia/. [Consultato il 14/07/2018].

[30]Tesi di laurea, R. Via, Relatore: Prof. G. Baroni, Correlatore: Ing. A. Fassi, *Studio e sviluppo progettuale di un dispositivo di eye tracking per trattamenti di radioterapia oculare*, Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica, Milano, 2011, pp. 18-24, [Online]. Available: https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/77921/1/2013_4_Via.pdf. [Consultato il 02/08/2018].

[31]D.Hansen, J. Hansen, *Review of Current Camera-based Eye Trackers,* First Conference on Communication by Gaze Interaction, 2005, pp. 7-9.

[32] Tesi di laurea, R. Via, Relatore: Prof. G. Baroni, Correlatore: Ing. A. Fassi, *Studio e sviluppo progettuale di un dispositivo di eye tracking per trattamenti di radioterapia oculare*, pp. 21…

[33]Tesi di laurea, R. Via, *Studio e sviluppo progettuale di un dispositivo di eye tracking per trattamenti di radioterapia oculare*, pp. 18-24...

[34] Tesi di laurea, R. Via, Relatore: Prof. G. Baroni, Correlatore: Ing. A. Fassi, *Studio e sviluppo progettuale di un dispositivo di eye tracking per trattamenti di radioterapia oculare*, pp. 22...

[35]C.H. Morimoto, M.R.M. Mimica, *Eye gaze tracking techniques for interactive applications,* Computer Vision and Image Understanding, 2005, n°98, pp. 4–24.

[36]Ivi.

[37]Silenziosi Operai della Croce, *La beata vergine potente del Trompone*, Moncrivello, Edizioni CVS, 2016.

[38]Wikipedia, *Santuario della Beata Vergine del Trompone*, 09/06/2018, [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Santuario_della_Beata_Vergine_del_Trompone. [Consultato il 12/07/2018].

[39]Tesi di laurea, I. Dusi, Relatore: Prof.ssa A. Osello, Correlatore: Ing. M. Del Giudice, *Processo BIM e VR per l'edilizia sanitaria, caso studio: centro diurno per malati di alzheimer per il complesso del Trompone*, Laurea magistrale in Architettura Costruzione e Città, Plitecnico di Torino, 2018, pp.101-103.

[40] https://www.wavin.com/it-IT

[41]*B.7 Prestazioni degli organismi edilizzi, strutture sanitarie*, in *Il nuovissimo manuale dell'architetto*, a cura di L.Zevi, Roma, Mancosu Editore, 2008 [1 ed. 1996], Volume 1, pp. 225-259.