

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA**  
**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**  
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

CORSO DI LAURE SPECIALISTICA EUROPEA IN  
INGEGNERIA EDILE/ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA IN:  
**DISEGNO DELL'ARCHITETTURA**

# Scan2BIM:

processi e metodologie per il rilievo digitale  
e la restituzione parametrica e semantica della  
Rocca di Reggiolo in modello BIM

**CANDIDATO:**

Mattia Fantini

**RELATORE:**

Chia.mo Prof. Ing. Fabio Remondino

**CORRELATORE:**

Ing. Simone Garagnani



# INDICE

<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>9</b>
1.1 Definizione di BIM.....	9
1.1.1 Origini e significato di BIM.....	11
1.1.2 Perché il BIM.....	14
1.1.3 BIM come processo e BIM come modello.....	16
1.2 Definizione di HBIM.....	19
1.2.1 Introduzione: obiettivi HBIM.....	21
1.2.2 HBIM: stato dell'arte e critiche.....	23
1.2.3 Il BIM solo per nuova progettazione?.....	26
1.3 BIM come punto di partenza.....	29
1.4 Modello della realtà: finalità del lavoro.....	33
1.4.1 Finalità e percorso di questo lavoro.....	35
1.4.2 Da oggetti esistenti a modelli intelligenti.....	36
1.4.3 Inserimento, archiviazione e condivisione delle informazioni.....	38
1.4.4 Utilità attuale e futura del processo.....	40
1.5 BIM dall'esistente: processo iterativo.....	43
<b>2 TESI - CASO DI STUDIO E MODELLO BIM.....</b>	<b>45</b>
2.1 Caso di studio.....	45
2.1.1 Cenni storici.....	47
2.1.2 Evoluzione negli anni della Rocca.....	49
2.1.3 Sisma del 2012.....	52

2.1.4	Interventi e progetti futuri.....	56
2.2	Modello intelligente BIM.....	59
2.2.1	Definizione di modello intelligente.....	60
2.2.2	Perché modello intelligente.....	61
2.3	Oggetto intelligente: gestione informazioni.....	63
2.3.1	Rapporti tra gli oggetti intelligenti.....	64
2.3.2	Semantica degli oggetti.....	65
2.3.3	Gerarchia delle informazioni nel modello BIM.....	66
<b>3</b>	<b>IPOTESI - RILIEVO E STRUMENTI.....</b>	<b>71</b>
3.1	Metodi e strumenti di rilievo: stato dell'arte.....	71
3.1.1	Scala del rilievo della Rocca.....	74
3.2	Disegni CAD per il rilievo tradizionale.....	77
3.2.1	Rilievo tradizionale: disegno CAD della Rocca.....	77
3.3	Laser scanner 3D.....	81
3.3.1	Strumenti e loro utilizzo - Laser scanner 3D.....	82
3.3.2	Acquisizione e gestione dati.....	85
3.3.3	Dal laser scanner alla nuvola di punti.....	86
3.3.4	Software per la gestione e modifica della nuvola di punti.....	91
3.4	Fotogrammetria digitale terrestre.....	97
3.4.1	Strumenti e loro utilizzo - Fotocamera digitale.....	99
3.4.2	Tecniche e metodologie di presa - La Rocca.....	100
3.4.3	Elaborazione fotogrammetrica delle immagini.....	103
3.4.4	Software per creare e gestire la nuvola di punti.....	107
3.4.4.1	Allineamento foto: nuvola sparsa e densa.....	108

3.4.4.2	Divisione del modello: chunk, point mark e allineamenti.....	108
3.4.4.3	Creazione modello unico: mesh, ortofoto e tessitura elementi.....	119
3.5	Fotogrammetria digitale aerea.....	123
3.5.1	Drone, video e rilievo aereo.....	123
3.5.2	Foto da video per la fotogrammetria.....	124
3.6	Metodi a confronto.....	127
3.6.1	Metodi di rilievo a confronto - pro e contro.....	129
3.6.2	Misure dalle nuvole di punti - Precisione e accuratezza.....	132
3.6.3	Esportazione delle nuvole di punti.....	133
<b>4</b>	<b>DIMOSTRAZIONE - MODELLO E BIM FITTING.....</b>	<b>135</b>
4.1	Metodo di lavoro - dal rilievo al modello BIM.....	135
4.1.1	Metodo tradizionale: base vettoriale CAD.....	138
4.1.2	Software per la modellazione BIM.....	139
4.1.3	Elaborare il modello sulla nuvola punti.....	143
4.2	Oggetti intelligenti riferiti alla realtà.....	147
4.2.1	Generazione di un modello parametrico.....	150
4.2.2	Oggetti parametrici: gestione, modifica e limiti.....	152
4.2.3	Semantica e condivisione degli oggetti.....	154
4.3	Modello BIM e realtà a confronto - Processo ricorsivo.....	157
4.4	Modello BIM della Rocca di Reggiolo.....	159
4.4.1	Creazione modello con software BIM - Revit.....	160
4.4.2	Importare e utilizzare la nuvola di punti.....	161
4.4.3	Modellare le geometrie sulla nuvola di punti.....	165
4.4.4	Famiglie personalizzate: elementi particolari.....	179

4.4.4.1 Finestre parametriche.....	180
4.4.4.2 Porte parametriche.....	196
4.4.4.3 Murature.....	200
4.4.4.4 Solai, tetti e pavimenti.....	203
4.4.4.5 Scale parametriche e ringhiere.....	206
4.4.5 BIM fitting della torre - Modello dettagliato.....	212
4.4.5.1 Murature della torre: Rappresentazione risultati e tessitura.....	213
4.4.6 Problemi riscontrati.....	217
<b>5 INFORMAZIONI E DATI DEL MODELLO (LOD).....</b>	<b>221</b>
5.1 Estrapolare Informazioni.....	221
5.1.1 Inserire, gestire e condividere informazioni.....	222
5.1.2 LOD nel BIM e per l'esistente.....	226
5.2 Progetto dal modello BIM.....	229
5.2.1 Informazioni per la progettazione.....	229
5.2.2 Versatilità dei tipi di progetto.....	231
5.3 Modello BIM per analisi.....	233
5.3.1 Analisi geometriche e strutturali.....	235
5.3.2 Simulazione agli elementi finiti.....	237
5.3.3 Analisi sull'involucro e Indagini storiche.....	238
<b>6 RISULTATI: METODI E TEMPI DI LAVORO.....</b>	<b>241</b>
6.1 Valutazione strumenti in base al metodo.....	241
6.2 Tempistiche di lavoro - raccolta dati e modellazione.....	245
6.3 Metodi per migliorare il processo.....	251

6.3.1 Rilievo.....	251
6.3.2 Modellazione.....	253
6.4 Efficienza del metodo: processo studiato Vs metodo tradizionale.....	257
<b>7 CONCLUSIONI E PROGETTI FUTURI.....</b>	<b>261</b>
7.1 Risultato della ricerca.....	261
7.1.1 Grado di modellazione raggiungibile.....	262
7.1.2 Nuova tecnologia per migliorare il processo.....	264
7.2 Metodo per altri casi di studio.....	267
7.2.1 Processo iterativo per affinare il metodo.....	268
7.3 Prospettive future.....	269
<b>ELENCO IMMAGINI.....</b>	<b>275</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>281</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>287</b>
<b>TAVOLE TECNICHE.....</b>	<b>291</b>



# 1. INTRODUZIONE

## **1.1 DEFINIZIONE DI BIM**

Il Building Information Modeling, dai cui l'acronimo BIM, è un processo che porta alla creazione e alla gestione, in tutte le sue parti, di un modello di un progetto edilizio rappresentato digitalmente, dove sono contenute tutte le informazioni che riguardano le sue caratteristiche.

La definizione che per esempio si poteva trovare del BIM su Wikipedia fino a qualche anno fa recitava:

*“Il BIM è un processo che implica la generazione e la gestione di una rappresentazione digitale e delle caratteristiche fisiche e funzionali di un complesso edilizio” (Wikipedia.org)*

Tale definizione, anche se molto generale, spiega molto bene in sintesi qual è il cuore del BIM, perché quello di cui si sta parlando è un nuovo approccio alla progettazione, un nuovo metodo di pensare l'edilizia che non è più legato ad un numero infinito di fogli che rappresentano ognuno un aspetto a sé stante di un progetto ma diventa la realizzazione di un modello digitale che porta alla generazione di un oggetto all'apparenza semplice ma che nasconde al suo interno tutta la complessità degli aspetti del progetto stesso.

Un'altra definizione del BIM è data dalla National Building Information Modeling Standard (NBIMS 2007):

*“A building Information Model (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable*



Fig 1.01 Il BIM e i suoi aspetti <https://www.bimportale.com>

*basis for decisions during its life-cycle from inception onward.” (National Institute of Building Sciences - Stati Uniti)*

Riassumendo quanto descritto in questa definizione, si dice che il BIM è una rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio, con lo scopo di condividere informazioni riguardanti la creazione e la manutenzione di un’opera edilizia atte a prendere decisioni dalla creazione fino alla fine della vita utile dell’oggetto stesso.

In sostanza il BIM è un processo che riguarda lo sviluppo, l’analisi e la manutenzione di un modello digitale non è solamente una rappresentazione geometrica e multidimensionale di un edificio, ma è la gestione di tutta l’informazione che riguarda quell’edificio e la possibilità di condividerla.

*“Il modello BIM è una fonte di conoscenza condivisibile, la cui geometria è solamente un piccolo pezzo di tale informazione” (Simone Garagnani)*

Il processo è costruito sulla rappresentazione della conoscenza in un formato facilmente interpretabile e senza alcun tipo di ambiguità, in modo

che tutti i dati inseriti nel modello siano consistenti, efficaci e riutilizzabili per la rappresentazione di informazioni di ogni genere riguardanti il progetto sul quale si sta lavorando.

Questo tipo di processo permette di compiere analisi preliminari sul modello, è possibile fare indagini di tipo strutturale, energetico, illuminotecnico, sui materiali, acustiche e su qualsiasi altra funzione utile per l'ottenimento di un dato obiettivo progettuale, e tutto questo si può simulare già dalle fasi iniziali di creazione del modello, e anche molto prima che l'edificio venga creato, rendendo tali strumenti cogenti nel processo di progettazione.

Nel processo di modellazione BIM la visualizzazione di ogni parte del modello o di ogni analisi che su di esso si vuole compiere, è un'interrogazione che si applica al modello stesso, non sono elementi separati, il progetto è unico e come tale ogni modifica apportata ad un singolo elemento viene in automatico propagata all'intero modello, modificandone di conseguenza tutte le analisi e le visualizzazioni.

Anche la scala di progettazione diventa una modalità con la quale si interroga il modello, in quanto la scala che si utilizza nel BIM è uno a uno, in sostanza si utilizza in concetto di "as built", come è costruito, per creare un progetto in tutto e per tutto coerente con quello che verrà messo in opera, e il processo di modellazione dovrebbe rispecchiare il più possibile il processo di costruzione, e in seguito di manutenzione.

### **1.1.1 ORIGINI E SIGNIFICATO DI BIM**

Fin dagli anni '60 del XX secolo si iniziava a parlare di rappresentazione digitale di un progetto, o meglio si pensava già alla possibilità di avere progetti che potessero contenere al loro interno informazioni modificando le quali si andava a rigenerare l'intero progetto o porzioni di esso.

L'intento o meglio l'idea era quella di avere un tipo di progettazione, nel futuro, dove il progettista non dovesse perdere tempo a modificare i disegni a ogni cambiamento che apportava al suo lavoro ma dovesse solo pensare a nuove idee facilmente rappresentabili in un modello digitale che simulasse la realtà e che allo stesso tempo fosse privo di ambiguità.

Quindi si pensava già ad una sorta di automazione dove le modifiche del progettista potessero avvenire in modo automatico, senza ambiguità e in tempo reale nel progetto e che tutte le informazioni in esso contenuto fossero legate tra loro. (Douglas C. Englebart "Augmenting Human Intellect", 1962).

Gli anni passarono e tale idea divenne sempre più realistica, prima l'avvento del mouse (1967) cambiò il modo di gestire gli elementi su un monitor da PC con un sistema di coordinate bidimensionali, e poi avvenne la rivoluzione della rappresentazione 3D (iniziata negli anni '60 e tutt'ora in atto) che cambiò profondamente il metodo di rappresentare e visualizzare in modo digitale la realtà, nel cinema, nei videogiochi e anche, e soprattutto, in architettura.

Inoltre nella rappresentazione architettonica, oltre a parlare di visualizzazione, occorre parlare anche di conoscenza, intesa come patrimonio informativo legato ad un particolare organismo edilizio, e tale conoscenza è parte intrinseca del progetto ma può riferirsi ad una rappresentazione propria (ad esempio la foto di un edificio senza alcuna didascalia) o una rappresentazione impropria (ad esempio la descrizione a parole dello stesso edificio con molte più informazioni ma senza nessuna rappresentazione visiva). (teoria di Edmund Husserl "intentionally and cognitive science").

Tutte le tipologie di informazioni e di rappresentazione devono essere collegate insieme e solo a quel punto si avrà la conoscenza dell'oggetto

che vi vuole progettare con il minor numero possibile di ambiguità.

Unendo il concetto di visualizzazione digitale a tre dimensioni e il concetto di conoscenza ed informazione si pongono le basi del BIM, che vede i suoi natali con il professore della scuola di architettura e scienza informatica del Georgia Institute of Technology Charles M. Eastman (Chuck Eastman) che alla metà degli anni '70 definì per primo il BIM come processo, identificando la progettazione parametrica come un punto fondamentale per la creazione di un modello, prima legato alla produzione industriale e poi anche all'edilizia e all'architettura.

Oggi il BIM è definito come un processo di progettazione di un modello digitale, parametrico e privo di ambiguità, ma la vera conoscenza di cosa significhi progettare in questo modo è purtroppo scarsamente diffusa, soprattutto in Italia, e solo adesso si sta cercando di definire con accuratezza il BIM in modo che tutti lo possano utilizzare con cognizione di causa, e anche i vari governi, e in secondo luogo le amministrazioni pubbliche degli stati interessati all'argomento, stanno legiferando su questo tema per aiutare la sua divulgazione e il suo utilizzo.

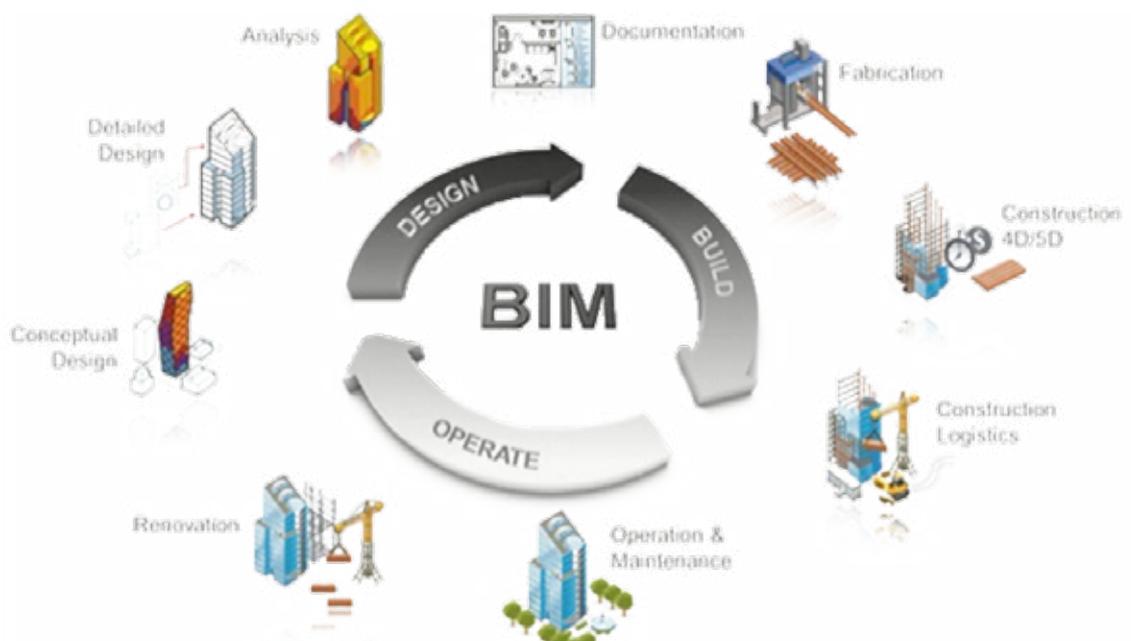


Fig 1.02 Processo BIM e integrazione <https://processinnovation.wordpress.com>

**BUILDING:** scala dell'edificio

**INFORMATION:** dati e archivi digitali estesi

**MODELING:** modello digitale come strumento preferenziale per lo scambio di informazioni

### 1.1.2 PERCHE' IL BIM?!

“Gli strumenti del BIM stanno al disegno CAD come un computer sta ad un regolo calcolatore” Chuck Eastman, BIM Handbook 2008

La differenza tra le due tecnologie è abissale, con il CAD si possono generare disegni tecnici vettoriali e molto accurati, con un livello di dettaglio enorme, ma restano soltanto dei “tecnigrafi automatici” ove il disegno porta soltanto le informazioni in esso contenute inserite dal progettista e non gestisce i rapporti con il progetto, quindi una modifica apportata ad un muro deve essere manualmente apportata a tutte le tavole in cui è visualizzato quel muro, generate con un CAD e i disegni ambigui o inconsistenti non vengono gestiti in alcun modo dal software.

Il BIM invece è un processo che gestisce informazioni durante tutta la progettazione, dalla nascita del concept alla manutenzione dell'edificio



Fig 1.03 Dal CAD al BIM <http://www.cadtobim.com>

stesso per tutto il suo ciclo di vita utile, e le tavole o i disegni tecnici non sono altro che interrogazioni del modello che è in tutto e per tutto una rappresentazione digitale in scala uno ad uno dell'organismo edilizio.

L'adozione del BIM nella progettazione è quindi preferibile a quella di un CAD proprio perché le informazioni vengono gestite e aggiornate durante tutto il processo rendendo il lavoro versatile e più facile da condividere e modificare.

Il BIM non è uno strumento software, ma il processo che adotta non è pensabile senza l'utilizzo di uno o più programmi che "parlino" un linguaggio BIM, ma non bisogna confondere il processo con lo strumento perché se è vero che per fare BIM occorre un programma che "parli" BIM non è vero il contrario, cioè conoscere un software BIM non necessariamente rende BIM manager un progettista; i principali vantaggi del BIM sono:

- Riduzione delle tempistiche di lavoro,



Fig 1.04 Le dimensioni progettuali del BIM <http://www.str.it>

- Controllo della modellazione in tempo reale,
- Predisposizione di varianti utilizzando parametri,
- Interoperabilità tra strumenti ed operatori,
- Miglior qualità del progetto sia per accuratezza che per le analisi e i controlli che si possono effettuare
- Notevole riduzione dei costi di tutto il processo.

### 1.1.3 BIM COME PROCESSO E BIM COME MODELLO

Il termine BIM è utilizzato in una duplice funzione sia come verbo, building

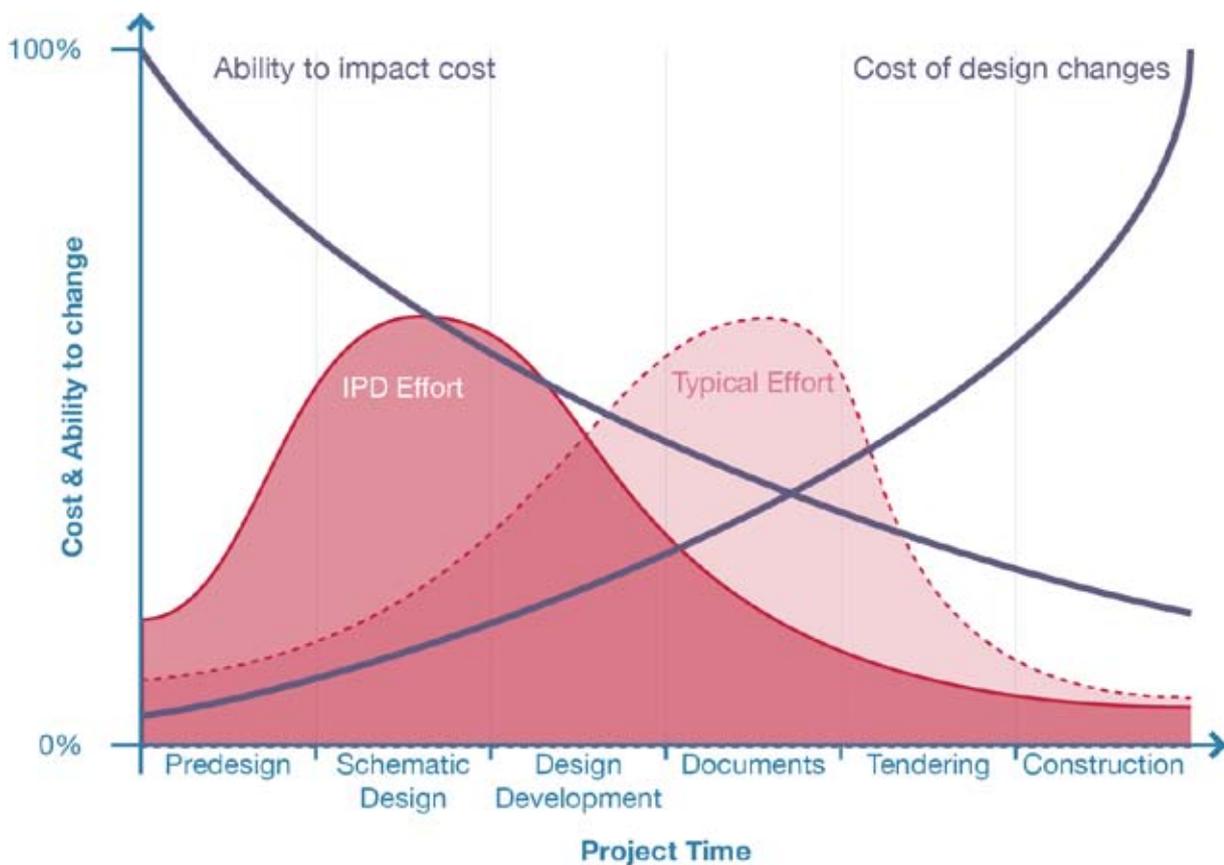


Fig 1.05 Curva MacLeamy BIM

information modeling (processo di modellazione) che come sostantivo building information model (modello) e anche se entrambi i termini

riguardano entrambi la stessa cosa hanno comunque una sostanziale differenza, ed entrambi hanno una definizione ben precisa.

**MODELLARE:** Il BIM inteso come verbo rappresenta un processo, usato per creare, gestire, condividere, derivare e comunicare informazioni tra le varie figure che hanno un qualsiasi interesse in un dato progetto, tramite modelli creati da diversi professionisti, in diversi momenti, e per specifiche funzioni che convergono tutti in quello stesso progetto sia per la sua progettazione che per la sua messa in opera e per tutto il ciclo di vita utile dell'organismo edilizio oggetto del progetto.

**MODELLO:** Il BIM inteso come nome definisce un modello della realtà, una rappresentazione digitale consistente e priva di ambiguità costituita da caratteristiche fisiche, geometriche e funzionali di un organismo edilizio, e questo risultato si ottiene con oggetti corrispondenti alla realtà come muri, porte, finestre e così via, collegati gli uni agli altri da specifiche relazioni ed ognuno di essi definito da una lunga serie di proprietà.

Questa distinzione definisce ancora meglio il ruolo del BIM nella progettazione edilizia in quanto si sottolineano due aspetti fondamentali, quello del processo, come flusso di informazioni non legate ad una linea temporale determinata ma solo alle competenze delle singole figure che le gestiscono separatamente ma che poi condividono, e quello del modello che riguarda tutte le componenti del progetto, dalla più semplice vite all'intero coperto di un capannone, comprendendo oltre alle loro informazioni geometriche ed identificative anche tutte le proprietà fisiche, e non solo, che li descrivono al dettaglio.



## **1.2 DEFINIZIONE DI HBIM**

Il termine Historical Building Information Modeling, abbreviato in HBIM, è stato utilizzato la prima volta nel 2009 in un articolo scientifico del professore Maurice Murphy, e dei suoi colleghi, del Dublin Institute of Technology (Murphy M., MCGovern E., Pavia S., (2013) Historic Building Information Modelling).

Con questo termine si indica un nuovo modo di modellare gli organismi edilizi esistenti utilizzando un processo BIM, e generando dei modelli intelligenti che possono contenere e gestire informazioni, in tutto e per tutto simili ai modelli descritti nel paragrafo precedente quando si descriveva il BIM in generale.

Il BIM, quando è nato, è stato pensato per la progettazione di nuovi organismi edilizi, e tutti i processi ad esso legati e soprattutto gli strumenti, nello specifico i vari software che “parlano” un linguaggio BIM, hanno un’impostazione che si basa su questo presupposto di base, quindi i vari progettisti che hanno iniziato a lavorare in questo modo hanno trovato un valido metodo per una progettazione integrata che dentro di se interseca tutti gli aspetti, ma di contro questo metodo funziona bene, ed è stato perfezionato, per il nuovo.

Una delle maggiori critiche rivolte al BIM, e ai processi ad esso correlati, riguarda appunto la limitazione a poter utilizzare questo metodo solo nella nuova progettazione, ma questo è solamente un luogo comune, infatti alcuni studiosi hanno teorizzato che il BIM è utilizzabile anche nell’edilizia esistente, sia come documentazione storica, per analisi su ciò che già c’è, sia per la manutenzione e la progettazione futura.

In questo frangente nasce l’HBIM, come processo BIM applicato agli edifici esistenti, sia che essi siano monumentali sia che siano semplici abitazioni



*Fig 1.06 Henrietta Street - Laser Scan to HBIM - Maurice Murphy et al. 2013*

degli anni '50 del XX secolo, questo approccio aumenta enormemente le potenzialità di questo metodo, perché espande il suo utilizzo anche alla creazione di modelli del costruito esistente, e non solo come loro restituzione digitale e geometrica in 3D, ma come modelli intelligenti ricchi di informazione, in cui tutte le parti che li compongono sono oggetti anch'essi intelligenti, parametrici e con una semantica ben definita, le porte sono oggetti porta, le finestre sono oggetti finestra e così via.

I primi tentativi per restituire un modello BIM di un edificio esistente erano legati ad edifici di interesse storico o monumentale, in quanto si voleva dare vita ad un database nel quale si potessero inserire i modelli così creati per l'inserimento, l'aggiunta e la divulgazione di informazioni per i più svariati utilizzi, che fosse la semplice restituzione geometrica dei volumi oppure per analisi termiche e via discorrendo.

Con l'HBIM si applica una sorta di "reverse engineering" sugli edifici esistenti, perché si vanno a studiare i processi costruttivi che li hanno generati e in sostanza, mentre si modella l'edificio, si studiano i procedimenti che

hanno portato alla costruzione di quel particolare organismo edilizio andando a migliorare la modellazione stessa in una sorta di feedback positivo, nel quale modellando l'esistente si acquisiscono informazioni le quali verranno utilizzate per migliorare il successivo procedimento di modellazione in un processo iterativo sempre più accurato.

La modellazione, nell'HBIM, parte da un rilievo, e solitamente si tratta di un rilievo digitale, nel quale utilizzando strumenti come laser scanner, o macchina fotografica per la fotogrammetria terrestre, si ottengono le così dette nuvole di punti, che sono insiemi di punti referenziati tra loro nello spazio che contengono informazioni di carattere geometrico (le loro coordinate in un sistema di riferimento noto) e di carattere colorimetrico, in quanto ad ogni punto viene associato un colore relativo ricavato da una foto fatta dallo strumento durante la scansione, ma del rilievo digitale si parlerà più dettagliatamente nel capitolo 3.

### **1.2.1 INTRODUZIONE: OBIETTIVI HBIM**

Con l'HBIM non si sta definendo un nuovo tipo di progettazione ma si sta esplicitando un metodo di lavoro con le sue relative applicazioni, un metodo nel quale si progetta l'esistente, e con il termine progetta non si intende che si ripensa ciò che già c'è ma che si crea un modello che ne simuli la costruzione e che alla fine ne restituisca la maggior parte delle caratteristiche, geometriche, dei materiali, storiche ecc, nel modo più verosimile possibile.

Gli obiettivi che ci si pone con l'HBIM sono appunto quelli di poter ottenere dei modelli BIM di edifici esistenti, costituiti da oggetti intelligenti che contengano informazioni di qualsiasi genere che possano essere aggiornate, sostituite e aggiunte, e inoltre questi oggetti, per quanto l'edificio modellato sia unico, dovrebbero essere utilizzabili per tutti gli altri edifici simili ad esso.

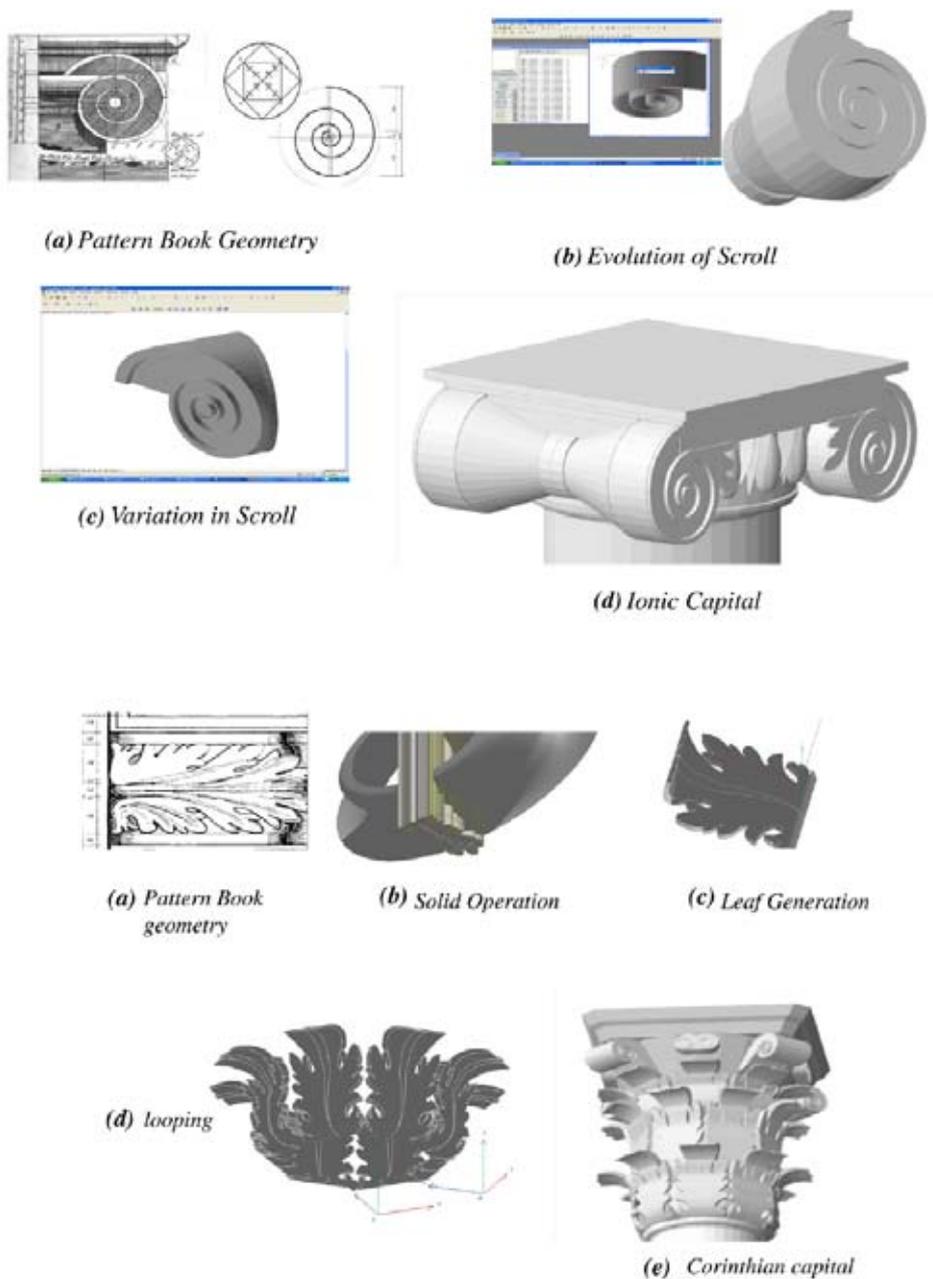


Fig 1.07 Ordini architettonici riprodotti in modelli BIM - Maurice Murphy et al. 2013

Da questa ultima dichiarazione si evince che gli oggetti appena descritti dovrebbero essere oggetti parametrici, cioè oggetti che hanno dei valori modificabili secondo parametri ben determinati e che quindi siano adattabili al caso specifico, per esempio se una finestra con timpano triangolare e colonne doriche ai lati si presenta simile, ma non uguale, in diversi edifici è possibile modellarla una volta sola e poi adattarne le dimensioni, e altri parametri, al caso specifico, creando in questo modo

un database il più universale possibile.

Partendo dai libri di storia dell'architettura come "De architectura" di Vitruvio, come "De re aedificatoria" dell'Alberti e così via si è generato un numero elevatissimo di oggetti parametrici che contengono al proprio interno tutte le regole geometriche e proporzionali analizzate dai testi di storia dell'architettura stessi definendo così una semantica, cioè un significato, ben preciso di quegli oggetti che in tal modo possono essere utilizzati in tutti i modelli di edifici esistenti con caratteristiche simili.

Per esempio con il modello parametrico di una colonna dorica, in cui le dimensioni del basamento e del capitello sono legati da regole di proporzione ben precise con il diametro del fusto della colonna, si ottiene un oggetto utilizzabile sempre con quell'identità, ma con la possibilità di modificarne all'occorrenza le dimensioni, o altri parametri, a seconda dell'edificio esistente che si sta modellando.

### **1.2.2 HBIM: STATO DELL'ARTE E CRITICHE**

Il processo dell'HBIM inizia a prendere sempre più spazio all'interno della progettazione che riguarda il costruito, ma se oggi il BIM resta il grande sconosciuto per molti professionisti, l'HBIM è ancora meno noto, ma nonostante questo si sta cercando di estenderlo sempre più creando database più vasti, prima di porzioni di edifici, poi di elementi stilistici architettonici e successivamente anche di interi edifici e aggregati edilizi.

Quello che si sta cercando di fare, soprattutto negli istituti di ricerca universitari esteri come per esempio in Irlanda e Canada, ma non solo, è di dimostrare che il BIM, applicato all'esistente, può rendere sempre più agevole la divulgazione del patrimoni costruito, migliorando sia i metodi di acquisizione dei dati sia migliorando il processo di modellazione e restituzione digitale dell'oggetto.

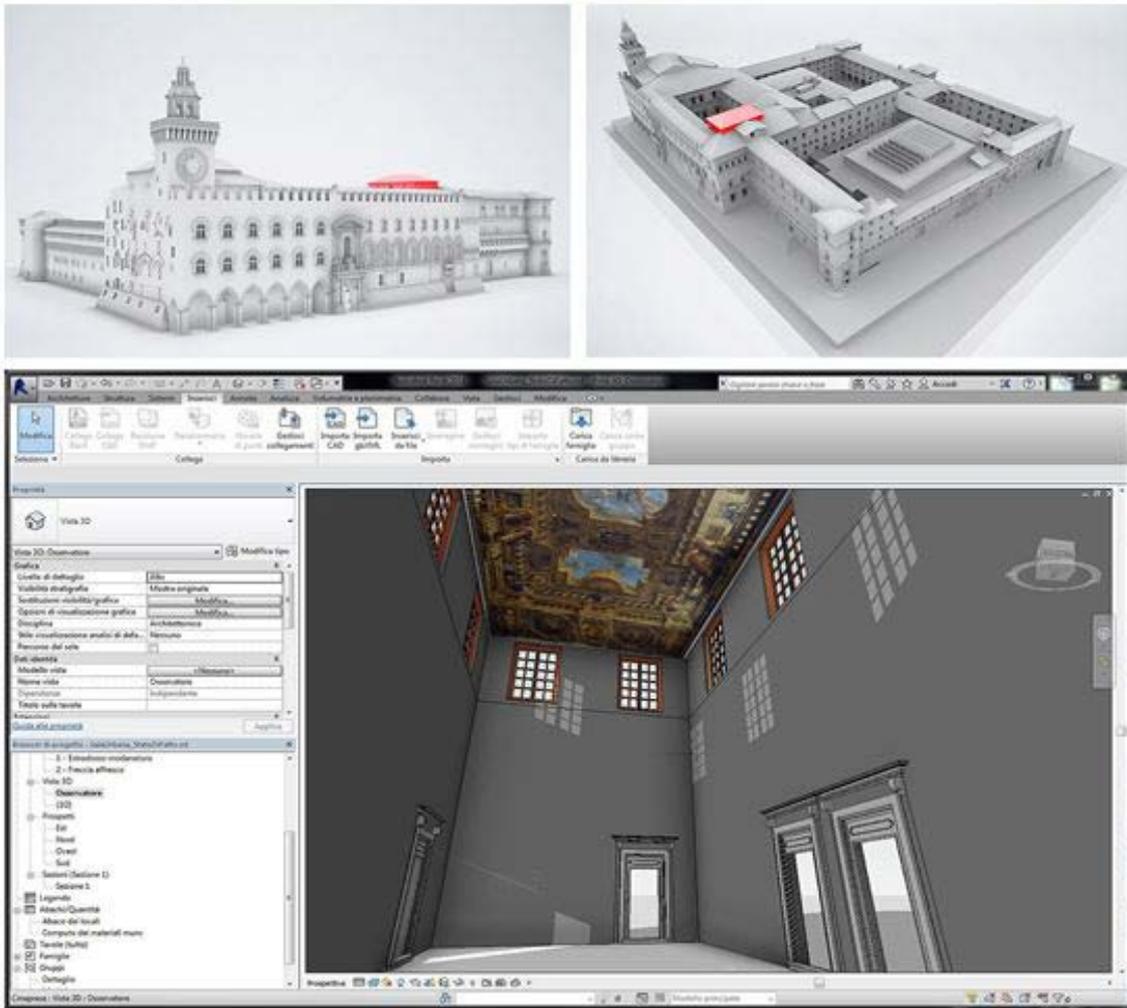
Oggi si sa che partendo da una nuvola di punti ad una determinata risoluzione, a seconda dell'oggetto edilizio che si sta rilevando, ottenuta con qualsivoglia tecnologia, è possibile generare un modello intelligente e parametrico che contenga al suo interno il più alto grado possibile di conoscenza legata a quell'edificio, il procedimento richiede attualmente molto tempo per essere portato a termine in quanto, come già detto in precedenza, gli strumenti del BIM non sono stati pensati per modellare l'esistente ma principalmente per la nuova progettazione.

L'attuale ricerca quindi sta analizzando nuove idee e nuove procedure per rendere sempre più rapido ed automatico, senza perdere troppo dettaglio e troppa informazione in questa operazione, il processo che partendo dalla nuvola di punti arriva al modello di un complesso edilizio dove i vari oggetti che lo compongono contengono al loro interno informazioni e conservano la semantica di ciò che rappresentano.

Gli obiettivi che si pone l'HBIM o più in generale l'utilizzo del BIM sull'esistente sono riferiti principalmente ad una scelta strategica rispetto alla direzione che sta prendendo il mercato delle costruzioni, permettere di gestire molti dati ed informazioni in modo coordinato tra vari professionisti e anche per ottimizzare le risorse e i costi.

Inoltre, un altro grande obiettivo è quello di poter utilizzare un modello dell'esistente creato su una piattaforma HBIM, per poter valutare diverse ipotesi di intervento sullo stesso edificio e per creare un canale preferenziale di comunicazione tra i vari professionisti e inoltre per poter anticipare agevolmente le cogenze normative.

Tutto ciò legato all'obiettivo di incrementare sempre più il database digitale di informazioni legate all'architettura storica e più in generale agli edifici esistenti, per tutelarli e in modo da rendere usufruibile questi dati per altri professionisti del settore o per chiunque voglia farne uso.



*Fig 1.08 Potenzialità dell'HBIM: Modello digitale Sala Urbana di Palazzo d'Accursio a Bologna - Modelli di S. Garagnani 2014 - <http://www.ingenio-web.it>*

Le critiche maggiori che vengono espresse sono di carattere scettico, molti professionisti del settore ritengono che utilizzare il BIM per approcciarsi all'esistente sia una forzatura, in quanto si tenta di incasellare l'immensa varietà degli edifici esistenti, e degli stili architettonici, in un sistema che non è stato pensato in origine per questo tipo di funzione e che quindi, nonostante sia molto più versatile del metodo così detto "tradizionale", renderebbe più rigida la classificazione di quello che si vuole riprodurre e restituire in modo digitale.

### 1.2.3 IL BIM SOLO PER NUOVA PROGETTAZIONE?

Con quanto si è appena discusso la risposta a questa domanda giunge in automatico, il BIM non è utilizzabile solo per la nuova progettazione, anzi trova ampia applicazione anche nel mondo dell'edilizia esistente per i più svariati obiettivi, che vanno dal restauro, all'adeguamento sismico a tutto quello che si vuole compiere su un edificio già presente nel panorama urbanistico.

Questo accade soprattutto in tempi recenti dato che oggi giorno, per motivi legati principalmente alla crisi economica iniziata nel 2007, si costruiscono e si progettano sempre meno edifici nuovi, e ciò rende il tema quanto mai attuale, soprattutto in stati come l'Italia dove il patrimonio architettonico monumentale, storico, e non solo, è tra i più vasti del pianeta.

Creare un modello BIM di un edificio esistente ne crea una nuova identità, le documentazioni, i dati catastali, le informazioni di carattere burocratico e amministrativo, i nomi degli enti pubblici competenti per ottenere permessi, i riferimenti normativi, le sovrintendenze in caso di beni culturali e così via saranno tutti legati al modello sotto forma di informazioni consultabili e modificabili da chiunque abbia interesse su quell'edificio.

	Oggi	Tra 10 anni
Città metropolitane	76,2%	85,2%
Città capoluoghi	68,7%	79,7%
<b>ITALIA</b>	<b>55,4%</b>	<b>68,6%</b>

Fig 1.09 Prospettive future del patrimonio costruito esistente con più di 40 anni di età - elaborazione stime CRESME

Dato che si stima che tra 10 anni il patrimonio esistente, cioè edifici con oltre i 40 anni di età, in Italia, sarà il 68,6% del totale rispetto all'attuale 55,4%, viene da se pensare che la necessità di lavorare su ciò che già esiste, piuttosto che creare del nuovo, sia quanto mai cogente, e in tutto ciò la ricerca di un metodo e di un processo per rendere ciò possibile è la nuova frontiera alla quale il BIM si sta avvicinando sempre più.

Ad ulteriore sostegno di questa tesi c'è anche il dato relativo agli investimenti, in edilizia residenziale, che hanno visto un crescita esponenziale di quelli riferiti al rinnovo piuttosto di quelli riferiti alle nuove costruzioni.

In conclusione si può dire che il BIM non solo è utile per modellare l'esistente tanto quanto lo è per la nuova progettazione ma potrebbe essere davvero uno strumento di utilità strategica nel prossimo futuro soprattutto nei paesi del mondo, come l'Italia, che posseggono un enorme patrimonio di edilizia esistente e anche con valenze storiche, monumentali e architettoniche.



## **1.3 BIM COME PUNTO DI PARTENZA**

Molto è già stato detto di quello che è lo scenario attuale ma è giusto spendere qualche parola in più per definire meglio alcuni aspetti e per chiarire alcuni dubbi.

Il BIM riguarda il lavoro integrato di più professionisti, è un processo che collega le conoscenze e le capacità di più operatori che lavorando sulla stessa piattaforma possono condividere informazioni, questo concetto è di difficile comprensione perché cambia completamente il modo di concepire la progettazione, in quanto quello che prima era un processo lineare, dove al massimo si tornava sui propri passi per apportare modifiche o per correggere errori, ma con l'avvento del BIM diventa un processo circolare e contemporaneo in cui tutto può avvenire in tempo reale.

Si potrebbe poi pensare che i professionisti legati al processo edilizio siano soltanto i tecnici, ma spesso ci si dimentica che, soprattutto per edifici esistenti e di una certa valenza architettonica, molto del lavoro preliminare viene fatto per esempio dagli storici o anche dagli archeologi, che poi resta come documentazione a sé stante allegata al progetto, quando invece in una progettazione integrata nella quale tutta l'informazione è legata al progetto stesso anche le informazioni storiche sono all'interno del modello e questo rende molto vasto il numero di figure che contemporaneamente possono lavorare ad un stesso edificio digitale, o che ci potranno lavorare in futuro integrando il lavoro di altri.

L'idea generale è quella di porre delle basi iniziali di modellazione di un edificio esistente e poi aggiungere e modificare informazioni legate a quell'oggetto senza mai dover fare due volte il lavoro che è già stato fatto, come per esempio rilevare più volte lo stesso edificio se ne esiste

già un modello geometricamente coerente (a meno che non ci siano specifiche esigenze).

Lo scenario attuale è uno scenario in evoluzione, nel quale per ora esistono le tecnologie per il rilievo digitale ad alta risoluzione, operato con strumenti come laser scanner o fotocamere nel caso della fotogrammetria digitale terrestre, esistono gli strumenti, e i software, per poter trasformare queste scansioni in nuvole di punti e per poterle modificare e analizzare anche in remoto per poterne condividere meglio le informazioni.

Esistono anche i software per la modellazione BIM, con i quali è possibile creare modelli intelligenti, parametrici e ricchi di informazioni che possono acquisire le nuvole di punti anche se questo processo è attualmente molto macchinoso in quanto le operazioni che si possono fare all'interno di questi programmi sulle nuvole stesse sono molto limitati.

Infine esistono dei database di oggetti parametrici ed intelligenti riferiti ad edifici esistenti o a porzioni di essi che possono essere utilizzati per tipologie architettoniche ricorrenti.

Inoltre la ricerca attuale sta lavorando su dei nuovi software, o plug-in, che lavorando insieme agli strumenti BIM ne agevolano il dialogo con le nuvole di punti, rendendo il più automatico possibile il riconoscimento e la classificazione di oggetti all'interno del modello digitale, facendo "leggere" ed analizzare la nuvola di punti direttamente al software, in modo che possa distinguere una porta da una finestra, e una parete da un soffitto o da un pavimento.

Per fare questo per ora si sono studiati due metodi, uno che confronta le nuvole di punti, con un database di oggetti già presenti nelle librerie e per confronto cerca quelli più simili, ed un'altra procedura che utilizza invece l'informazione di superficie, cioè la texture, che arriva dall'analisi

sempre della nuvola di punti per compiere un altro tipo di classificazione e per aggiungere informazioni .

Tutte queste procedure sono ancora allo stato preliminare, anche perché la vastità del patrimonio esistente è troppo grande per poter creare una copia di ogni singolo elemento architettonico presente in ogni edificio, per questo, almeno per ora, il lavoro del progettista o del modellatore, in collaborazione con altri professionisti, è di fondamentale importanza per definire un modello HBIM il più dettagliato e verosimile possibile.



## **1.4 MODELLO DELLA REALTÀ: FINALITÀ DEL LAVORO**

Con modello della realtà si intende un modello BIM con caratteristiche parametriche e ricco di informazioni che rappresenti in modo digitale un edificio o un complesso edilizio esistente, dandone una restituzione sia geometrica sia semantica e conoscitiva a partire da un rilievo digitale ad alta risoluzione.

Il termine modello deriva dal latino “modellus” diminutivo di “modulus” che significa misura, forma, stampo e per alcuni studiosi il modello è per definizione una rappresentazione della realtà stessa (Bachelard S. 1979 Parigi), quindi quella sopra indicata non è altro che una definizione di modello legata al processo BIM ed applicata agli edifici esistenti.

**Definizione di modello dell'Enciclopedia treccani:** *“Costruzione che riproduce, di solito in scala diversa dall'originale (per lo più ridotta), le forme esatte e le caratteristiche di un'opera, d'arte o della tecnica, in fase di progettazione o già esistente, a scopo illustrativo, talvolta pubblicitario, o anche come oggetto di hobby (modellismo). [...] In particolare, nella tecnica, prototipo (di macchina, di struttura, ecc.) costruito a scopo sperimentale e, più in generale, rappresentazione materiale di un sistema o anche di un fenomeno per studiare il comportamento di certe grandezze fisiche, per ottimizzare un progetto, ecc. [...]”*

Modellare qualcosa vuol dire quindi definire, con un linguaggio preciso, che può essere grafico, matematico, digitale, ecc, un aspetto particolare della realtà in modo che sia più leggibile e comprensibile ai fini del lavoro che si deve svolgere e soprattutto quando si devono risolvere dei problemi complessi.

Per esempio in meteorologia le previsioni del tempo non sono altro che

i risultati finali di calcoli molto complessi fatti da computer con grande potenza di calcolo, che risolvono delle equazioni costruite a partire da un modello della realtà, che ne descrivono e ne simulano in modo verosimile le caratteristiche, più è raffinato il modello, meno sarà la differenza con la realtà ma tanto più complessi saranno i calcoli da svolgere per giungere ad una soluzione.

Nell'ambito della progettazione edilizia questo tema è di fondamentale importanza, ogni volta che si pensa ad un nuovo edificio si crea un modello, che verrà sempre più perfezionato fino alla realizzazione dell'edificio stesso, e qualsiasi siano le tecniche utilizzate il principio alla base è sempre lo stesso, ma come si crea un modello per rendere concreta e per porre in opera un'idea è altresì vero che si può compiere il processo inverso, e generare un modello di ciò che già esiste, provando a tal proposito a descrivere nel miglior modo possibile la realtà.

Oggigiorno le tecnologie per il rilievo di edifici esistenti e per la modellazione digitale sono molto avanzate, ma quello che manca è la diffusione dell'utilizzo di tali strumenti, sia per il loro costo che per la scarsa formazione dei tecnici che si avvicinano a queste tecnologie, quindi più che una strumentazione sempre più complessa e costosa occorre creare dei metodi di lavoro, dei processi dove l'utilizzo di uno strumento piuttosto che di un altro diventa una pura scelta del progettista o del modellatore e non una necessità imprescindibile.

Una volta definito ed imparato un metodo di lavoro, o più di uno, lo si potrà utilizzare in tutti i casi di lavoro che ci si appresta ad esaminare e gli strumenti, in questo processo, saranno interscambiabili tra loro, perché è lo strumento che deve servire il metodo, e migliorarne le procedure di applicazione, e non il contrario, quando ciò accade significa che il metodo funziona ed è replicabile, ma per ora si è ancora nel campo della ricerca e della sperimentazione.

## 1.4.1 FINALITÀ E PERCORSO DI QUESTO LAVORO

Lo scopo di questo lavoro di tesi, e di ricerca, è quello di definire un metodo innovativo ed originale per poter generare dei modelli della realtà costruita, quindi riferiti ad edifici o ad organismi edilizi esistenti, utilizzando il BIM come processo di modellazione, in modo da poter aggiungere ai modelli così creati informazioni e conoscenza che potranno essere condivise, e modificate, utilizzando oggetti parametrici e semantici il tutto partendo da una nuvola di punti ottenuta con un rilievo digitale ad alta risoluzione.

Le finalità del lavoro sono quindi molteplici:

Generare una nuvola di punti di un edificio esistente con tecnologie di rilievo digitale come la fotogrammetria e l'utilizzo del laser scanner 3D, importare, modificare ed interrogare la nuvola di punti così ottenuta.

Passare dalla nuvola di punti alla modellazione BIM, prima della sola geometria dell'edificio analizzato entrando via via sempre più nel dettaglio, fino ad arrivare ai dettagli delle aperture, utilizzando la nuvola stessa come base per il processo di modellazione.

Definire oggetti parametrici e quindi all'occorrenza modificabili che partano da regole e parametri generali ma che siano adattabili alla varietà intrinseca dell'oggetto architettonico stesso.

Mantenere la corretta semantica di tutte le componenti del modello in modo che ogni oggetto nella versione digitale abbia lo stesso significato di ciò che c'è nella realtà, senza nessuna ambiguità.

Flusso di informazioni che da diversi fonti confluiscono nel modello e ne diventano parte integrante, aggiungendo alla sola geometria informazioni di carattere tecnico, descrizione dei materiali, informazioni storiche e

qualsiasi altro dato che possa essere utile per avere un modello il più accurato possibile e per poter compiere analisi e nuovi progetti su di esso.

Si utilizza un caso di studio, in questo caso la Rocca medievale sita nel comune di Reggio Emilia (Provincia di Reggio Emilia), per dimostrare quanto appena descritto, ma lo scopo finale è quello di poter presentare un metodo il più universale possibile che possa quindi essere applicata alla maggior parte degli edifici esistenti che si vuole prima rilevare e poi portare in formato digitale in un modello BIM.

#### **1.4.2 DA OGGETTI ESISTENTI AD OGGETTI INTELLIGENTI**

Quando si rileva un edificio si cercano di determinare più informazioni possibili alla fonte per poi riportarle in un modello, questo procedimento può variare a seconda dello scopo con il quale si esegue il rilievo stesso, e per questo motivo cambia anche il dettaglio e la scala con cui si fanno le rilevazioni e si riportano le misure.

Spesso capita che ci si accorge che delle informazioni mancano quando ormai si stanno già analizzando i dati e questo implica necessariamente un ritorno del professionista alla fonte, cioè alla sede dell'edificio da rilevare per acquisire ciò che gli serve per proseguire con il lavoro.

Gli oggetti esistenti riguardano la fonte del rilievo, cioè lo stato dell'organismo edilizio e delle sue componenti nel momento in cui si decide di eseguire il rilievo, e sono quindi la base dalla quale si parte per iniziare la modellazione successiva.

Mentre gli oggetti intelligenti sono i corrispettivi degli oggetti che si vogliono rilevare all'interno del modello BIM, sono cioè elementi che al loro interno contengono informazioni che riguardano la geometria, le proprietà fisiche, i materiali costituenti e così via, e sono parametrici,

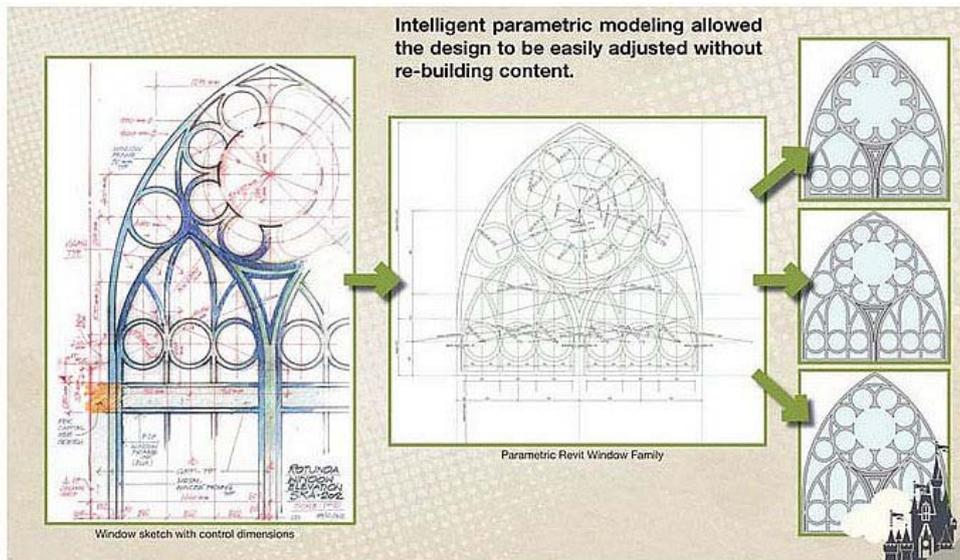


Fig 1.10 Esempio di modellazione parametrica di un oggetto esistente - <https://thebimhub.com>

quindi hanno dei valori modificabili a seconda delle necessità del caso specifico e inoltre, vengono definiti intelligenti perché contengono al loro interno conoscenza, e ne possono guadagnare altra e inoltre la possono condividere.

Passare da un oggetto esistente ad un oggetto intelligente significa seguire un processo nel quale a partire dai dati rilevati sul campo si arriva ad un modello digitale che può contenere questi dati, e il modo in cui vengono visualizzati nel modello dipende dall'utilizzo che se ne vuol fare.

Per esempio se si rileva una finestra di un edificio e si riproduce con un modello BIM, il risultato finale potrebbe essere un render foto realistico della finestra per far vedere i materiali, una visualizzazione di come trasmette la luce, una sezione tecnica per far vedere da quanti strati è composto l'infisso, oppure potrebbe contenere solo informazioni geometriche o solo dati storici, tutto dipende dal risultato che si vuole ottenere, ma il procedimento sopra descritto permette di raggiungere tutti questi scopi.

In tal modo il modello digitale diventa una riproduzione il più fedele

possibile dell'oggetto reale, priva di ambiguità o di incongruenze e semanticamente corretta, cioè avente nel modello le stesse caratteristiche, le stesse qualità e lo stesso significato del suo equivalente che si è rilevato.

### 1.4.3 INSERIMENTO, ARCHIVIAZIONE E CONDIVISIONE DELLE INFORMAZIONI

Un altro punto fondamentale da descrivere è quello che riguarda la gestione delle informazioni, infatti si è parlato fino ad ora di dati raccolti, di dati condivisi e flusso di dati ma senza descrivere nel dettaglio cosa vuol dire.

La parte "information" dell'acronimo BIM riguarda proprio questo aspetto, infatti sono proprio le informazioni che stanno alla base di tutto il processo, ma con informazioni si definiscono tutti gli aspetti che riguardano il modello e gli elementi che lo compongono, come si spiegherà meglio nel capitolo 5.

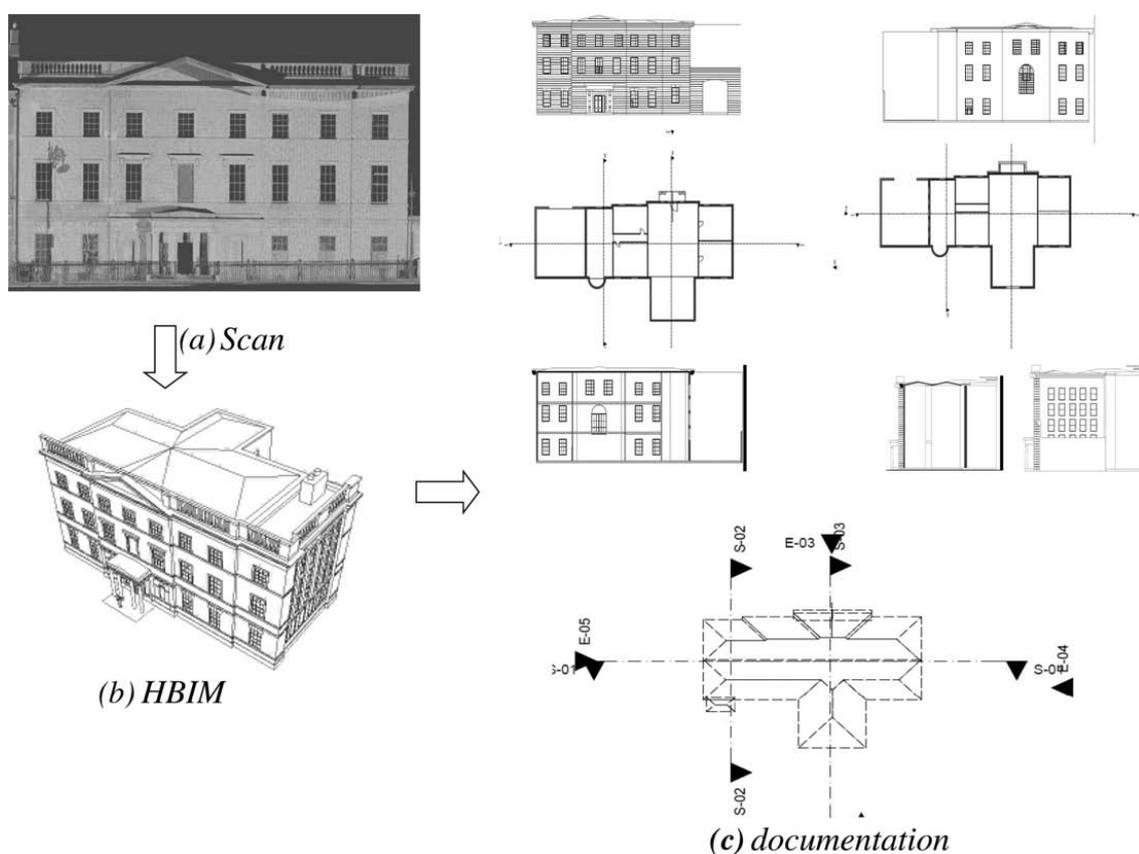


Fig 1.11 Scansione, modellazione HBIM e documentazione - Maurice Murphy et al. 2013

Con informazione si intende qualsiasi tipo di dato che possa descrivere una caratteristica di un particolare oggetto, per esempio dire che “quella tazza è rossa” è un’informazione sul colore della tazza, cioè che è di colore rossa, ma anche dire che “quella tazza è sul tavolo” è un’informazione legata alla posizione nello spazio di quella tazza, di esempi simili se ne possono fare infiniti ma è per chiarire il concetto che qualsiasi caratteristica nota può essere trasportata nel modello sotto forma di informazione.

Tale informazione può essere rappresentata in diversi modi, per riferirsi all’esempio precedente è possibile fare un modello di una tazza rossa appoggiata su un tavolo, farne un render che contiene le caratteristiche raccolte dalla realtà, dal rilievo, ma anche scrivere le stesse cose a parole in un file di testo che può trasmettere le stesse informazioni, o anche prendere una tazza bianca e applicandoci sopra un post-it con scritto “tazza da colorare di rosso e da posizionare sul tavolo”.

Tutte queste modalità non sono altro che divulgazione dell’informazione, e sono tutte più o meno efficaci a seconda dello scopo finale, e lo stesso vale applicato all’architettura e alla modellazione virtuale BIM di oggetti esistenti, perché il modello BIM funge da database in cui possono essere inserite tutti i dati che vengono raccolti durante il rilievo di un oggetto e a prescindere delle modalità di visualizzazione o di interrogazione del database restano legati a quel modello, e possono essere modificati e aggiornati in ogni momento.

La raccolta dei dati alla fonte è l’operazione che si compie con il rilievo, l’archiviazione delle informazioni è il processo di modellazione dove il dato viene trasferito dalla realtà ad un modello digitale BIM, e la condivisione è la possibilità di rendere tali informazioni utilizzabili da tutti coloro che ne vogliono usufruire, sia divulgando l’archivio sia rendendolo fruibile su piattaforme che lavorando tramite il web creando delle sessioni di lavoro in cui il flusso di dati e di informazioni è gestito in tempo reale.

L'idea generale è che l'informazione e i dati raccolti vengano sempre aggiunti ad un modello in un processo di continua crescita di conoscenza dove i dati possono al massimo venire corretti ma mai cancellati.

#### **1.4.4 UTILITÀ ATTUALE E FUTURA DEL PROCESSO**

Attualmente, dove la maggior parte degli elaborati relativi al rilievo di edifici esistenti si trova ancora in formato CAD, o peggio ancora in formato puramente cartaceo, la gestione delle informazioni è ancora piuttosto macchinosa, si sprecano pagine e pagine di carta con relazioni storiche fatte su una porzione dell'edificio, o sull'intera struttura, che si aggiungono ad altre trovate in un secondo momento, dati catastali incongruenti, analisi di vario genere che si fatica a datare o a contestualizzare e così via, quindi i dati per gli edifici esistenti molto spesso già esistono ma è la loro gestione che lascia molto a desiderare.

Soprattutto in Italia dove il patrimonio architettonico esistente è estremamente esteso e dove gli enti che lo gestiscono o che hanno responsabilità più o meno grandi su di essi, sono le più disparate, ministeri, sovrintendenze, regioni, comuni e così discorrendo, portando ad un'enorme frammentazione dell'informazione ed ogni volta che si devono eseguire dei lavori su un edificio storico esistente la maggior parte del tempo iniziale è speso per la ricerca e l'organizzazione di informazioni e dati.

Mantenendo le competenze allo stato attuale ma unendo il più possibile le informazioni che riguardano un edificio nello stesso posto renderebbe il lavoro dei tecnici, o dei professionisti in generale, che devono lavorare su quel particolare edificio, molto più agevole.

E il modello BIM si presta molto bene come database dove poter raccogliere e catalogare informazioni che riguardano un dato organismo

edilizio e il grosso della fase di raccolta dati non deve più essere eseguito, a meno che non manchino importanti fette di documentazione.

Quindi è possibile generare un modello, congruente e geometricamente coerente alla realtà, dove sono contenute la maggior parte delle informazioni raccolte fino a quel momento, come se fosse un “catalogo” digitale da poter interrogare in caso di necessità.

Per ora queste procedure sono molto rare ma pian piano prenderanno sempre più piede e non solo per gli edifici storici o con una determinata importanza monumentale ed architettonica, ma anche per gli edifici più ordinari e di recente costruzione, con scopi che magari non fanno riferimento al restauro o all’adeguamento sismico ma più semplicemente riguardano interventi di miglioramento energetico o anche soltanto di manutenzione straordinaria o di gestione per tutta la vita utile stimata, rimanente, di un particolare complesso edilizio.

In futuro si prospetta la possibilità di avere un’estensione quasi capillare di questo processo di gestione integrata delle informazioni in un modello BIM di un edificio, e non solo per gli edifici di nuova progettazione e di nuova costruzione ma anche per la maggior parte di quelli esistenti in modo da poter gestire in modo sempre più rapido e coordinato il patrimonio costruito.



## **1.5 BIM DALL'ESISTENTE: PROCESSO ITERATIVO**

Quando si pensa ad un metodo per risolvere un problema o per migliorare un metodo esistente si cerca la “soluzione definitiva” cioè si analizza la questione cercando di trovare quella strada che meglio di tutte le altre risolve il problema, ma il mondo della ricerca e del pensiero scientifico in generale ha ampiamente dimostrato che questo è un processo iterativo e che sempre cresce aggiungendo nuova conoscenza.

Si riscontra un problema, ci si pone un obiettivo (tesi), si definiscono gli strumenti a disposizione (ipotesi) e poi si costruisce un metodo risolutivo (dimostrazione), alla fine di questo procedimento si ottiene un risultato che in un modo o in un altro ha aggiunto qualcosa rispetto a quello che era lo scenario iniziale e poi il procedimento diventa riapplicabile quasi nello stesso modo per ampliare sempre più la conoscenza.

Quindi ogni ricerca in ambito scientifico aggiunge conoscenza non in modo assoluto ma in modo relativo a quello che esisteva prima, da dove è sorta la questione, e pone le basi per quello che verrà dopo, sviluppo futuro, in una sorta di percorso a spirale crescente, dove ad ogni iterazione si aggiunge conoscenza riapplicando sempre lo stesso procedimento nello stesso schema di base.

Questa ampia premessa per dire che anche in questo caso vale questo procedimento, lo scopo che ci si pone con questo lavoro di ricerca (tesi) è quello di ottenere dei modelli intelligenti BIM a partire da un nuvolo di punti, partendo da rilievo digitale ad alta risoluzione (ipotesi) e dimostrando un metodo e un procedimento per ottenere lo scopo finale che viene validato con un caso di studio (dimostrazione).

In tutto questo procedimento, che rispecchia il classico metodo di ricerca scientifica ci si pone all'interno di un determinato contesto, che è quello

dello stato attuale dell'arte e della strumentazione disponibile oggi, sia per quanto riguarda il rilievo che per quanto riguarda la modellazione BIM.

Quindi l'intento è di aggiungere qualcosa a quello che già esiste, arrivando alla fine del lavoro con qualche risposta in più ma allo stesso tempo con le basi per dei lavori futuri, e la stessa procedura viene applicata anche all'interno del metodo che si vuole dimostrare.

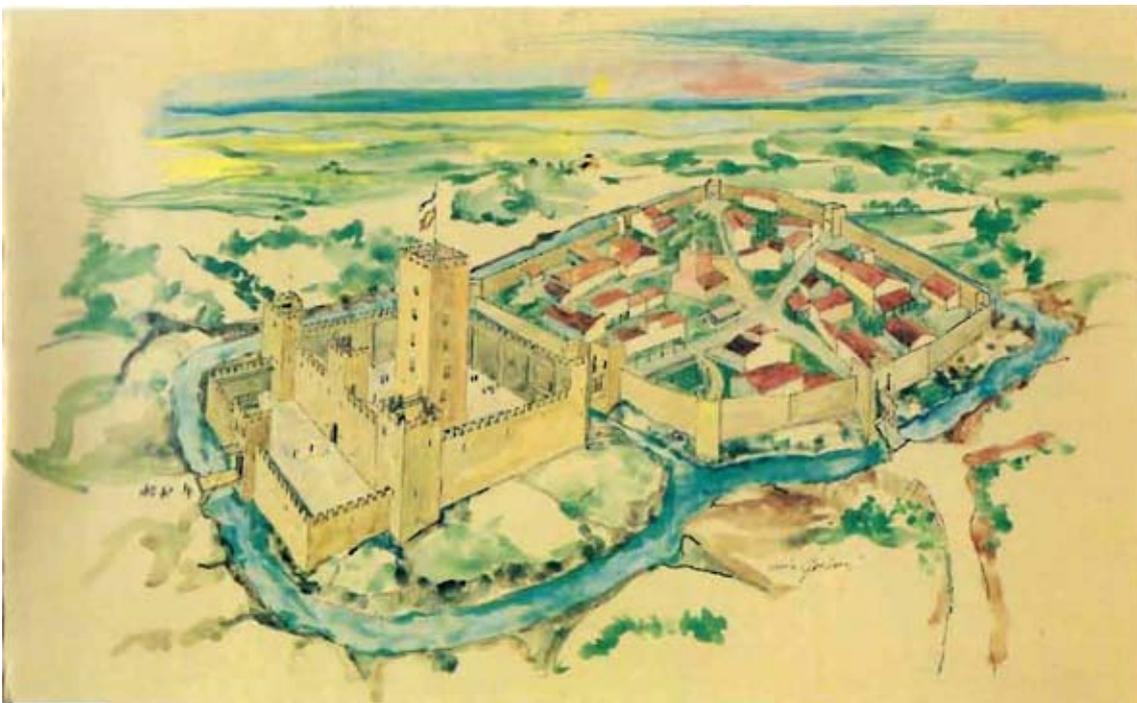
In pratica anche generare un modello BIM partendo dal rilievo è un processo iterativo, perché le informazioni contenute nel modello ogni volta crescono e diventano sempre più raffinate, ma la grande differenza con il metodo così detto "tradizionale" è che il lavoro già svolto non viene quasi mai rifatto due volte ma si cerca sempre di migliorare quello che è già stato fatto ed analizzato.

# 2. TESI – CASO DI STUDIO E MODELLO BIM

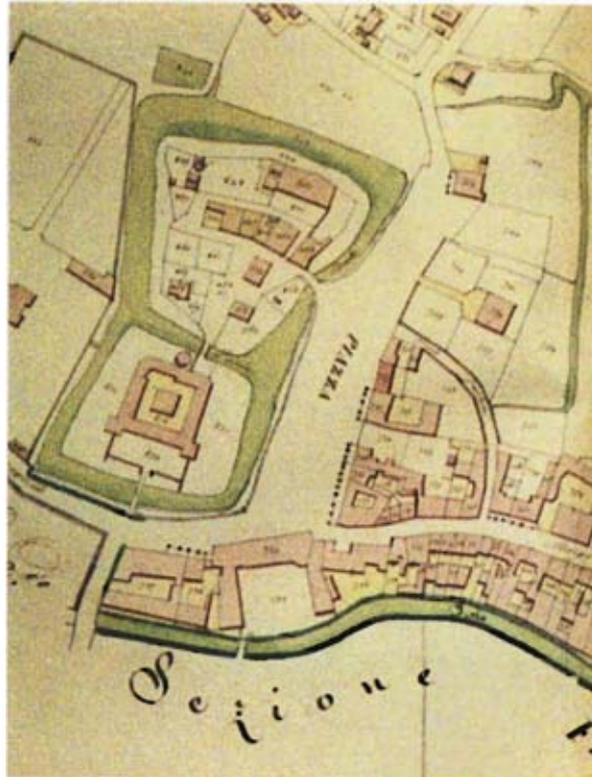
## 2.1 CASO DI STUDIO

Il caso di studio, preso in esame per questo lavoro di tesi di laurea, come applicazione del metodo che si vuole validare, è la Rocca Medievale di Reggiolo (provincia di Reggio Emilia), è stato scelto questo edificio sia per la sua importanza storica, monumentale ed architettonica, sia per la sua posizione strategica all'interno del territorio della Bassa pianura reggiana, e perché presenta elementi utili per poter dimostrare alcuni procedimenti per passare dal rilievo dall'esistente ad un modello BIM.

Anche la grandezza della Rocca, e la varietà degli elementi che la compongono ha fatto propendere la scelta per questo edificio, in quanto



*Fig 2.01 Rappresentazione artistica Rocca di Reggiolo e castello - La Rocca e il Castello Comune di Reggiolo*



*Fig 2.02 1821 Mappa del catasto di Reggiolo - La Rocca e il Castello Comune di Reggiolo*

la sua mole si sposa bene con gli obiettivi di lavoro che si vogliono raggiungere, e a tutto ciò si aggiunge anche il fatto che l'intera struttura è stata seriamente danneggiata dal sisma del maggio 2012, che ha colpito la pianura padana emiliana, rendendo necessari immediati interventi di messa in sicurezza e di dichiarazione di inagibilità che attualmente permangono.

La Rocca è situata all'interno del centro abitato sull'asse delle principali arterie viarie storiche, infatti si trova in un crocevia dove l'asse nord sud collega Mantova a Reggio Emilia e l'asse est ovest collega Ferrara a Cremona, a pochissimi chilometri di distanza dal fiume Po, si trova quindi in un punto storicamente strategico.

Tutti questi elementi hanno portato alla scelta dell'edificio in oggetto perché corrispondono alle caratteristiche che ci si è prefissati per lo svolgimento del lavoro, ma quello che in questa tesi è applicato allo

specifico caso di studio della Rocca di Reggiolo deve essere inteso come metodo valido per qualsiasi altro caso di studio simile.

### **2.1.1 CENNI STORICI**

Reggiolo è un comune situato nella bassa pianura reggiana in provincia di Reggio Emilia, vicino al fiume Po, e vicino al confine tra le provincie di Mantova e Modena, e conta una popolazione di poco più di 9000 abitanti.

La cittadina era anticamente attraversata dal fiume Po prima che quest'ultimo iniziasse il suo processo di spostamento verso nord, il cavo Tagliata, realizzato nel 1281, altro non sarebbe che il punto di maggior depressione che il Grande fiume aveva lasciato in eredità della sua presenza.

Già Terramare in epoca antica, e poi fiorente località romana, Reggiolo ha visto la nascita dei suoi primi insediamenti in tempi antichi ma solo intorno all'anno mille prese una nuova identità, risorgendo dalle terre paludose che caratterizzavano l'intera bassa pianura reggiana all'epoca,



*Fig 2.03 Castello pittura su olio sec. XVII Ambrogio Viarana - La Rocca e il Castello Comune di Reggiolo*

si ebbe infatti notizia che nella prima metà del XI secolo “Razolum” (il nome si crede proveniente da razze, cioè rovi e sterpaglie) venne ceduto in enfiteusi a Bonifacio di Canossa.

Nel 1044 il comune di Reggiolo fu acquistato da Beatrice di Canossa, moglie di Bonifacio, che nel 1071 lo donò al monastero di Frassinoro e sotto la guida dei monaci benedettini, il territorio paludoso, venne bonificato e successivamente, a partire dal XIII secolo, il terreno cominciò ad essere venduto a grandi lotti.

Nel 1213 Anche Reggio acquista terreno a Reggiolo, per iniziare a costituire un punto di partenza per il consolidamento del proprio potere sul distretto inferiore, allargando il “castrum vetus” (borgo vecchio) di Reggiolo che ricevette grandi cure, soprattutto dal 1242 quando venne costruita l'imponente Torre al di qua del cavo Tagliata, intorno alla quale si erse poi la Rocca a difesa del più antico Castello.

Nel 1242 si eresse la così detta torre nuova, più a nord di un'altra più antica distrutta nel 1223, questa torre è il Mastio attuale della Rocca, che inizialmente era alto soltanto 8 m e poi, durante il rinforzo di tutto il complesso fortificato, venne innalzata agli attuali 34 m e si circondò la torre-mastio di una cortina muraria.

Il Mastio centrale della Rocca duecentesca fu iniziato sotto il podestà di Reggio, Lambertesco dei Lamberteschi nel 1242 e ultimato l'anno successivo, anche se le lotte tra Guelfi e Ghibellini fecero perdere il castello al dominio di Reggio nel 1306, quando venne occupato dalle forze di Mantova e Verona diventando poi dei Bonaccolsi ed infine, nel 1328, dei Gonzaga.

Nel 1631 Reggiolo fu assegnato dall'imperatore ai Gonzaga di Guastalla, come compenso della mancata successione al Ducato di Mantova, ma

dopo l'estinzione della dinastia guastallese nel 1746, Reggiolo torna sotto al dominio dell'imperatrice Maria Teresa, essendo un feudo imperiale.

Reggiolo nel 1749 venne donato insieme al Ducato di Guastalla a Don Filippo di Borbone che durante la pace di Aquisgrana del 1748 era diventato Duca di Parma e Piacenza, e nel 1848 Reggiolo passa al Duca di Modena ma poco dopo, nel 1860, venne annesso al Regno di Sardegna ed infine a quello d'Italia.

### **2.1.2 EVOLUZIONE NEGLI ANNI DELLA ROCCA**

Il centro storico di Reggiolo fa capo alla Rocca medievale, costruita intorno all'alta torre del 1242 che in seguito ne divenne il Mastio centrale, che prese il nome di "castrum novum" in contrapposizione a quello vecchio che già esisteva al di là della Tagliata.

Le cortine murarie, e le quattro massicce torri d'angolo sono di epoca successiva, quasi sicuramente del XIV secolo, anche se la loro definitiva



*Fig 2.04 Foto Rocca di Reggiolo - Castelli e Corti Reggiane Mario Bernabei Città Editrice*



*Fig 2.05 Targa in onore dell'architetto fiorentino Luca Fancelli (1430-1495) Salone primo piano ala Est*

struttura fu terminata solo nel secolo seguente dai Gonzaga, i quali commissionarono la fine delle opere all'architetto fiorentino Luca Fancelli 1430-1495, allievo e collaboratore del Brunelleschi e dell'Alberti, noto anche per il suo servizio alla casata dei Gonzaga.

A tale architetto venne commissionata in particolare, nel 1472, la costruzione dell'edificio che si trova all'interno della Rocca sul lato est, edificio che ospita ampi saloni che una volta erano la residenza signorile dei Gonzaga, il salone principale, sito al primo piano, è dedicato all'architetto stesso.

Tale edificio venne edificato per sopperire alla distruzione del castello che si ergeva a nord della Rocca, vecchia residenza dei Gonzaga, andato distrutto pochi anni prima durante le continue guerre che si susseguivano tra i vari ducati confinanti, e all'interno della Rocca, nascosto dietro le alte cortine murarie, avrebbe avuto una più agevole e sicura protezione.

La Rocca, con il retrostante castello, i documenti storici parlano di "castrum et rocha", erano circondati da un ampio fossato, la struttura è simile ad altre fortificazioni della pianura padana del Basso Medioevo,

insieme i due elementi formavano un unico blocco fortificato, circondati entrambi da un fossato, con un ulteriore canale che li divideva, in pratica per accedere al castello bisognava prima attraversare la Rocca e poi, dall'uscita settentrionale, tramite un ponte levatoio, si poteva raggiungere il castello.

La Rocca sorge su una modesta altura, la "mota", e ha i caratteri di un'opera di fortificazione, pianta quadrata, torri d'angolo tutte aperte verso l'interno, per un più agevole utilizzo militare e per avere un rapido controllo dal Mastio centrale delle operazioni di difesa in caso di assedio.

Tutte le quattro torri erano collegate con il Mastio centrale tramite delle "passerelle volanti" in legno, delle quali oggi resistono ancora gli antichi infissi, le due torri d'angolo della facciata sud, quella principale, sono sporgenti dal perimetro delle mura e orientate sull'asse centrale dell'edificio, questo perché dovevano permettere di fiancheggiare il nemico in caso di attacco sui fronti est ed ovest e allo stesso tempo fungevano da massiccia fortificazione contro gli attacchi frontali da sud, direzione dalla quale arrivava il nemico reggiano.

Erano le più importanti, in quanto realizzate dai Gonzaga proprio come difesa dagli attacchi da sud dei reggiani, mentre le torri della facciata settentrionale, orientate sull'asse delle diagonali del quadrato che costituisce la pianta della Rocca, erano già riparate dal fossato e dall'antico castello, quindi meno massicce e di importanza minore e inoltre potevano anche contrastare gli attacchi sulle direzioni diagonali nord est e nord ovest.

Il mastio centrale, costruito nel 1242, inizialmente era alto soltanto 8 metri poi innalzato agli attuali 34, con l'integrazione successiva dei merli sommitali, tale struttura presenta spesse mura in laterizio, probabilmente murature a sacco, di spessore intorno a 2,5 m, che per costituzione e per

formazione del basamento avrebbero potuto sostenere una torre alta anche 100 m o più.

Una stretta scala in pietra collega tutti i sei piani della Torre, i vari piani sono in legno e costituiti da travi di sostegno, sempre in legno, a singola orditura che cambiano orientamento in modo alternato di piano in piano, fino a giungere in cima dove si può accedere al tetto della torre stessa.

Durante la storia il Mastio della Rocca venne utilizzato come fonte ultima di difesa, e spesso i soldati in difesa si radunavano al suo interno come ultima fonte di salvezza, le aperture strette ed allungate che presenta la torre, attualmente finestrate, servivano come “bocche di fuoco” prima per gli arcieri e, in anni successivi, anche per il posizionamento di cannoni, baliste e mortai.

All'interno della Rocca erano presenti anche due prigioni, una al piano terra del Mastio, collegata al piano primo con una botola, ed un'altra prigione in uno spazio angusto tra la torre diagonale di nord est e l'edificio sito sullo stesso lato, dove rinchiudere i nemici dei governanti di quel tempo del castello.

La funzione della Rocca va interpretata come vero e proprio elemento tipologico della struttura di luogo fortificato, dove la compresenza di una Rocca e di un Castello, fin dal X secolo, vanno visti come elementi complementari, anche se fortificati separatamente, dello stesso nucleo fortificato.

### **2.1.3 SISMA DEL 2012**

Dalla notte del 20 Maggio 2012 iniziò una lunga serie di eventi sismici di notevole intensità che colpirono il Nord Italia nel distretto sismico della pianura padana emiliana, tra le provincie di Rovigo, Modena, Ferrara, Reggio Emilia, Mantova e Bologna portando grande devastazione e



*Fig 2.06 Lesioni Rocca Sisma 2012 - <http://terreferme.beniculturali.it/rocca.html>*

anche purtroppo la perdita di diverse vite umane.

Oltre al primo evento sismico del 20 Maggio di intensità 5.9° della scala Richter con epicentro a Finale Emilia, altre scosse molto rilevanti si registrarono nei giorni a seguire, in particolare, la mattina del 29 Maggio 2012, si susseguirono una lunga serie di scosse, tra il 4.9° e il 5.8° della scala Richter con epicentro tra i comuni di Mirandola, Medolla e San Felice sul Panaro.

Altre scosse tra il 4.0° e il 4.2° della scala Richter si sono registrate il 31 Maggio tra Rolo e Novi di Modena e il 3 Giugno una scossa di 5.1° ha avuto come epicentro sempre Novi di Modena.

Tutte queste scosse sono state seguite da un enorme numero di eventi sismici di assestamento, anche di notevole intensità, molti superiori al 3.0° della scala Richter, danneggiando ulteriormente tutti gli edifici che già erano stati duramente provati dalle forti scosse iniziali.

Reggiolo è stato uno dei comuni che ha subito i danni più gravi dovuti alle



*Fig 2.07 Lesioni Rocca Sisma 2012 - <http://terreferme.beniculturali.it/rocca.html>*

innumerevoli scosse sismiche, il centro storico e le vie principali del paese sono state letteralmente chiuse a tutti per settimane se non addirittura mesi, e diversi edifici sono stati interamente o parzialmente demoliti.

La sede del comune e dell'amministrazione pubblica, che era sita in uno degli edifici storici della cittadina, è ancora oggi posta in una struttura prefabbricata fuori dal paese, e ancora alcune strade sono in parte chiuse o con viabilità modificata per lasciare spazio ad opere di sostegno di edifici gravemente danneggiati dal sisma.

Molte delle attività del paese che pulsavano nel suo centro sono state spostate in baracche e container all'esterno del centro abitato, e solo dall'anno scorso hanno ricominciato a riaprire nelle sedi storiche.

La Rocca è uno degli edifici che è stato maggiormente colpito dagli eventi sismici del maggio 2012, infatti soprattutto nelle scosse del 29 e del 31 maggio e successivamente in quelle del 3 giugno è stata seriamente lesionata.

Porzioni intere della cortina muraria si sono fortemente lesionate portando all'ampliamento o alla formazione di nuove fessurazioni, soprattutto in corrispondenza del collegamento con le torri d'angolo, molti dei merli che le sovrastavano si sono staccati rovinando al suolo e danneggiando altre parti della struttura sottostante.

Le torri a nord, aperte verso l'interno della Rocca, oltre a perdere buona parte della merlatura sommitale, hanno subito gravi lesioni a taglio, soprattutto tra le aperture perdendo parte delle murature a sbalzo, mentre le torri a sud, oltre a subire la caduta della merlatura, per ribaltamento fuori dal piano di questi elementi, hanno subito una forte torsione danneggiando notevolmente la muratura ad esse collegate, portando inoltre anch'esse i segni delle lesioni a taglio tra le aperture.

Il torrione posto sulle mura in corrispondenza dell'ingresso a sud, quello principale, ha perso quasi tutta la parte sommitale che, precipitando al suolo, ha distrutto porzione della copertura degli edifici posti sul lato sud della Rocca, e ha seriamente danneggiato la scala e il ponte di collegamento con il Mastio centrale.

Per quanto riguarda gli edifici interni, quello che ha subito maggiori danni è stato quello posto sul lato est che nel muro posto verso la corte interna della Rocca presenta fessurazioni dovute a sforzi di taglio tra le varie aperture, con la classica conformazione ad X, mentre nei lati corti ha subito sia lesioni per parziale ribaltamento fuori dal piano della muratura e per martellamento dovuto alla presenza di parti dell'edificio più rigide che quindi hanno vibrato ad una frequenza diversa rispetto a quella dell'edificio preso in esame.

Infine, il Mastio centrale, sembra la struttura che ha subito meno danni legati al sisma, grazie probabilmente alla forma scatolare, all'altezza non troppo elevata (34 m) e allo spessore delle murature che mediamente

è stato misurato tra i 2,45 m e i 2,60 m, solamente le merlature che ne ornavano la sommità sono in parte crollate, e in parte si sono staccati dei mattoni, che non erano ben ammorsati, dagli angoli e dai bordi delle varie aperture.

In generale le ferite subite dalla Rocca l'hanno resa inagibile, perché la messa in sicurezza delle strutture principali non garantisce la completa sicurezza del luogo per poter essere fruito dal pubblico.

Si aggiunge inoltre che la Rocca era stata già restaurata alla fine degli anni '70, nel 1977, del cui progetto esistono ancora dei disegni, e inoltre erano già state eseguite delle opere di consolidazione nel 1993 dopo il sisma del 1985 che l'aveva resa inagibile, apportando qualche miglioramento alla merlatura sommitale, che ha solo parzialmente limitato i danni degli eventi sismici successivi.

#### **2.1.4 INTERVENTI E PROGETTI FUTURI**

Attualmente, cioè al momento in cui sono stati eseguiti i rilievi della Rocca per questo lavoro, tra l'agosto e il novembre 2016, l'edificio è ancora inagibile, le strutture di sostegno delle torri a sud, strutture in acciaio, e le strutture di sostegno delle torri a nord, tiranti in cavi d'acciaio con piastre di rinforzo in legno, fungono ancora come sistema per la prevenzione di ulteriori crolli, ma l'edificio è tutt'altro che fruibile.

Oltre al rinforzo delle cortine murarie esterne sono stati ricostruiti porzioni dei tetti degli edifici interni della Rocca che poggiano contro le mura del lato sud della Rocca stessa, sfondati dal crollo di alcuni merli del torrione frontale, e sono stati posti dei rinforzi in legno alle pareti dell'edificio che appoggia invece sul lato est, inoltre tutte le aperture presenti sulle quattro torri sono state puntellate con travi in legno per colmare il vuoto nella muratura.

Solamente il Mastio centrale, la torre che svetta all'interno della Rocca, avendo retto bene all'impatto del terremoto, non ha attualmente alcuna struttura di sostegno, l'unica parte che è crollata di essa sono i merli posti nella sua sommità.

La regione Emilia Romagna ha emesso un bando, che dovrebbe entrare in vigore nell'anno 2017 o al più tardi 2018, nel quale stanziava fondi per la riqualificazione post sismica di edifici di carattere storico, monumentale ed architettonico siti all'interno del cratere sismico del 2012, previa la presentazione di un progetto e la vincita di questo concorso.

Il comune si è posto l'obiettivo, in futuro, di rendere nuovamente agibile la Rocca per darle nuova vita, e inoltre metterà in atto, già dall'estate 2017, un progetto di riqualificazione di tutta la piazza dei Martiri, antistante la



*Fig 2.08 Riqualificazione parco urbano della Rocca di Reggiolo - Prog. Comune di Reggiolo 2017*

Rocca, e tutta l'area cortiliva che la circonda, rigenerando un'area urbana che ancora porta le cicatrici del terremoto che ha sconvolto quelle zone nel recente 2012.

## **2.2 MODELLO INTELLIGENTE BIM**

Il modello BIM, nel caso della Rocca, si pone come obiettivo la restituzione digitale dell'intero oggetto in tutte le sue parti costituenti, quello che si punta ad ottenere è infatti un modello che sia il più simile possibile alla realtà e che allo stesso tempo sia di facile gestione da parte di un qualsiasi progettista.

Nel caso specifico, modellare la Rocca, significa compiere una lunga sequenza di operazioni, che per certi versi si ripeteranno per migliorare sempre più il risultato, volte alla restituzione geometrica prima di tutto ma anche informativa dell'intero edificio e di tutte le sue parti costituenti.

Particolare attenzione si pone sulla restituzione verosimile dello stato attuale delle murature, utilizzando strumenti di modellazione avanzati che i software BIM mettono a disposizione del progettista, dei quali si parlerà nel capitolo 4, utilizzando come riferimento la nuvola di punti della Rocca ottenuta con strumenti di rilievo 3D ad alta risoluzione dei quali si parlerà nel capitolo 3.

L'oggetto che si ottiene, anche se è una restituzione virtuale, è in tutto e per tutto simile all'edificio reale, in questo caso la Rocca, e l'operazione che si compie nel creare il modello è circa la stessa che si è utilizzata per la sua costruzione effettiva, perché il concetto che sta dietro al modello BIM è quello di simulare realmente la costruzione di un edificio intero, partendo dalla progettazione fino a giungere alla manutenzione.

Nel caso della Rocca parte del processo è inverso, in quanto l'edificio esiste già, ma costruire il modello della Rocca aiuta molto a capire come sia effettivamente fatta, da quali parti è composta e come questi parti dialogano tra di loro e perché, per esempio, ha subito determinati danni durante un particolare evento sismico.

Alla fine, quello che si vuole ottenere, è una restituzione in scala uno ad uno della Rocca di Reggiolo per dimostrare che tutte le operazioni che hanno portato a questo risultato sono utili allo scopo finale e riapplicabili su casi di studio simili, definendo quindi un metodo versatile e il più possibile universale.

Tutti gli elementi della Rocca modellati nel caso specifico ma definiti da oggetti parametrici possono essere inseriti in specifiche librerie e utilizzati di nuovo in altri edifici dove si presentano le stesse caratteristiche, definendo in questo modo un elemento generale del quale si può definire il tipo nel caso specifico.

### **2.2.1 DEFINIZIONE DI MODELLO INTELLIGENTE**

Il modello si può definire intelligente, perché trasmette informazioni, non solo legate alla geometria dell'oggetto, ma anche legate alla semantica delle sue parti costituenti, definendo inoltre la tipologia di ogni singolo elemento e le sue caratteristiche, fisiche, costruttive e di materiale.

Le informazioni legate al modello lo rendono interrogabile, è possibile sapere a quale muratura della Rocca si fa riferimento semplicemente selezionando nel modello il muro interessato, al quale è possibile aggiungere stratigrafia o informazioni sul materiale.

Ogni elemento del modello BIM ha una corrispondenza biunivoca con quella dell'oggetto reale rilevato senza incongruenze o ambiguità e questo permette di avere una perfetta linearità nel passaggio di informazioni tra l'edificio rilevato e quello che si è modellato.

Gli elementi che costituiscono il modello, sono in maggior parte parametrici, questo significa che possono essere modificati tramite specifici valori e quindi si adattano alla variabilità che è strettamente legata ad un oggetto esistente e che difficilmente si riscontra in una nuova progettazione.

Modellare in modo intelligente vuol dire generare un database ricco di informazioni della Rocca, informazioni che spaziano da quelle geometriche alla descrizione dei materiali costituenti e anche alla descrizione delle lesioni dell'edificio per un continuo monitoraggio nel tempo delle condizioni di salute delle varie strutture.

La classificazione delle informazioni viene poi fatta in due momenti, quando si genera il modello e quando si analizza il modello, per capire questo concetto occorre capire che gli oggetti, in un modello BIM, sono collegati tra loro in modo sinergico, per esempio una porta o una finestra, possono essere inserite solo se c'è un oggetto muro che le può ospitare, senza muro non esiste la foratura, e senza la foratura non ci sarà nessun buco nel muro, questo è un concetto fondamentale che è una delle basi della logica della modellazione intelligente, tale concetto verrà ampiamente specificato nei capitoli successivi.

### **2.2.2 PERCHÉ MODELLO INTELLIGENTE**

La risposta a questa domanda nasce dalla definizione stessa di modello intelligente, perché si vuole costruire un modello BIM intelligente della Rocca di Reggiolo, perché non si analizza solo ciò che occorre e si crea un disegno con uno strumento CAD come si è sempre fatto?

Il concetto che risponde a questo quesito è proprio nella conoscenza di quello che si sta facendo, perché non si vuole semplicemente riportare un disegno più o meno dettaglio e verosimile di un edificio, in questo caso della Rocca, ma si vuole generare un modello che corrisponda completamente alla Rocca, in scala uno ad uno, contenente la maggior parte delle informazioni che si sono raccolte con il lavoro sul campo.

Questo approccio, legato ad un edificio esistente, cambia completamente il modo di pensare la progettazione del costruito, in quanto l'approccio

non è più quello di far corrispondere un oggetto rilevato a quello che gli strumenti permettono di riprodurre, ma utilizzare gli strumenti in possesso del progettista per avere una copia digitale, un archivio, dell'elemento che si sta modellando.

La possibilità di utilizzare questa metodologia in futuro per tutti coloro che vorranno lavorare sullo stesso progetto aumenta ancora di più le potenzialità di questo approccio e inoltre tali potenzialità crescono esponenzialmente se si ragiona a più ampio spettro definendo questo lavoro come la creazione di un database sempre più ricco di tutti gli organismi edilizi che si rilevano in questo modo.

Alla fine quello che si ottiene è un oggetto versatile, che necessita di uno sforzo relativamente basso per essere modificato e sistemato, e che quindi si presta bene ai cambiamenti nel tempo, in più serve anche come computo degli elementi, tra le molteplici informazioni che si possono raccogliere dal modello BIM ci sono per esempio anche gli elenchi degli infissi, la superficie dei muri, il volume degli ambienti, tutte informazioni che si aggiornano in automatico tutte le volte che viene apportata una modifica al modello.

## **2.3 OGGETTO INTELLIGENTE: GESTIONE INFORMAZIONI**

Come si è descritto in precedenza un oggetto, o meglio un modello BIM, può contenere informazioni, questo permette di gestire al meglio i dati che si sono raccolti.

Per prima cosa le informazioni base sono di tipo geometrico, le misure, che nel caso della Rocca derivano da una nuvola di punti generata tramite fotogrammetria o tramite laser scanner 3D, vengono attribuite ai vari elementi disegnandoli in un ambiente di lavoro tridimensionale.

Le misure oltre ad essere identificate da quote fanno riferimento a coordinate spaziali e ad ampiezze di angoli, per definire in modo univoco un oggetto, queste sono misure esplicite, cioè si riproduce nel modello per esempio un muro, che ha la stessa geometria del muro che esiste nella realtà.

Successivamente è possibile aggiungere informazioni intrinseche al modello, seguendo l'esempio del muro, è possibile cambiare le proprietà dell'oggetto, in questo modo si può sia cambiare la stratigrafia che lo costituisce, con le misure esatte di ogni strato e poi si possono definire i materiali di cui sono costituite le componenti interne e come si collegano tra loro.

Nel caso per esempio che si voglia utilizzare un isolante piuttosto che un altro, si può vedere l'effetto sia sulla geometria finale che sulle capacità termiche e anche il vantaggio energetico che può apportare all'edificio, e per fare ciò basta entrare nella scheda delle proprietà del materiale ed aggiungere informazioni che vengono gestite in automatico dal sistema e dal modello BIM.

### **2.3.1 RAPPORTI TRA GLI OGGETTI INTELLIGENTI**

Un'altra fondamentale caratteristica degli oggetti intelligenti è il rapporto che hanno tra di loro, con rapporto si intende un legame che può essere di natura semantica o posto dal progettista al momento della modellazione.

Per esempio quando si costruiscono due oggetti muro in automatico il software di progettazione BIM prova ad unirli in quanto “suppone” che si stia generando un muro continuo formato da più tronconi, questa funziona di collegare due elementi adiacenti deriva dal fatto che gli oggetti muro sanno che possono essere collegati ad altri loro simili in questo modo si evitano le sovrapposizione o i distacchi.

Questo concetto diventa più complicato se si sta eseguendo la modellazione di un oggetto esistente, come nel caso della Rocca, che presenta un grande numero di parenti fuori squadra che necessitano di una modellazione particolare utilizzando una tipologia di muro, “muro da superficie”, della quale si parlerà in seguito, che è più versatile ma perde alcune caratteristiche di legame intrinseche in tutte le pareti così dette “standard”, questo perché il sistema degli oggetti intelligenti, essendo stato creato principalmente per la nuova progettazione presenta ancora qualche difetto per quanto riguarda la riproduzione digitale dell'esistente.

Un altro fondamentale rapporto che è possibile utilizzare negli oggetti intelligenti è quello di appartenenza, per esempio una finestra appartiene ad uno specifico muro e a nessun altro, quel muro può contenere più finestre, a patto che non si sovrappongano, ma essendo la finestra un oggetto ospite, all'interno di un oggetto muro, può essere legata solo e soltanto ad esso.

Se il muro viene eliminato anche la finestra viene eliminata con esso, perché una foratura senza una parete che la contenga non ha senso fisico

e neppure senso costruttivo e progettuale.

Infine altri importanti rapporti sono quelli che vengono imposti dal progettista, e vengono definiti come vincoli, un vincolo è una particolare regola, solitamente geometrica, che viene imposta al momento della progettazione.

Per esempio è possibile impostare che un muro sia allineato ad un altro, e a secondo della priorità del vincolo se si modifica uno dei due muri l'altro viene modificato di conseguenza e viceversa, e se per qualche motivo il vincolo non dovesse venire rispettato allora un avviso del software avverte il progettista.

In questo modo è possibile imporre un numero di regole molto vasto che permettono un ampio controllo del modello, anche se bisogna fare attenzione all'utilizzo dei vincoli, potrebbero bloccare troppo il modello rendendo necessaria l'eliminazione di alcuni di loro.

### **2.3.2 SEMANTICA DEGLI OGGETTI**

*“SEMANTICA: Ramo della linguistica che si occupa dei fenomeni del linguaggio non dal punto di vista fonetico e morfologico, ma guardando al loro significato. Il termine fu coniato da M. Bréal nel 1883 come sostituto di semasiologia.” Enciclopedia treccani*

Questo è il significato enciclopedico della parola semantica, che può essere applicato allo stesso modo in ambito architettonico, in pratica quando si parla della semantica di un oggetto architettonico si parla del suo significato, e quindi di tutte quelle caratteristiche che lo identificano.

Tale concetto in architettura è molto importante, perché il significato di un oggetto è la sua identità, e lo rende distinguibile dagli altri ed è possibile riferirsi ad esso in modo specifico con il suo corretto nome e

se si parla per esempio di una colonna corinzia si definisce uno specifico tipo di colonna, con determinate regole geometriche del basamento, del fusto, del basamento e del capitello con certi canoni estetici che devono essere rispettati.

Una delle caratteristiche della modellazione BIM, e uno dei principali obiettivi di questo lavoro, è quello di modellare degli oggetti che mantengano al loro interno la semantica originale, cioè che possano conservare il loro significato e la loro identità, se quindi si modella per esempio una porta essa, a prescindere della forma più o meno verosimile con la reale, resta una porta e tale resterà per tutta la progettazione, e tutte le informazioni che si aggiungeranno saranno sempre legate ad un oggetto che di base è una porta.

Tale approccio si distacca nettamente da quello definito “tradizionale” dove il disegno CAD, per quanto dettagliato, resta soltanto una rappresentazione di un elemento architettonico, ma non possiede alcun significato, se non quello che gli da un progettista che sa come leggere quella determinata tipologia di disegno, ma se cambia la convenzione utilizzata con essa si perde anche qualsiasi possibilità di identificare in modo universale quel particolare oggetto.

L’oggetto che viene modellato utilizzando il BIM mantiene al suo interno la semantica originale e la conserva per qualsiasi utilizzo che si farà del modello e per qualsiasi interrogazione che si farà su di esso.

### **2.3.3 GERARCHIA DELLE INFORMAZIONI NEL MODELLO BIM**

La modellazione ad oggetti intelligenti segue una logica gerarchica, cioè si segue un determinato ordine sia nella modellazione stessa sia nella gestione delle informazioni ad essa legata e anche gli strumenti BIM creano il proprio database seguendo delle regole di priorità.

Quando si modella un oggetto è possibile modificare le parti che lo costituiscono, per esempio in una colonna corinzia è possibile modificare singolarmente il capitello o singolarmente la base o entrambi, ma l'oggetto generale resta sempre una colonna corinzia, quindi non modifica la sua semantica.

In questo modo è possibile aggiungere e gestire informazioni legate ad un oggetto "annidato" all'interno di un altro, creando una vasta gamma di elementi simili ma con informazioni diverse, per esempio se si vuole riprodurre un porticato costituito da colonne quasi tutte identiche ma con pochi elementi che cambiano è possibile farlo aggiungendo valori parametrici a quello specifico oggetto, ma è possibile anche aggiungere informazioni di carattere descrittivo, con foto annesse, che magari definiscono lo stato di degrado della singola colonna.

Un'altra grande potenzialità di questo sistema di modellazione è quella di avere degli oggetti intelligenti costituiti da altri oggetti intelligenti che contengono entrambi informazioni che possono essere modificate e che mantengono specifiche regole gerarchiche tra di loro.

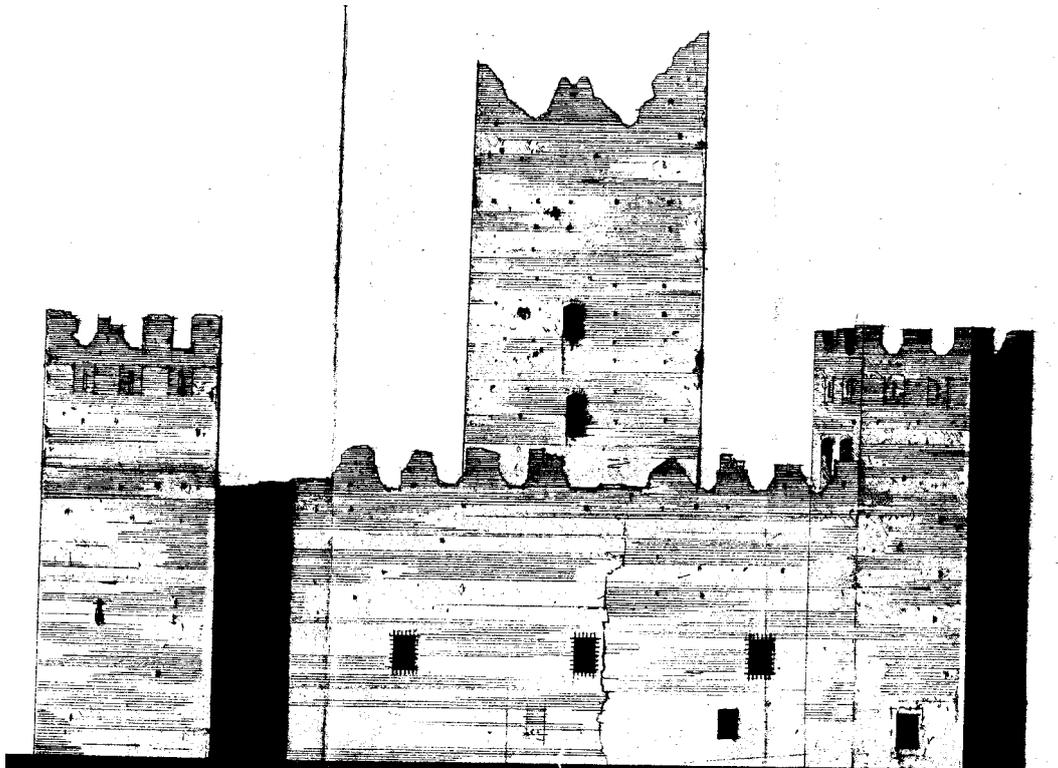
Infine, l'ultimo argomento che si tratta a proposito degli oggetti intelligenti è quello che riguarda la possibilità di aggiungere informazioni che non erano state previste da chi ha creato gli strumenti di modellazione BIM, per un determinato modello.

Nel caso specifico si potrebbe voler inserire delle informazioni legate alle lesioni dovute ad un sisma, e per fare ciò si potrebbe sia utilizzare un metodo grafico, modellando o disegnando sopra alle murature le lesioni che si vogliono indicare, oppure elencandole in modo descrittivo all'interno di un determinato oggetto muro.

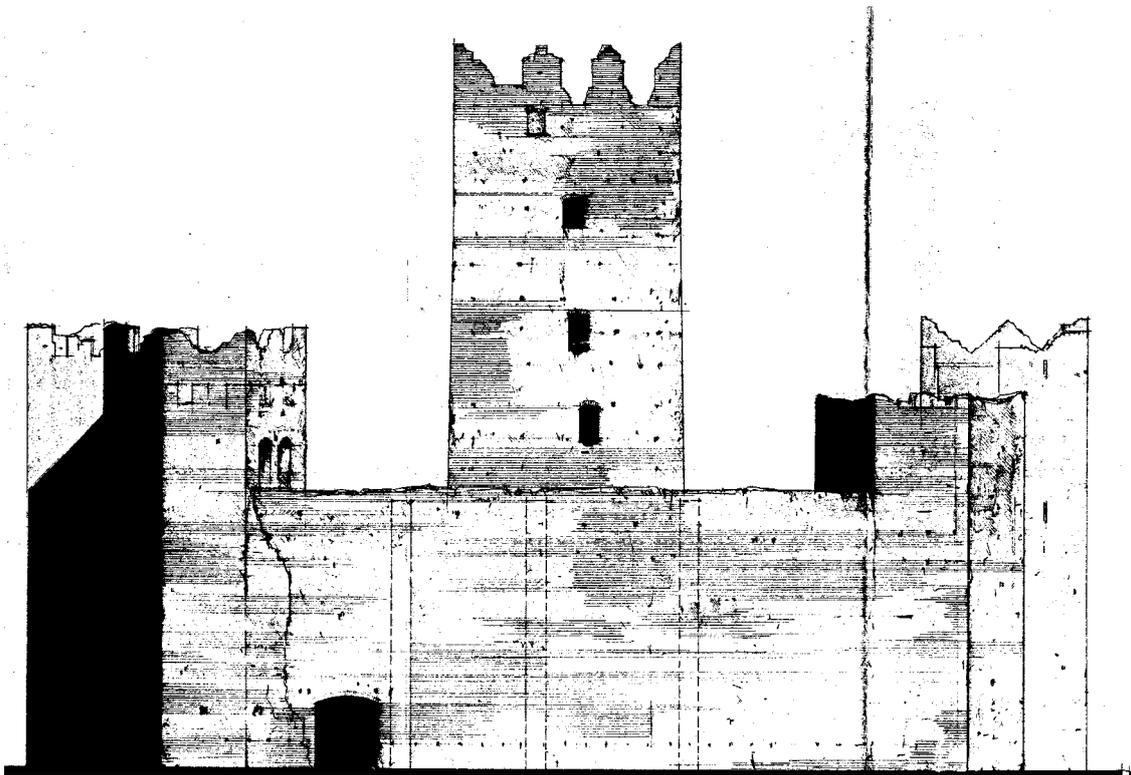
Si possono definire tutte le categorie di informazioni che si desidera,



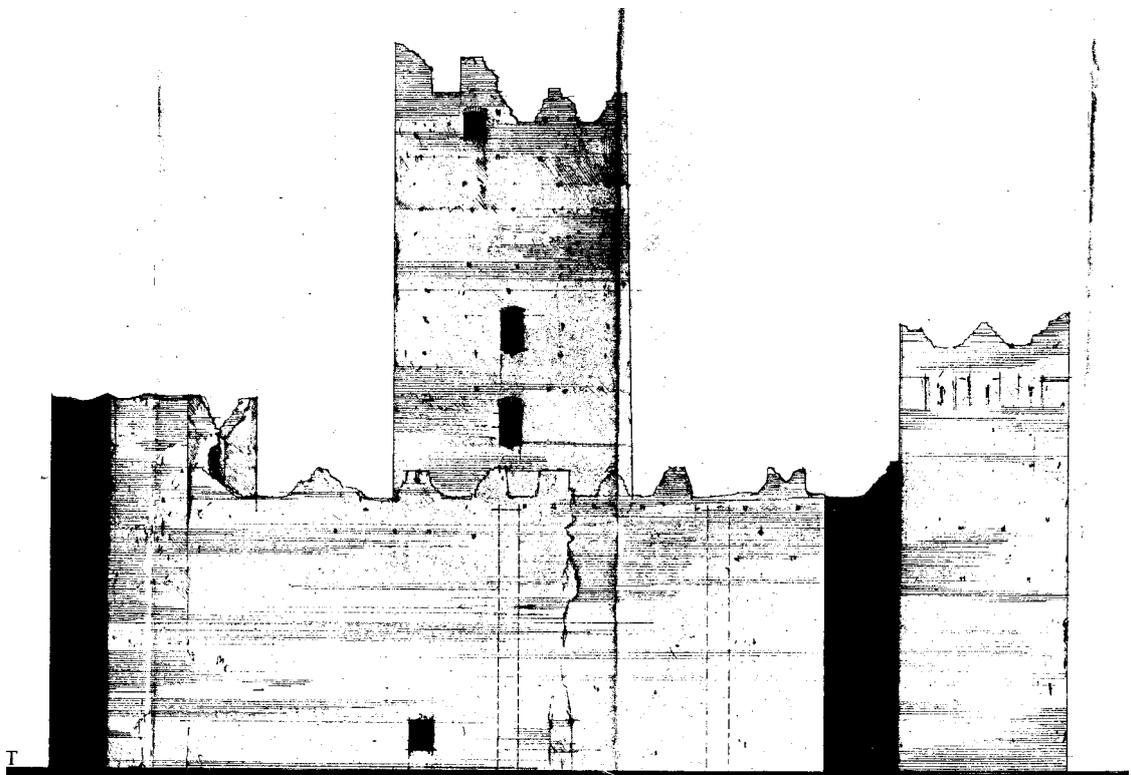
*Fig 2.09 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Sud 1977*



*Fig 2.10 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Ovest 1977*



*Fig 2.11 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Nord 1977*



*Fig 2.12 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Ovest 1977*

per alcune sono già stati pensati degli strumenti specifici nei software di modellazione BIM, in altri casi richiedono un'analisi più impegnativa da parte del progettista che deve elaborare un metodo personale per aggiungere qualche descrizione o qualche caratteristica particolare all'interno di un modello.

Con buona approssimazione si può dire che sono davvero poche le informazioni che non si possono inserire in un modello BIM, anche se gli strumenti con il quale è stato generato non sono stati pensati per tale scopo, è quindi possibile descrivere un oggetto reale nella sua interezza a seconda dell'obbiettivo per il quale si è eseguito il rilievo.

# 3. IPOTESI - RILIEVO E STRUMENTI

## **3.1 METODO E STRUMENTI DI RILIEVO: STATO DELL'ARTE**

Con rilievo, applicato all'architettura, si intende quel processo di acquisizione e raccolta di dati e informazioni sufficienti a consentire la ricostruzione di un edificio, o un complesso edilizio, con strumenti di misurazione più o meno avanzati in modo da poter restituire graficamente, sotto forma di disegni o modelli, i dati così raccolti.

I motivi per i quali si esegue un rilievo possono essere i più svariati, ma alla fine lo scopo è quello di riportare dei dati, solitamente misure geometriche, sotto forma di disegni che poi possono essere utilizzati per nuove progettazioni, ristrutturazione, e anche solo per questioni puramente storiche e conoscitive.

Le fasi del rilievo sono essenzialmente due, prima la fase di ripresa e poi la fase di restituzione che spesso si interscambiano in un processo iterativo.

### **FASE DI RIPRESA**

**DIRETTA:** Utilizzo di strumenti di misura, a partire dalla fettuccia metrica fino all'utilizzo di distometri laser, con precisione molto più elevata e con portata molto più vasta per poter rilevare porzioni di edifici difficili da raggiungere o per misurare grandi altezze che altrimenti non si potrebbero colmare.

**LASER SCANNER 3D:** Oltre agli strumenti e alle metodologie così dette “tradizionali” esistono altri strumenti più tecnologici che rendono il lavoro del rilievo molto più agevole, come per esempio i laser scanner 3D che utilizzano la radiazione luminosa per scansionare l’ambiente circostante e per raccogliere migliaia di dati in pochissimo tempo e per restituirli sotto forma di nuvola di punti.

**FOTOGRAMMETRICA:** Approccio visivo, si osserva la struttura e si studia una procedura per poter prendere le misure, poi si acquisiscono immagini sotto forma di foto, o anche di video, fotografando l’edificio anche con una camera metrica o una camera stereometrica seguendo una determinata procedura di lavoro.

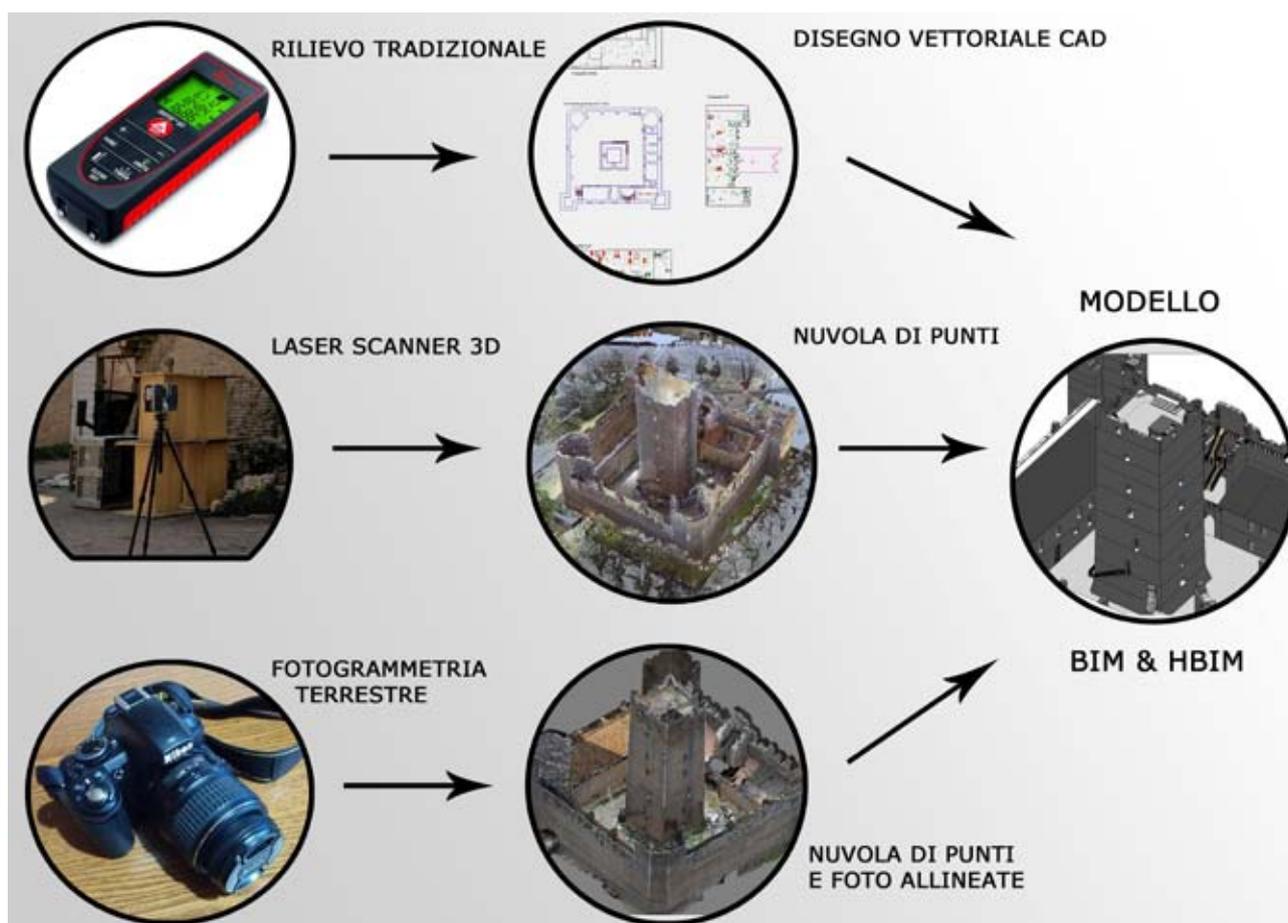


Fig 3.00 Schema riassuntivo degli approcci utilizzati per questo lavoro

## **FASE DI RESTITUZIONE**

Tali misure, vengono poi riportate in formato digitale con strumenti di disegno CAD utilizzando il metodo della trilaterazione, o altri metodi geometrici, per restituirle in modo vettoriale, e incrociando i vari dati raccolti in modo da avere un rilievo il più preciso e dettagliato possibile, e generando proiezioni ortogonali, assonometrie e anche disegni tridimensionali.

Il processo di restituzione spesso è un processo lungo e iterativo in quanto solo quando ci si trova nella fase di disegno si nota che potrebbero mancare delle dimensioni, o qualcosa non funziona nel progetto, e a quel punto bisogna tornare alla fonte e prendere di nuovo i dati.

**FINALITA' DEL RILIEVO:** Esistono due principali finalità per le quali si esegue un rilievo, una finalità tecnologica e strutturale e una finalità per l'analisi dello stato fessurativo e per il livello di degrado.

**RILIEVO TECNOLOGICO E STRUTTURALE:** Questo tipo di rilievo è volto alla comprensione e restituzione grafica dei dettagli costruttivi dell'organismo edilizio, sia dei materiali che delle modalità costruttive dei muri e altri componenti come solai, scale, impalcati, impianti e tutti gli altri elementi utili alla comprensione dell'edificio.

**RILIEVO DELLO STATO FESSURATIVO E DEL DEGRADO:** Questo tipo di rilievo consiste nell'analizzare e restituire graficamente lo stato di degrado di un organismo edilizio, sia quello superficiale, necessario a indirizzare il progetto di restauro delle superfici, sia quello delle strutture portanti che, insieme ad eventuali sondaggi e sulla base del rilievo strutturale, consente di valutare le effettive capacità portanti residue dell'edificio da restaurare e di considerare l'ipotesi di intervenire con consolidamenti o adeguamenti anti sismici delle strutture.

### **3.1.1 SCALA E SCOPO DEL RILIEVO DELLA ROCCA**

Un altro punto fondamentale è la scala alla quale si vuole eseguire il rilievo, e questa scelta è direttamente legata allo scopo per il quale il rilievo stesso viene fatto, e di conseguenza anche gli strumenti e le metodologie per eseguirlo, quindi la prima fase è di indagine per valutare quali aspetti si vogliono riproporre dell'edificio e come si vuole procedere.

Per esempio se si vuole analizzare il degrado di una facciata di un edificio storico e di valenza architettonica, si utilizza una scala ridotta, a partire da un 1:20, fino ad arrivare anche ad 1:1, se si vuole analizzare un fregio o un decoro nel dettaglio e ci si sta approcciando ad un restauro.

Mentre nel caso l'analisi sia di carattere energetico, o strutturale, la scala può essere più elevata, anche un 1:50 o addirittura un 1:100, in quanto il livello di dettaglio necessario per valutare lesioni o per valutare forma e volumetria dell'involucro edilizio non deve essere eccessivamente elevato.

La scala del rilievo può crescere anche a valori di scala molto elevati, nel caso si voglia analizzare un complesso edilizio o addirittura un intero isolato o aggregato urbano, poi ovviamente le varie scale possono essere integrate nello stesso progetto, perché magari ad un rilievo urbano di un quartiere si vuole integrare il rilievo di un capitello di una colonna in un particolare edificio, ma in tal caso vengono utilizzate tecniche diverse, e strumenti diversi, per raccogliere le misure e i dati.

Una volta definito lo scopo del rilievo, si definisce la scala utile per raggiungerlo, inutile rilevare il dettaglio di un fregio se quello che si vuole analizzare è un rapporto pieni e vuoti della facciata, e la metodologia che si intende mettere in opera, e nella metodologia è compresa anche la strumentazione che si vuole utilizzare.

Nel caso di studio oggetto di questo lavoro specifico, la Rocca medievale di Reggio, lo scopo del rilievo è quello di validare un metodo di lavoro che porti dall'acquisizione dei dati fino alla loro riproduzione in un modello BIM, a tale scopo si è deciso di operare ad una scala architettonica media 1:100, e medio alta 1:200 per le viste d'insieme e gli inserimenti nel contesto urbano, per potere presentare l'intero edificio analizzato nella sua interezza con un livello di dettaglio adeguato alle informazioni che si vogliono trasferire.

Viene utilizzata invece una scala più bassa, 1:50, per specifici dettagli in cui si analizzano solo alcune porzioni dell'edificio, sempre a fronte di una validazione di un metodo, per dimostrare che è possibile operare a diverse scale anche all'interno dello stesso progetto.

Un altro concetto che è possibile anticipare ora ma che verrà trattato più nel dettaglio successivamente, riguarda la versatilità del modello BIM che si andrà a generare, che essendo per definizione un modello in scala 1:1, la scala di visualizzazione è un'interrogazione che si compie sul progetto, e il livello di dettaglio visualizzato dipenderà dalla risoluzione del rilievo e da quanto dettaglio verrà effettivamente modellato.

Mentre la scala alla quale viene fatto il rilievo dipende dallo scopo del rilievo stesso, la scala del modello BIM, in un ambiente di progettazione BIM, è sempre 1:1, ma a seconda del tipo di scala con la quale lo si vuole visualizzare (interrogazione del modello), e a seconda di quanto dettaglio vi è stato inserito (modellazione), cambia il livello di dettaglio che viene restituito in una eventuale tavola tecnica o in qualsiasi altra elaborazione grafica.

Come già anticipato lo scopo del rilievo, nel caso specifico di lavoro, è quello di ottenere un modello BIM, ricco di informazioni, che possano essere gestite e condivise, partendo da un rilievo digitale, ad alta

risoluzione.

Per ottenere questo risultato bisogna operare un rilievo che sia geometricamente accurato, che quindi contenga tutte le informazioni metriche utili a poterne restituire le dimensioni di tutte le sue parti, sia interne che esterne, e dove si possano definire i rapporti tra pieni e vuoti, porte e finestre, e la distribuzione spaziale dei vari elementi.

Il risultato finale dovrebbe rappresentare con accuratezza lo stato attuale della Rocca, senza entrare nel dettaglio dei decori, dei fregi o degli intagli di un infisso, ma con una precisa restituzione dei volumi e della forma corretta degli oggetti che costituiscono l'edificio.

Nel caso di studio in esame, si vuole ottenere un modello che sia coerente dal punto di vista geometrico e che nella distribuzione volumetrica sia dettagliato abbastanza per restituire per esempio un muro fuori piombo, una parete fuori squadra o un pavimento inclinato.

Inoltre un altro scopo del rilievo riferito a questo specifico lavoro è quello di trasferire informazioni, in questo caso geometriche e di tessitura delle superfici, all'interno del modello, e a tal fine si utilizzano sia il rilievo con laser scanner 3D che la fotogrammetria digitale terrestre, con una piccola aggiunta della fotogrammetria digitale aerea.

In corrispondenza alle finalità di rilievo analizzate in precedenza quella in cui si pone questo lavoro è ad un punto intermedio tra quello del rilievo tecnologico strutturale e quello del rilievo del quadro conoscitivo e dello stato di degrado in cui si trova l'edificio.

Rilievi successivi fatti sullo specifico caso di studio serviranno ad incrementare le informazioni o il dettaglio del modello, senza la necessità di dover rifare il lavoro di modellazione dal principio ogni volta che un nuovo intervento sull'edificio si rende necessario.

## **3.2 DISEGNO CAD PER IL RILIEVO TRADIZIONALE**

Il disegno vettoriale CAD è il primo approccio che si utilizza quando si passa dalla fase di ripresa e di acquisizione di dati alla fase di restituzione grafica, dove si inseriscono le misure all'interno di un sistema di disegno vettoriale.

Questo approccio si pone l'obiettivo di riproporre, sotto forma di proiezioni ortogonali, di piante, di prospetti e di sezioni, l'edificio che si vuole rilevare, utilizzando gli strumenti di disegno vettoriale che i software CAD mettono a disposizione.

Per riproporre le misure raccolte in fase di ripresa si utilizzano delle regole geometriche, come quella della trigonometria e della trilaterazione, riapplicando tali regole nel momento in cui si disegna al CAD verificando che tutto coincida e che i dati siano coerenti, e in caso contrario, o nel caso manchino delle misure, si torna all'edificio tema del rilievo, per raccogliere ciò che manca.

In questo procedimento si lavora per piani tipo e per sezioni tipo, ricalcando anche le foto fatte all'organismo edilizio, delle quali è stata corretta la prospettiva in modo da renderle ortogonali, e si definiscono tutte le dimensioni degli spazi, interni ed esterni.

### **3.2.1 RILIEVO TRADIZIONALE: DISEGNO CAD DELLA ROCCA**

Nel caso della Rocca, un rilievo CAD era già presente, era stato eseguito in due fasi, una prima fase era stata eseguita per il restauro del 1993 della Rocca, ed una seconda fase, di aggiornamento dei disegni, era stata fatta dopo il sisma del 2012, ma il dettaglio di questi disegni è abbastanza scarso, manca interamente la Torre centrale, e anche la disposizione di alcuni muri interni non è corretta (i disegni e il resto del materiale

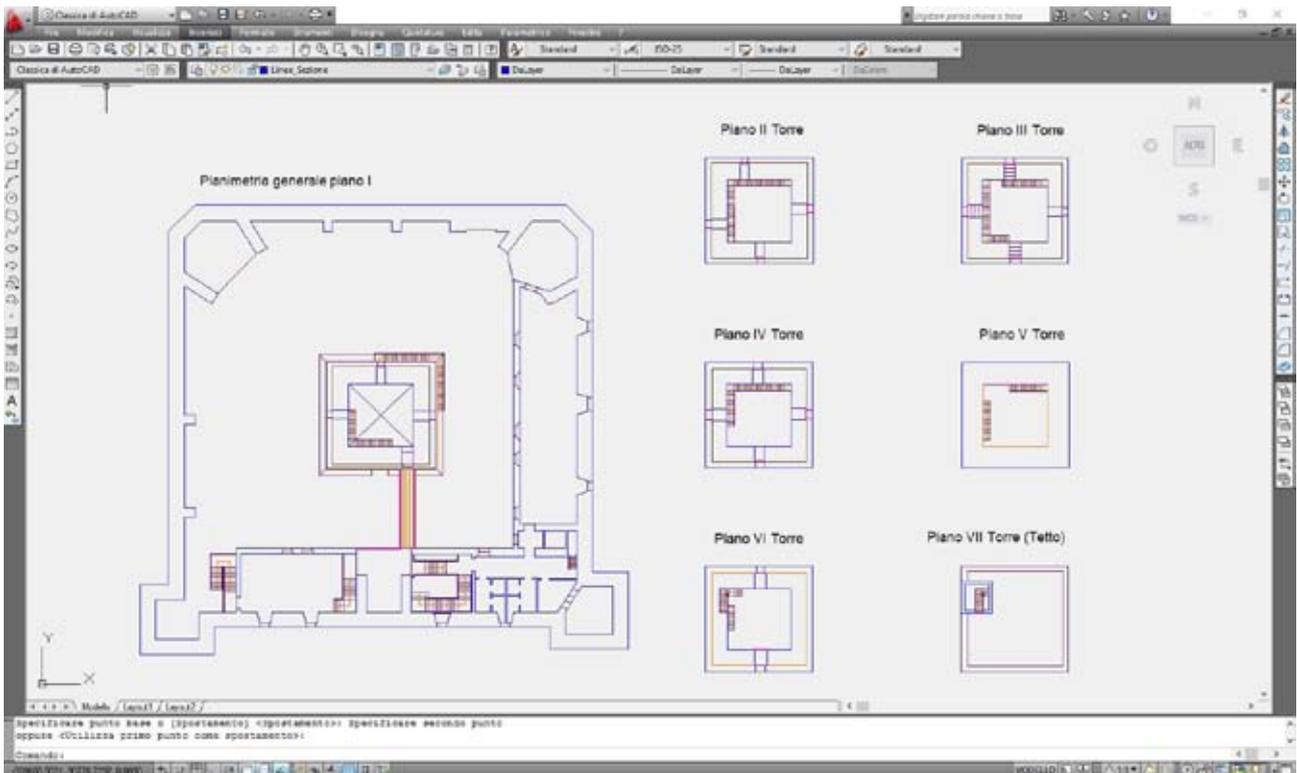


Fig 3.01 Restituzione in disegno vettoriale, CAD, della Rocca di Reggiolo - piano primo e piani torre

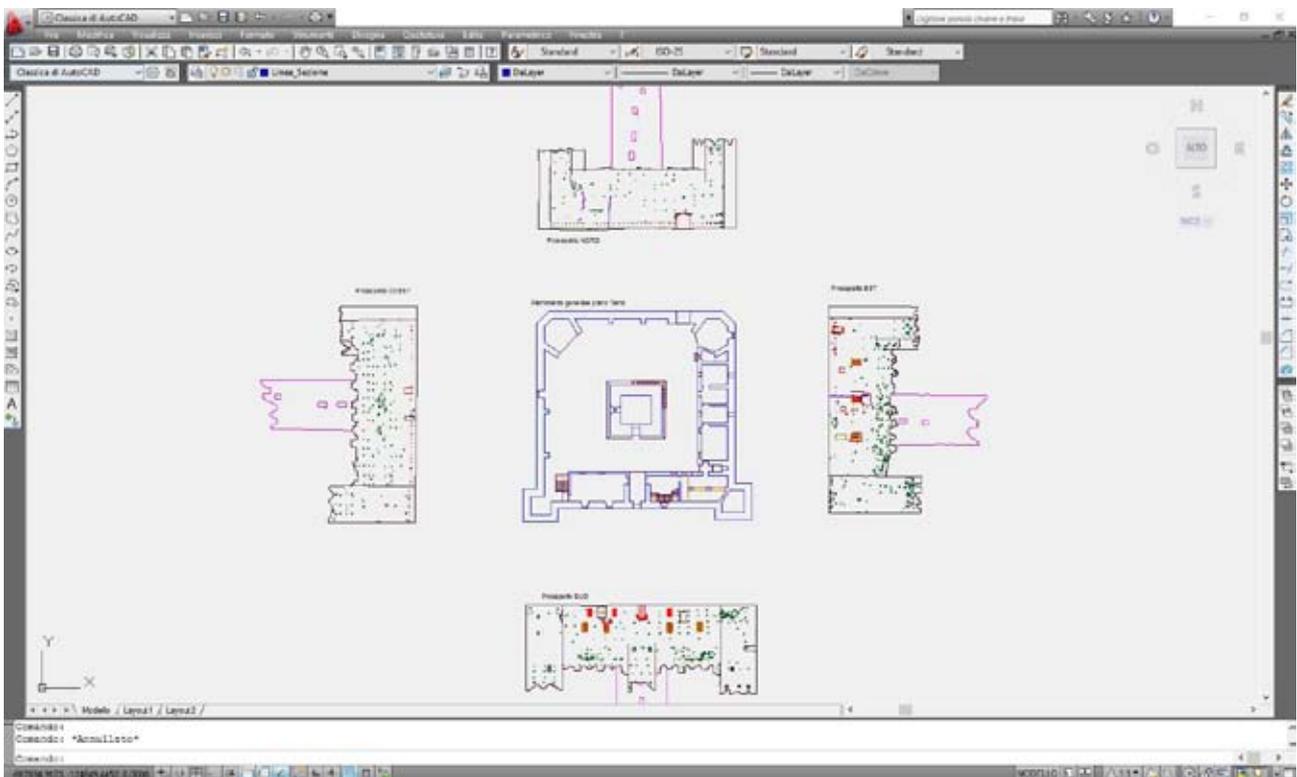


Fig 3.02 Restituzione in disegno vettoriale, CAD, della Rocca di Reggiolo - Prospetti e piano terra

sono stati forniti per gentile concessione dall'amministrazione pubblica comunale di Reggiolo).

Questo rilievo è stato eseguito in modo diretto, con l'utilizzo di cordella metrica e distometro laser, per misurare i vari elementi, e utilizzando le regole della trilaterazione per ottenere la posizione corretta degli spigoli e dei lati dei vari elementi della Rocca.

Nel presente lavoro i disegni CAD esistenti per il rilievo della Rocca sono stati utilizzati come base per organizzare il successivo lavoro di raccolta dei dati sia con il laser scanner che con la fotogrammetria.

Si è utilizzato un distometro laser e i dati di misure provenienti dalla nuvola di punti eseguita con il laser scanner 3D, e sulla base del CAD già esistente si sono aggiunte le parti mancanti, come la Torre centrale e una porzione dell'edificio interno nel lato Sud della Rocca, e si sono corretti i disegni già esistenti rendendo verosimili le posizioni delle finestre e delle porte.

Inoltre durante questa fase sono stati definiti nel dettaglio tutti gli ambienti interni della Rocca e della Torre, in più sono state aggiunte le altezze e le quote rispetto alla pavimentazione del cortile interno di tutti i piani che compongono i vari edifici di tutto il complesso e si sono aggiunti i dettagli dei collegamenti verticali, scale ed ascensore, non presenti nei disegni storici.



### **3.3 LASER SCANNER 3D**

Per la parte di rilievo di questo lavoro sono stati utilizzati dei sensori tridimensionali che sono strumenti che consentono di generare un'immagine 3D di una determinata scena, e le classi di sensori utilizzati sono quelli basati sull'uso della radiazione luminosa.

Si può poi fare un'ulteriore distinzione in funzione della natura della luce che viene impiegata per effettuare la misura, se si tratta di luce naturale, il metodo di misura si definisce "passivo" (come nel caso della fotogrammetria e altri metodi simili), mentre la luce svolge un ruolo nell'acquisizione delle misure si parla di metodo a "sensori attivi" (laser scanner ed altri strumenti ad emissione di radiazione luminosa).

Il laser scanner 3D rientra in quella tipologia di strumenti, per il rilievo tridimensionale, definiti "sensori attivi" in quanto la luce, emessa da tali strumenti, viene codificata in maniera da svolgere un ruolo nel processo di misura, quindi il secondo dei due metodi sopra elencati.

I sensori ottici attivi permettono di ottenere direttamente la posizione spaziale di una superficie o del singolo punto rilevato, a volte accoppiate all'informazione del colore acquisito dallo strumento stesso o da una fotocamera esterna.

Tale strumentazione permette di raccogliere grandi quantità di dati in breve tempo, in pochi minuti si possono raccogliere milione di punti correttamente disposti nello spazio, e nonostante i costi e le dimensioni della strumentazione questa metodologia riscontra un grande utilizzo soprattutto in ambito architettonico e monumentale.

Nel caso della Rocca, che è una struttura quadrangolare di lato 40 m circa, l'utilizzo di questa strumentazione permette una rapida e massiccia

raccolta di dati in un tempo relativamente breve, che possa coprire la struttura nella sua interezza.

Inoltre bisogna decidere a che livello di risoluzione si vuole eseguire il rilievo e quali sono gli scopi finali dello stesso, in quanto uno strumento come il laser scanner 3D ha diverse funzioni che possono essere impiegate per rilevare grandi oggetti in poco tempo oppure altre funzioni che permettono di rilevare piccole porzioni di un fabbricato con un livello di dettaglio più elevato ma con tempistiche molto maggiori.

### **3.3.1 STRUMENTI E LORO UTILIZZO - LASER SCANNER 3D**

Il laser scanner 3D è uno strumento digitale che permette di rilevare un oggetto a tre dimensioni posizionato nello spazio, campionandone la superficie e restituendo come risultato finale una nuvola di punti (point cloud), accuratamente misurati e disposti nello spazio 3D, è costituito da un emettitore di luce e da un sensore che ne registra la risposta.

I principali metodi con i quali lo strumento riesce ad acquisire questi dati, allo stato attuale della tecnologia, sono 3:

- **TEMPO DI VOLO o TIME OF FLIGHT (TOF):** utilizzati per rilievi ad ampia portata dove un impulso laser viene emesso ad un'angolazione nota e viene misurato il tempo di ritorno dopo la riflessione per definire la distanza della superficie riflettente, la loro accuratezza varia tra i 4 e i 10 mm.

I dispositivi TOF sono storicamente i più lenti ma hanno una grandissima portata e sono molto utili per acquisire misure e posizione di punti a grandi distanze nello spazio, possono addirittura superare il chilometro come distanza massima.

In alcuni casi questi strumenti sono anche georeferenziati, registrando



*Fig 3.03 Laser scanner 3D terrestre - a differenza di fase Faro Focus3D CAM2*

anche delle informazioni sulla posizione dello scanner al momento della scansione in un sistema di coordinate terrestri, grazie all'ausilio di un sistema GPS, ed è possibile applicare questi oggetti su degli aerei, o elicotteri, per avere estese scansioni di ampie fette di territorio.

• **SISTEMA A TRIANGOLAZIONE:** dispositivi di portata limitata, utilizzati per oggetti di dimensioni ridotte o per piccoli dettagli architettonici, di solito rilevano ad una distanza che va dai 30 ai 200 cm potendo raccogliere misure fino all'accuratezza del micron.

Acquisisce informazioni geometriche sulle distanze tra tre punti nello spazio, uno dei quali è occupato dallo strumento stesso, ottenendo così informazioni sulla posizione precisa degli oggetti da rilevare, utilizzando il principio della triangolazione, dove un impulso laser coerente viene emesso da un sensore e ricevuto, dopo la riflessione sull'oggetto da rilevare, da un diverso sensore posto ad una distanza fissata in precedenza.



*Fig 3.04 Laser scanner 3D terrestre - a differenza di fase Faro Focus3D CAM2*

• **SISTEMA A DIFFERENZA DI FASE:** acquisisce come dato la differenza di frequenza d'onda, o differenza di fase, emette luce strutturata a frequenza alternata e lo strumento ne stima le interferenze, tra il momento dell'emissione e il momento del ritorno allo strumento, dovute all'interazione con la superficie dell'oggetto da rilevare.

Il range operativo di questi strumenti è tra gli 80 e i 300 m e sono tra gli strumenti di raccolta dati più rapidi presenti in commercio, impiegano pochi minuti per generare nuvole di punti ricche e dettagliate.

Lo strumento, solitamente, è posizionato sopra ad un treppiede e necessita di essere messo in bolla prima di poter eseguire la scansione e allo stesso tempo il piano di appoggio deve essere il più stabile possibile cercando di non toccarlo o non muoverlo durante la scansione.

Nei limiti del possibile sarebbe opportuno allontanarsi dallo strumento in modo da non creare ulteriore copertura, un'ulteriore zona d'ombra nella scansione è data dalla base stessa dello strumento, sotto di esso si ottiene nella nuvola di punti cono di circa sessanta gradi cieco, nel quale non vengono raccolti dati, più si alza lo strumento, più l'area superficiale non scansionata sotto di esso cresce (cono d'ombra).

Persone ed oggetti mobili possono creare ulteriore disturbo alla raccolta dei dati, mentre la radiazione solare non crea particolari problemi allo strumento, più scansioni vengono eseguite della stessa area più punti verranno raccolti, ovviamente i punti troppo distanti, sia sugli assi orizzontali x ed y, sia sul piano verticale z, non potranno essere visualizzati dal laser scanner, e più l'angolo tra l'emettitore e lo strumento è stretto più i dati saranno rastremati.

Il laser scanner, utilizzando la funzione del sistema a differenza di fase, impiega circa 7 minuti a completare ogni scansione, ad una qualità "media" dei dati raccolti, quindi risulta essere un sistema abbastanza rapido di rilievo, e alla fine, i punti rilevati hanno sia informazioni geometriche precise, che informazioni di colore, raccolte con una fotocamera integrata nella maggior parte dei sensori di questo tipo, e questo è stato il metodo utilizzato per il rilievo della Rocca

Le varie scansioni vengono salvate su una memoria interna dello strumento stesso, possono essere visualizzate su un piccolo schermo presente su di esso, e poi possono essere scaricate su un PC ed elaborate con appositi software.

### **3.3.2 ACQUISIZIONE E GESTIONE DATI**

Prima di tutto bisogna valutare la tipologia di strumento e i relativi parametri per il rilievo, valutando i livelli di risoluzione, precisione e accuratezza, dettata da un'analisi critica di dimensione, geometria, posizione e materiale dell'organismo edilizio da valutare e dopo aver fatto questa operazione si pianifica come operare sul campo con lo strumento.

Tutte queste valutazioni preliminari hanno il duplice vantaggio di ottimizzare il processo e allo stesso tempo prevedere le possibili problematiche ad esso collegate, in questo caso si è pianificato di

raccogliere circa 30 stazioni di scansione con un tempo medio di 100/120 minuti ogni 10 scansioni, sia all'interno che all'esterno della Rocca.

Nel caso di studio in esame è stata utilizzata la terza metodologia dello strumento, cioè la differenza di fase, lo strumento, posizionato in punti specifici nella corte interna e all'esterno della Rocca, raccogliendo i dati di radianza dei vari punti scansionati, ottenendo anche informazioni sul colore interpolate con i dati raccolti da una fotocamera presente nello strumento che raccoglie le foto di tutta l'area scansionata.

Occorre che le varie stazioni di rilievo, nelle quali viene posizionato il laser scanner, si trovino in vista le une con le altre, in modo che, al momento dell'analisi dei dati, si possano unire in modo automatico tutte le nuvole di punti raccolte, avendo più punti in comune possibile tra una scansione e l'altra, disegnando un percorso lineare e chiuso.

Le difficoltà che si riscontrano in questo tipo di rilievo sono legate al fatto che la radiazione luminosa non supera gli oggetti opachi, è riflessa dagli oggetti lucidi e passa attraverso le superfici trasparenti, questo può falsare i dati, gli ostacoli creano zone d'ombra in cui la scansione non prenderà alcun punto, le superfici riflettenti restituiscono una falsa informazione sull'oggetto colpito mentre quelle trasparenti vengono attraversate raccogliendo punti che sarebbero altrimenti nascosti.

Come già descritto, utilizzando un laser scanner 3D con la funzione della differenza di fase, si impiegano circa 7 minuti per completare una stazione di scansione, e i dati così raccolti vengono salvati sulla memoria dello scanner insieme alle foto scattate da quest'ultimo e all'informazione della radianza.

### **3.3.3 DAL LASER SCANNER ALLA NUVOLA DI PUNTI**

Quello che si ottiene con il laser scanner è la pelle, il guscio dell'edificio

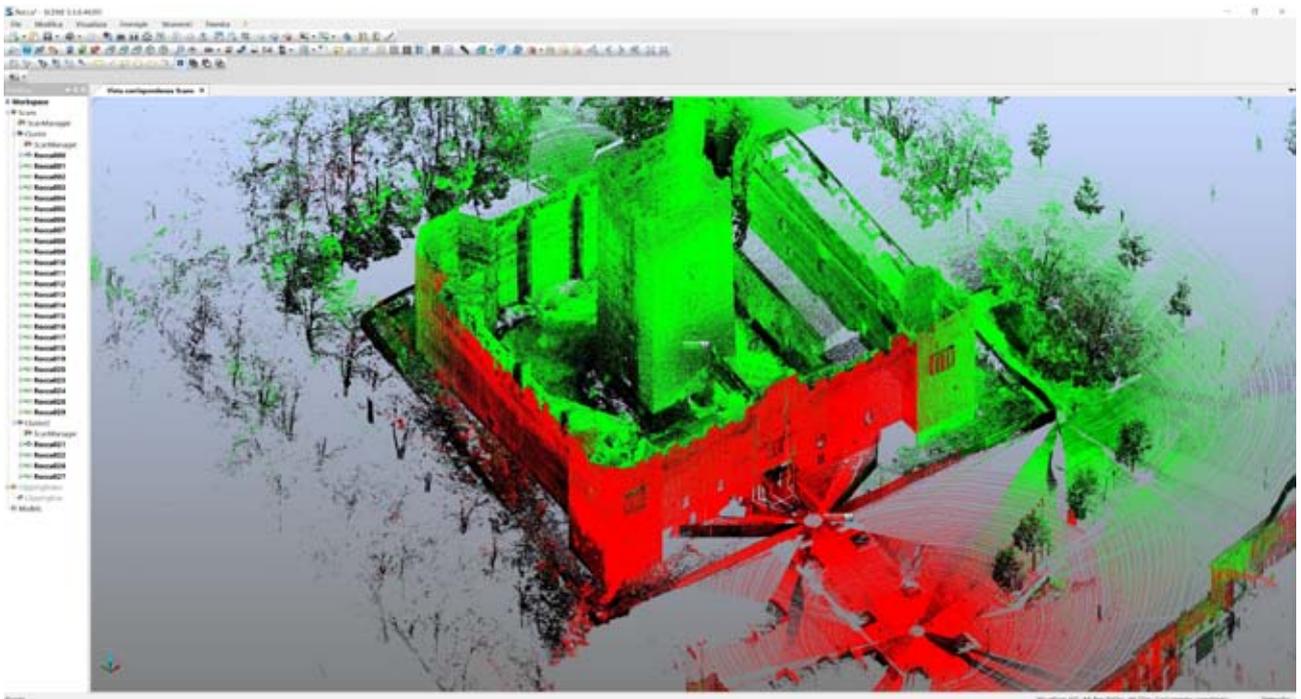


Fig 3.05 Allineamento scansioni e nuvole di punti - Software Scene di Faro

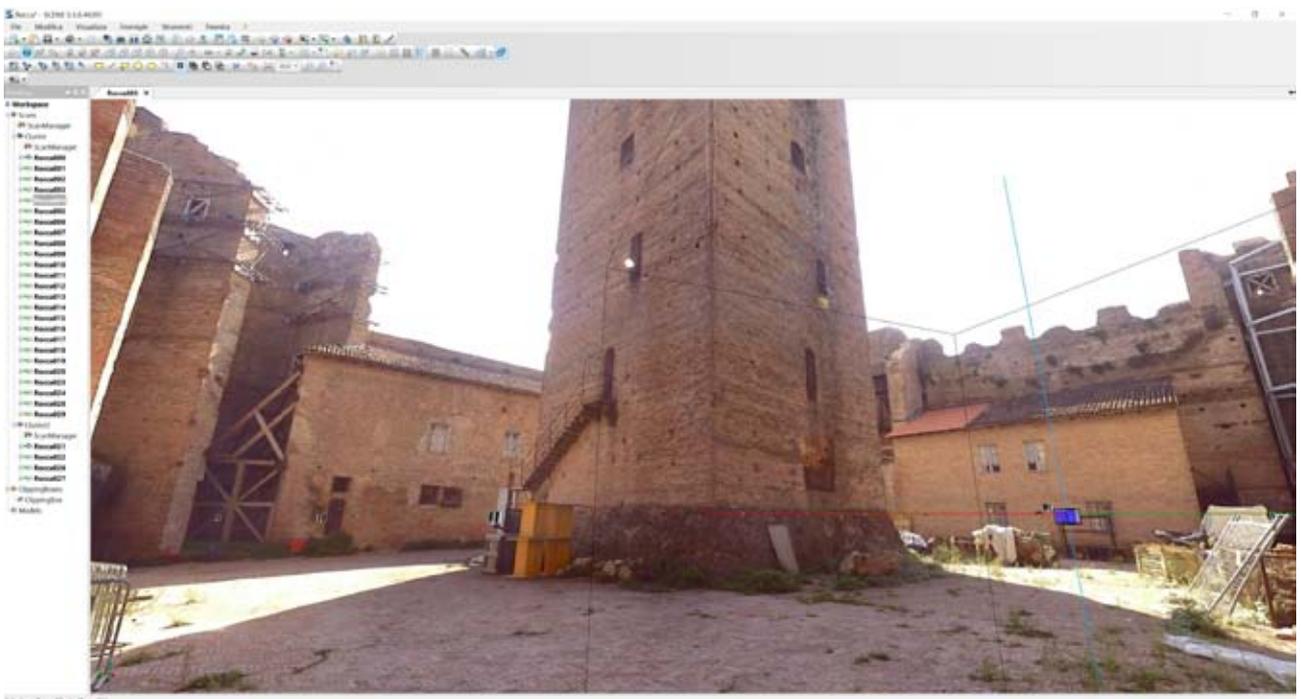


Fig 3.06 Vista di una stazione di presa del laser scanner 3D - Software Scene di Faro

che si va ad analizzare, ovviamente non si ottengono informazioni su quello che il laser non può vedere, come per esempio l'interno dei muri, o in aree fuori dalla portata dello strumento o nascoste da altri oggetti.

I dati che si ottengono in questo modo sono "grezzi", e vanno rielaborati, viene fatta una modellazione inversa su quello che è la nuvola di punti raccolta dalle varie stazioni di rilievo, e a seconda del risultato che si vuole ottenere si applicano metodologie o software più o meno sofisticati per arrivare ad un determinato livello di dettaglio.

Dopo aver raccolto i risultati delle scansioni si uniscono le varie nuvole di punti così ottenute in una singola nuvola complessiva dell'intero oggetto che si vuole rilevare cercando di allineare il più possibile le varie stazioni in modo che ci sia l'errore più basso possibile nelle misure che si ottengono in questo modo, questa operazione è in parte automatica, ma per la maggior parte dei casi l'allineamento va fatto a mano.

Una volta ottenuta la nuvola di punti bisogna controllarne la dimensione e la gestibilità, per vedere quanto serve dei dati raccolti per il risultato finale, e si può decidere di decimare i punti registrati per rendere più agevole il lavoro di modellazione successivo.

Poi si può passare alla fase di "meshing" della nuvola, dove si creano delle superfici composte da triangoli i cui vertici sono i punti stessi della nuvola e i lati sono i segmenti che li collegano, in questo modo si crea una superficie che descrive il più possibile la forma degli elementi che si sono rilevati, la risoluzione di tale superficie è tanto maggiore tanti più punti ci sono, ma allo stesso tempo, più triangoli compongono la mesh finale maggiore sarà la potenza di calcolo necessaria per poterla gestire.

Le mesh così create possono avere distacchi, buchi e altre difformità legate sia alla precisione dello strumento utilizzato, sia alle metodologie

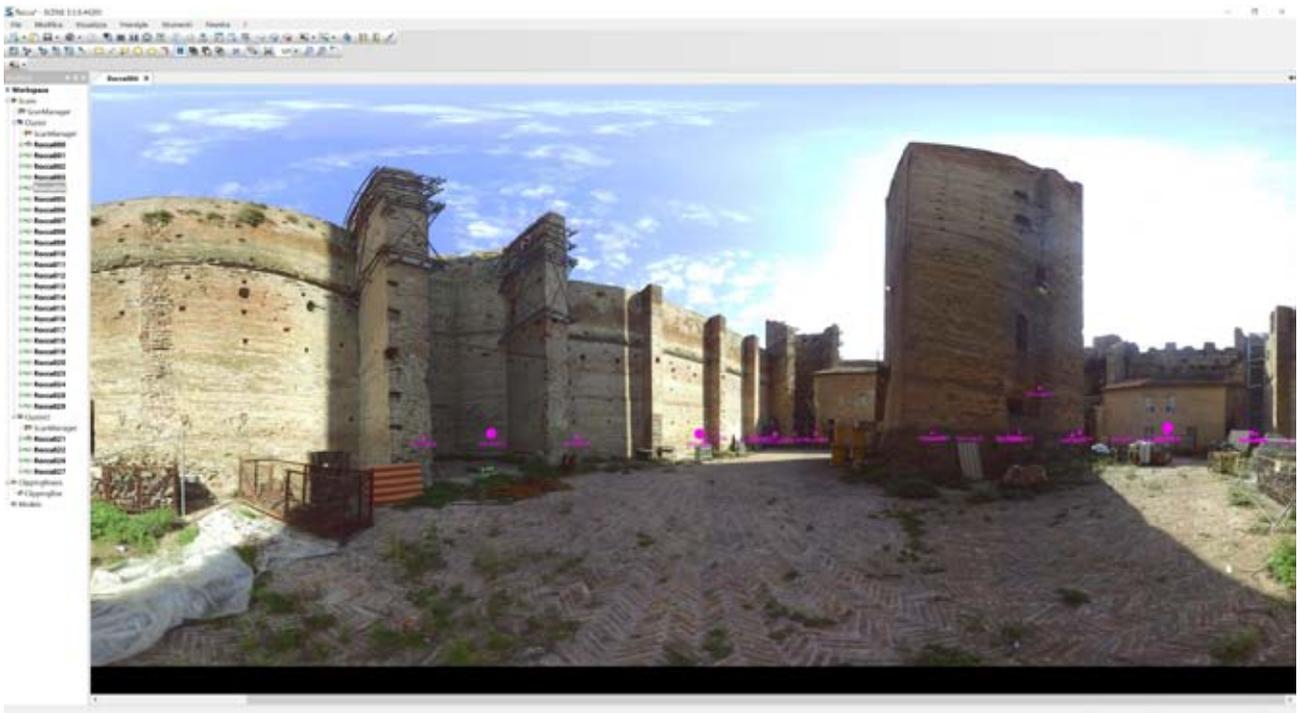


Fig 3.07 Visualizzazione dati di una singola stazione di scansione - in rosa le altre scansioni con il relativo nome - Software Scene di Faro



Fig 3.08 Nuvola di punti di una singola stazione - Software Scene di Faro

seguite nella scansione, a volte certi errori non possono essere evitati, ma possono essere corretti in seguito.

Se necessario si possono chiudere dei buchi nella mesh, anche se facendo questo si introduce arbitrariamente dell'informazione che non deriva direttamente dal rilievo, e non sempre è possibile farlo, si possono togliere delle parti che non state rilevate per sbaglio o punti che non c'entrano con la struttura stessa, raccolti per sbaglio dagli ostacoli mobili o immobili presenti sul percorso di scansione.

Dopo aver creato una mesh è possibile applicare su di essa delle textures, che possono essere direttamente le foto raccolte sul campo durante la scansione con il laser scanner 3D, in questo modo si generano degli ambienti 3D che contengono sia l'informazione geometrica, sia l'informazione di tessitura dei vari elementi e da questo si possono derivare delle simulazioni foto realistiche e dei rendering, comprensivi di luci, per permettere una divulgazione del risultato e un suo utilizzo per una modellazione virtuale a tre dimensioni.

Nel caso della Rocca di Reggiolo, si dedica molta più attenzione alla fase di raccolta dei dati sul campo, cioè alle scansioni con il laser scanner 3D, e nella fase di post-processing si analizzano nel dettaglio l'allineamento delle nuvole di punti e l'eventuale loro decimazione per un più agevole utilizzo all'interno di un modello BIM.

L'obiettivo non è tanto quello di ottenere una superficie con un alto grado di dettaglio per una sua restituzione foto realistica, ma è quello di avere un oggetto che possa essere inserito in un software di modellazione BIM, e che possa conservare tutte le sue caratteristiche geometriche, senza perdere nulla sia in qualità che in precisione.

Per poi passare ad una successiva modellazione dell'oggetto stesso

direttamente sulla nuvola di punti utilizzando altri software per la sua preliminare gestione, per eliminare porzioni inutili, come parti del contesto non necessarie, o per diminuirne il numero complessivo.

### **3.3.4 SOFTWARE PER LA GESTIONE E MODIFICA DELLA NUVOLA DI PUNTI**

La gestione e la modifica della nuvola di punti è un processo molto lungo, la cui durata dipende ovviamente dal risultato finale che si vuole ottenere ma solitamente è in rapporto di 5:1 con i tempi di raccolta dati sul campo con il laser scanner, e quindi bisogna pianificare bene anche quale tipo di lavoro si vuole compiere sull'edificio che si vuole rilevare.

Come già premesso nel paragrafo precedente nel caso specifico si è preferito dare più importanza alla raccolta dei dati e alla loro gestione diretta in un software BIM, ma nonostante questo sono stati comunque necessari dei processi di post processing sulle nuvole di punti raccolte.

La nuvola di punti viene quindi elaborata a livello software, utilizzando Scene che è il software proprietario dallo strumento di laser scanner 3D di marca Faro per gestire i dati raccolti, e se il procedimento di rilievo è stato eseguito in modo accurato tutte le varie stazioni verranno collegate in modo automatico dall'algoritmo, in caso contrario occorre allineare i punti in modo manuale tra una stazione e l'altra, e alla fine, procedendo in un modo o nell'altro, si arriva al risultato finale, cioè ad una nuvola di punti completa di tutte le stazioni di rilievo.

Nel caso specifico della Rocca si sono raccolte 30 scansioni con il laser scanner, e a parte una, che si è dovuta allineare a manualmente, tutte le altre sono state allineate e unite in automatico dal software, con una precisione abbastanza elevata, e per ognuna di esse si è ottenuta sia l'informazione di radianza, sia l'informazione colorimetrica, RGB, generata

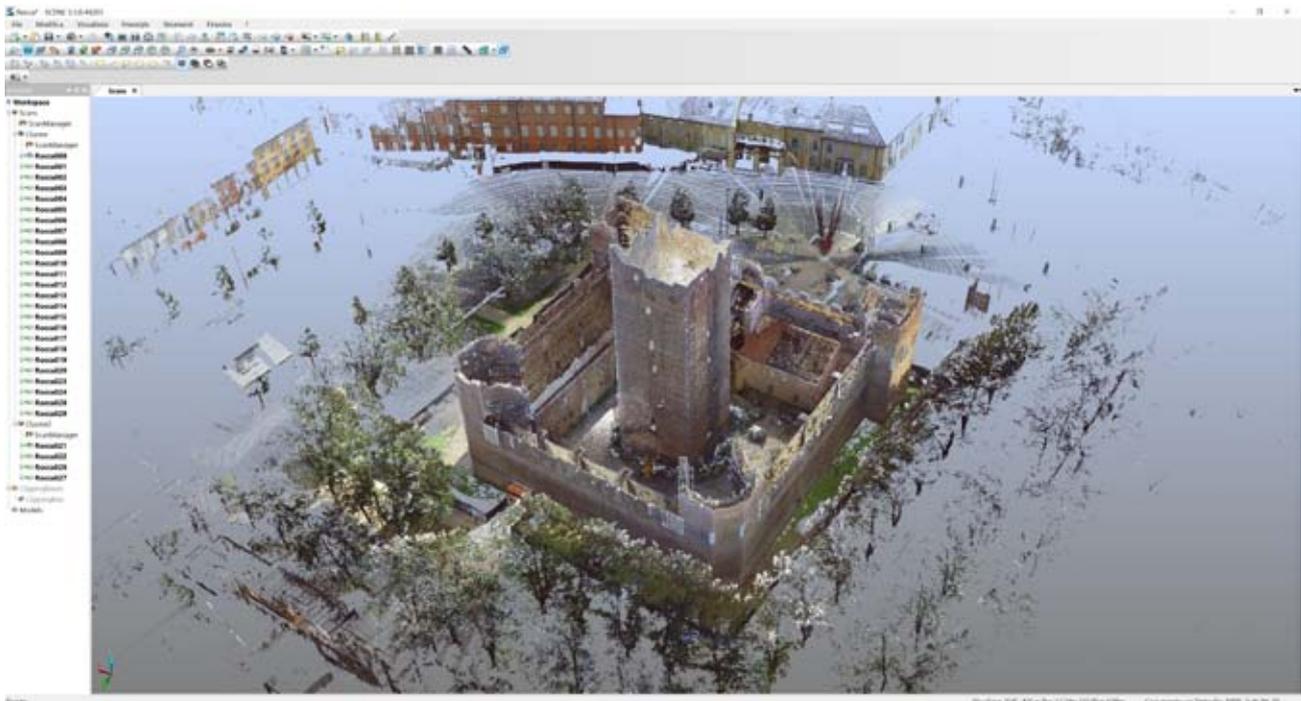


Fig 3.09 Visualizzazione d'insieme dell'intera nuvola di punti di tutte le scansioni unite - Software Scene di Faro

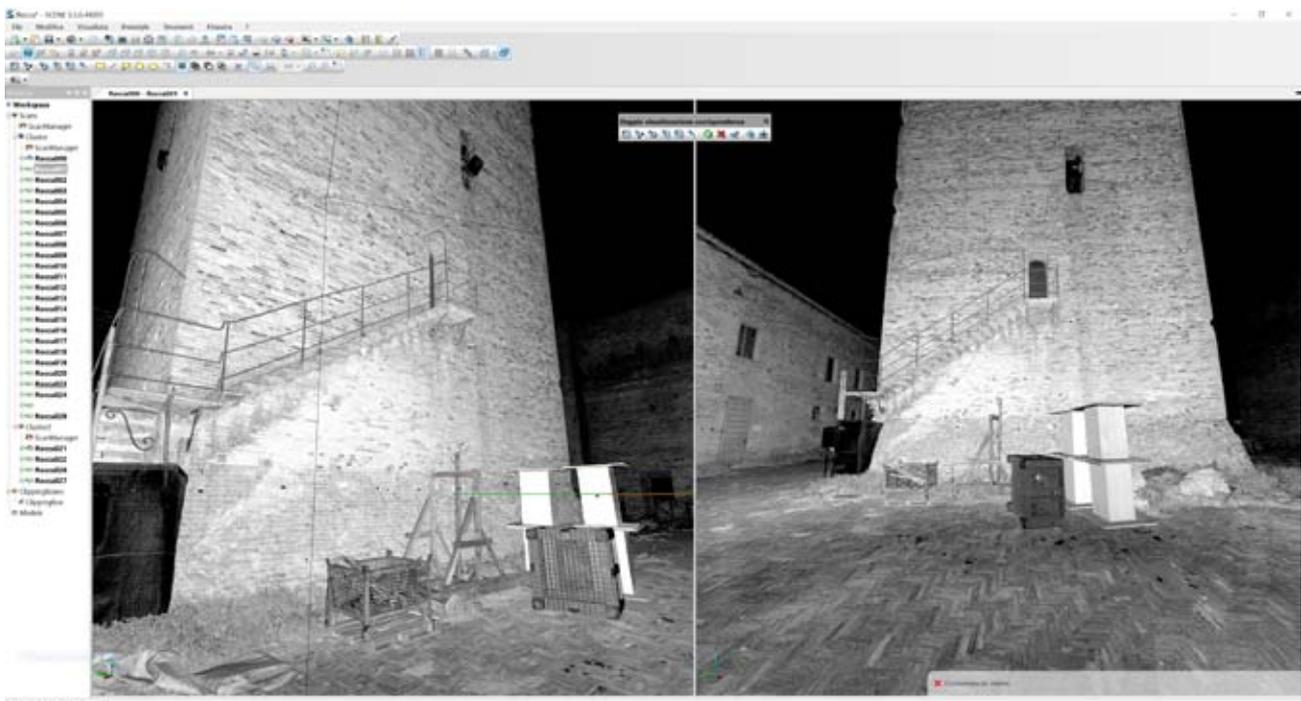


Fig 3.10 Radianza di una stazione, come le superfici riflettono la luce - Software Scene di Faro

con le fotografie fatte dal laser scanner durante la scansione.

Tramite il software utilizzato per estrapolare i dati dal laser scanner, è possibile rendere il risultato delle scansioni disponibili per una visualizzazione web, tramite browser, utilizzando un plug-in flash, in modo da poter avere i dati disponibili anche da altre postazioni, e poter lavorare sul progetto da luoghi differenti.

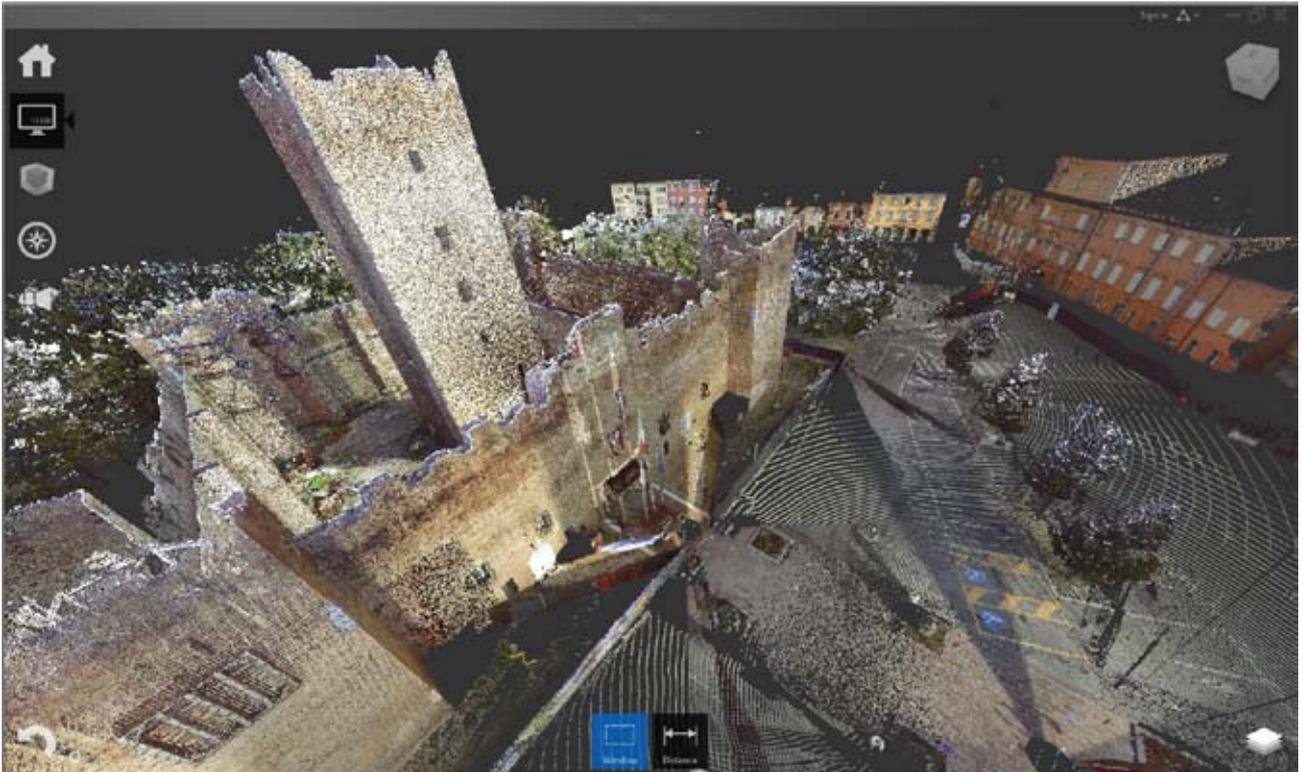
Inoltre tutte le scansioni possono essere visionate singolarmente sul web e possono essere anche scaricate una ad una, rendendo fruibili i dati raccolti da qualsiasi postazione e in questo modo la versatilità del metodo cresce molto potendo gestire in remoto i risultati della scansione.

Anche via web è possibile misurare i dati dalle varie stazioni fatte con il laser scanner 3D, in questo modo, nel caso dovesse mancare una misura durante il processo di modellazione è possibile recuperarla senza problemi anche tramite internet con un qualsiasi browser web.

Con il software Geomagic è possibile gestire la nuvola di punti e decimarne il numero, si possono selezionare le stazioni utili e quelle che magari non servono e si ha la possibilità di generare una mesh che colleghi tutti i punti raccolti che si è deciso di conservare, quindi è un ottimo gestore post scansione dei dati raccolti.

Un altro software, con caratteristiche molto più limitate ma di più intuitivo utilizzo è MeshLab, che può servire sempre a gestire la nuvola di punti, anche se in modo più grezzo, e permette la creazione di una mesh che come nel caso precedente può collegare tutti i punti che si desidera creando una superficie composta da triangoli.

Infine si può importare la nuvola di punti nel software ReCap che oltre a gestire tutte le stazioni singolarmente permette di visualizzare dei dati riferiti al progetto, come l'elevazione dei punti da terra, la riflessività, la



*Fig 3.11 Nuvola di punti totale importata in Autodesk ReCap 2016*



*Fig 3.12 Ritaglio della nuvola di punti per la visualizzazione della Rocca - Autodesk ReCap 2016*



Fig 3.13 Quadro di sezionamento della nuvola di punti per visualizzare i piani utili - Autodesk ReCap 2016

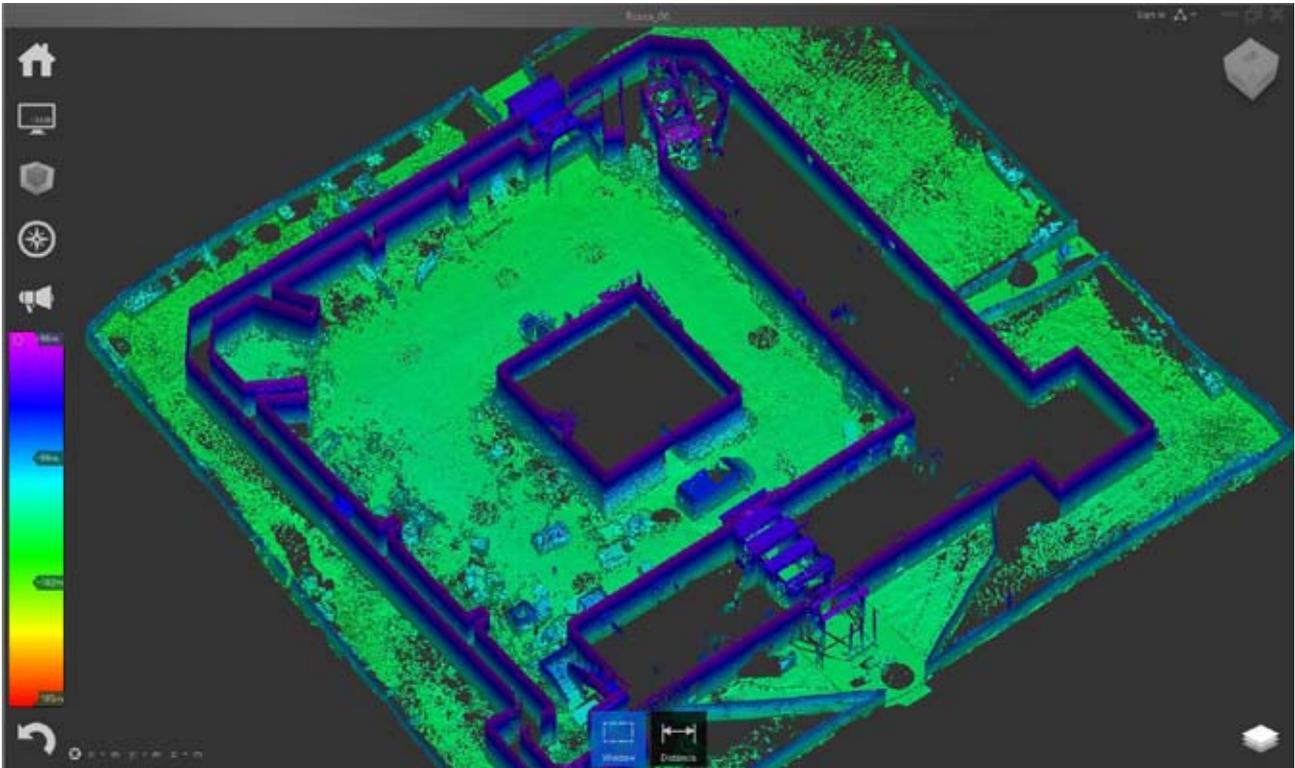


Fig 3.14 Analisi altimetrica dei punti ad una determinata sezione - Autodesk ReCap 2016

radianza e molti altre caratteristiche, inoltre si possono prendere misure direttamente sul modello ed è possibile sezionare l'intera nuvola secondo i piani di un parallelepipedo di selezione, visualizzando in questo modo parti interne della nuvola che altrimenti non sarebbero visibili.

Inoltre questo è il canale preferenziale per trasportare poi la nuvola di punti in un software di modellazione BIM come Revit, infatti ReCap è stato pensato appunto per trasformare una nuvola di punti in un formato facilmente leggibile da Revit.

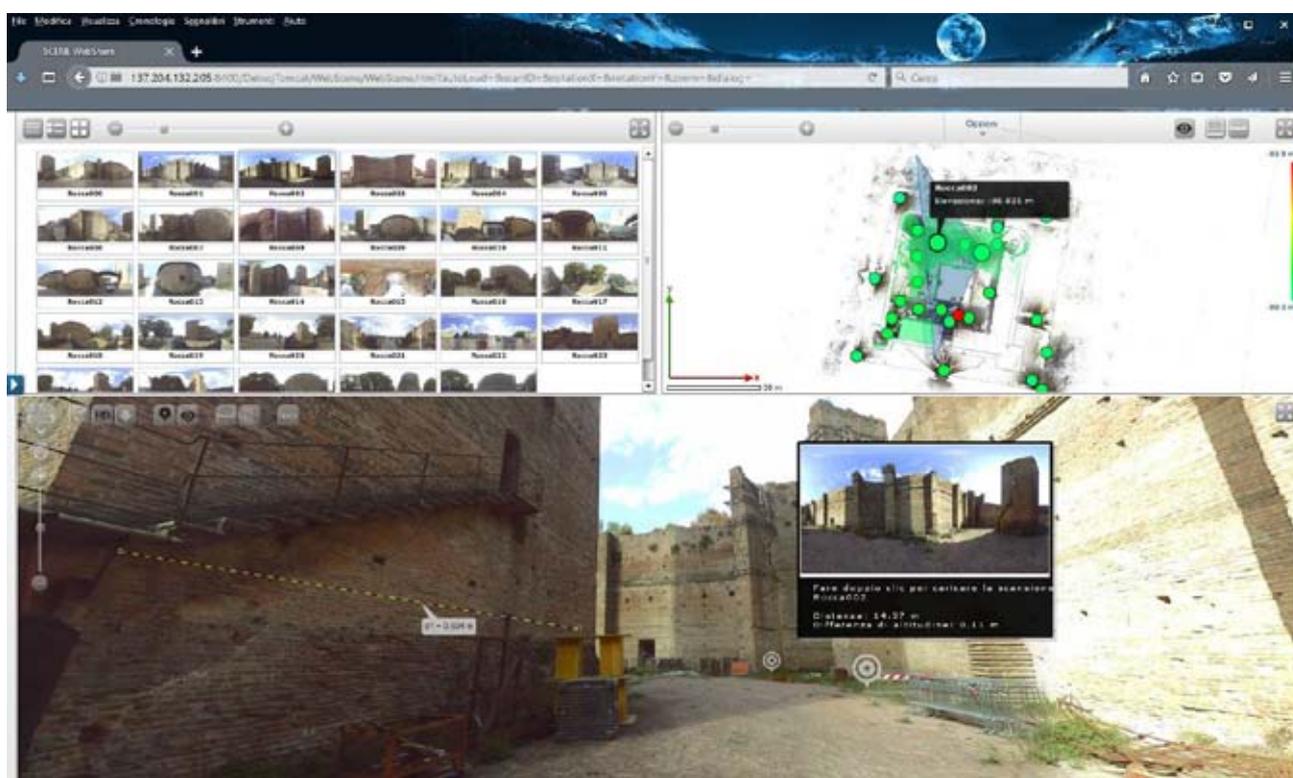


Fig 3.15 Visualizzazione web su Browser, in questo caso FireFox, di Scene per il web con tutte le stazioni visibili, selezionabili e scaricabili.

## **3.4 FOTOGRAMMETRIA DIGITALE TERRESTRE**

*COMPUTER VISION: disciplina che studia le tecniche e gli algoritmi per costruire apparati o sistemi in grado di acquisire informazioni dalle immagini. (R. Scateni, P. Cignoni, C. Montani, R. Scopigno Fondamenti di Grafica Tridimensionale 2005)*

La fotogrammetria è la scienza con la quale si può ottenere una nuvola di punti disposti nello spazio tridimensionale e una misura accurate delle caratteristiche geometriche di un oggetto, attraverso l'impiego di dati ottenuti dall'allineamento di foto che lo ritraggono da posizioni differenti, scattate utilizzando una macchina fotografica e particolari tecniche di presa delle immagini.

La fotogrammetria pertanto stabilisce una relazione geometrica fra le immagini e la scena reale al momento della ripresa fotografica partendo da diversi punti omologhi individuati nelle immagini.

Per comprendere i fondamenti teorici della fotogrammetria occorre capire come si possono definire delle quantità metriche partendo da un'immagine, considerando per cominciare il modello della Pinhole Camera, dove un foro stenopeico seleziona tra gli infiniti raggi retro diffusi solo uno per ogni punto del soggetto, consentendo la formazione di un'immagine proiettata su un piano retrostante il foro.

Nel rispetto delle condizioni di collinearità, la misura di punti reali a partire da proiezioni fotografiche avviene mediante la soluzione delle equazioni omonime, dette per l'appunto equazioni di collinearità, riferite a condizioni ideali non raggiungibili dalle macchine fotografiche e che quindi devono essere calibrate.

Quindi il processo parte dall'acquisizione di fotografie, passa

dall'elaborazione digitale e l'individuazione di filtri e di punti omologhi poi, attraverso l'orientamento di camere, la triangolazione fotogrammetrica (o bundle adjustment) e l'unione delle immagini, si giunge finalmente alla nuvola di punti.

Considerando alcune misurazioni fatte su elementi ripresi da due o più immagini scattate da differenti posizioni, vengono identificati i punti omologhi proiettati su un raggio visuale che collega loro alla fotocamera, e l'intersezione di più raggi visuali, definita come triangolazione, determina l'esatta posizione del punto di vista della camera nello spazio e, iterando il procedimento più e più volte, è possibile ricavare molti punti omologhi.

La fotogrammetria è tornata in auge soprattutto per il rilievo di edifici e di elementi architettonici con l'avvento dei calcolatori che permettono un rapido calcolo delle complesse equazione di derivazione delle misure dalle immagini, che avevano fatto passare in secondo piano questa metodologia a favore di tecniche considerate più moderne come quella che utilizza i laser scanner 3D.

La fotogrammetria ha come obiettivo primario l'acquisizione di informazioni metriche accurate (precise ed affidabili) e dettagliate dal punto di vista geometrico e per raggiungere tale risultato necessita ancora dell'intervento manuale da parte di un operatore che ne modifichi e aggiusti alcuni parametri.

Rispetto ai sensori attivi i rilievi fotogrammetrici utilizzano immagini che contengono tutte le informazioni utili alla restituzione di modelli 3D come geometria e tessitura.

In un primo momento si ottiene quella che è definita la "nuvola sparsa di punti" e poi, iterando ancora il procedimento, basandosi sull'allineamento delle fotocamere in un ambiente 3D si ottiene quella che invece viene

definita “nuvola densa di punti”.

### **3.4.1 STRUMENTI E LORO UTILIZZO - FOTOCAMERA DIGITALE**

I sensori e le fotocamere digitali in grado di acquisire immagini sono normalmente utilizzati da terra oppure montati su piattaforme aeree o satellitari.

Il principali strumenti utilizzati per la fotogrammetria sono le fotocamere digitali, sia amatoriali (compatte) che professionali (reflex) che si distinguono a seconda del tipo di sensore, ottica, stabilità, costo e utilizzo.

Esistono anche camere panoramiche con sensori lineari in grado di acquisire immagini sferiche ad alta risoluzione geometrica e radiometrica.

Camere avio trasportate vengono distinte tra piccole, medie e grandi e acquisiscono immagini con sensori lineari o frame, mentre i sensori montati su piattaforme satellitari sono generalmente di tipo lineare, accoppiati ad un ottica che permette di acquisire immagini da 400/700 km d'altezza con risoluzione inferiore al metro lineare.



*Fig 3.16 Macchina fotografica utilizzata per il rilievo fotogrammetrico - Nikon D3100 obiettivo Nikon 18-55 mm*

Il flusso di lavoro da seguire per derivare informazioni metriche 3D di una scena attraverso la fotogrammetria richiede la calibrazione della fotocamera, la triangolazione delle immagini, una restituzione 3D della scena per derivarne la nuvola di punti, la creazione di un modello geometrico 3D strutturato e la visualizzazione foto realistica 3D del modello con le texture applicate.

### 3.4.2 TECNICHE E METODOLOGIE DI PRESA - LA ROCCA

Le foto devono essere scattate utilizzando le impostazioni automatiche della fotocamera, possibilmente senza modificare l'apertura dell'obiettivo o dell'oculare, e senza cambiare lo zoom, lasciando sempre il valore minimo di distanza, cioè lo zoom più basso.

Gli scatti devono essere fatti utilizzando un cavalletto, in modo da avere un'altezza fissa e in modo che le immagini siano il meno mosse possibili,

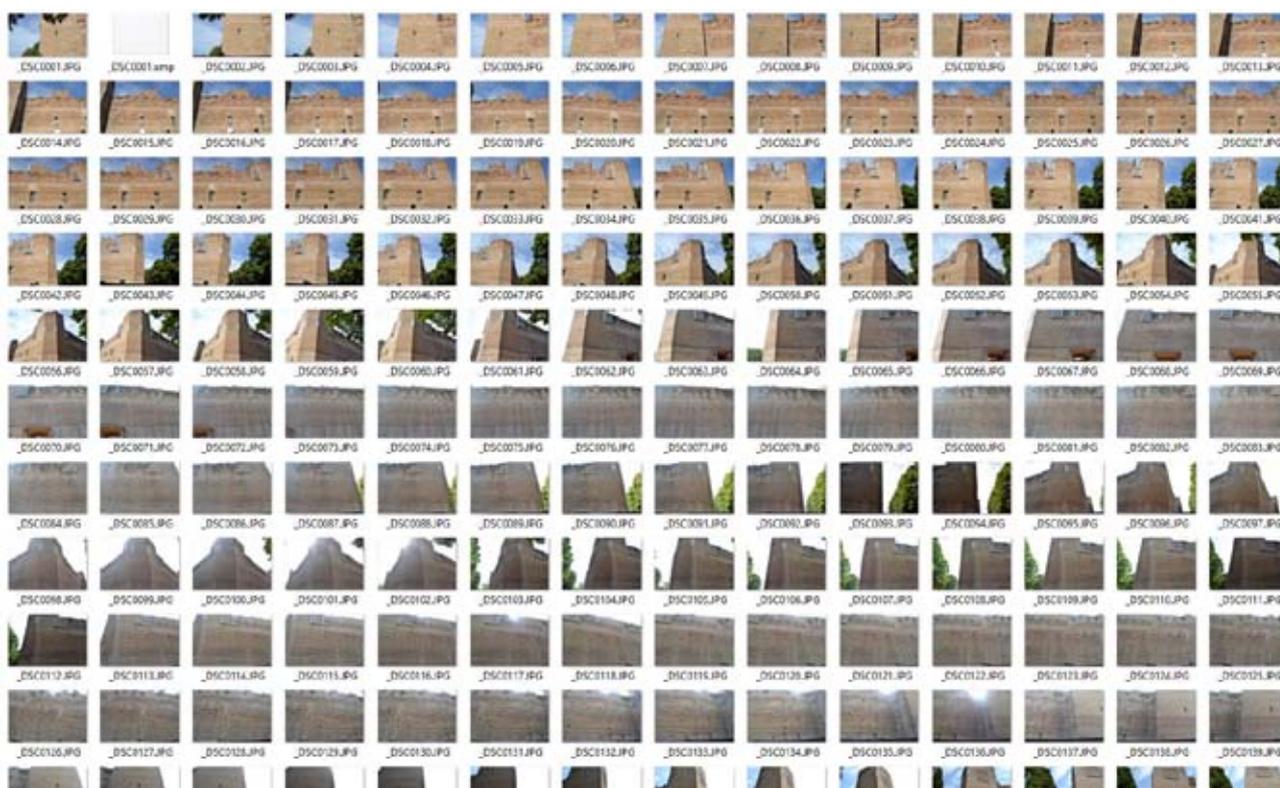


Fig 3.17 Serie di scatti della Rocca di Reggiolo, lato Est e Nord, per la successiva elaborazione fotogrammetrica.

si scattano poi le foto all'oggetto interessato restando paralleli ad esso, muovendosi di un passo alla volta, cercando di scattare quasi sempre la stessa foto, (sovrapposizione del 70% fra una foto e l'altra) e così facendo si copre tutta l'estensione dell'oggetto interessato, fotografando sempre strisce ad una diversa quota dell'edificio, dal suolo fino alla cima.

Nel caso specifico si è programmato di raccogliere circa 500 foto per ogni sessione di rilievo, impiegando circa 3 ore per questa mole di lavoro, ripetendo il tutto per 6/7 volte, in modo da coprire adeguatamente sia l'area interna che quella esterna della Rocca.

Particolare accorgimento va posto alle foto della parte superiore dell'edificio, dove può comparire il cielo, e dove l'inclinazione di scatto e di presa dell'immagine è elevata, in quanto potrebbe rendere, a livello di elaborazione successiva, di difficile riconoscimento il confine tra struttura e ambiente circostante.

Ostacoli intermedi come, alberi, persone, macchine, possono interferire con le operazioni di scatto dell'immagine andando a "sporcare" la nuvola di punti, quindi occorre fare scatti il più puliti possibile oppure si possono eliminare questi disturbi dopo, anche se ciò richiede molto lavoro.

Superfici riflettenti, vetri e acqua possono creare ulteriore disturbo all'allineamento delle immagini, le foto devono essere prese ad alta risoluzione, facendo in modo che la prima scattata combaci quasi con l'ultima, in modo da creare uno schema quasi lineare della sequenza di scatto, chiudendo una sorta di cerchio che circonda l'oggetto da rilevare.

Nel caso di studio in esame, la Rocca di Reggiolo, particolari problemi si sono riscontrati con la presenza della recinzione di cantiere che essendo semitrasparente è stata in molti punti confusa con la superficie delle'edificio, "fondendola" con il materiale delle pareti, oppure negli spigoli

si sono creati dei bordi inesistenti dovuti alla notevole somiglianza della tessitura in mattoni, di oggetti posti su piani differenti ma apparentemente complanari nel singolo scatto.

Altri problemi si sono riscontrati con la presenza di piante molto vicine alla struttura, che sono state riconosciute durante l'allineamento delle foto come punti appartenenti alla struttura, e dalla presenza del cielo in molte foto che ha creato molto disturbo sulla sommità delle mura e delle torri.

Nel caso di studio in particolare essendo le mura esterne chiuse a formare un quadrato, con solo due aperture verso l'esterno, è stato relativamente facile chiudere la nuvola di punti, che quindi racchiude il guscio della struttura, più foto si prendono, più la nuvola di punti può essere fitta e più dettagli si possono raccogliere.

Conviene scattare le immagini in momenti in cui le ombre, del sole o di altre fonti luminose, cambiano relativamente poco nel tempo, perché i colori diversi, dovuti alla diversa esposizione alla luce, possono arrecare non pochi problemi all'allineamento, e mentre si scattano le foto il tempo scorre e la luce può cambiare molto, e conviene sempre seguire percorsi a terra senza soluzione di continuità, in modo da avere un ordine preciso di scatto.

Giornate nuvolose sarebbero ottimali per i rilievi fotogrammetrici, nessuna ombra propria o portata ma solo luce diffusa nell'ambiente, anche se la pioggia può disturbare la riflessione degli oggetti, inficiando il lavoro di allineamento delle immagini da parte del software.

Nel caso di studio in esame, le scansioni fotogrammetriche sono state fatte sempre in giornate quasi del tutto serene, con ottima illuminazione, con il problema delle ombre portate e dirette che cambiavano rapidamente,

le difficoltà maggiori si sono riscontrate nel trovare punti in comune per poter allineare le foto fatte dell'interno della Rocca con le foto fatte dell'esterno, perché da dentro non si vede il fuori e viceversa, gli unici punti di collegamento sono le due porte, una sul lato nord e una sul lato sud, che però sono piccole e decisamente al buio, rendendo di difficile collegamento i due nuclei e le due nuvole di punti.

La torre che si erge dalle mura di almeno il doppio della loro altezza, è un altro possibile punto di collegamento, in quanto è visibile sia da fuori che da dentro le mura, anche se nella zona interna, essendo molto vicina alle mura stesse, le foto scattate ad essa risultando molto inclinate, riducendo il livello di dettaglio delle immagini, e riducendo anche la densità dei punti nella nuvola stessa.

La presenza della recinzione tutto attorno all'edificio ad una distanza variabile tra i 4 e i 15 m da esso, ha reso molto difficile la raccolta delle immagini, in quanto non era possibile passare sopra alla recinzione, e dall'interno spesso ci si trovava troppo addossati all'edificio, questo ha reso necessario una raccolta di immagini più massiccia e dettagliata, in modo da avere un copertura quasi totale dell'involucro, sia interno che esterno.

È opportuno utilizzare sempre la stessa macchina fotografica per scattare le fotografie, in modo da avere meno problemi durante l'allineamento, anche se il software permette di registrare il settaggio delle lenti di ogni singolo apparecchio fotografico in modo da compensare le differenze tra una macchina e l'altra nel caso che se ne utilizzi più di una.

### **3.4.3 ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA DELLE IMMAGINI**

È necessario distinguere tra parametri di orientamento interno ed esterno della fotocamera, i primi vengono ottenuti mediante procedure

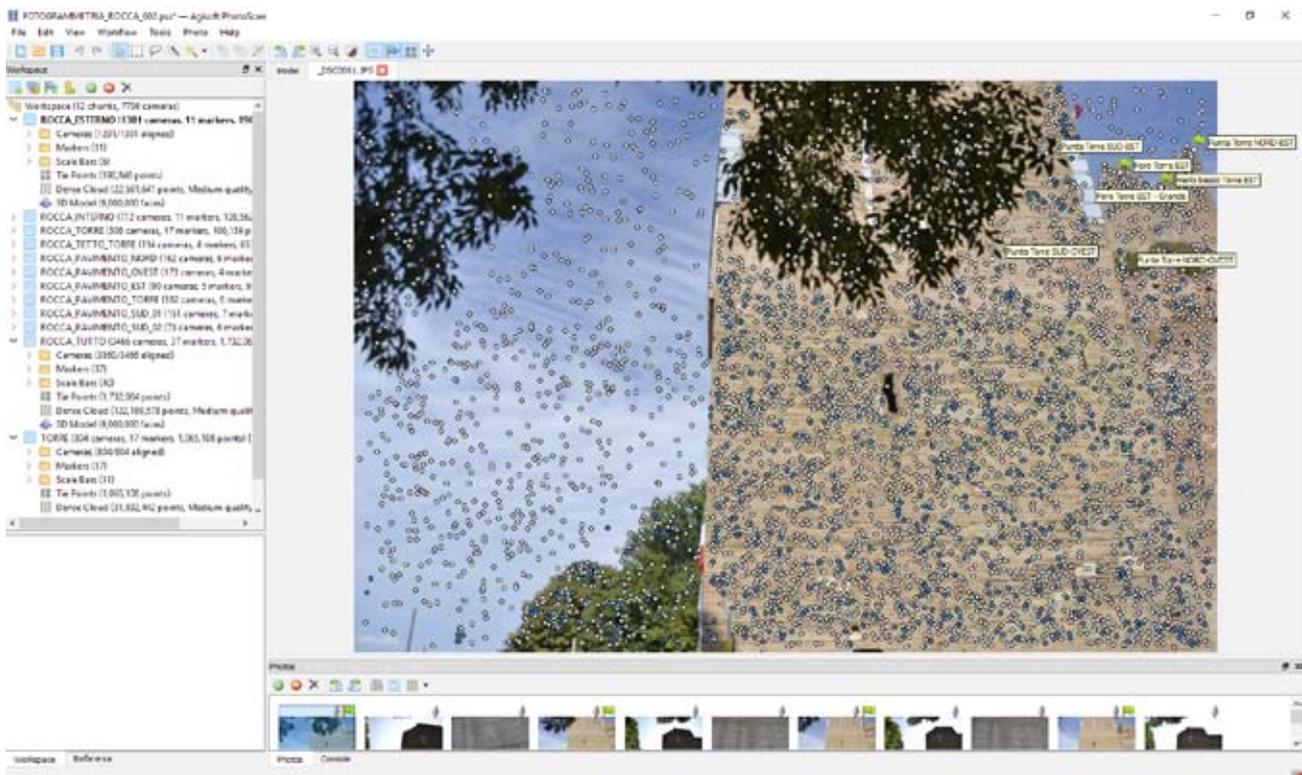


Fig 3.18 Punti riconosciuti su una singola foto, in blue, e solo presunti, in grigio - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

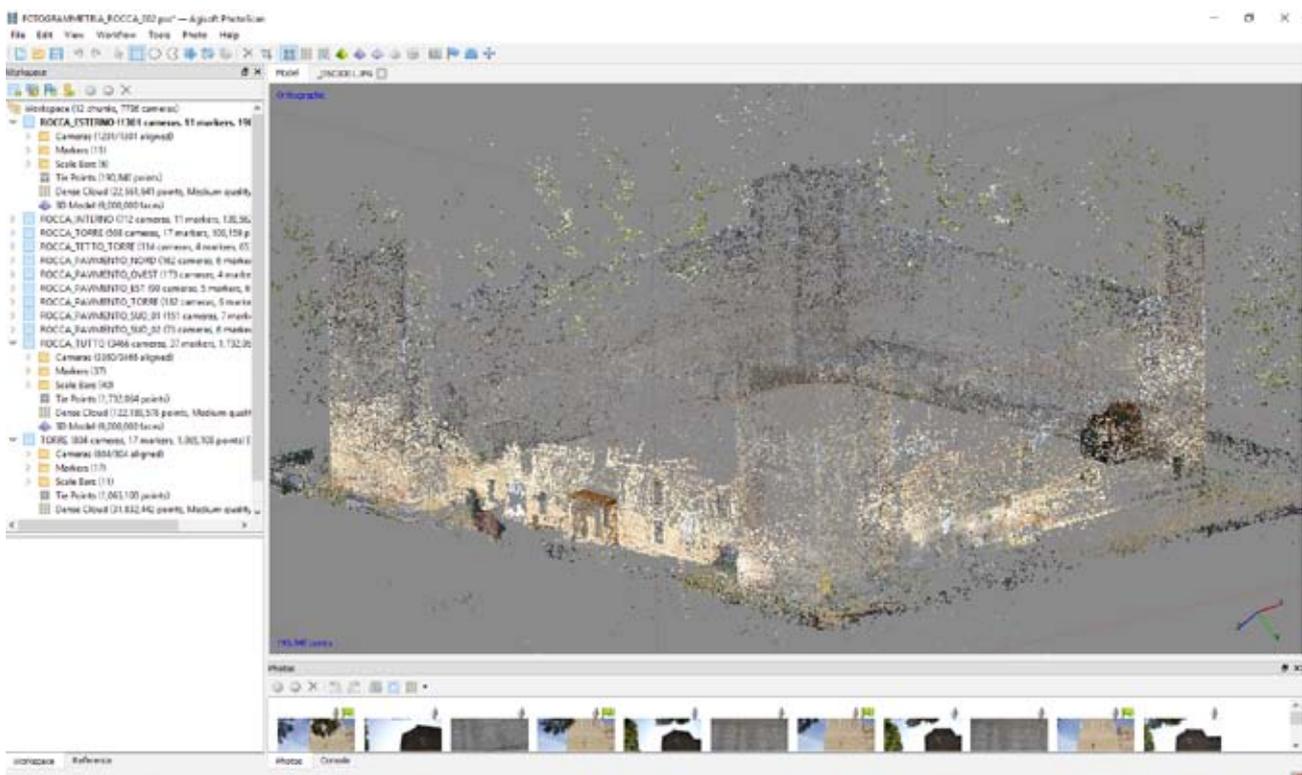


Fig 3.19 Nuvola sparsa di punti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

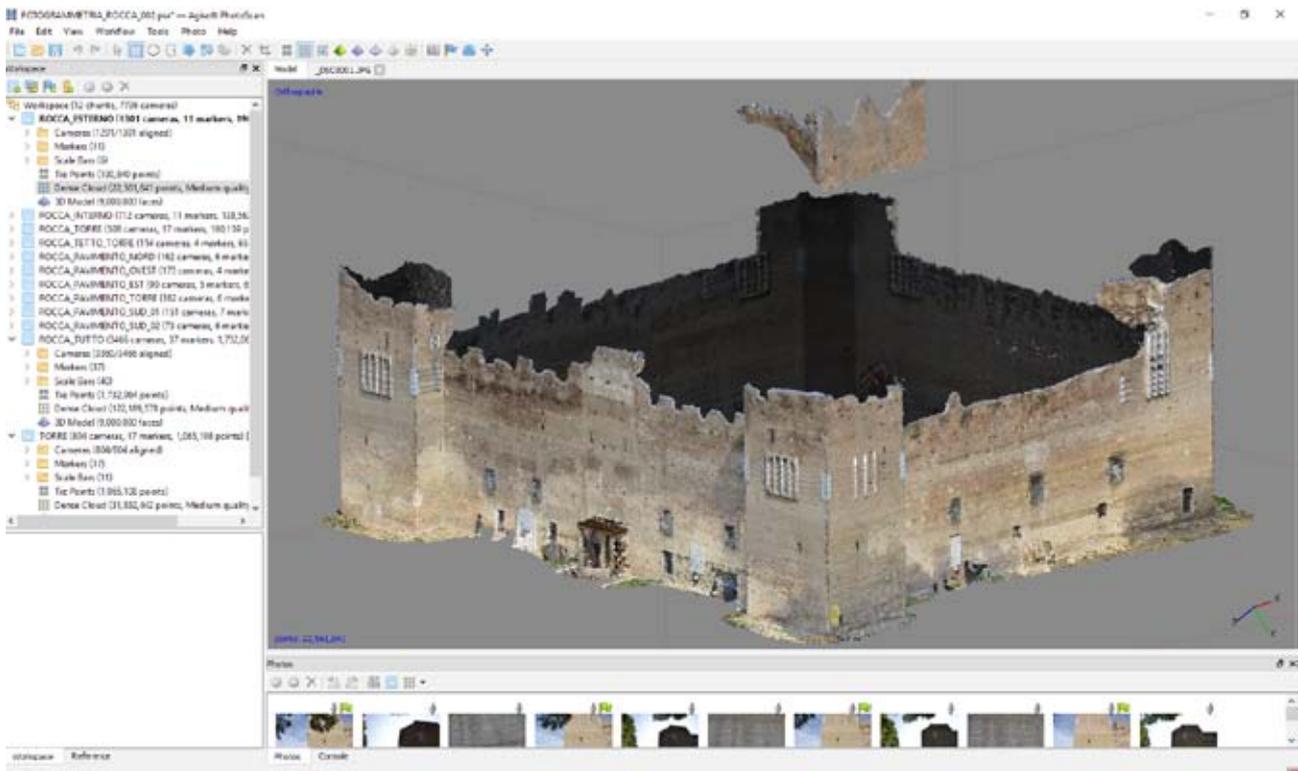


Fig 3.20 Nuvola densa di punti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

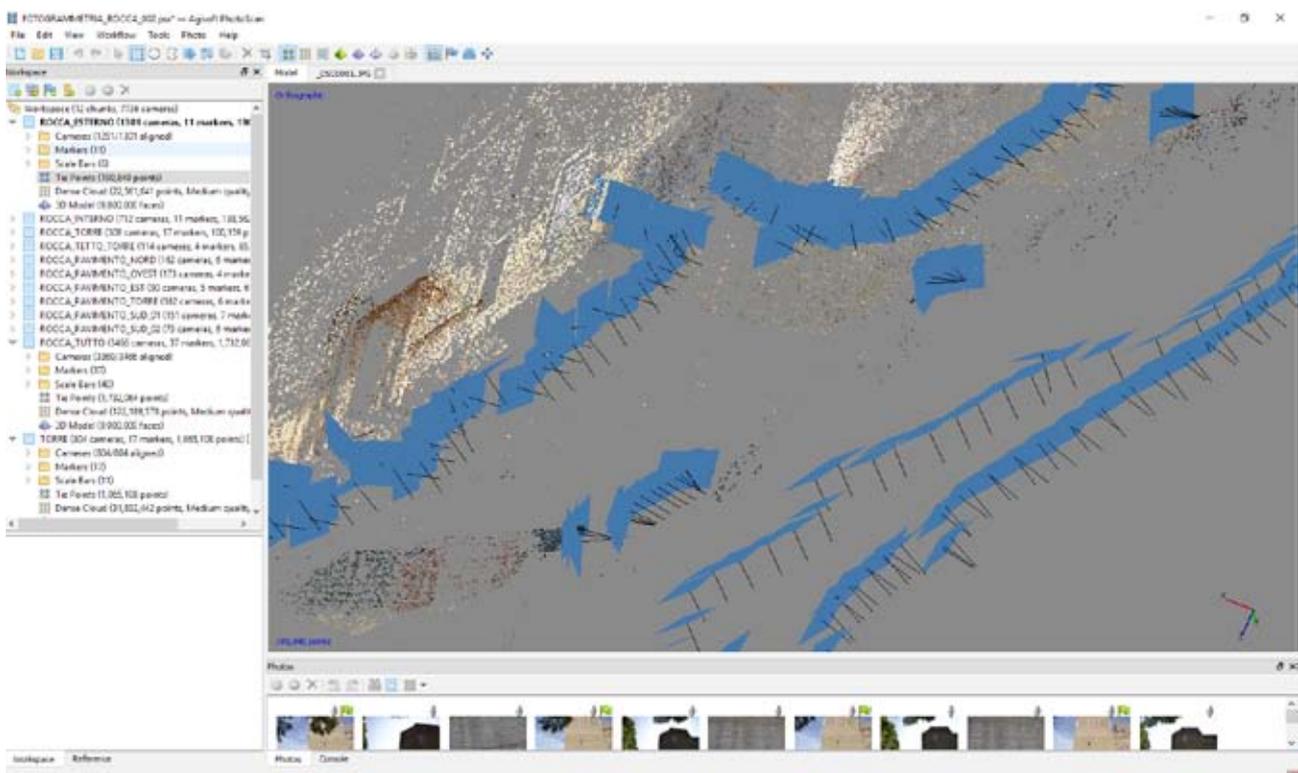


Fig 3.21 Nuvola sparsa e foto allineate - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

di calibrazione della lunghezza focale della fotocamera  $f$  e altri parametri addizionali usati per correggere errori legati alla distorsione della lente, mentre i secondi consistono nella posizione nello spazio della camera e nelle tre rotazione del centro prospettico rispetto all'origine del sistema di riferimento.

Per poter utilizzare una fotocamera ai fini metrici e per un'accurata restituzione 3D occorre calibrare lo strumento, che per la maggior parte delle fotocamere digitali amatoriali deve essere eseguita periodicamente dall'utilizzatore, e uno strumento è definito calibrato quando si conosce con esattezza la lunghezza focale e il centro di presa prospettico delle immagini.

Calibrando lo strumento si possono ottenere risultati con un'accuratezza fino a 10 volte superiore rispetto alla stessa restituzione senza calibrazione, perché la calibrazione permette di determinare la deviazione geometrica fra la realtà e il sistema di acquisizione.

La calibrazione si effettua utilizzando target con posizione ben precise in uno spazio tridimensionale, che vengono fotografati ad alta risoluzione, oppure utilizzando anche punti fisse dell'ambiente con una precisione inferiore, e per migliorare questo secondo procedimento, senza target, è possibile inserire una misura nota tra due punti nello spazio per dare una corretta scala metrica all'oggetto.

Poi vengono determinati i parametri di orientamento esterno delle immagini calcolato con la procedura di bundle adjustment e il principio della collinearità, aggiungendo i parametri aggiuntivi calcolati nella fase precedente di calibrazione.

Una volta determinati i parametri di calibrazione e orientamento si passa alla fase di restituzione 3D nella scena attraverso ulteriori misuri di punti

omologhi tra le immagini che vengono individuati nelle zone più salienti della scena da restituire in modo da poterle definire con linee e superfici, soprattutto in campo architettonico.

Recenti sviluppi nel campo della correlazione automatica di immagini testimoniano le grandi potenzialità del metodo fotogrammetrico per derivare informazioni 3D dettagliate e precise a diverse scale, paragonabili a quelle ottenute con i sensori ottici attivi.

Una volta estratte le corrispondenze tra le immagini, le coordinate 3D dell'oggetto vengono calcolate utilizzando nuovamente le equazioni di collinearità e a secondo del numero e densità di punti 3D restituiti, si derivano nuvole di punti dense o sparse.

L'insieme di punti viene di solito segmentato o convertito direttamente in una superficie poligonale (mesh), e poi, per una visualizzazione fotorealistica, il modello geometrico viene texturizzato, proiettando direttamente le immagini o creando un'ortofoto.

#### **3.4.4 SOFTWARE PER CREARE E GESTIRE LA NUVOLA DI PUNTI**

Nel caso di studio della Rocca di Reggiolo le foto sono state scattate con una macchina digitale reflex Nikon, seguendo le procedure e la metodologia sopra indicata, e servendosi di un cavalletto per una migliore stabilità durante lo scatto delle immagini

Successivamente le immagini raccolte, circa 5000, sono state calcolate con un software di elaborazione fotogrammetrica, Agisoft Photoscan, che ha gli strumenti adatti per allineare e trovare la posizione delle macchine fotografiche e può anche generare nuvole sparse e dense di punti e inoltre può restituire superfici poligonali (mesh), ortofoto e modelli foto realistici con l'inserimento delle texture raccolte dalle foto stesse.

Le foto devono essere rinominate in sequenza con gli scatti, e inoltre vanno poi divise all'interno del software Photoscan, in chunk in modo da poter essere analizzate separatamente, ovviamente poi i chunk possono essere allineati gli uni agli altri ed uniti, più punti in comune ci sono più l'operazione risulta facile.

#### **3.4.4.1 ALLINEAMENTO FOTO: NUVOLA SPARSA E DENSA**

All'interno di Photoscan si inseriscono le immagini per chunk, cioè porzioni di lavoro, il software non carica fisicamente le immagini ma soltanto i riferimenti ad esse, poi la prima operazione che compie è quella di allineare le immagini, cioè cerca in tutti gli scatti dei punti comuni, li identifica e poi cerca corrispondenze in altre foto e itera questa operazione fino a simulare l'esatte posizione della macchina da presa che ha fatto quegli scatti.

Dopo aver allineato le immagini e simulato la posizione delle fotocamere dispone i punti con i quali ha acquisito "confidenza", cioè dei quali ha una buona sicurezza della loro reale posizione, all'interno di uno spazio tridimensionale e genera quella che viene definita nuvola sparsa di punti, che oltre ad avere caratteristiche geometriche conserva anche l'informazione colorimetrica.

Poi è possibile iterare tale operazione per raggiungere la nuvola densa, che partendo dalle immagini già allineate è in grado di raccogliere molti più punti dalle foto e può restituirne un insieme più fitto detto appunto nuvola densa, che risulta molto più definita e dettagliata rispetto a quella precedente.

#### **3.4.4.2 DIVISIONE DEL MODELLO: CHUNK, POINT MARK E ALLINEAMENTI**

Per poter lavorare più agevolmente, e per ridurre il carico di lavoro per

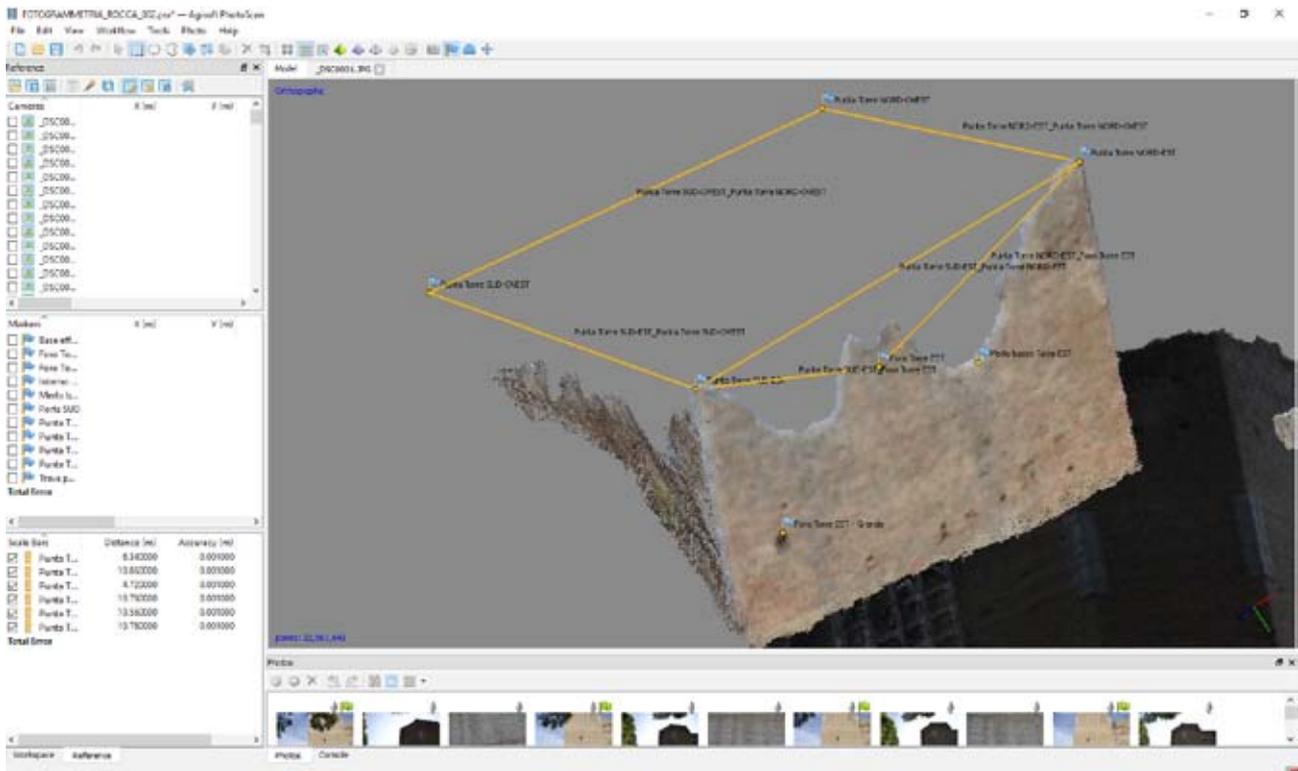


Fig 3.22 Point Mark e Scale bar sulla cima della torre- Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

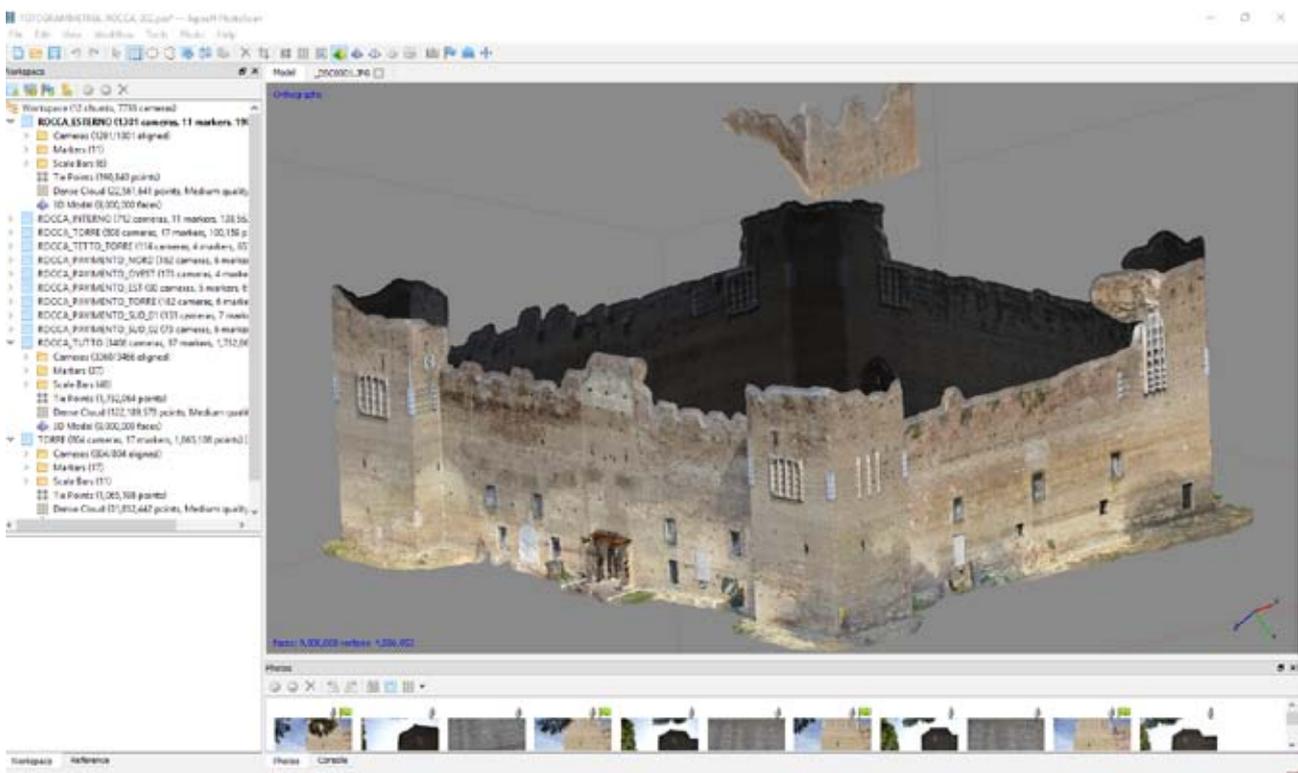


Fig 3.23 Superficie (mesh) dell'esterno della Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

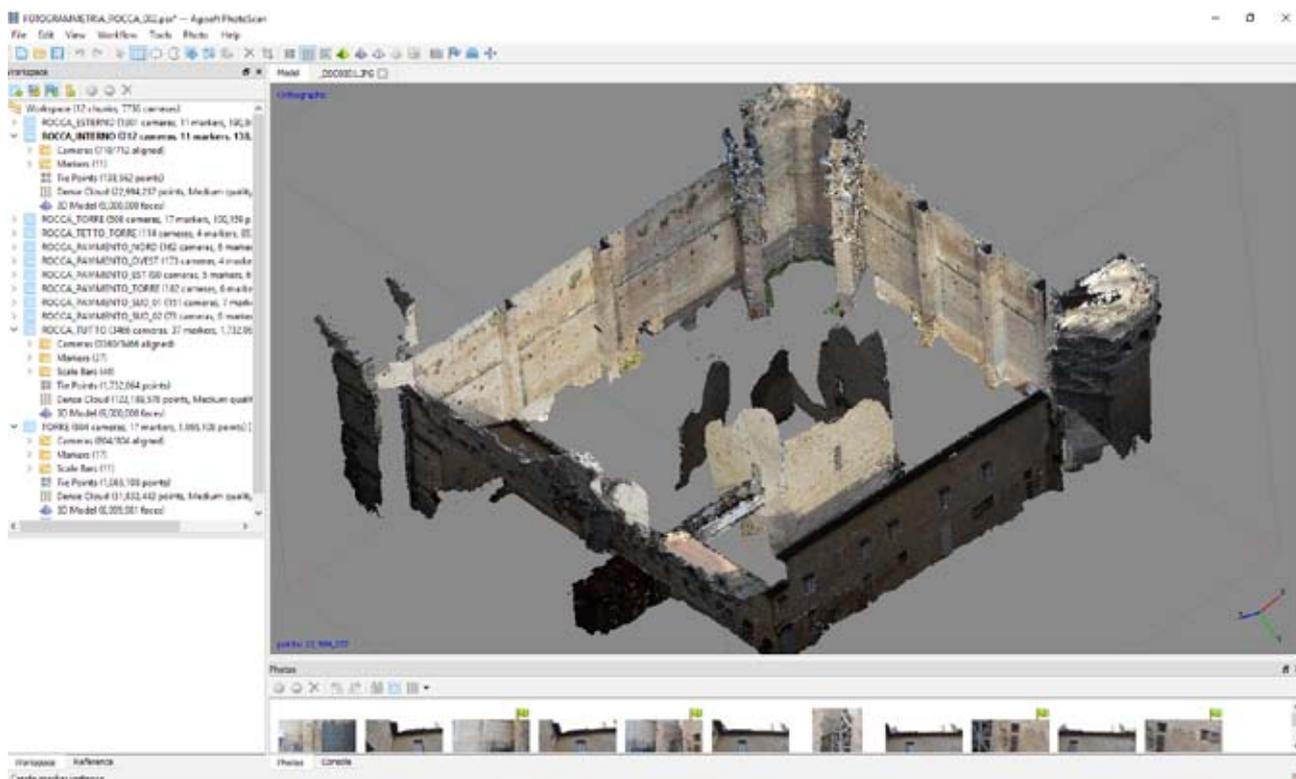


Fig 3.24 Nuvola densa interno Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

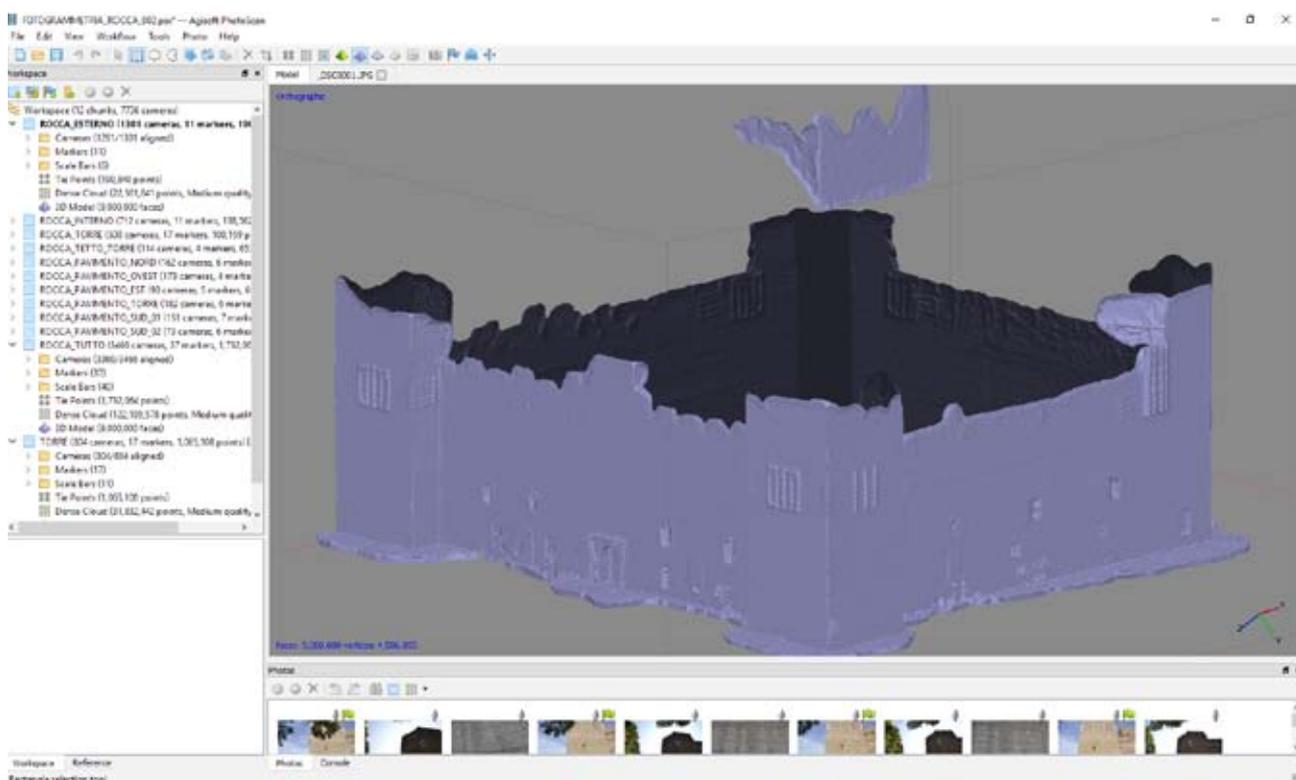


Fig 3.25 Mesh densa tessitura dell'esterno della Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

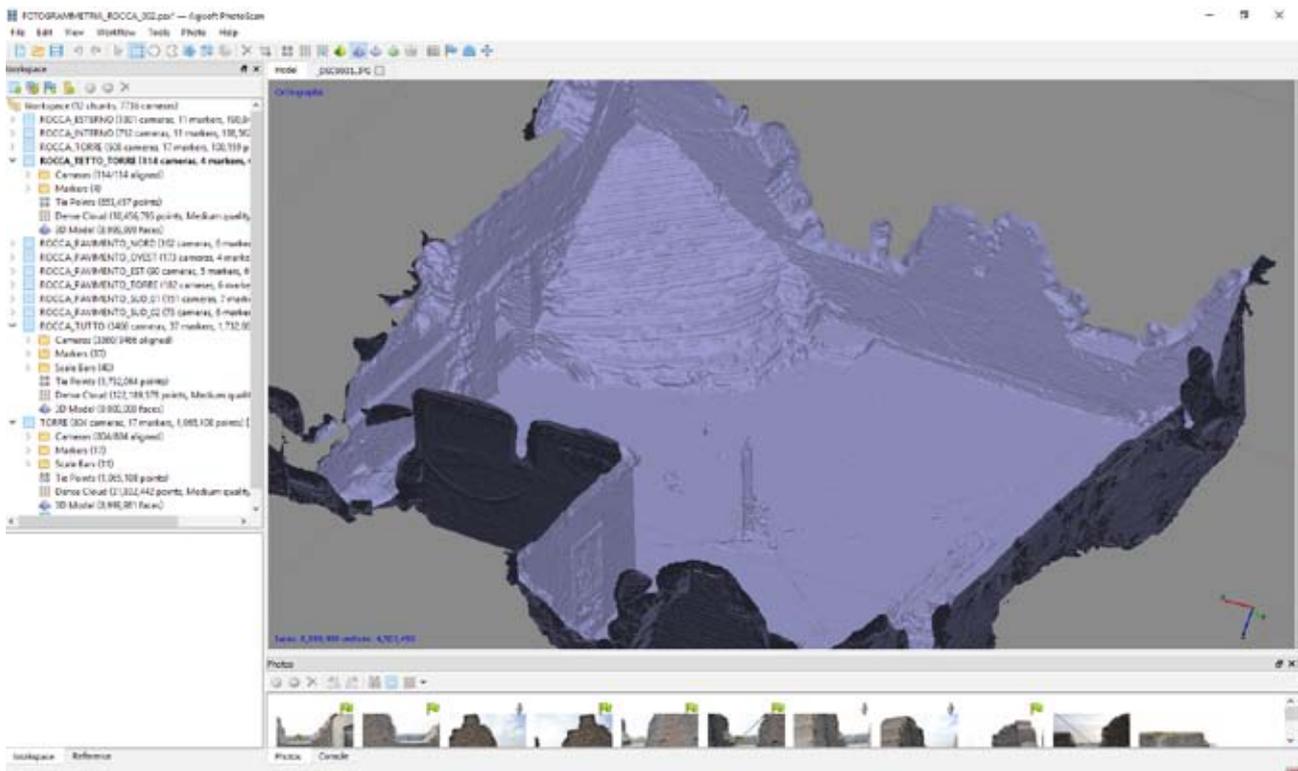


Fig 3.26 Superficie (mesh) tetto torre senza tessitura - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

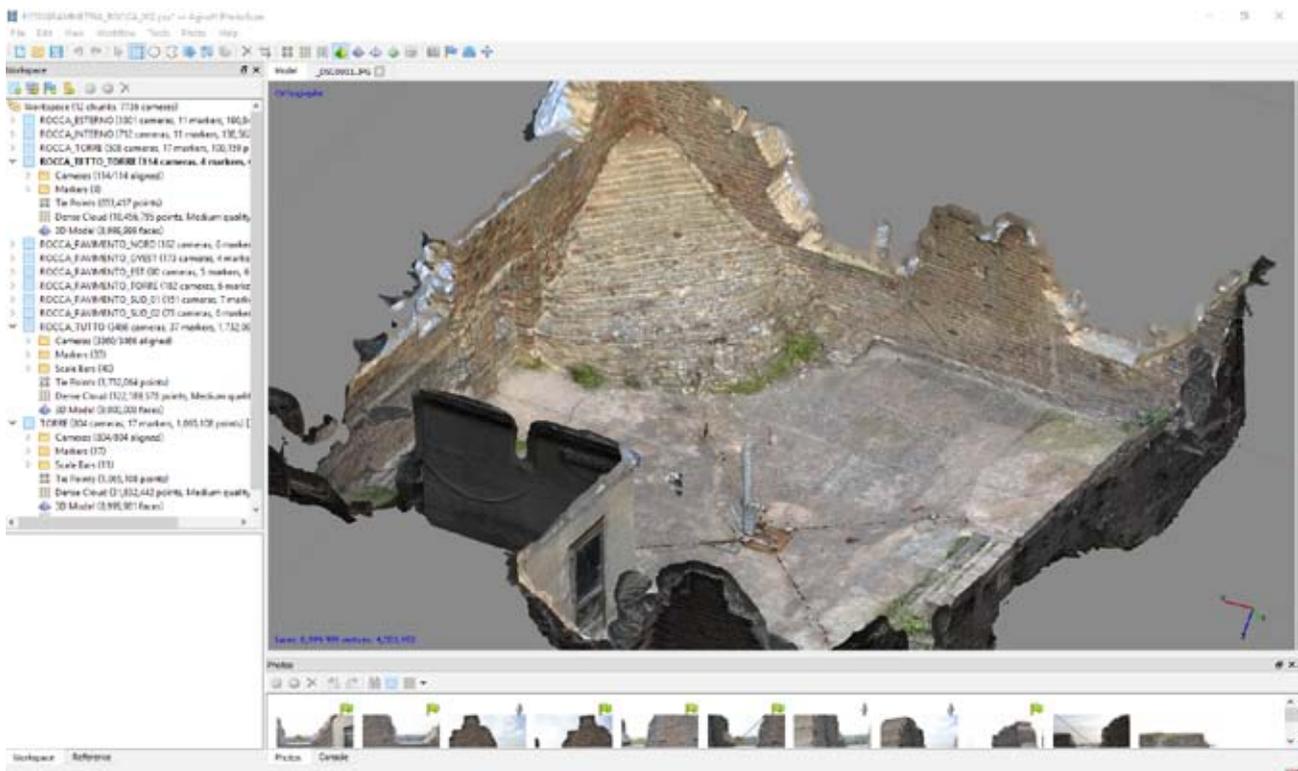


Fig 3.27 Superficie (mesh) tetto torre con tessitura - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

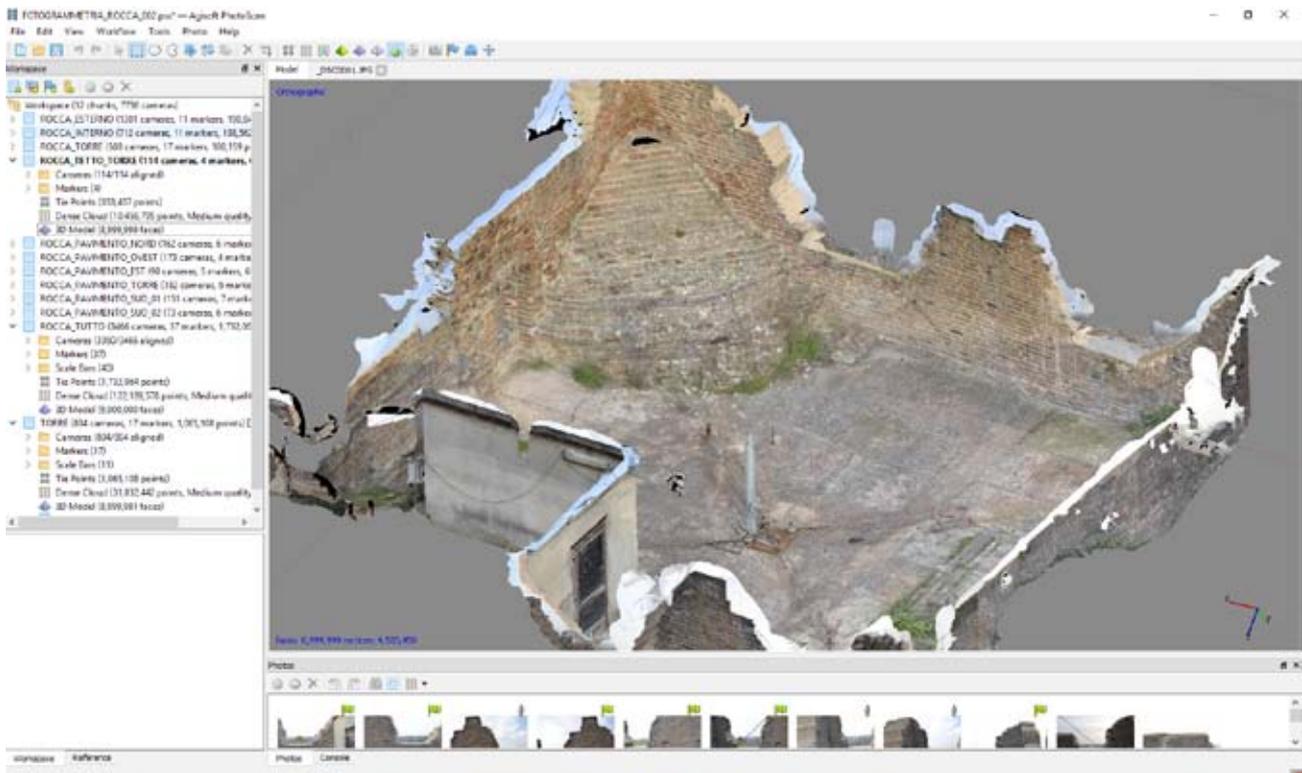


Fig 3.28 Foto reiserite sulla mesh (texturing) - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

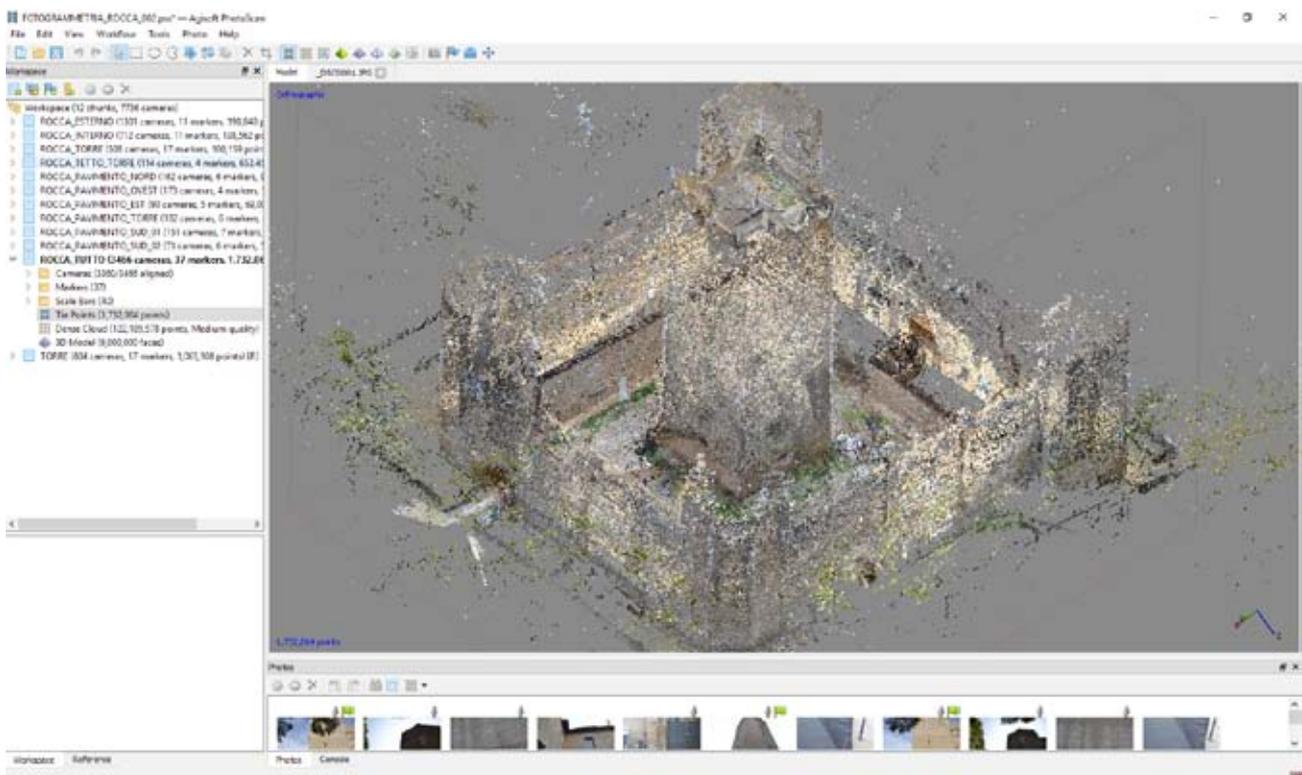


Fig 3.29 Nuvola sparsa intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

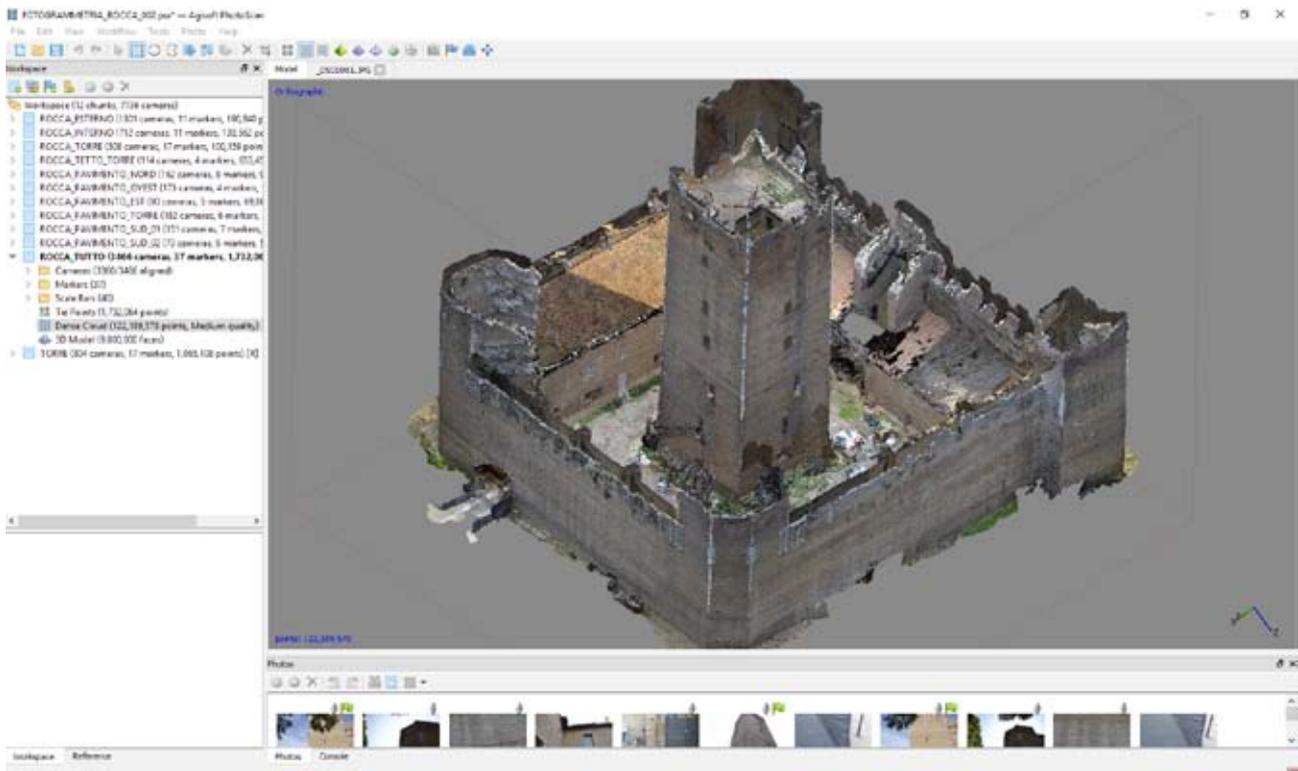


Fig 3.30 Nuvola densa intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

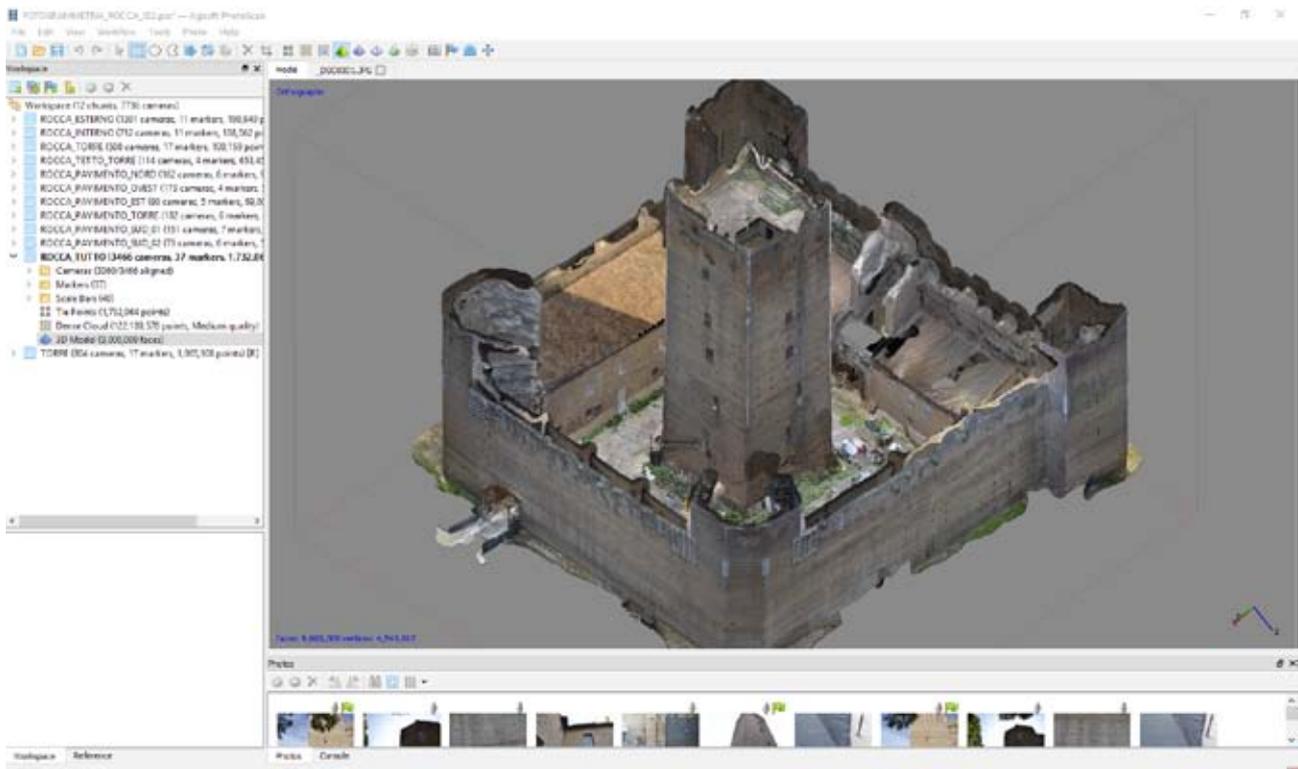


Fig 3.31 Superficie (mesh) con tessitura intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

il PC durante le operazioni di allineamento, si divide l'area di lavoro in chunk, cioè in porzioni, che hanno ognuno una quantità ben determinata di fotografie da analizzare, e spesso alcune foto si ripetono tra i diversi chunk.

In questo modo si generano separatamente sia le nuvole sparse che le nuvole dense del modello e si ottiene anche un allineamento più dettagliato in quanto c'è meno dispersione di punti tra le varie foto che vengono analizzate per generare le varie nuvole.

In qualsiasi modo si siano generate le nuvole poi occorre "pulirle" da tutti quegli elementi che non c'entrano con l'edificio ma sono stati erroneamente inseriti nelle nuvole dal software, spesso si tratta di alberature, ostacoli su terreno o anche il cielo nelle porzioni sommitali degli edifici.

Nel caso della Rocca i chunk sono stati suddivisi in area esterna, area interna, torre e pavimentazione, a suo volta divisa in diversi settori per migliorare la composizione delle nuvole dense di punti e per favorire il calcolo da parte del PC diminuendo il numero di operazioni da eseguire.

All'interno della nuvola di punti, sia densa che sparsa, è possibile definire dei punti manualmente, dopo che le foto sono state allineate, tali punti sono i così detti "point mark", e per posizionarli si apre una foto, e si definisce un nuovo marcatore, segnato con una bandierina e poi si cerca lo stesso punto in altre foto che lo rappresentano, e man mano che si definisce lo stesso marcatore, al quale è possibile dare un nome, in molte altre immagini il software diventa sempre più confidente con quel punto e comincia ad ipotizzarne la posizione da solo in altre foto simili e poi lo posiziona nello spazio tridimensionale.

Possono essere inseriti tutti i marcatori che si vuole e tra due diversi

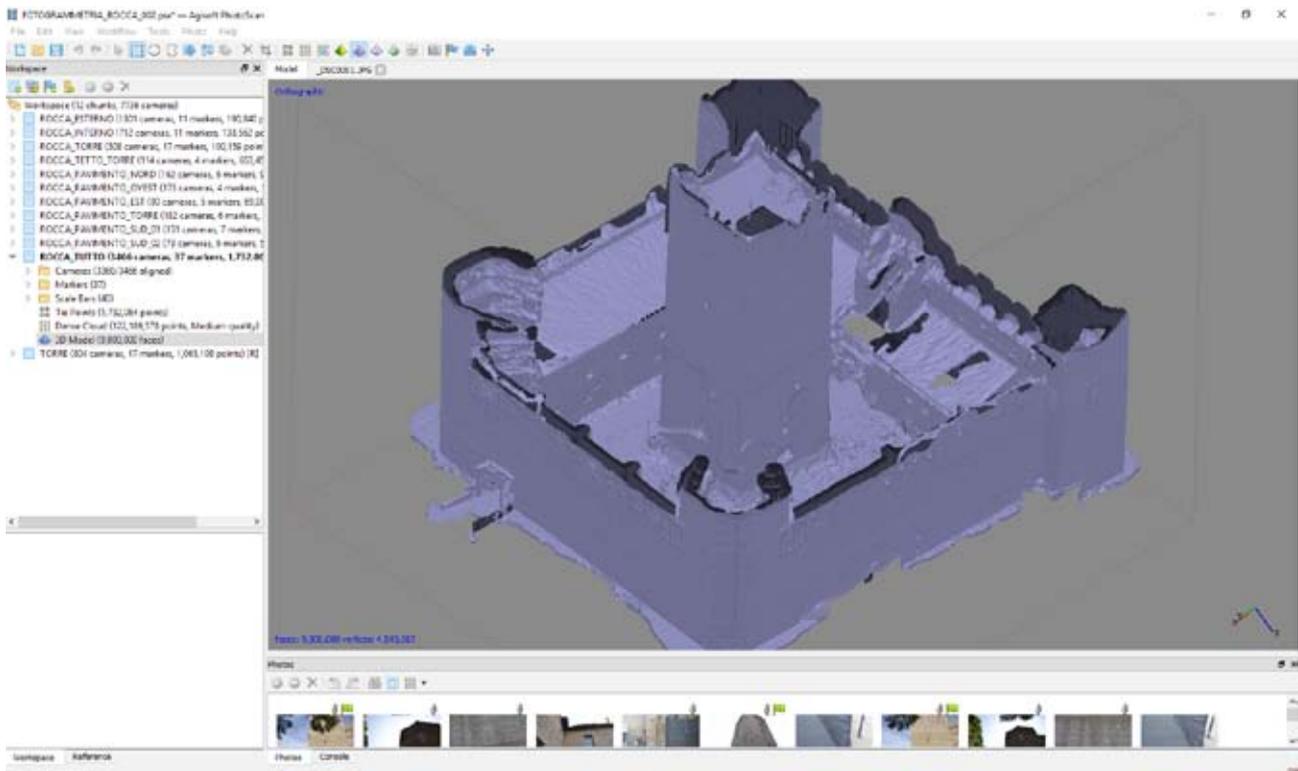


Fig 3.32 Superficie (mesh) senza tessitura intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

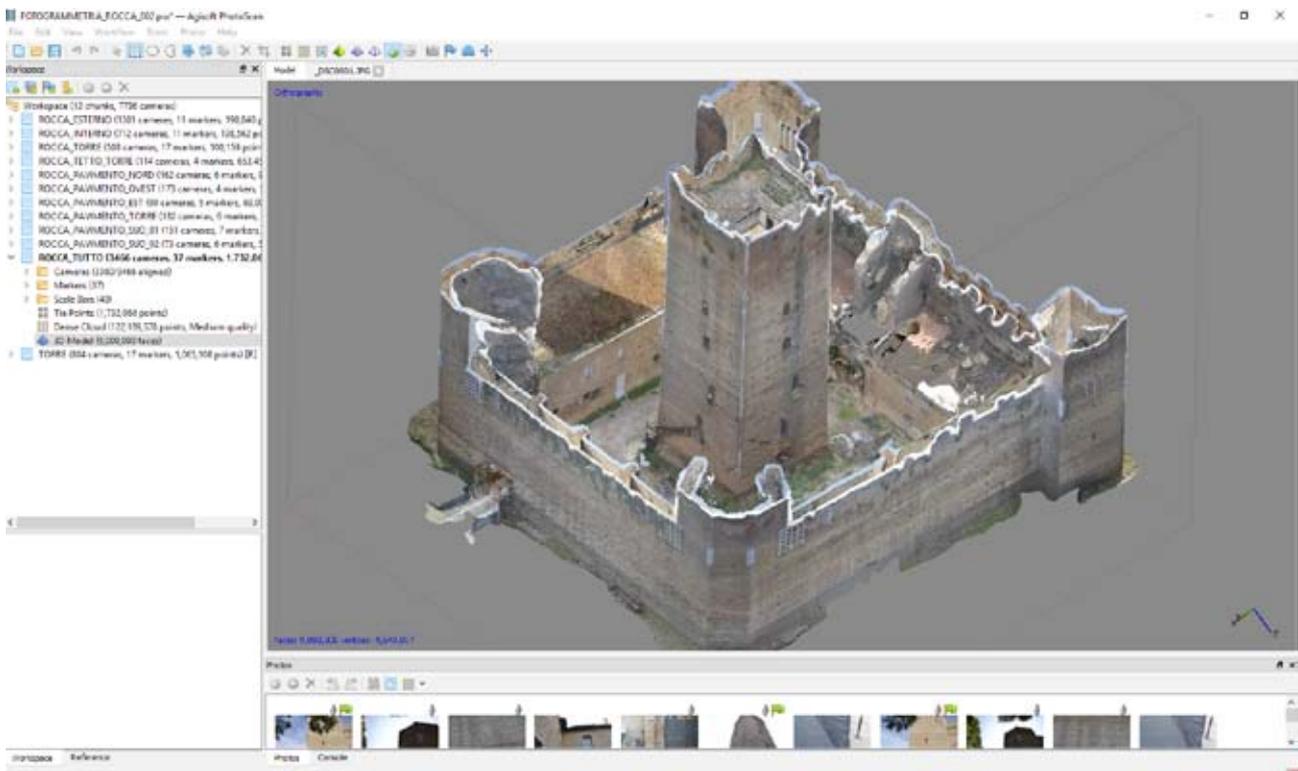


Fig 3.33 Foto reiserite sulla mesh (texturing) intera Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

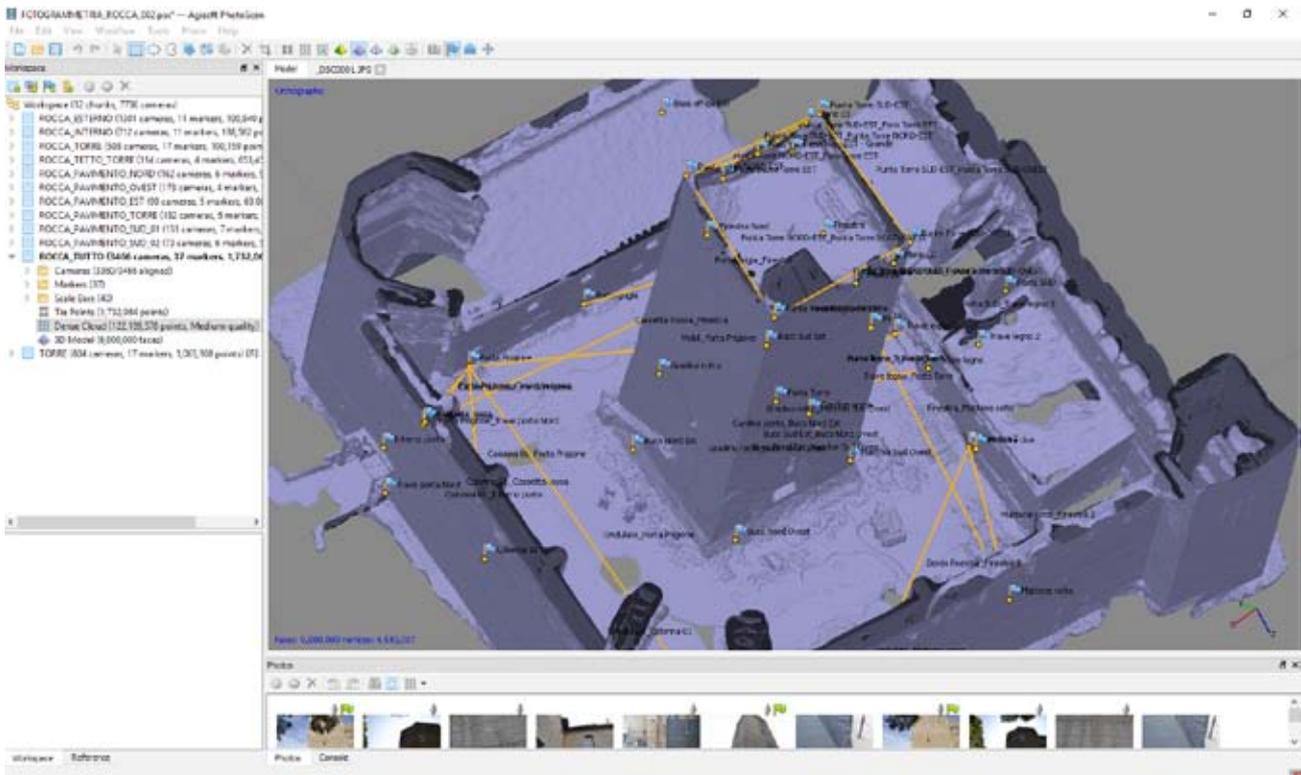


Fig 3.34 Point mark e scale bar intera Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

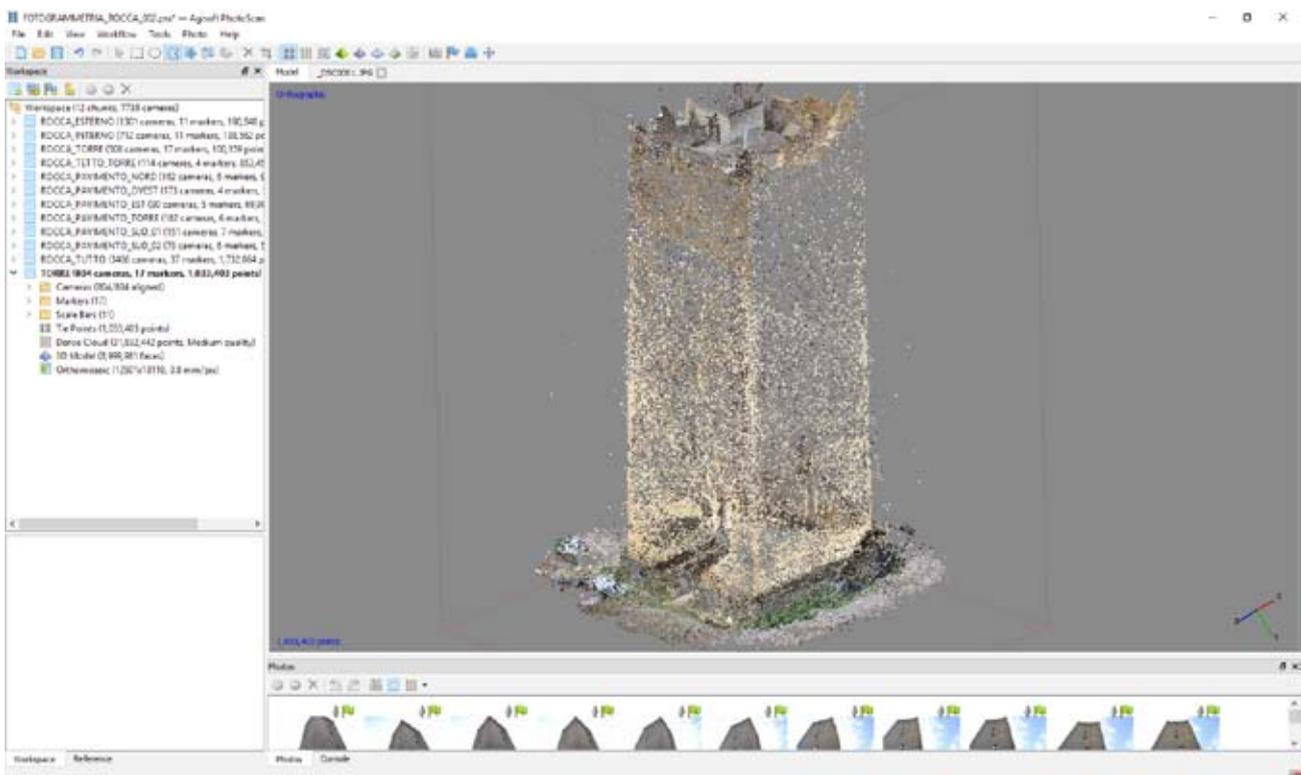


Fig 3.35 Nuvola sparsa torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

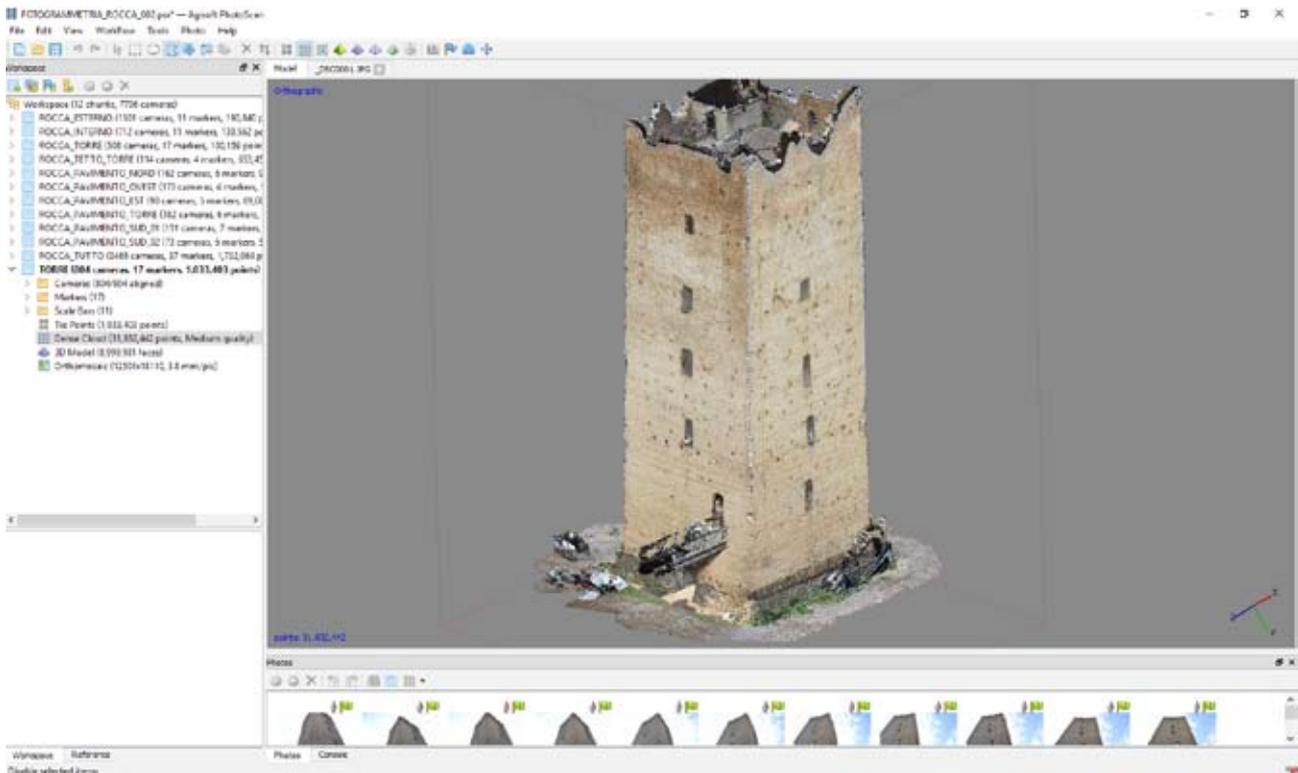


Fig 3.36 Nuvola densa torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

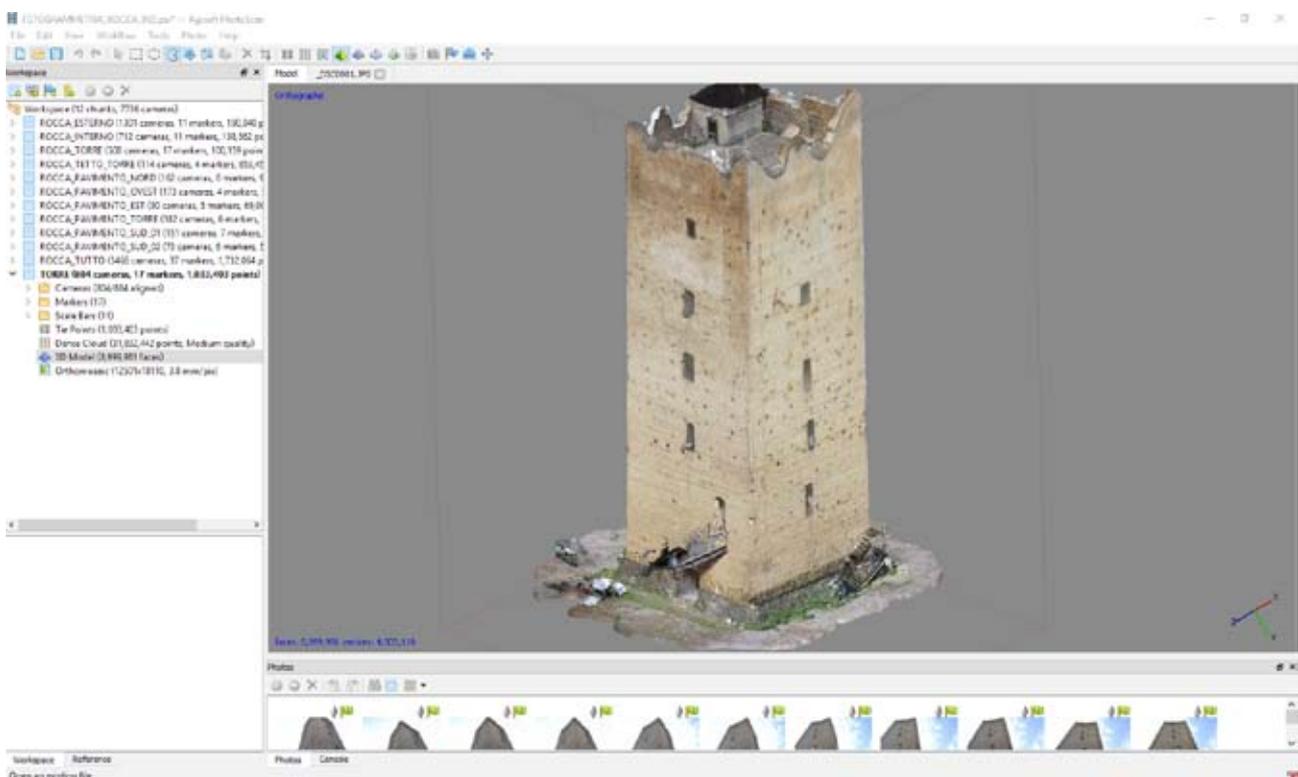


Fig 3.37 Superficie (mesh) con tessitura torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

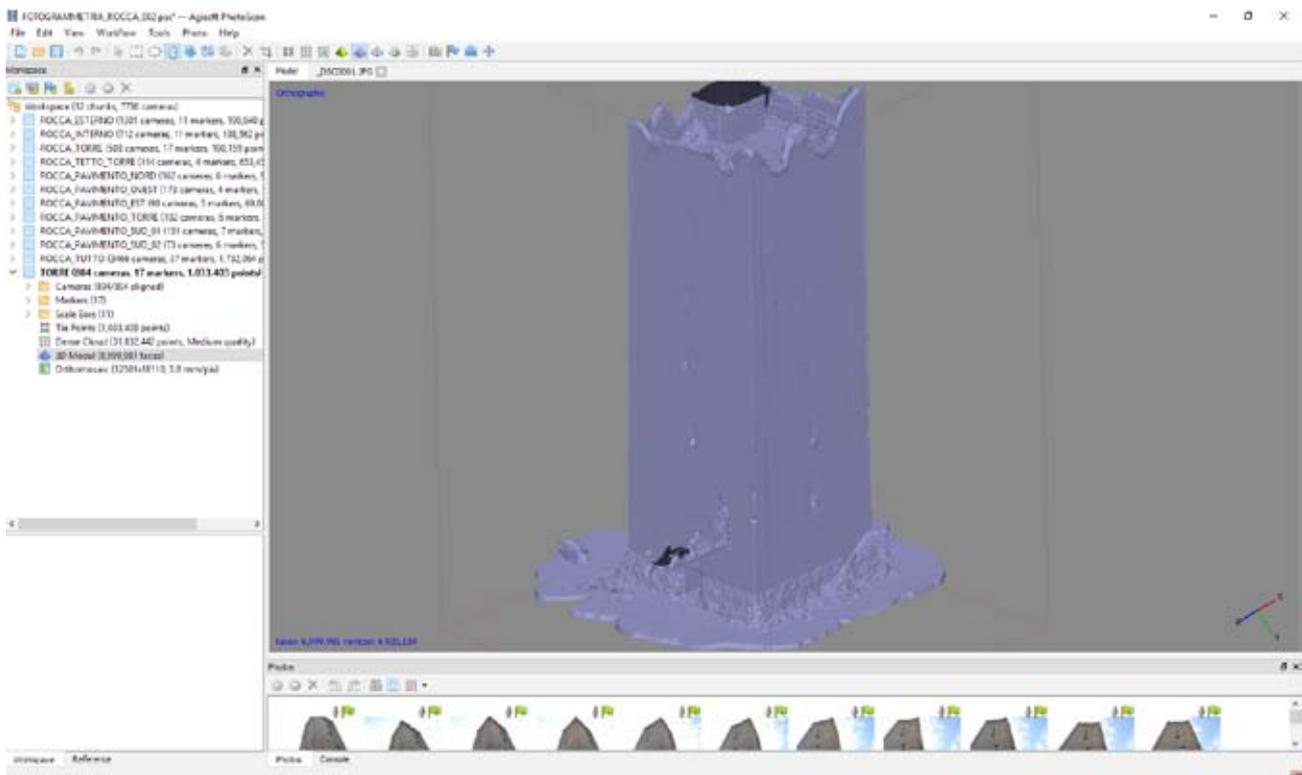


Fig 3.38 Superficie (mesh) senza tessitura torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

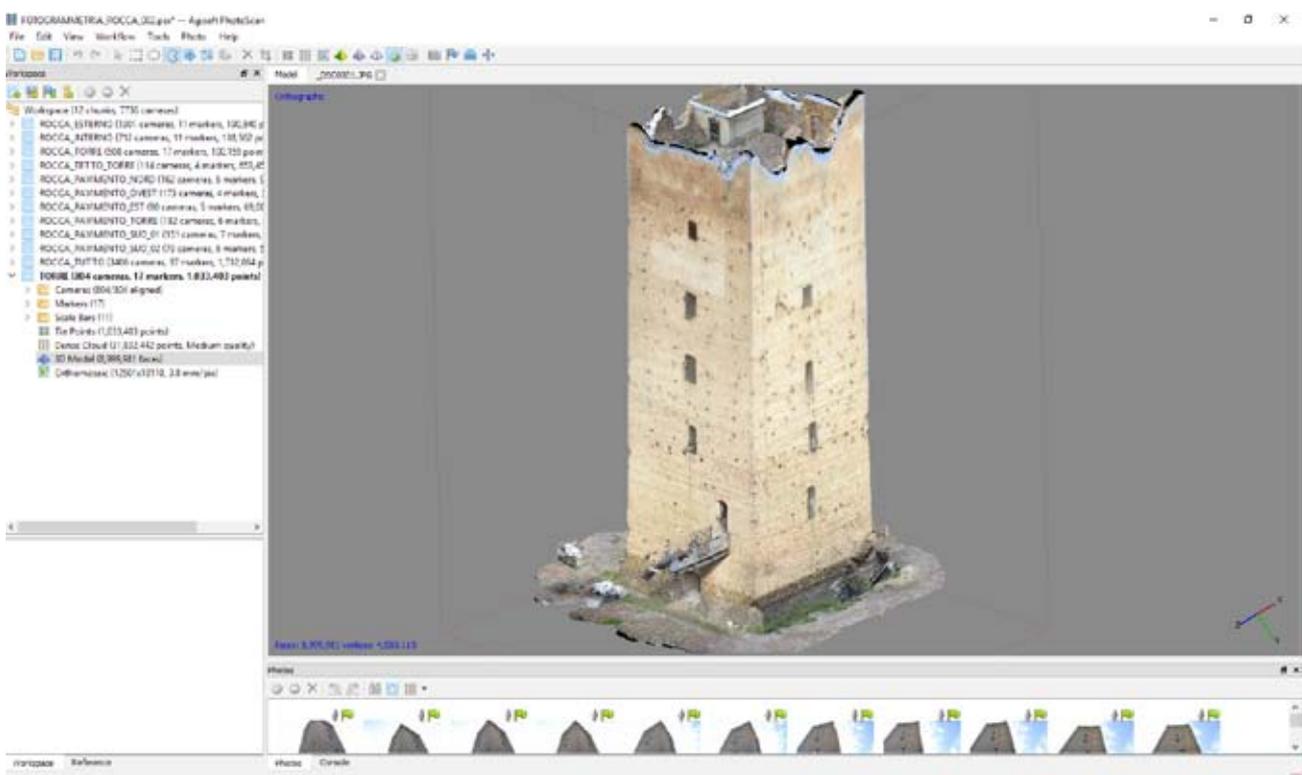


Fig 3.39 Foto applicate alla superficie (texturing) torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

marcatori è possibile inserire una scala metrica, in modo da poter aggiungere delle misure note per scalare l'intero modello in modo corretto in funzione di questa misura.

Inoltre se in diversi chunk si identificano gli stessi marcatori, cioè si da lo stesso nome, è possibile utilizzarli come punti di riferimento per poterli unire tra loro, in questo modo l'operazione risulta abbastanza rapida e facile e si possono generare altri chunk derivati dall'unione dei precedenti, dove le varie nuvole di punti, sia sparse che dense di uniscono in una unica che contiene tutti i punti che derivano dalle altre.

#### **3.4.4.3 CREAZIONE MODELLO UNICO: MESH, ORTOFOTO E TESSITURA ELEMENTI**

Dopo aver unito i chunk, o anche per ognuno di essi, è possibile generarne uno nuovo che risulta essere l'unione di tutti quelli precedenti, e può essere gestito come tutti gli altri con le stesse funzioni e si può sempre utilizzare per misurare delle distanze direttamente sul modello tridimensionale.

Poi è possibile generare una superficie poligonale (mesh) tra tutti i punti della nuvola densa, che definisce una sorta di copertura dell'intera scena, occorre controllare, per un corretto risultato che non ci siano buchi nella superficie, che potranno comunque essere chiusi ma che sono indice di scarsa definizione in quella zona.

La mesh è gestibile come gli altri elementi del modello, ma è il primo oggetto geometrico 3D, se prima erano soltanto punti nello spazio, per quanto dettagliati, questa è una superficie a tutti gli effetti, e può essere esportata in altri ambienti per qualsiasi utilizzo, e su di essa può essere applicata una texture.

Una volta ricavata la Mesh è possibile visualizzare una texture autogenerata da Photoscan che "colora" la superficie prelevando i dati dalle foto,

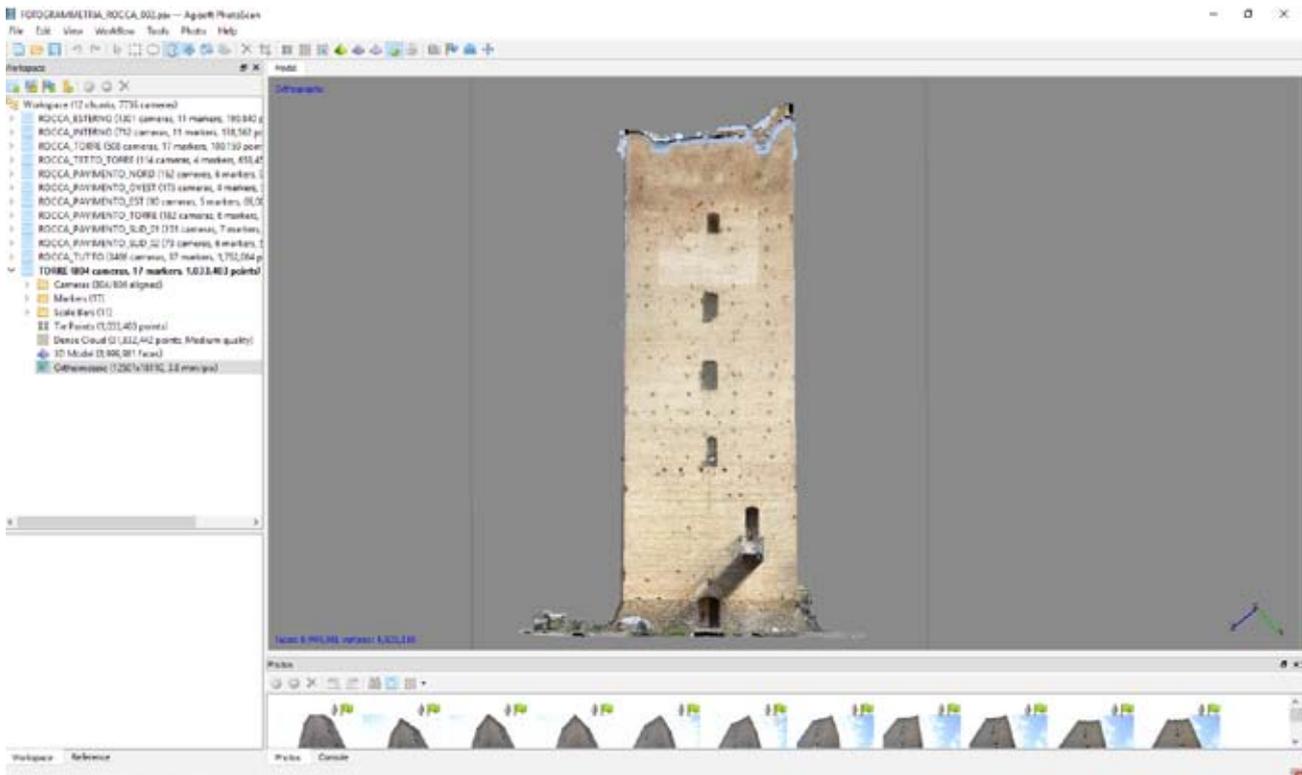


Fig 3.40 Facciata sud in vista ortografica torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

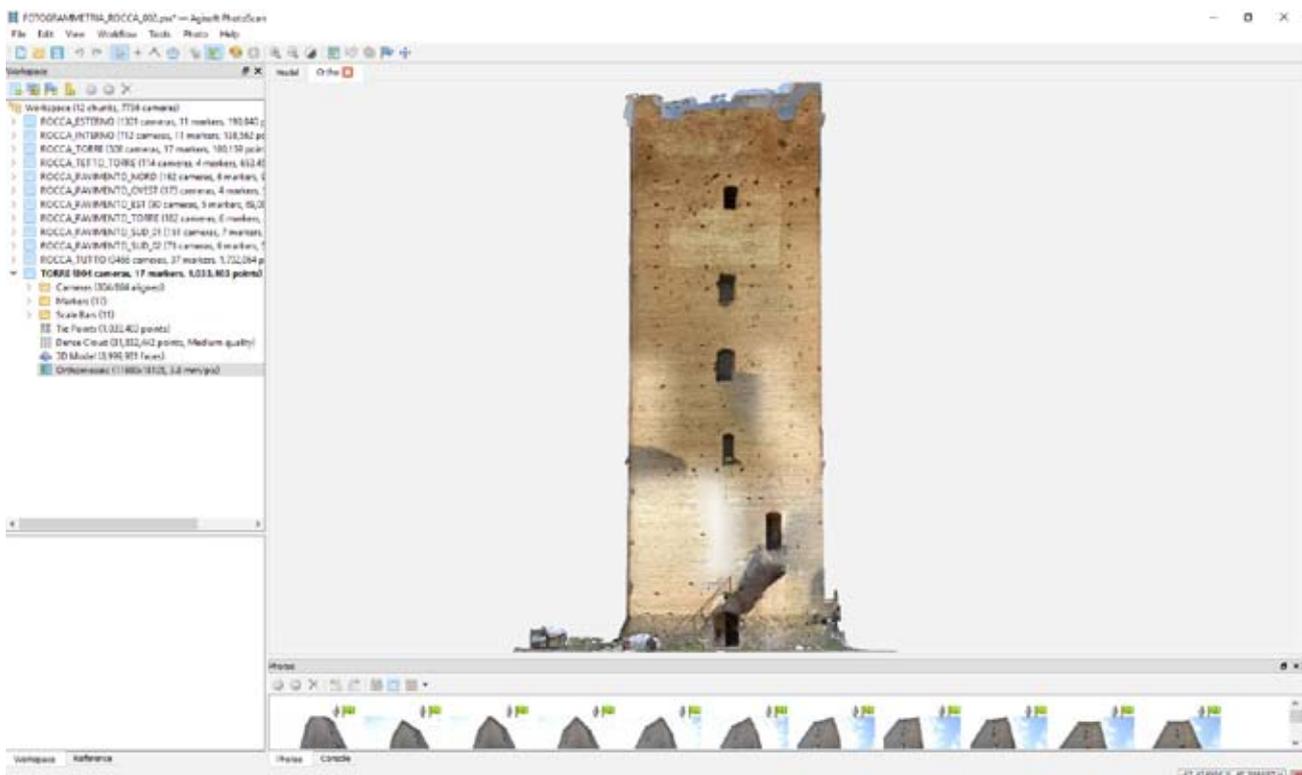


Fig 3.41 Ortofoto calcolata prospetto sud torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan.

facendo una media tra i colori e quindi sfumando la tessitura che risulta quindi essere falsata rispetto a quella reale, crea cioè un orto mosaico che può essere esportato come immagine.

Un'altra funzione di Photoscan è quella di ricavare dalle foto che si sono utilizzate per generare tutto il modello, le tessiture dei vari elementi 3D che compongono l'edificio rilevato, e la va a posizionare sulla mesh, in pratica va ad incollare le foto riposizionando gli oggetti nella loro reale giacitura.

In questo modo si ottiene una sorta di rendering foto realistico, detto anche ortofoto, dello spazio tridimensionale dove le immagini sono state ricavate direttamente dagli scatti fatti con la macchina fotografica, i difetti di questa procedura sono legati alle luci e alle ombre che non saranno mai "reali" ma saranno appiccicati sopra agli oggetti.

Infine è possibile esportare le ortofoto, cioè immagini perfettamente ortogonali alle superfici, rispetto a dei piani determinati dall'utente, composte interamente dalle immagini utilizzate per il progetto trasferite in una proiezione ortogonale del modello.



## **3.5 FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA**

Con fotogrammetria digitale aerea si intendono due particolari metodologie di rilievo, una che corrisponde alla fotogrammetria, della quale si è già parlato nel paragrafo precedente, dove il sensore fotografico è applicato su un aereo o comunque su un mezzo che possa volare e trasportare l'apparecchio fotografico o di presa, l'altro sistema riguarda invece un strumento in cui la fotocamera è integrata nell'apparecchio stesso.

Per ora, soprattutto il secondo metodo, è un metodo sperimentale nel quale si utilizzano anche piccoli aerei telecomandati o droni comandati con particolari sistemi di controllo remoto e anche da cellulare, gli apparecchi installati su questi mezzi sono piccole fotocamere o videocamere miniaturizzata ad alta risoluzione come per esempio le GoPro.

### **3.5.1 DRONE, VIDEO E RILIEVO AEREO**

Oggi giorno con la diffusione dei droni, e con la notevole riduzione del loro prezzo sul mercato, sta crescendo l'idea di poterli utilizzare per operazioni di rilievo, in quanto sono decisamente maneggevoli e versatili, ed hanno una stabilità molto elevata.

Si installa su un drone una telecamera di piccole dimensioni, spesso una GoPro, sia per compattezza che per robustezza e versatilità, con la quale si registrano dei video che possono essere visualizzati in diretta dal cellulare mentre si sta compiendo il volo.

Questa tecnologia si affianca a quella che è già stata analizzata in precedenza, che riguarda i sistemi di fotogrammetria da aereo, cioè dove si pongono dei sensori che campioneranno il terreno sotto di loro a strisce più o meno grandi, sufficienti per ricevere un'informazione di dettaglio di quel particolare lotto.

In questo ultimo caso i sensori di presa sono fisicamente installati sull'aereo e da determinate quote, e posizione, si fotografa il terreno sottostante, ma questo è un processo lento e costoso.

### **3.5.2 FOTO DA VIDEO PER LA FOTOGRAMMETRIA**

Una volta che si ottiene un video, con un determinato percorso intorno all'oggetto da rilevare è possibile estrapolare da esso delle immagini, cioè dei fotogrammi, che possono essere considerati come vere e proprie fotografie, e se ne possono estrarre quanti se ne vuole, tenendo conto che ogni secondo di video vengono salvati 24 fotogrammi.

Tali immagini conservano anche le informazioni di posizionamento spaziale del drone e quindi sono già orientate, e con gli ultimi aggiornamenti software, è possibile trasferire per esempio a Photoscan l'informazione di orientamento delle camere, in modo da agevolare notevolmente l'allineamento delle foto.

Inoltre è possibile impostare la video camera per fare delle foto ad intervalli di tempo regolari, oppure ogni volta che si manda un comando specifico, tutto questo durante il volo del drone, che nel frattempo registra informazioni di posizionamento con un altimetro, e con un ricevitore GPS per la geolocalizzazione.

Infatti il drone ha bisogno di satelliti per poter volare, per avere un controllo remoto in caso di guasto, e nel frattempo li utilizza per essere georeferenziato, in modo che anche le foto o i video catturati dalla sua videocamera contengano la stessa informazione.

Il video che si ottiene in questo modo è ad alta risoluzione, e essendo la videocamera assolutamente bilanciata da un giroscopio presente sul drone, le riprese sono perfette per estrapolare immagini utili per creare un modello fotogrammetrico.



Fig 3.42 Drone quadricottero DJI Phantom 3 Advanced - vista del modello e in azione sul campo.



Fig 3.43 Porzione del filmato eseguito con il drone con indicazioni in sovrapposizione dei dati di volo.

Questo tipo di rilievo aereo può essere molto utile per recuperare informazioni di oggetti molto in alto che difficilmente si possono raggiungere con una fotocamera terrestre, ma presenta altri tipi di problemi, per esempio contro sole, e verso luci molto intense le immagini vengono “bruciate” o sovraesposte, se la temperatura è troppo alta o troppo bassa il drone non si alza in volo, e l'autonomia della batteria è inferiore ai 20 minuti.

Tutto sommato è un buon compromesso per la rapidità di raccolta dei dati, sta quindi prendendo sempre più piede come metodo parallelo alla fotogrammetria terrestre, con la quale attualmente collabora a stretto contatto.

## **3.6 METODI A CONFRONTO**

Le metodologie descritte nei paragrafi precedenti, sensori ottici attivi e fotogrammetria, sono le più importanti tecniche di rilievo 3D attualmente disponibili, e con entrambe si possono raggiungere risultati molto positivi, ma nonostante questo le variabili che afferiscono al rilievo dell'architettura, e degli edifici esistenti in genere, sono talmente vaste che è molto difficile soddisfarle tutte con un solo metodo.

Ogni singolo sistema di rilievo è infatti unico, sia nella modalità di acquisizione che nella tipologia di dati raccolti, e inoltre entrambi presentano peculiarità specifiche non presenti negli altri sistemi, e questo è un fattore di forza nel caso che l'applicazione per cui vengono utilizzati ricalchi esattamente le prestazioni che possono garantire, altrimenti, in caso contrario, ne limita molto l'utilizzo esclusivo.

Spesso, nel caso del rilievo architettonico, le specificità di un oggetto sono così complesse che è quasi impossibile avere uno strumento o un metodo di rilievo che le posseda tutte allo stesso momento, e questo limita molto l'uso esclusivo di un sistema piuttosto che un altro e da ciò nasce la necessità di utilizzare contemporaneamente più metodi in modo complementare per raggiungere l'obiettivo desiderato.

La diversa capacità di acquisire dati tridimensionali e di estrarre e gestire i dati 3D, come diverse rappresentazioni dell'oggetto reale, sottolinea una forte complementarità tra i vari metodi e la possibilità di sfruttare al meglio le potenzialità di ogni singolo strumento.

In tutti in casi di rilievo molto complesso, in cui il livello di dettaglio è elevato, l'integrazione fra i diversi sistemi di acquisizione tridimensionale permette di ottenere il miglior risultato possibile in termini di precisione del singolo dato, di accuratezza globale nonché di ottimizzazione

dell'intero processo dal rilievo alla modellazione 3D, e nel caso specifico di studio si è deciso di utilizzare tale strategia di lavoro.

Uno dei principali temi di ricerca riguarda lo studio di nuovi metodi per rendere compatibili i dati che si possono estrapolare con le varie tecniche di rilievo tridimensionale, per poter arrivare ad una modellazione integrata, automatica o semiautomatica, dove sia possibile gestire contemporaneamente le nuvole di punti provenienti da varie fonti, in modo che l'una possa colmare le mancanze dell'altra.

Uno dei principali motivi per cui si vogliono integrare più metodi, che utilizzano diversi strumenti, è quello di aggiungere informazione ad un modello digitale, che diventa tanto più dettagliato e accurato tante più sono le fonti e per poter eseguire successivamente analisi e verifiche.

Una delle più grandi questioni, tema di discussione, è la differenza tra qualità ed accuratezza del singolo dato rilevato con l'accuratezza globale del modello, mentre la prima è strettamente legata allo specifico strumento utilizzato e alle capacità del rilevatore la seconda è legata ad un processo complesso di creazione di un modello digitale complessivo che rappresenti il soggetto interessato con misure più precise possibili, utili a rappresentazioni a diversi livelli di risoluzione.

Aggiungere diversi fonti e diversi metodi alla parte di raccolta dei dati può essere utile per accrescere molto l'accuratezza del singolo dato rilevato e l'unione di più sezioni di rilievo concorre a questo scopo, mentre per aumentare l'accuratezza globale occorre evitare di incorrere in errori sistematici nella generazione del modello stesso che si potrebbero propagare andando a inficiare la qualità finale.

La grande potenzialità di questi strumenti, che permettono di ottenere informazioni geometriche e colorimetriche molto più complete di

quelle accessibili attraverso le semplici tecniche di rilievo tradizionale, con tempistiche decisamente inferiori e con un grado di accuratezza decisamente superiore è che può generare copie digitali dei modelli reali con un ottimo livello di tolleranza, relativa in gran parte al dato reale dipendente dal tipo di strumento e al metodo di restituzione scelto.

### **3.6.1 METODI DI RILIEVO A CONFRONTO - PRO E CONTRO**

L'utilizzo della tecnica fotogrammetrica si rivela vantaggiosa quando si ha una limitata possibilità di permanenza nel luogo del rilievo o se l'edificio è descrivibile in maniera sufficiente dalla sua geometria, mentre la grande quantità di informazioni generata dallo scanner e il lungo tempo impiegato nella fase di acquisizione e, in maggior parte, di post-elaborazione dei dati, sono in parte compensati dalla completezza dei dati acquisiti stessi e difficilmente ottenibili con la sola tecnica fotogrammetrica tradizionale, ma le differenze tra i metodi di acquisizione non risiedono solamente nella qualità del prodotto finale, ma anche nell'accuratezza del modello digitale e nel tempo impiegato nella fase di acquisizione ed elaborazione dei dati.

Discorso a parte va fatto per le differenze tra le dimensioni dell'organismo edilizio che si vuole rilevare e le tempistiche di calcolo dei dati, mentre l'elaborazione del dato proveniente dal metodo fotogrammetrico non dipende direttamente dalla grandezza dell'oggetto ma dipende dal numero e dalle dimensioni delle foto scattate, l'utilizzo del laser scanner invece ha una relazione quasi diretta con la mole dell'edificio da rilevare, in quanto il tempo di analisi del dato cresce enormemente con le dimensioni del soggetto del rilievo.

Dal confronto delle due metodologie si evince che la tecnica fotogrammetrica risulta più accurata per edifici di media e grande dimensione, mentre il laser scanner, per oggetti più piccoli, porta ad un

<b>Caratteristiche</b>	<b>Fotogrammetria (Image-Based Modeling)</b>	<b>Laser scanner (Range-Based Modeling)</b>
Costo strumentazione (HW e SW)	Contenuto	Elevato
Maneggevolezza	Ottima	Sufficiente
Tempi per l'acquisizione dei dati	Minori	Maggiori
Tempi per la modellazione	Maggiori	Minori
Informazioni 3D	Da derivare	Dirette
Dipendenza dalla distanza	Indipendente	Dipendente
Dipendenza dalle dimensioni	Indipendente	Dipendente
Dipendenza dal materiale	Indipendente	Dipendente
Dipendenza dalla luce ambientale	Dipendente	In parte/del tutto Indipendente
Dipendenza dalla geometria	Abbastanza dipendente	Indipendente
Dipendenza dalla texture	Dipendente	Indipendente
Scala/metricità	Assente/da fornire	Implicita (1:1 con dato reale)
Volume dei dati	Dipende dalla risoluzione delle immagini e dal tipo di misure	Nuvola di punti densa
Modellazione dei dettagli fini	Buona/ottima	Ottima
Texture	Inclusa	Assente/bassa risoluzione
Rilievo di spigoli	Ottimo	Abbastanza problematico
Analisi quantitative/statistiche	Per ogni punto calcolato	Globale
Software open-source	Molto pochi	Molto pochi

*Fig. 3.44 Tabella riassuntiva di confronto - Russo M., Guidi G., Remondino F., (2011) Principali Tecniche e Strumenti per il Rilievo Tridimensionale in ambito archeologico.*

risultato più completo ed aderente alla realtà, anche in questo caso c'è una forte dipendenza con lo strumento utilizzato.

Appare quindi evidente che le tecniche attive e passive non siano in competizione l'una con l'altra ma che anzi si completino a vicenda, e lavorando insieme possono aumentare notevolmente la qualità e l'accuratezza del dato raccolto soprattutto quando ci si deve confrontare con elementi molto complessi ed eterogenei dal punto di vista geometrico, magari con difficili modalità di accesso.

Il fatto di avere dati acquisiti con metodi diversi porta ad avere un modello finale che contiene informazioni a diversi livelli di risoluzione, tale modello è detto a multi risoluzione, e questo concetto si sposa bene con la modellazione BIM, in quanto si ricalca l'idea che il modello non è solo rappresentazione, di un tipo oppure di un altro, ma è un modo

di interrogare un database, e in questo caso, i dati che si richiede di visualizzare sono il risultato delle campagne di acquisizione dati, ed è possibile leggere il tutto sotto forma di textures, o di informazioni 2D o 3D a seconda delle esigenze.

Inoltre è possibile integrare tali informazioni con altre di origine completamente diversa ma che aggiungono dettaglio, come nomi di oggetti, porzioni di testo visualizzabili direttamente dal modello, o addirittura poter passare in tempo reale dal modello alla nuvola di punti e magari ad una foto specifica scattata in quel punto.

Nella Rocca di Reggiolo, caso di studio di questo lavoro, si è deciso di integrare entrambi i metodi, sia ottico diretto, laser scanner 3D, sia indiretto, fotogrammetria, per ottenere il miglior risultato possibile in fase di modellazione, rendendo fruibili queste informazioni anche in un secondo momento come interrogazione stessa del modello, sia come analisi delle tessiture sia come definizione delle possibili lesioni che riguardano il quadro fessurativo.

L'edificio ha un'ampiezza medio grande, 40 metri di lato per quasi 35 metri in altezza e con la fotogrammetria si sono ottenute nuvole di punti con una buona risoluzione dalla quale si sono poi ricavate mesh ed ortofoto, mentre con il laser scanner 3D si sono ottenuta una nuvola di punti, unione delle varie stazioni, che si è utilizzata come base della successiva elaborazione e modellazione in ambiente BIM, ma come si descriverà meglio in seguito, la scelta di un metodo non precludeva l'altro in quanto non si parla di utilizzo parallelo, ma anche in questo caso si discute di un utilizzo congiunto ed integrato.

Per l'analisi più approfondita delle tempistiche si rimanda al Capitolo 6, dove saranno spiegati in modo più dettagliato i tempi che afferiscono ad ognuno dei due metodi qui messi a confronto.

### 3.6.2 MISURE DALLE NUVOLE DI PUNTI - PRECISIONE E ACCURATEZZA

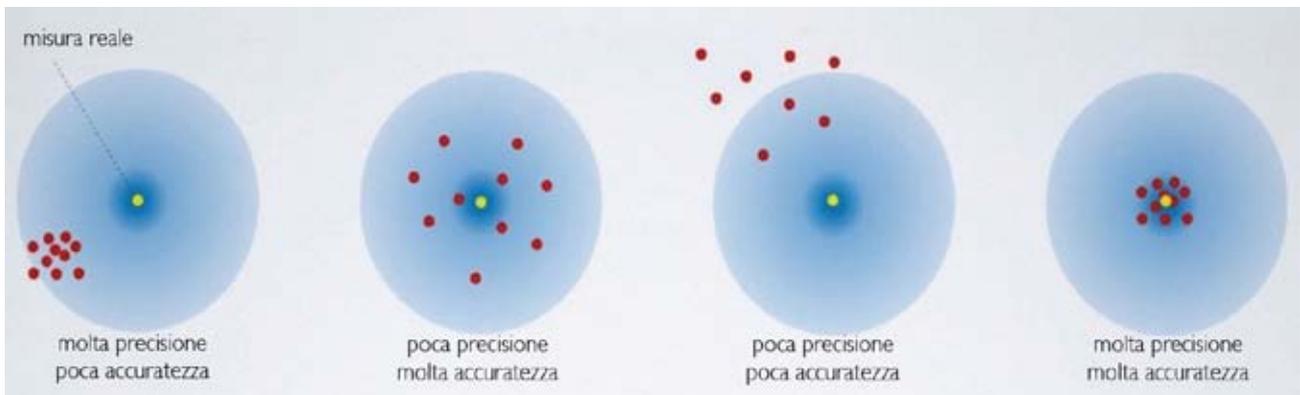


Fig 3.45 differenza tra accuratezza e precisione - Elaborazione S. Garagnani

La nuvola di punti, generata con sensori ottici attivi o con tecniche fotogrammetriche, contiene al suo interno tutte le informazioni geometriche che gli strumenti stessi hanno raccolto sul campo durante la fase di presa, e quindi ogni punto è rappresentato sotto forma di coordinate spaziali in un ambiente digitale 3D.

I punti non sono solo una rappresentazione nello spazio 3D digitale di ciò che è stato rilevato dalla realtà, ma contengono, al loro interno, informazioni geometriche che sono quindi misurabili, è infatti possibile interrogare la nuvola di punti ed estrapolare da essa, altezze, lunghezze, profondità, aree e addirittura angoli tra i vari elementi che la compongono e tali misurazioni, in buona approssimazione, rappresentano i loro corrispondenti nella realtà.

I punti della nuvola contengono anche informazioni colorimetriche e di radianza, cioè quanta radiazione luminosa sono in grado di assorbire o di riflettere, e hanno anche un orientamento nello spazio, in pratica viene definita la normale uscente di un punto a secondo di come è stato rilevato con lo specifico strumento.

Le unità di misura dipendono da come si è importato il modello nello specifico software, e come è stato scalato, dopo aver definito questi valori è possibile procedere con le misurazioni, che verranno restituite con la stessa unità di misura impostata in precedenza e faranno riferimento solamente ai punti effettivamente visibili nello spazio digitale 3D che si rendono “attivi” quando ci si passa sopra con il mouse.

Per quanto riguarda precisione e accuratezza dei dati raccolti si farà un discorso generale per distinguere i due termini ma non si entrerà nello specifico del funzionamento degli strumenti utilizzati o delle loro caratteristiche in quanto non è tema principale di questo lavoro.

**PRECISIONE:** Una misura è tanto più “precisa” quanto più i singoli valori, misurati in condizioni di ripetibilità, si concentrano intorno alla media delle misure effettuate.

**ACCURATEZZA:** l'accuratezza esprime invece l'assenza di errori sistematici nella misura: una misura è tanto più accurata quanto più la media delle misure si approssima al valore vero della grandezza.

In questo modo si possono classificare i punti sia per livello di precisione che per livello di accuratezza, e nel caso specifico di lavoro si è valutato un valore medio per entrambi i parametri considerati per i tutti i punti raccolti.

### **3.6.3 ESPORTAZIONE DELLE NUVOLE DI PUNTI**

Le nuvole di punti, ottenuto con un sistema o con un altro, sono esportabili ed utilizzabili in altri software, sia di gestione diretta di questa tipologia di dati, sia di altri strumenti che le possono utilizzare ma ne hanno una limitata capacità di modifica.

Solitamente il dato della nuvola di punti è un dato “grezzo” e, come detto

in precedenza, occorre un grande lavoro dopo l'acquisizione dei punti stessi eseguita sul campo con specifici metodi e strumentazioni, che spesso non può essere fatto con le stesse applicazioni di gestione della strumentazione utilizzata ma richiedono l'utilizzo di altri software.

Quindi la possibilità di esportare la nuvola di punti su altre piattaforme differenti da quella di acquisizione è di fondamentale importanza, sia per il lavoro di post produzione sia per poterla condividere con altri professionisti che le potrebbero utilizzare per altri scopi e allo stesso tempo si possono rendere disponibili come base di partenza per la modellazione digitale BIM.

La nuvola di punti può quindi essere salvata in diversi formati, .asc, .obj, .pts ecc. a seconda dell'utilizzo che se ne vuole fare, e dal tipo di software con il quale sono state salvate, tali formati devono permettere di trasmettere e archiviare informazioni di un oggetto tridimensionale, composto di punti, disposti nello spazio con specifiche coordinate geometriche, e in più legare a tali punti un'informazione colorimetrica sotto forma di RGB.

I formati possono essere proprietari o liberi, e questo dipende sempre dai software utilizzati, e inoltre esiste anche la possibilità di condividere tramite piattaforme web le nuvole di punti rendendole in questo modo visualizzabili, interrogabili e scaricabili da altri utilizzatori.

# 4. DIMOSTRAZIONE - MODELLO E BIM FITTING

## **4.1 METODO DI LAVORO - DAL RILIEVO AL MODELLO BIM**

In questa sezione si discute in modo approfondito del metodo con il quale si è raggiunto un modello BIM partendo da una nuvola di punti, si affronta l'argomento sia dal punto di vista generale che da un punto di vista specifico analizzando direttamente il caso di studio della Rocca.

L'obiettivo è quello di far riconoscere in modo automatico, o semi automatico, degli elementi architettonici a dei software di modellazione partendo direttamente dalla lettura di una nuvola di punti, su questo argomento, già da alcuni anni, è stata fatta della ricerca dove si sono elaborati dei metodi, e dei plug-in per software, che potessero estrapolare questo tipo di informazioni.

In tali ricerche si discute di partire da una nuvola di punti, del rilievo di un organismo edilizio, e di come elaborarla, dividendola per aree e decimando i punti molto distanti dal modello generale, per ricavare dei piani o delle superfici ben definite, che ponendo delle regole geometriche (come ortogonalità dei piani, o direzioni delle normali uscenti dai punti) possono essere distinti come elementi ben precisi di un contesto edilizio, come pareti, soffitti, pavimenti e anche aperture.

Questo approccio è per ora molto grezzo, richiede una notevole quantità di calcolo, e non sempre è in grado di riconoscere con buon definizione gli oggetti, e soprattutto la modellazione si ferma ad un approccio prettamente geometrico e di distinzione di superfici e volumi senza

entrare nella semantica degli oggetti.

Altri metodi si basano per esempio sul riconoscimento di textures, tessiture derivate dalla nuvola di punti, da confrontare con dei database per poter riconoscere degli elementi architettonici simili, oppure la stessa funzione riferita alle geometrie sempre da confrontare con database, che seppur ben forniti, non possono coprire con interezza tutto lo spettro degli edifici esistenti.

Per ora gran parte del lavoro di riconoscimento degli elementi architettonici durante una modellazione a partire da una nuvola di punti, è manuale ad opera dell'operatore, che utilizzando gli strumenti (software di vario genere) a sua disposizione, le sue conoscenze e le sue esperienze nel campo, è in grado di riportare la semantica dal reale al digitale, utilizzando i dati 3D provenienti dal rilievo come base per il corretto inserimento geometrico.

Un metodo che si è utilizzato in questo lavoro è quello di modellare direttamente sulla nuvola di punti, in questo caso si è scelta quella generata con le scansioni del laser scanner 3D, ma la stessa cosa era possibile con quella generata con la fotogrammetria, sezionando la nuvola stessa per verificare, a quote determinate, la posizione dei vari elementi.

Sezionando la nuvola è possibile creare dei modelli seguendo la sagoma dei punti che vengono intercettati dal piano di sezione, e in alcuni software tali punti vengono automaticamente riconosciuti e possono essere utilizzati come riferimento per i comandi di disegno e di modellazione.

Tale procedura, che richiede comunque una notevole mole di lavoro, risulta abbastanza precisa, e ricalca la reale posizione degli oggetti rilevati nello spazio, di contro resta preponderante il lavoro dell'operatore che deve modellare i vari elementi e le varie parti che compongono l'edificio,

soprattutto per la scelta di dove definire i piani di sezione.

Questa è una fase preliminare della lavorazione, nella quale si inizia ad aggiungere informazione al modello partendo dalla nuvola di punti, dove si modella soprattutto la geometria, ma le forme che si generano sono ancora prive di semantica.

La parte più delicata della lavorazione inizia qui, perché si definisce quale livello di dettaglio si vuole dare al modello BIM, ciò non significa che non potrà essere aggiunto del dettaglio in seguito, ma è una scelta preliminare che giustifica le lavorazioni successive, inoltre permette di capire quale approccio si vuole dare alla lavorazione e quale strategia seguire.

Nel caso specifico di lavoro si è per esempio deciso di iniziare dagli elementi macroscopici e strutturali per poi scendere man mano nel dettaglio, sezionando la nuvola di punti in corrispondenza dei vari livelli, piani, dell'intera struttura della Rocca, ma questa procedura verrà trattata più nel dettaglio in seguito.

Il principio di questa metodologia di lavoro è quello di generare un "contenitore" cioè un modello dove poter inserire informazioni, e la geometria, definita nella fase preliminare, è solamente una delle tante informazioni che il modello BIM conterrà al suo interno.

Si analizzano poi i vari elementi che costituiscono l'edificio in modo parametrico, cioè, dopo aver definito la semantica di un oggetto, dichiarando che per esempio è una finestra piuttosto che una porta, si aggiungono delle variabili, appunto parametri, che si riferiscono a caratteristiche precise dell'elemento, che possono essere modificate a seconda delle esigenze specifiche.

In questo modo non solo si ottiene un oggetto con le caratteristiche geometriche simili a quelle del corrispettivo reale, ma gli elementi che

lo compongono hanno informazioni d'identità e di significato, semantica degli elementi, e posseggono tutti dei parametri che ne modificano le caratteristiche a seconda delle esigenze.

#### **4.1.1 METODO TRADIZIONALE: BASE VETTORIALE CAD**

Nella maggior parte dei casi, oggi, per la modellazione BIM, si preferisce utilizzare una metodologia così detta "tradizionale" dove prima di tutto si esegue un rilievo dell'edificio da modellare, poi si riportano i dati del rilievo in un software di disegno vettoriale CAD, ed infine si importano questi disegni in un software di modellazione BIM, dove, partendo dai disegni vettoriali si costruisce il modello.

Questa metodologia, è la più utilizzata ancora oggi in quanto è la più simile alla restituzione classica di un rilievo in formato digitale, dove i dati provenienti da un rilievo, fatto con misurazioni dirette o digitali, vengono riportati con regole geometriche in diversi disegni CAD.

i disegni CAD così sviluppati rappresentano proiezioni ortogonali, o semplici viste 3D, assonometriche o prospettiche, dell'edificio che si è rappresentato, ma solitamente solo dei piani "tipo" o delle sezioni significative dell'oggetto, andando a ridurre la mole di dati raccolti ad un insieme di pochi disegni che dovrebbero rappresentare l'edificio nella sua interezza.

Viene scontato pensare che se tale approccio è adeguato per la progettazione di un edificio di nuova costruzione, non lo è affatto per uno già esistente che per morfologia, varietà e complessità degli elementi richiede un livello di analisi ben più elevato .

La critica più grande fatta a questo metodo è che gran parte dell'informazione ottenuta dal rilievo, che potrebbe essere stato fatto con un laser scanner 3D o con tecniche fotogrammetriche, si perde già

nella fase preliminare dove si importano i dati in un software CAD.

La fase successiva è quella di importare i disegni vettoriali in un software di modellazione BIM, per esempio è possibile passare da Autocad a Revit, dove inizia la fase di modellazione BIM vera e propria, e in questo frangente si utilizzano gli strumenti che il software mette a disposizione per definire i vari elementi .

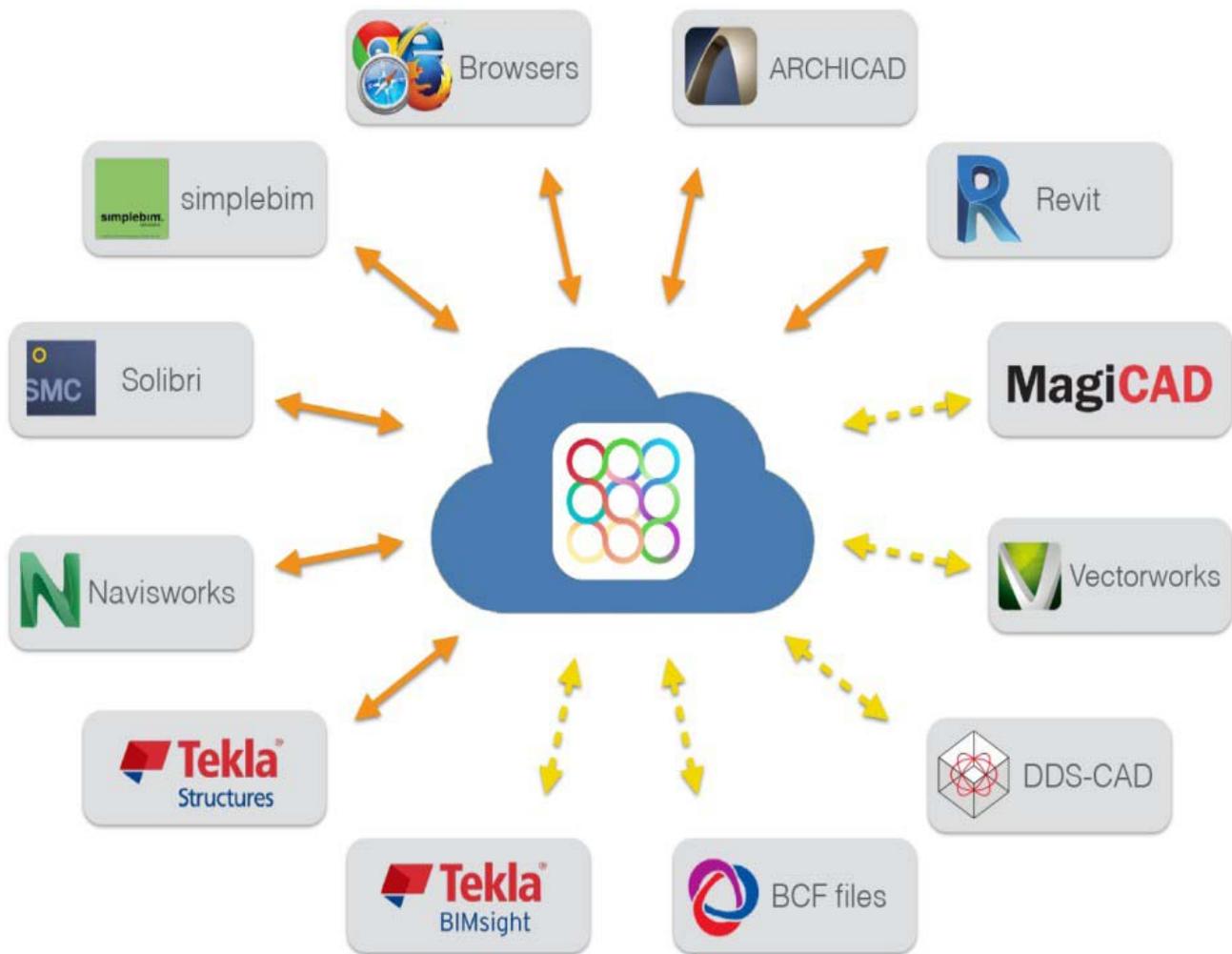
Anche in questa fase si compie una seconda approssimazione in quanto gli elementi di un software di modellazione BIM, come potrebbe essere Revit, sono stati pensati per la progettazione del nuovo e quindi sono molto versatili nella creazione di oggetti così detti “standard” ma diventa molto più laborioso modellare degli oggetti che escono dagli schemi canonici, come per esempio, pareti fuori squadra, pavimenti storti, elementi che spanciano e così via.

Creare un modello BIM partendo da disegni CAD, dove è già stata fatta una lunga fase di semplificazione dei dati raccolti, porta all’utilizzo di elementi standard del software, ma in questo modo si potrebbe modellare un muro come se fosse un elemento perfettamente verticale quando magari nella realtà non è così ma tale informazione si perde nei passaggi precedenti.

#### **4.1.2 SOFTWARE PER LA MODELLAZIONE BIM**

Prima di tutto bisogna specificare che si sta parlando di modellazione BIM, ed un software viene definito come “modellatore BIM” non solo per la parte di creazione e di gestione della semantica e dei parametri degli oggetti, ma anche, e soprattutto, per la gestione di informazioni ad essi collegate e alla condivisione di tali informazioni con altri professionisti che potrebbero potenzialmente lavorare sullo stesso progetto.

Un software di modellazione BIM non è solamente un modellatore digitale



*Fig 4.01 Schema di molti dei software di modellazione BIM attualmente disponibili.*

di elementi tridimensionali facilmente modificabili, ma è un database di informazioni di facile gestione e condivisione, dove il modello 3D è solo una di queste informazioni.

Per definire un software BIM si definiscono 3 parametri di analisi: Strumento, piattaforma e ambiente.

**Strumento BIM:** Si definisce Strumento BIM un software che permette la gestione e la creazione di un preciso risultato con specifici strumenti che danno la possibilità di modellare strutture, di gestire analisi energetica, di generare rendering, di definire una programmazione dei tempi e così via.

Spesso i risultati di questi software, come disegni, schede di analisi e così via, sono fini a se stessi, anche se c'è un forte controllo sulla gestione degli errori e delle incongruenze, ed è possibile, in alcuni casi, esportare questi dati e queste informazioni in altri software, per un controllo più preciso di costi, analisi strutturali ecc. ampliando così le funzioni del singolo strumento.

**Piattaforma BIM:** Si definisce Piattaforma BIM un'applicazione, utilizzata solitamente per la progettazione, che genera informazioni per molteplici utilizzi, crea cioè un modello che funge da database per tutte le informazioni che si inseriranno al suo interno.

Molte delle piattaforme BIM hanno già integrato al loro interno strumenti per il controllo dei disegni e per il controllo degli errori, e posseggono anche funzioni per la gestione con altri software a diversi livelli di integrazione delle informazioni, ed è possibile condividere l'interfaccia e definire lo stile di interazione.

Il modello, in questi software, è definito da un livello di progettazione, con la sua struttura, immagine e forma, e da un sistema di organizzazione del piano di lavoro.

**Ambiente BIM:** Si definisce ambiente BIM un sistema di gestione del flusso di informazioni che integra diverse applicazioni, sia di strumenti che di piattaforma, all'interno di un'organizzazione supportandone anche le pratiche burocratiche ed amministrative.

L'ambiente BIM non è definito in modo specifico ma cresce e si sviluppa con le esigenze e l'utilizzo che ne fanno i vari progettisti, e il suo utilizzo più scontato è quello di gestire in modo automatico diversi modelli BIM, con il loro pacchetto di informazioni, provenienti da altri strumenti BIM, e più aumenta il numero e la complessità delle piattaforme da integrare più

il sistema diventa raffinato e richiede livelli di coordinamento più elevati.

L'ambiente BIM può quindi gestire notevoli flussi di informazioni, sia provenienti da strumenti che da piattaforme BIM, tra vari operatori che lavorano su singolo progetto, inserendo in questo procedimento anche elementi accessori, come immagini, video, email che i vari operatori si sono scambiati sullo specifico progetto, e inoltre include la catalogazione di librerie per utilizzi successivi.

I principali software di modellazione BIM presenti oggi sul mercato, sono Revit, ArchiCAD, Digital Project, AllPlan, Bentley Systems, Vectorworks e Tekla Structures, poi ne seguono anche altri ma che per utilizzo o per carenza di funzioni sono meno utilizzati, ed ognuno di questi software viene catalogato in base alle sue funzioni specifiche, ai suoi strumenti e a che livello si pone rispetto alle 3 caratteristiche sopra elencate.

Si definisce quindi quanto un software sia Strumento BIM, quanto sia Piattaforma BIM e quanto sia Piattaforma BIM e in questo modo è possibile scegliere in modo più accurato il software da utilizzare.

Si ricorda che il software è solamente lo strumento con il quale si ottiene il risultato, e ovviamente si sceglie quello che meglio si adatta alle esigenze specifiche, ma il modello BIM è definito delle sue caratteristiche intrinseche di archiviazione e gestione di informazioni in un modello digitale a prescindere dello strumento utilizzato per crearlo.

In sostanza un modello è BIM, perché rispetta certe determinate caratteristiche, già ampiamente illustrate, e non perché è stato creato da un software BIM, è lo strumento che sottende alla funzione e all'obiettivo finale e mai il contrario.

Nel caso specifico di lavoro si è deciso di utilizzare Autodesk Revit, versione 2016, in quanto rispettava ampiamente le caratteristiche

richieste per raggiungere gli obiettivi che ci si è posti su questo studio, e inoltre risulta ad un buon livello per i tre parametri definiti prima, come strumento, come piattaforma e come ambiente BIM.

### **4.1.3 ELABORARE IL MODELLO SULLA NUVOLA DI PUNTI**

Dopo aver definito le metodologie e gli strumenti che possono essere utilizzati per creare un modello BIM si descrive ora cosa si intende per modellazione diretta su una nuvola di punti.

Come già descritto in precedenza la nuvola di punti è un insieme di elementi nello spazio definiti da coordinate geometriche che possono essere riconosciuti da alcuni software di modellazione BIM per essere utilizzati come base di partenza.

L'idea generale è quella di generare delle geometrie e degli elementi, utilizzando gli strumenti messi a disposizione dal software BIM, per replicare nel modo più verosimile possibile l'edificio che si è rilevato e che si vuole modellare.

Alcuni procedono con il riconoscimento di intersezioni tra le superfici rilevate analizzando la disposizione dei punti nella nuvola stessa, trovando così delle linee, che interpolano questi punti, e che possono fungere da base per costruire altri elementi, per esempio lo spigolo di un arco può essere riconosciuto dalla nuvola di punti e la linea che meglio descrive tale spigolo viene utilizzata come linea base per la creazione dell'arco stesso, e un discorso analogo può essere fatto per esempio per il profilo di una colonna.

Altri analizzano invece la tessitura di una colonna, quindi si basano sull'informazione del colore che arriva dalla nuvola di punti, distinguendo le aree per tipo di materiale, e questo serve a descrivere con buon definizione anche le aree che compongono l'edificio stesso.

Ci sono anche alcuni plug-in, in via di sviluppo, che possono riconoscere le aperture su una superficie come potrebbe essere per esempio il foro di una finestra in una muratura, per ora viene gestita come un definizione di pieni e di vuoti in una modellazione puramente geometrica, ma il passo successivo è quello di aggiungere anche l'intero infisso come oggetto del modello presente nella realtà.

La nuvola di punti quindi non va solamente sezionata ma occorre riconoscere alcuni pattern ben definiti in modo da poter riconoscere elementi dell'edificio in modo automatico o semiautomatico, ma attualmente questo tipo di approccio è ancora in via di sviluppo perché il software non è ancora in grado di discriminare con certezza uno specifico elemento da un altro.

Esistono anche alcuni plug-in per il riconoscimento e la restituzione sottoforma di NURBS (Non Uniform Rational Basis-Splines) di alcune superfici direttamente dalla nuvola di punti, che riescono a modellare gli oggetti in modo abbastanza preciso ma anche in questo caso si tratta di una sistema semiautomatico, che necessita sempre di una correzione manuale da parte di un operatore.

Per migliorare questo procedimento si è deciso di avvicinare il sistema di rilievo, cioè la creazione della nuvola di punti fatta con strumenti ottici attivi e passivi, al sistema di modellazione BIM, migliorando da una parte la lettura degli elementi nella nuvola stessa e dall'altra gestendo oggetti parametrici sempre più versatili che così si possono adattare il meglio possibile alla nuvola stessa.

Creare per esempio una finestra, dove tutte le misure geometriche sono gestite da parametri permette di avere un livello di controllo molto elevato su quell'elemento che una volta posizionato in modo corretto in un modello BIM, dove è già stata inserita la nuvola di punti, può essere

modificando cambiando i vari valori fino a quando non combacia con l'esistente utilizzando come riferimento i punti stessi che arrivano dal rilievo.

Questa funzione, per quanto laboriosa racchiude un'enorme potenzialità, perché si generano elementi generici che possono essere modificati e gestiti in funzione di un dato verosimile che ricalca la realtà dell'edificio proveniente dalla nuvola di punti inserita all'interno dell'ambiente di modellazione BIM.

In questo modo è possibile gestire in modo accurato i dettagli più disparati di un modello 3D potendolo navigare e muovere comodamente ponendosi in posizione frontale rispetto a tutti gli elementi che si vogliono modificare, è inoltre possibile aggiungere relazioni tra gli elementi come appartenenza ad un piano o porre vincoli di distanza o di altro genere.



## **4.2 OGGETTI INTELLIGENTI RIFERITI ALLA REALTA'**

Una delle parti più importanti della modellazione BIM è la gestione di informazioni, e la maggior parte di esse vengono inserite e gestite tramite oggetti, che assumono nomi diversi a secondo dello strumento utilizzato, definiti intelligenti appunto perché possono trasmettere conoscenza sia a chi li sta creando sia a chi deve leggere il progetto in un secondo momento.

Un oggetto viene definito intelligente quando possiede la capacità di conservare informazioni, la cui rappresentazione grafica in un ambiente digitale 3D, è soltanto una di esse, e inoltre questi oggetti mantengono delle relazioni di gerarchia tra loro ben strutturate, che li legano e li fanno dipendere l'uno dall'altro.

Il modello BIM intero di un edificio, esistente o di nuova progettazione, è già di per se un oggetto intelligente, perché può trasmettere già delle conoscenze riferite alla sua rappresentazione, alla disposizione di pieni e vuoti, ad una sua eventuale disposizione nel contesto, e anche al colore e al materiale delle varie superfici che lo compongono.

Ovviamente tale oggetto è composto da un'infinità di altri oggetti, anch'essi con caratteristiche simili e contenenti informazioni, che ne compongono le varie parti, oggetti che a loro volta sono costituiti da altri elementi in un complesso sistema gerarchico e di relazioni che vanno a costituire un modello BIM completo

Per esempio un oggetto finestra possiede già un'informazione di base, cioè che si sta parlando di una finestra e non di altro, questo è chiaro per chi progetta, ma non necessariamente per chi non conosce il progetto e soprattutto non lo è per il software che, è giusto ricordarlo, è sempre e

solo uno strumento in mano ad un operatore.

Definendo con una categoria l'oggetto anche il software può "capire" cosa sta gestendo e come comportarsi di conseguenza, e può mettere a disposizione del progettista una serie di controlli legati allo specifico elemento, e questa è solo la conoscenza superficiale dell'oggetto intelligente stesso.

Molte informazioni possono essere integrate, alcune sono visibili, come la geometria o altri elementi di disegno, altre sono di carattere puramente tecnico o informativo, è possibile per esempio inserire i materiali che compongono l'oggetto, le caratteristiche fisiche dei vari componenti, il colore, il prezzo, il sito o il catalogo del produttore ecc, e tali informazioni restano legate all'elemento e a tutti gli elementi che sono legati ad esso tramite rapporti di tipo o di istanza.

Quindi informazioni legate ad un oggetto intelligente sono collegate direttamente ad esso ma allo stesso tempo fanno parte dell'intero progetto, perché sono sotto archivi inseriti in un archivio più grande generale che contiene tutti gli elementi del modello, l'unica grande differenza è che questo archivio è digitale e non cartaceo ed è quindi di rapida modifica e condivisione.

Quindi un oggetto è intelligente quando può contenere informazioni e le può gestire contestualizzandole con altri oggetti intelligenti nel progetto, parlando sempre della finestra, se ne viene inserita una in un muro in una determinata posizione non ne può essere inserita un'altra nella medesima posizione, perché da una parte non avrebbe senso dal punto di vista costruttivo e progettuale e dall'altra il software, sapendo che si tratta di una finestra e non di un altro oggetto, non permette all'utente di piazzarne un'altra nel medesimo posto per lo stesso principio sopra illustrato.

Il riferimento alla realtà è proprio in questo passaggio, che sembra all'apparenza semplice ma contiene al suo interno una grande conoscenza tecnica e progettuale, infatti cambia il modo stesso di ragionare e di modellare perché tutte le scelte che si operano mentre si crea il modello sono le stesse che si farebbero se si dovesse costruire realmente l'edificio.

Questo principio è applicabile in maniera ancora più estesa quando si sta modellando qualcosa che già esiste, perché mentre si costruisce il modello BIM e si aggiungono informazioni tramite gli oggetti intelligenti si compie un'indagine conoscitiva ulteriore su come sono state eseguite le opere nella realtà e quali accorgimenti sono stati presi in esame.

Revit come altri software di modellazione BIM, permette di generare oggetti intelligenti, che nel caso specifico vengono chiamate famiglie, e sono elementi in tutto e per tutti intelligenti perché rispecchiano esattamente le caratteristiche sopra elencate.

Esistono tre principali tipi di famiglie in Revit:

**FAMIGLIE DI SISTEMA:** Che non possono essere create dal nulla ma possono solo essere modificate, e per generarne di nuove bisogna copiare quelle esistenti dando un nuovo nome, e poi è possibile modificare la copia, ma tale elemento resta legato allo specifico progetto.

Per esempio i muri, i pavimenti e i tetti sono famiglie di sistema, possono essere copiate e modificate nel singolo progetto ma non possono essere create da zero.

**FAMIGLIE CARICABILI:** Sono famiglie che possono essere generate in modo indipendente e poi possono essere caricate in qualsiasi progetto, in questo modo è possibile aggiungere un livello abbastanza elevato di definizione a questo genere di famiglie.

Una volta inserite in un progetto diventano famiglie locali e si può scegliere di modificarle soltanto lì oppure si può anche scegliere di modificare la famiglia base e ricaricarla nel progetto stesso, modificando tutte quelle ad essa legate all'interno del modello.

Per esempio porte, finestre, ringhiere ecc, sono famiglie caricabili ma ce ne sono tantissime altre come per esempio le famiglie degli impianti e quelle legate al cartiglio delle tavole.

**FAMIGLIE LOCALI:** Sono famiglie in tutto e per tutto uguali a quelle caricabili ma con l'unica differenza che fanno riferimento al singolo progetto e sono state generate direttamente sul modello oppure derivano da altre caricate in precedenza.

#### **4.2.1 GENERAZIONE DI UN MODELLO PARAMETRICO**

Una delle grandi potenzialità dei software BIM, come per esempio Revit, è quella di poter generare degli oggetti parametrici, un oggetto parametrico è tale quando può essere modificato cambiando alcuni parametri precedentemente definiti come variabili, dando la possibilità di modificare i valori all'occorrenza per oggetti simili ma che differiscono per pochissimi dettagli.

L'approccio parametrico torna molto utile nella modellazione del patrimonio esistente, quindi nella teorizzazione dell'HBIM, in quanto spesso capita di avere elementi, come per esempio, finestre, porte, colonne, capitelli ecc, che cambiano per pochi dettagli e modellarli uno alla volta potrebbe essere molto dispendioso a livello di tempo e di lavoro, mentre creare un oggetto con determinati parametri modificabili a seconda delle specifiche esigenze locali rende le lavorazioni molto più fluide e rapide.

In questo modo si conserva anche la semantica dell'oggetto creato,

cioè il suo significato, perché se per esempio si modella una finestra parametrica, tutte le finestre generate modificando dei valori con quella base saranno sempre finestre, in tutto e per tutto simili a quella di partenza, ma adattate alla loro reale dimensione verificata con il rilievo dell'edificio che le ospita.

Le potenzialità sono quindi enormi, lavorando sugli oggetti parametrici si può definire un'ampia gamma di elementi che possono essere utilizzati oltre che per lo stesso edificio, sul quale sono stati creati, anche per edifici che presentano le medesime caratteristiche, risulta poi molto semplice modificare all'occorrenza porzioni di tali oggetti senza doverli ridisegnare da capo.

Spesso i parametri riguardano elementi geometrici del modello o della famiglia, per esempio la larghezza di una finestra, l'altezza di una colonna, la profondità di un muro, l'inclinazione di un tetto e così via, ma possono anche riguardare altre funzioni non puramente di disegno ma che riguardano caratteristiche di diverso genere, come il materiale che costituisce l'oggetto e le relative proprietà, capacità statiche di alcuni elementi, dettagli di finiture, presenza di impianti ecc, rendendo in questo modo il modello molto versatile ed adattabile alla realtà esistente.

Creare un oggetto parametrico è un processo inizialmente lungo, che necessita di molte prove e successive modifiche, ma rende il lavoro successivo molto più rapido e snello, agevolando anche l'operato di altri professionisti che utilizzano quel modello per altri scopi, per aggiungere altro dettaglio o per fare progetti di qualsivoglia tipologia.

Generare un oggetto parametrico significa, in conclusione, definire dei parametri legati ad alcune caratteristiche dell'oggetto stesso che ne permettono la modifica successiva per tutte le copie simili di quell'elemento presenti dentro al modello.

In Revit, gli oggetti parametrici sono particolari tipi di famiglie, che vengono generate con l'editor di famiglie, funzione già presente nel software, impostando al momento della creazione dei parametri che saranno poi modificabili in futuro, dichiarando quindi delle variabili che non avranno più un valore fisso predeterminato, come sarebbe in un disegno CAD tradizionale, ma hanno appunto un parametro che potrà essere definito di volta in volta dall'utente che si appresta ad utilizzare questo elemento nel proprio progetto.

Il processo di definizione di un parametro è quello che in programmazione viene definito dichiarazione di variabile, cioè si definisce un nome, un'etichetta, che identifica all'interno dell'oggetto parametrico quello specifico valore, in modo che possa poi essere identificato per le modifiche successive, il motore di calcolo di un software BIM, come per esempio Revit, elabora poi questo parametro rendendolo modificabile, e tutte le funzioni legate ad esso cambiano di conseguenza.

#### **4.2.2 OGGETTI PARAMETRICI: GESTIONE, MODIFICHE E LIMITI**

La parte fondamentale che riguarda gli oggetti parametrici è la possibilità di poterli modificare in ogni momento, gestendo una grande quantità di variabili allo stesso tempo che possono riguardare gli aspetti più macroscopici o più minimale di un elemento, bisogna solo porre attenzione a che parametri si inseriscono e verificare il loro funzionamento in relazione agli altri già inseriti o ancora da definire.

I parametri possono inoltre essere concatenati in modo da creare delle funzioni, e inoltre possono anche essere definite delle formule per creare rapporti costanti o ben definiti, per esempio nella creazioni di una finestra si potrebbe definire una variabile indipendente, la larghezza, e una dipendente, la lunghezza, che magari è sempre il doppio della prima, in questo modo, definendo la suddetta relazione, ogni qual volta si

compie una modifica al valore indipendente, quello dipendente cambia di conseguenza.

La differenza sostanziale che sussiste tra variabile indipendente e variabile dipendente è che la prima esiste in funzione della seconda, quindi per modificare il valore dipendente occorre modificare il valore indipendente oppure operare una modifica sulla funzione che lega i due valori, questa funzione può tornare molto utile nella modellazione BIM dell'esistente soprattutto per il fatto che diverse componenti architettoniche nell'arco di tutta la storia dell'architettura seguono regole ben precise ed hanno rapporti ben definiti, come per esempio tutti gli elementi che compongono una colonna compresa il capitello e il basamento.

Inoltre, nell'ottica della creazione di un modello BIM, tali parametri possono essere ulteriormente raffinati, rendendo la loro modifica legata all'oggetto stesso e quindi anche a tutte le sue copie all'interno del modello, oppure essere legata ad ogni singola copia che verrà inserita al suo interno.

In Revit questa funzione viene tradotta con parametro di tipo o parametro di istanza, il parametro di tipo rende modificabili i parametri per tutti gli stessi tipi di quella famiglia presenti nel modello, mentre il parametro di istanza rende modificabile ogni copia di quel tipo di famiglia parametrica in modo indipendente, questa altra potenzialità rende ancora più versatile il modello, rendendolo più adattabile agli elementi esistenti che si stanno modellando.

Gli oggetti parametrici presentano anche dei limiti, per esempio non è facile definire delle relazioni tra molti oggetti contemporaneamente ma occorre concatenare più valori, ma questo può portare a errori, ed errate concatenazioni.

Dopo aver inserito i parametri è difficile ricordarsi che valore controllano e soprattutto è ancora più complicato verificare le relazioni che collegano più valori e poi bisogna sempre considerare il legame con i vincoli che sono già stati inseriti, per esempio la modifica di un parametro potrebbe rompere un vincolo che non si era considerato alla creazione dello stesso, e quindi necessita di essere modificato o eliminato.

Altri limiti sono legati al fatto che le formule che si possono inserire in un parametro possono essere solamente delle uguaglianze o delle equivalenze, e questo per esempio rende molto difficile definire un campo di esistenza, cioè un dominio, di una variabile, che quindi, senza tale controllo, potrebbe raggiungere valori negativi che a livello matematico avrebbero anche senso ma non avrebbero senso a livello fisico, una finestra con altezza negativa non ha senso di esistere.

### **4.2.3 SEMANTICA E CONDIVISIONE DEGLI OGGETTI**

Della semantica si è già parlato in precedenza, nel paragrafo 2.3.2, ma in questo frangente si definisce come possa essere collegata ad un oggetto intelligente e in che modo venga gestita e come ricavarne informazioni utili alla creazione del modello.

Con semantica si definisce un significato, e tale significato è strettamente legato all'oggetto creato, o nel caso di Revit ad una famiglia, in quanto è una caratteristica ben precisa che ne definisce sia le funzioni che le proprietà.

Un oggetto finestra, per esempio, contiene già un significato intrinseco, legato principalmente ad una scelta fatta dal progettista che ne ha definito per primo la funzione, poi a chi legge o utilizza quel modello in un secondo momento ed infine anche al software stesso che una volta che è "consapevole" che sta gestendo un elemento con una specifico

significato e sa quali strumenti mettere a disposizione dell'utente.

Da questo ragionamento si può dedurre che la semantica di un oggetto, è una caratteristica particolare che segue un determinato elemento in tutti i suoi livelli di conoscenza, e se poi ci si riferisce ad un edificio esistente si aggiunge un ulteriore livello che è quello della realtà.

Quindi una volta che viene definito il significato di un oggetto tale rimane a tutti i livelli di conoscenza, una foto di una finestra, la famiglia finestra di Revit, la modellazione da parte dell'utente di quella stessa finestra con particolare attenzione ai dettagli ed infine la lettura da parte di una persona terza di quell'oggetto sarà sempre una finestra, cambia l'utente, cambia la lettura e la forma ma il significato resta.

Questo è un enorme passo avanti rispetto ai classici disegni fatti al CAD, perché in un disegno vettoriale è il progettista che sa che quel determinato disegno o simbolo identifica un oggetto specifico, ma magari questo non è chiaro per una persona "non addetta ai lavori" e lo è ancora meno per il software che non lega nessun significato ad una linea piuttosto che ad un'altra lasciando completa libertà al disegnatore di creare incongruenze ed errori tra gli elementi.

Questo discorso sulla semantica degli oggetti intelligenti può essere ampliato a tutti gli elementi che compongono un edificio, in questo modo tutti gli oggetti che lo costituiscono mantengono il loro significato all'interno del modello BIM che diventa in tutto e per tutto una rappresentazione della realtà.

Gli oggetti intelligenti, o le famiglie nel caso specifico di Revit, possono essere condivisi con altri utenti o utilizzati in altri progetti in modo da rendere meno laboriosa la generazione di un modello che potrebbe contenere centinaia se non migliaia di oggetti.

Per esempio se un progettista sta modellando un edificio e definisce la posizione di alcune colonne che per semplicità definisce come cilindri, che occupano lo stesso spazio del corrispettivo reale, un altro progettista potrebbe contemporaneamente modellare nel dettaglio tutti gli elementi di quella colonna, come il capitello, il busto, la base e così via, ed inserirle successivamente in sostituzione del cilindro che già era presente nel progetto.

In questo modo il lavoro dei due professionisti avviene contemporaneamente e non è necessario alcun passaggio di file, ma semplicemente una volta che la colonna è stata completata dal secondo progettista, viene salvata e caricata nel modello generale dove in automatico si aggiorna e tutti i cilindri già creati si modificano di conseguenza senza alcuna ulteriore operazione da parte del primo o del secondo modellatore.

Gli oggetti colonna restano sempre gli stessi sia in numero che in posizione, il loro significato non cambia, erano colonne sotto forma di cilindro e restano colonne con tutto il livello di dettaglio architettonico inserito, inoltre se nella creazione dei vari elementi che compongono la colonna sono stati aggiunti dei parametri anch'essi diventano attivi all'interno del progetto generale.

Inoltre un elemento generato in questo modo può essere reso disponibile come famiglia caricabile e utilizzato in altri progetti, mantenendo inalterati sia le proprietà che le caratteristiche già inserite.

## **4.3 MODELLO BIM E REALTA' A CONFRONTO - PROCESSO RICORSIVO**

Uno dei punti di forza di questa metodologia è che il modello, mentre viene creato, può essere sempre confrontato passo dopo passo con il reale, tramite la sovrapposizione della nuvola di punti, in tal modo si instaura un ciclo di successive e reciproche correzioni che porta ad risultato sempre migliore.

L'idea generale è di utilizzare il rilievo, tradotto in nuvola di punti, come base di generazione del modello, ma allo stesso tempo il modello stesso può integrare le informazioni provenienti dalla nuvola stessa per archivarle con dati aggiuntivi dei vari elementi per poterle utilizzare successivamente.

Quindi il rilievo diventa sia fonte di informazioni che parte integrante delle stesse, non si parla più in questo processo di fasi successive, ma di un'unica fase di modellazione dove il rilievo è la parte di acquisizione del dato che prosegue durante tutta la fase di modellazione.

Una volta che il modello BIM viene finito, o raggiunge il livello di dettaglio richiesto, è possibile confrontarlo con il reale, il modo più semplice per compiere questa operazione è ponendo un controllo diretto con la nuvola di punti, Revit, per esempio, permette di inserire questo tipo di dati e permette anche la modellazione diretta sempre sulla nuvola e quindi anche il successivo confronto.

Si ragiona per sezioni o per piani tipo, e si verifica che gli elementi del modello combacino il più possibile con quelli reali, questa operazione è molto utile perché permette sia di modificare il modello all'occorrenza, facendolo aderire al meglio ai punti rilevati, ma allo stesso tempo permette di capire dove sono presenti lacune nella nuvola di punti che necessita quindi un'integrazione con un'ulteriore analisi sul campo.

Anche le foto possono essere utili in queste operazioni, possono essere poste all'interno del modello a confronto diretto con gli elementi, anche se questa procedura porta più errore in quanto le foto contengono un errore prospettico che difficilmente può essere corretto.

Quando si modella in BIM un edificio esistente si pone una sorta di punto "zero" dove tutti i dati trovati e rilevati di quella specifica opera vengono inseriti in un database digitale, ma l'edificio esisteva prima di quel tempo e continuerà ad esistere anche dopo, quindi il modello dovrebbe seguire l'evoluzione cronologica dell'oggetto analizzato, accompagnandolo da lì in poi nelle sue fasi di vita.

Quindi è possibile progettare sul modello BIM e poi mettere in opera ciò che è stato modellato, correggendo le varie discrepanze, o di contro è possibile compiere altre campagne di rilievo ed aggiornare di volta in volta il modello BIM, in questo modo si genera una sinergia tra i due metodi che li rende entrambi parte integrante dello stesso sistema.

Sistema che prevede l'archiviazione e l'aggiunta di nuove informazioni, che con il passare del tempo non vengono più perse o archiviate ma vengono al più modificate in caso di necessità, e diventa un modo molto rapido di poter interrogare il modello BIM, a qualsiasi scala sia necessario e per qualsiasi scopo, con una continua collaborazione tra i vari professionisti.

Il processo diventa quindi iterativo e ricorsivo dove in una sorta di ciclicità a spirale si aggiunge ad un dato di partenza sempre più informazione, e i nuovi progetti, o anche solo la manutenzione o il monitoraggio diventano parte integrante del modello BIM.

## **4.4 MODELLO BIM DELLA ROCCA DI REGGIOLO**

La nuvola di punti della Rocca di Reggiolo, ottenuta con uno qualsiasi dei metodi precedentemente descritti, cioè sistemi ottici attivi (laser scanner 3D) o passivi (fotogrammetria), può essere importata in un software BIM, come per esempio potrebbe essere Autodesk Revit 2016.

Si è deciso di lavorare sulla nuvola di punti generata con le scansioni del laser scanner 3D, in quanto era di più facile importazione in Revit, ma anche la nuvola di punti della fotogrammetria avrebbe dato il medesimo risultato.

Essendo il modello BIM un insieme di informazioni riguardanti un particolare progetto condivisibili tra più professionisti è sempre possibile aggiungerne altre e modificare quelle esistenti ampliando e rendendo sempre più verosimile il database, ma bisogna porsi la domanda di quali informazioni occorrono per il tipo di lavorazione che si deve fare, interrogare il modello per vedere se tali informazioni sono già presenti e a quale livello di dettaglio, oppure in caso contrario si aggiungeranno nuovi elementi al modello.

Per esempio un rilievo architettonico, ai fini del miglioramento sismico di un edificio, potrebbe essere rappresentato da un modello BIM molto accurato dal punto di vista geometrico, ma non aver alcun dettaglio o pochi dettagli riguardanti gli impianti, se in un secondo momento si devono eseguire opere di miglioramento impiantistico, occorre rilevare tutti gli impianti esistenti per progettarne di nuovi, e non è necessario rifare il rilievo geometrico, che già esiste nel modello, ma si aggiungeranno solamente gli elementi mancanti, nel caso specifico gli impianti.

In questo modo, chi compie il rilievo degli impianti, e lo aggiunge al modello BIM sul quale è già presente la progettazione dell'adeguamento

antisismico, ancora non eseguita fisicamente, può interfacciarsi con gli altri professionisti interessati per compiere al meglio la nuova progettazione e interagire con il modello stesso.

Una volta definito lo scopo con il quale si va a costruire il modello è più facile capire quale livello di dettaglio si può gestire nell'intero processo di modellazione e si può anche comprendere quale grado di errore si può accettare.

#### **4.4.1 CREAZIONE MODELLO CON SOFTWARE BIM – REVIT**

La parte più corposa di questo lavoro è la creazione del modello BIM, partendo da un rilievo digitale ad alta risoluzione, e per dimostrare la validità del metodo si utilizza il caso di studio in oggetto, la Rocca di Reggiolo, come prova sul campo di come certe tecniche possano portare ad un buon risultato.

Quello che si vuole descrivere è il percorso intrapreso, quali sono stati gli accorgimenti e le scelte effettuate e quali difficoltà si sono riscontrate, e quali strade abbiano portato a buon fine o quali invece siano state abbandonate.

Molte problematiche si sono riscontrate e altrettante, anche se non tutte, sono state risolte, ma si sono trovati metodi alternativi per giungere allo stesso risultato, l'informazione generale riguarda molti aspetti dell'edificio ma non tutti, per esempio il discorso impiantistico non è stato affrontato ma potrebbe inserirsi in questo metodo di modellazione BIM senza particolari modifiche.

Rispetto allo stato dell'arte, descritto nei capitoli precedenti, si sono riscontrati alcuni limiti sia dal punto di vista del rilievo, che dal punto di vista della modellazione BIM, limiti sia di carattere strumentale che di carattere tecnico e concettuale, che sono stati descritti man mano che il

modello cresceva e i vari dettagli prendevano forma.

Il modello finale, arricchito di alcune informazioni, può essere utilizzato per vari tipi di analisi, per nuova progettazione e per altri scopi, ma quello che qui si è descritto è una metodologia di lavoro che ha portato ad ottenere un oggetto BIM con elevato grado di semantica degli elementi.

#### **4.4.2 IMPORTARE E UTILIZZARE LA NUVOLO DI PUNTI**

Il software chiede dove inserire la nuvola di punti all'interno dell'ambiente di lavoro, domandando se farne coincidere il centro con il centro del progetto che si sta andando a generare, poi se l'oggetto importato è stato scalato in modo corretto, non occorre fare alcuna modifica delle misure, e le definizioni geometriche tra i vari punti corrispondono esattamente a quanto prodotto nelle fasi precedenti.

Le procedure successive di lavoro possono essere diverse, prima di tutto, e questo è valido per tutte le fasi, occorre contestualizzare la nuvola di punti con l'ambiente di modellazione, e questa operazione si esegue andando ad orientare correttamente i punti cardinali con i punti omonimi del progetto nell'ambiente di lavoro di Revit.

Una volta eseguita questa operazione quello che si vedrà del progetto dalle viste di prospetto nord, sud, ovest, est, sarà esattamente cioè che è visibile nella realtà, la nuvola di punti in questo caso, proprietà comune di molti software BIM, porta con se anche l'informazione di colore dei vari punti, quindi si sta osservando la struttura in modo ortogonale e non prospettico.

La nuvola di punti può essere sezionata sia in lunghezza che in larghezza utilizzando dei piani paralleli alle viste di default, oppure anche con superfici inclinate a piacere, creando queste linee di sezione si vanno a definire anche delle "viste di lavoro" che oltre a comparire nell'elenco

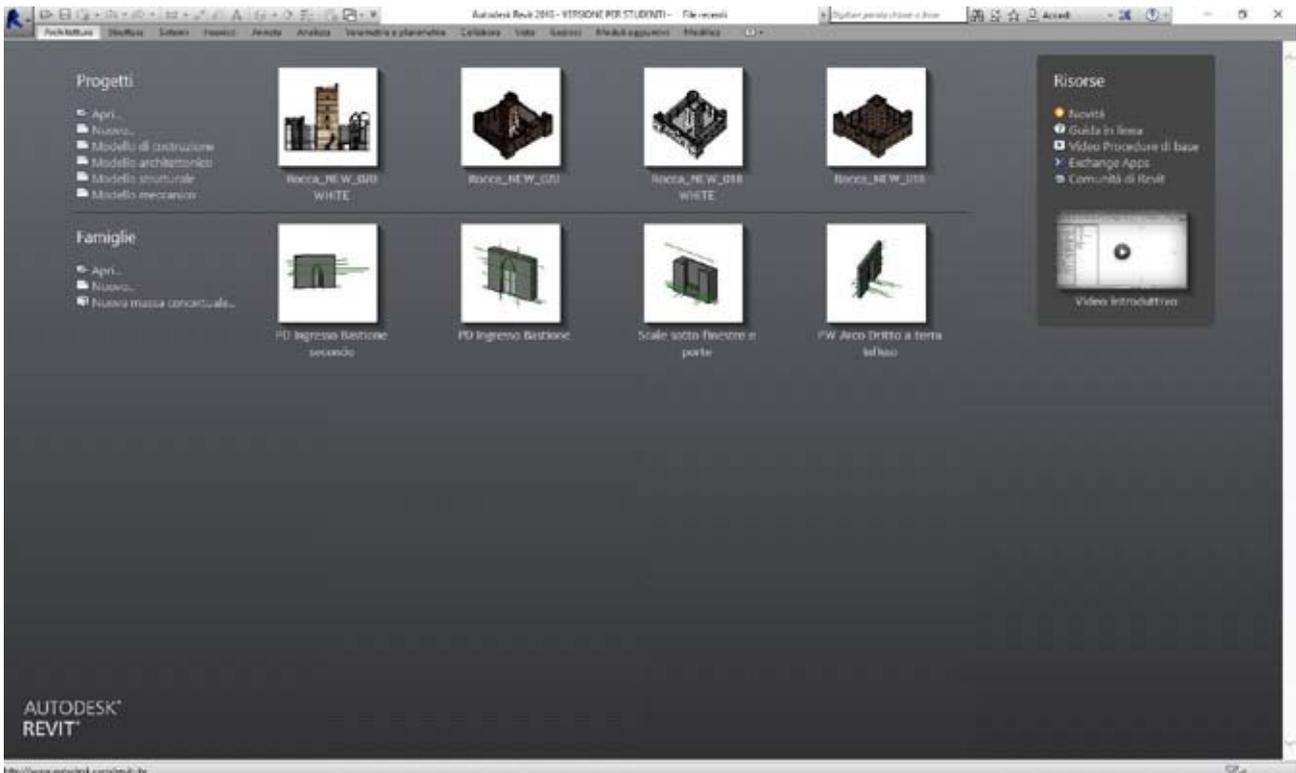


Fig 4.02 Pagina iniziale di lavoro - Audodesk Revit 2016.

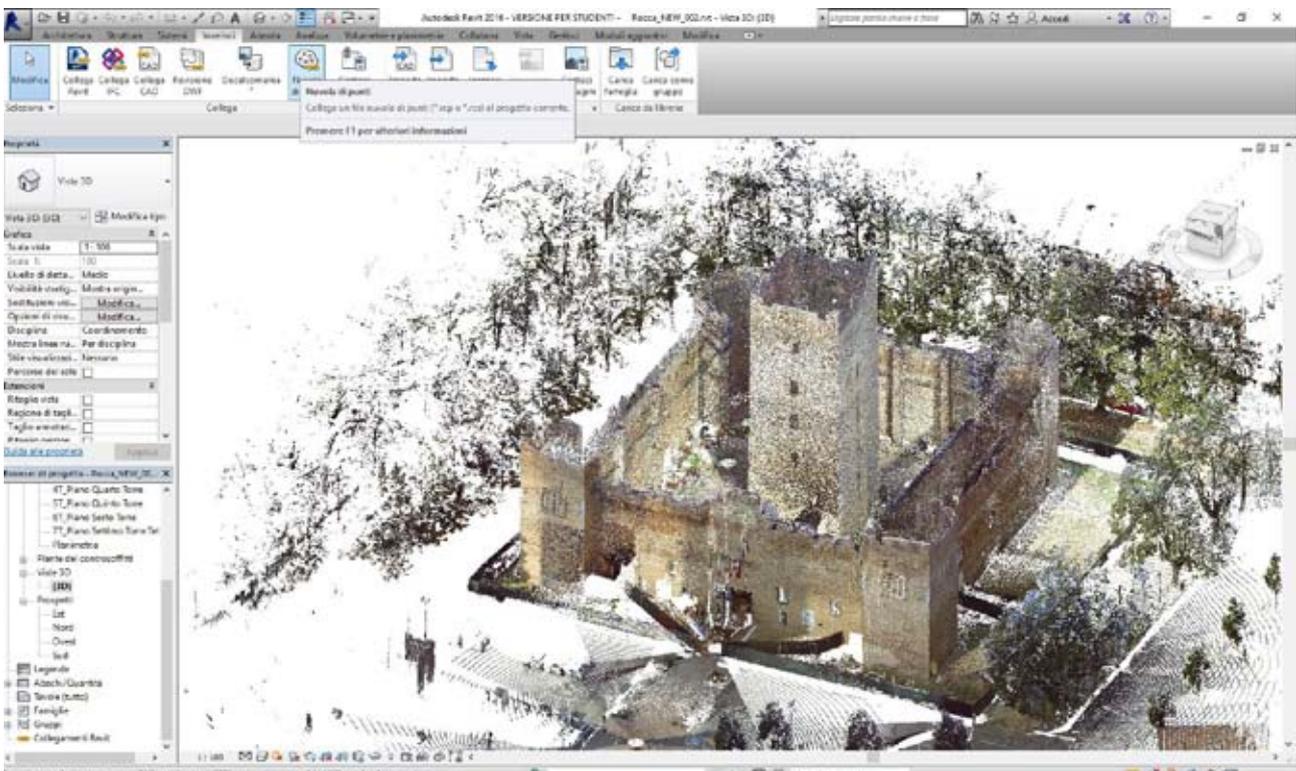


Fig 4.03 Inserimento nuvola di punti nell'ambiente di modellazione - Audodesk Revit 2016.

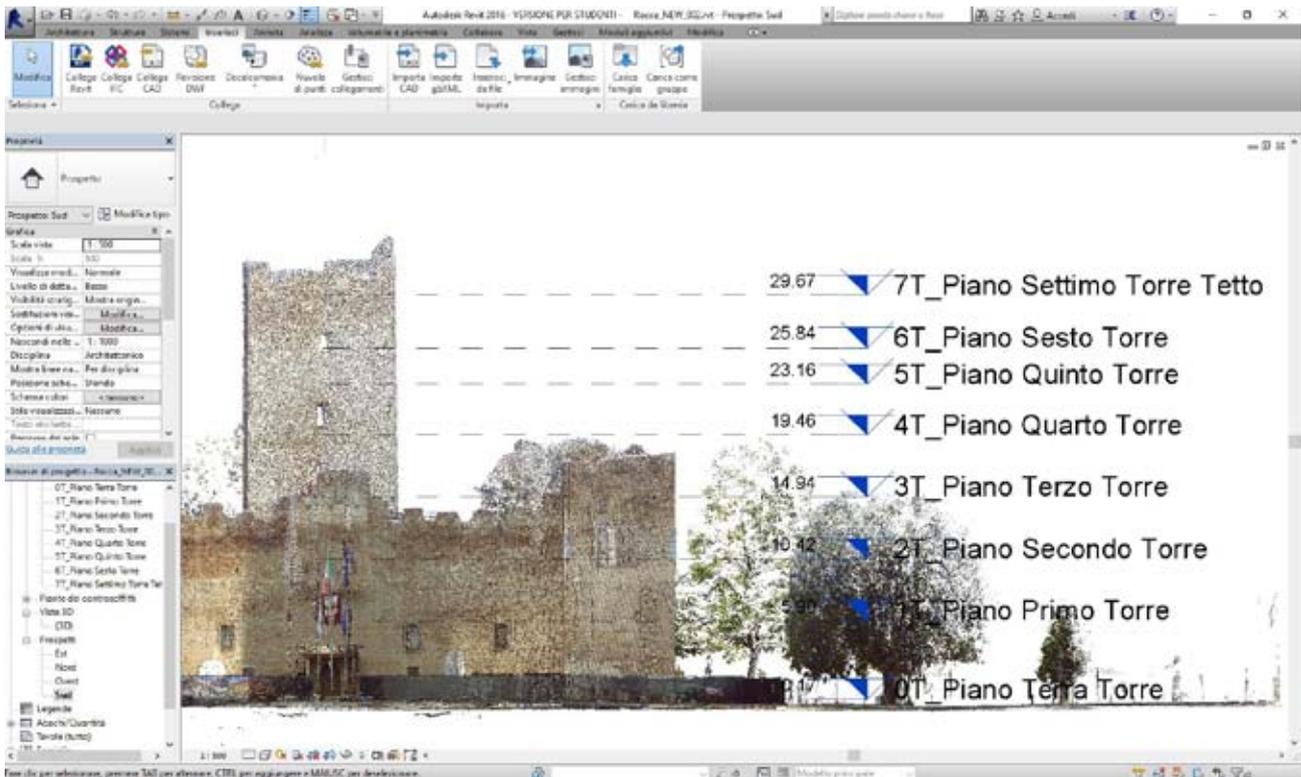


Fig 4.04 Inserimento livelli nel modello nel prospetto sud - Audodesk Revit 2016.

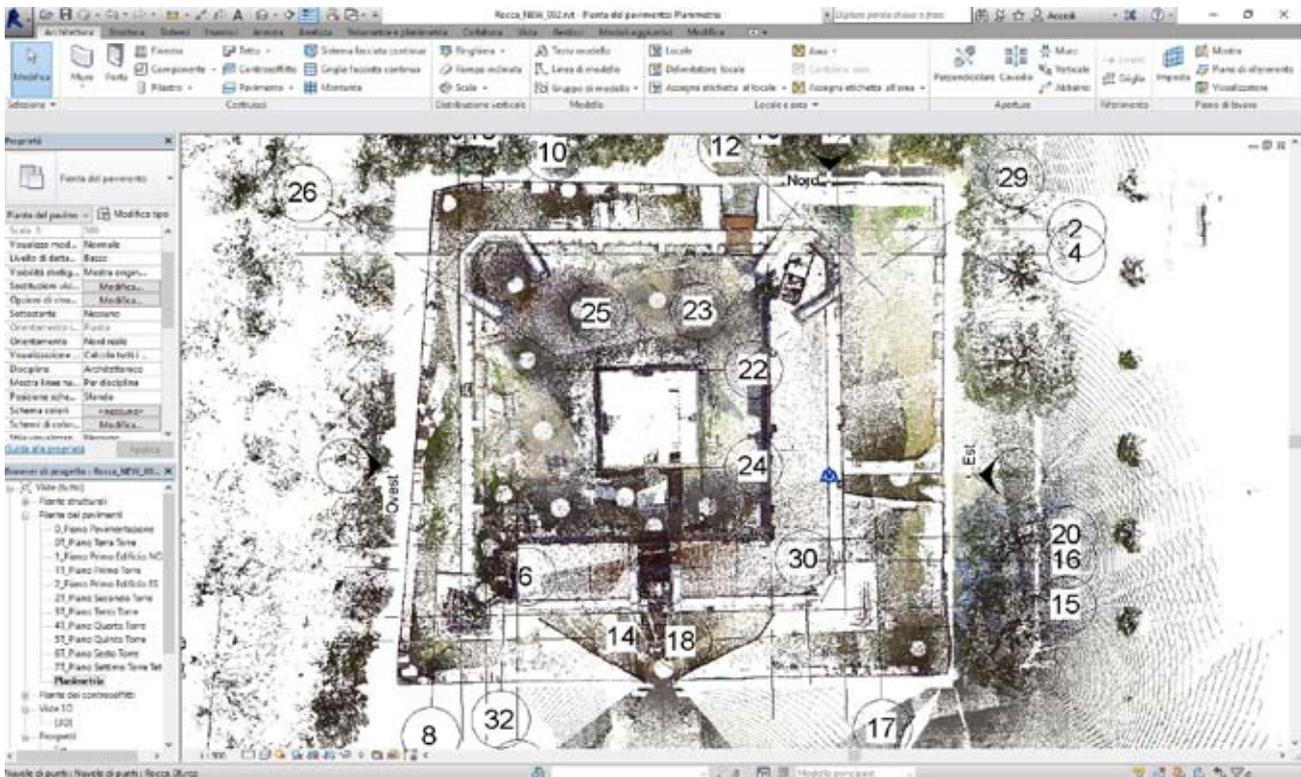


Fig 4.05 Assi fissi in vista di pianta sulla nuvola di punti - Audodesk Revit 2016.

omonimo nel browser di progetto, possono essere selezionate come ambienti di lavoro.

Lavorare su un piano che interseca la nuvola di punti serve per poter vedere l'esatta posizione degli elementi dell'edificio che si sta analizzando, in questo caso la Rocca, a quella precisa quota o in quella precisa posizione, è così possibile disegnare delle linee seguendo precisamente i punti, ottenendo un profilo che è il più fedele possibile a quello reale, che tiene conto di tutte le imperfezioni che possono essere presenti nelle murature, nei coperti, nelle pavimentazioni e così via.

Per prima cosa si definiscono tutte le viste di lavoro che si ritengono significative per la costruzione del modello BIM dell'oggetto che si è rilevato, sia verticali, per prospetti e sezioni, sia orizzontali per le piante e le planimetrie, utilizzando le misure che possono essere estrapolate dalla nuvola di punti, poi si disegnano gli assi degli elementi principali come se si dovesse fare una nuova progettazione, questi assi saranno molto utili come traccia per la costruzione di tutti gli elementi che andranno a comporre il modello.

Questa fase, in cui si va a costruire il modello letteralmente sulla nuvola di punti, è quella più delicata, perché è la parte in cui si potrebbe propagare più errore, dovuto sia ai limiti attuali dei software, che vedono le nuvole di punti come oggetti unici in blocchi indivisibili, sia alle capacità di chi esegue il lavoro, che potrebbe essere più o meno preciso nel riprodurre i vari elementi nel modo corretto, occorre quindi porsi nuovamente la domanda che riguarda lo scopo finale del modello BIM che si sta creando per decidere il livello di dettaglio da riprodurre.

Come già accennato in precedenza, quando si inseriscono le nuvole di punti all'interno dell'ambiente di modellazione BIM di Revit, il software pone la nuvola allineando il suo centro con il centro geometrico di

progetto, è possibile poi iniziare ad inserire gli assi detti “assi fissi” del modello per andare ad identificare i principali elementi, questo è possibile posizionandosi sulle viste di pianta create in precedenza e andando a ricalcare i profili della nuvola di punti stessa, utilizzando gli OSNAP che Revit riesce ad identificare.

Si procede, dopo aver costruito i vari assi dell’edificio, con l’identificazioni degli elementi principali della struttura, come pareti, pavimenti, soffitti, pilastri, archi e così via e di altri elementi, come scale, porte, finestre e tutto quello che può essere di interesse al fine di riprodurre un modello BIM il più verosimile possibile dell’oggetto reale.

Da questa procedura nascono diversi problemi di natura prettamente geometrica e di allineamento tra il modello che si sta costruendo e l’oggetto reale che si vuole rilevare, in quanto gli assi fanno riferimento a quella specifica quota dell’edificio e quindi ad una condizione locale, ma ad una diversa quota, essendo le murature fuori squadra e fuori piombo, si troveranno profili della muratura diversi e quindi anche gli assi di riferimento non saranno più coincidenti, perdendo molta utilità nella definizione generale del modello.

#### **4.4.3 MODELLARE LE GEOMETRIE SULLA NUVOLA DI PUNTI**

Vengono scelti solamente gli assi principali per definire il modello che identifichino le posizioni delle murature ad una particolare quota, dopo di che si inizia a modellare le geometrie utilizzando delle famiglie che mette a disposizione Revit, chiamate “masse concettuali” con le quali è possibile costruire degli oggetti 3D il più aderenti possibili alla nuvola di punti, in quanto tali famiglie possono essere modificate nello spazio senza particolari vincoli ma agendo su tutti gli elementi che le compongono, come spigoli, vertici, superfici e volume stesso.

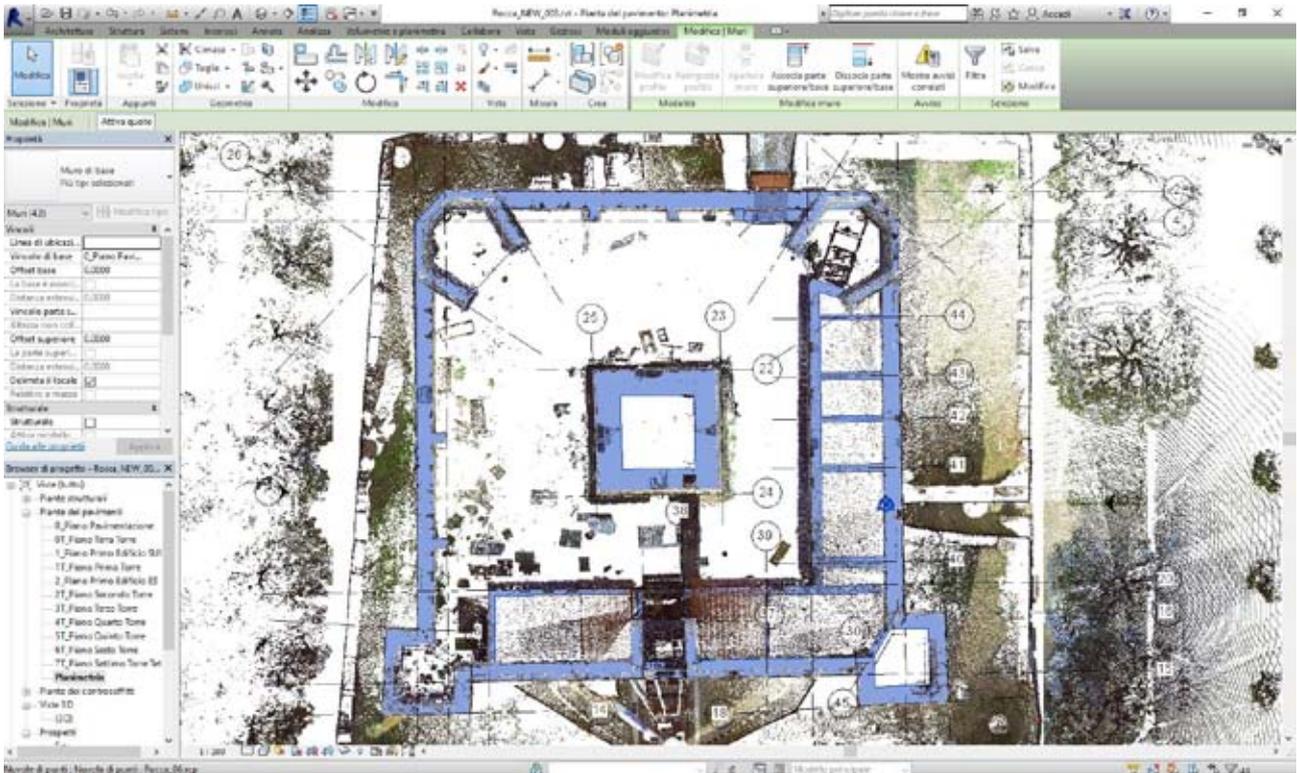


Fig 4.06 Pareti inserite sulla nuvola di punti - Audodesk Revit 2016.

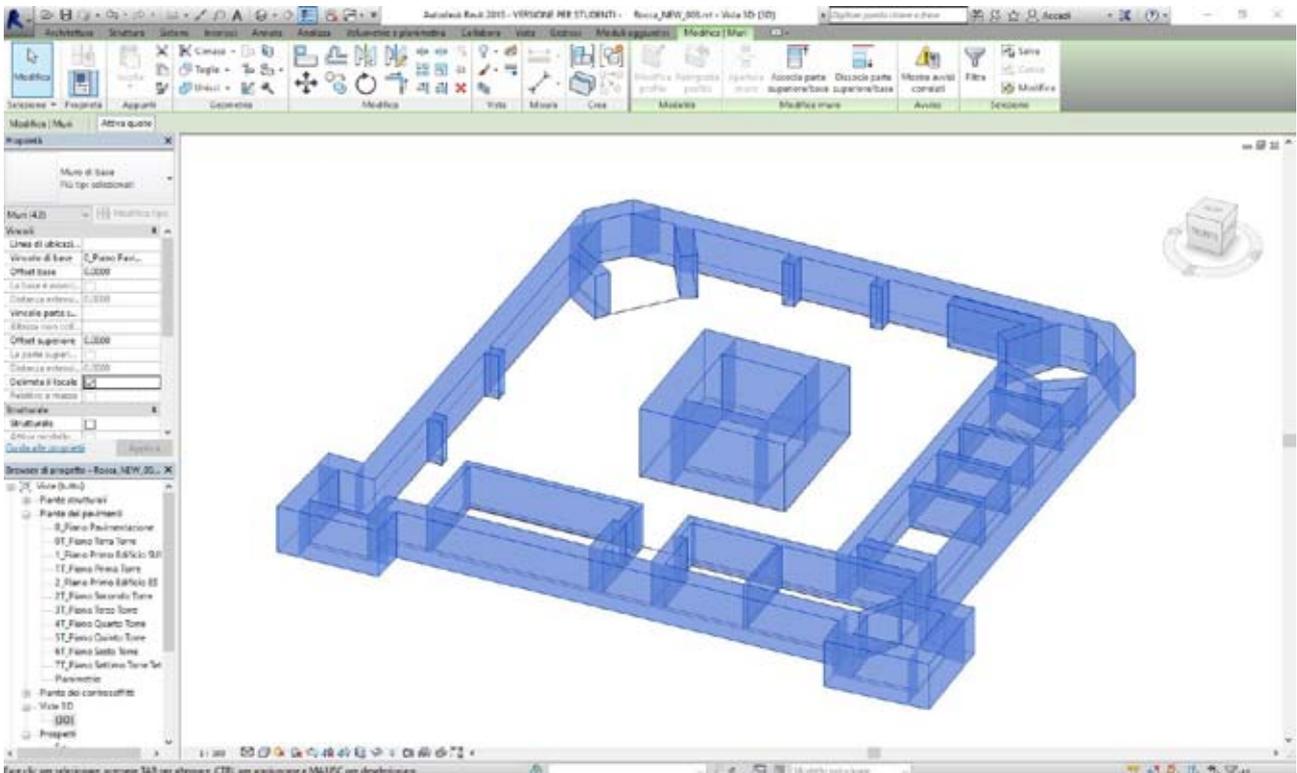


Fig 4.07 Vista delle pareti del modello - Audodesk Revit 2016.

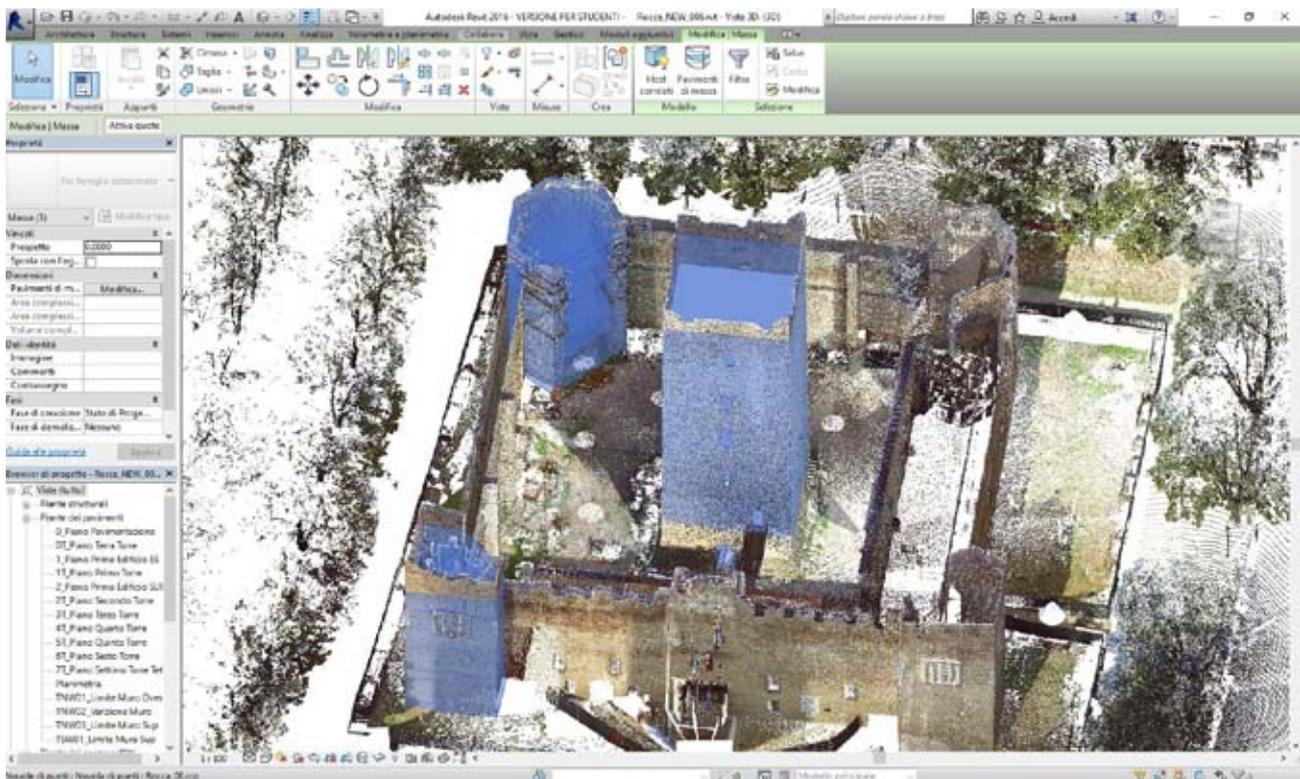


Fig 4.08 Masse concettuali costruite sulla nuvola di punti - Autodesk Revit 2016.

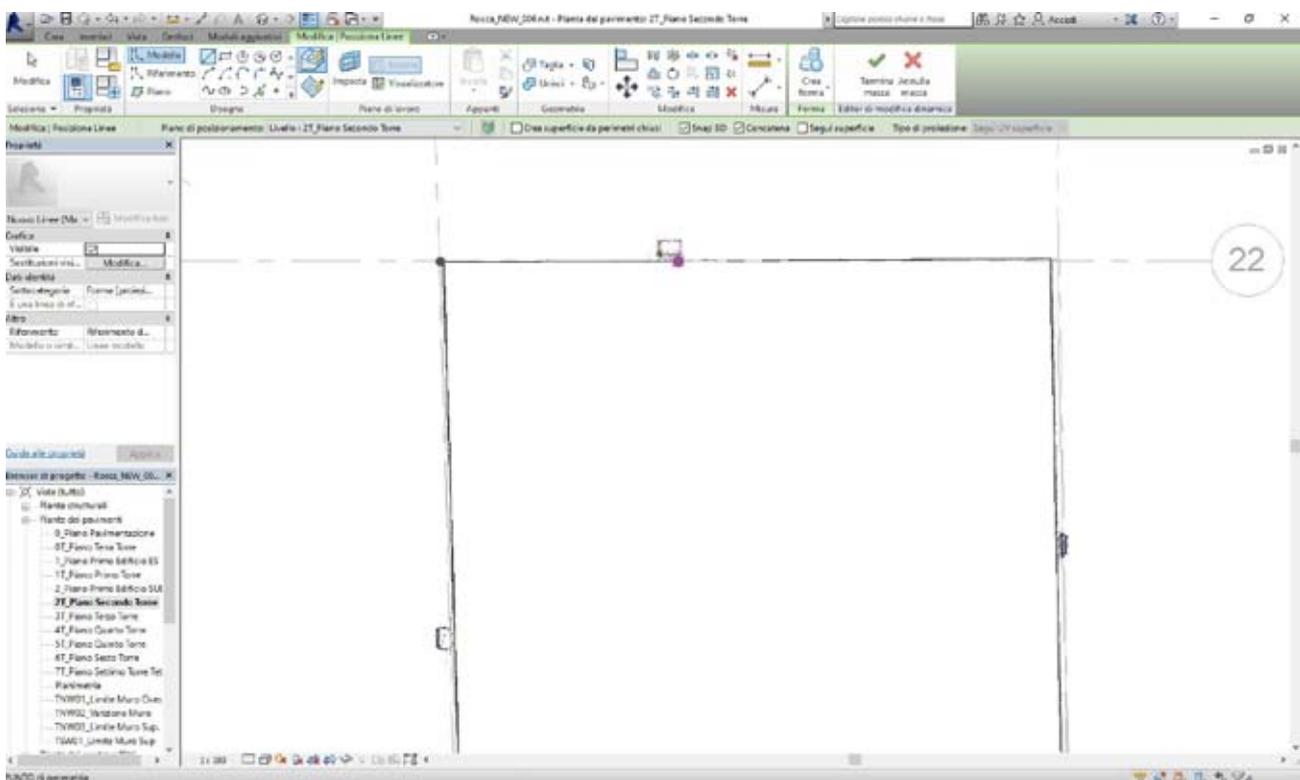


Fig 4.09 Linea di costruzione della massa concettuale locale definita sulla nuvola di punti - Autodesk Revit 2016.

Il metodo che si segue è quello di andare a selezionare dei piani tipo, per ogni livello della Rocca, ricalcare la nuvola di punti creando un contorno chiuso, una volta che si sono creati tutte le varie sagome si va a creare la massa concettuale che viene estrusa come collegamento tra le sezioni prima disegnate e in tal modo ricalcherà nella maniera più verosimile possibile il rilievo.

Questo metodo, laborioso e abbastanza lungo, deve essere ripetuto per tutti gli elementi principali che compongono la Rocca, andando a definire per ognuno di essi un singolo volume, e per ognuna delle masse così create si andranno a distinguere i vari livelli al suo interno.

Questi oggetti, costituiti da forme, superfici e volumi, possono essere utilizzati come “guida” per la realizzazioni delle murature che andranno a comporre il modello BIM, i muri sono famiglie di sistema, una delle proprietà che prevede questa famiglia è quella detta “muro da superfici” dove è possibile generare una parete aderente ad una data superficie, di qualsiasi forma, come potrebbe essere quella della massa creata in precedenza.

Andando a duplicare il “tipo” della famiglia di sistema muro è possibile definire diversi spessori a seconda della necessità specifica e basandosi sui dati provenienti dal rilievo, in tal modo si definiscono degli oggetti intelligenti, con una certa semantica, sono muri, che hanno il giusto spessore e seguono l’andamento reale della parte, seguendone tutte le difformità.

Le masse, a differenza dei muri, sono famiglie locali, cioè sono oggetti che esistono solo nello specifico progetto, solo in quel particolare modello BIM, (possono anche essere salvate anche come famiglie caricabili per essere esportate) e possono essere modificata, ma la modifica non è operazione facile in quanto una volta creato un volume 3D le linee che lo

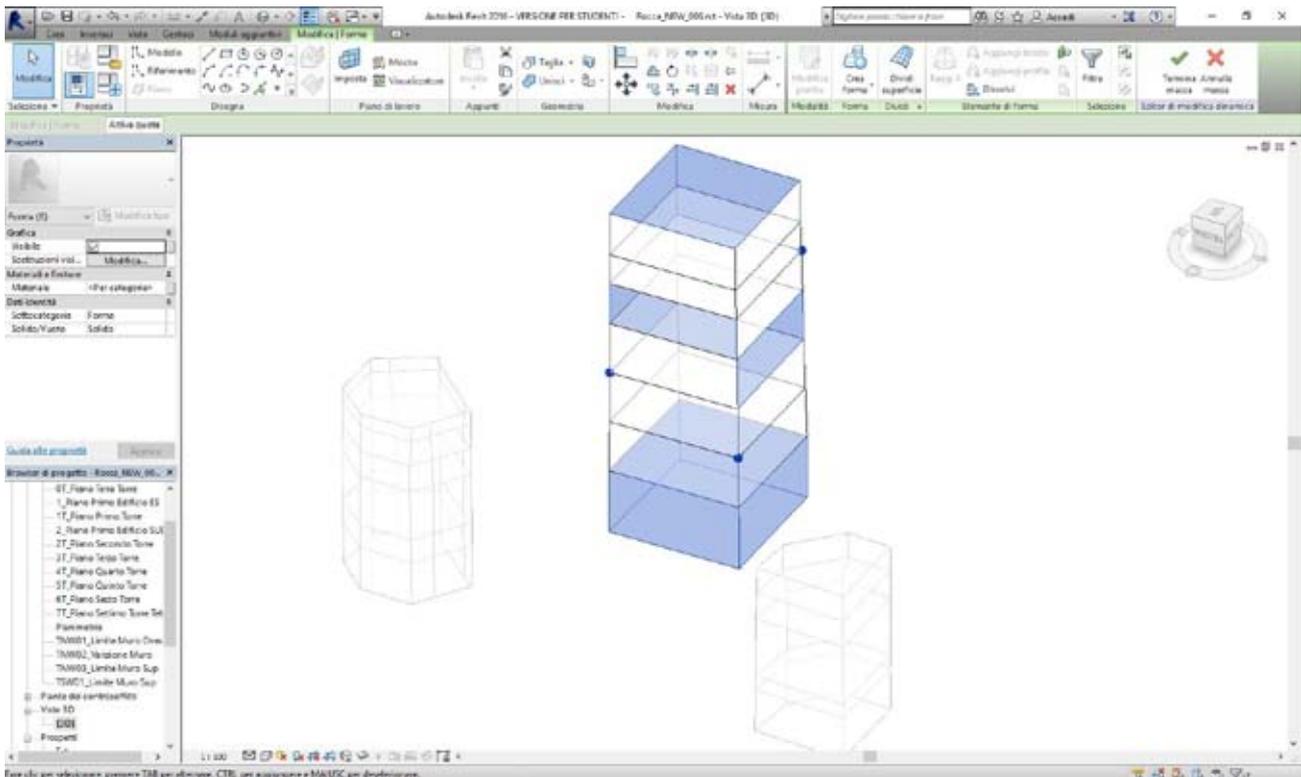


Fig 4.10 Masse locali e loro elementi della torre centrale e dei torrioni lato nord- Audodesk Revit 2016.

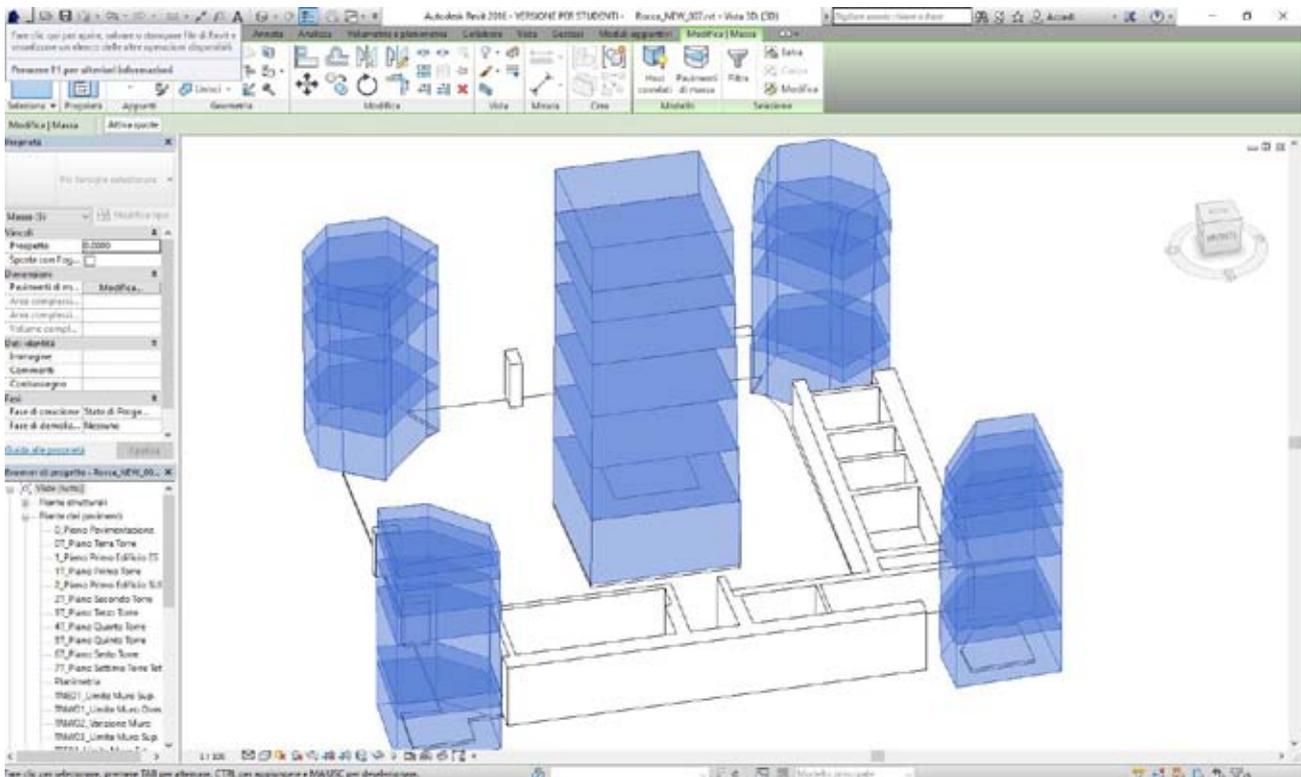


Fig 4.11 Masse locali della torre centrale e dei quattro torrioni- Audodesk Revit 2016.

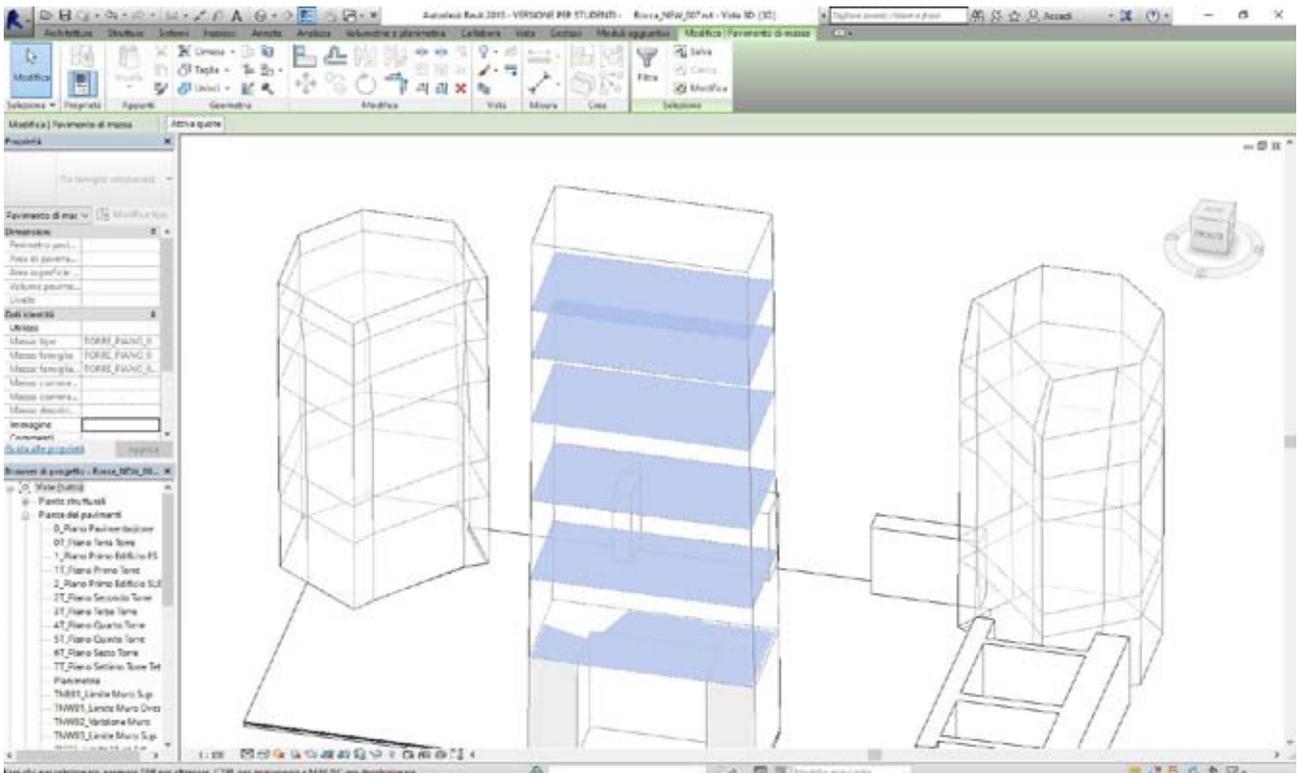


Fig 4.12 Masse locali della torre centrale e piani di massa- Audodesk Revit 2016.

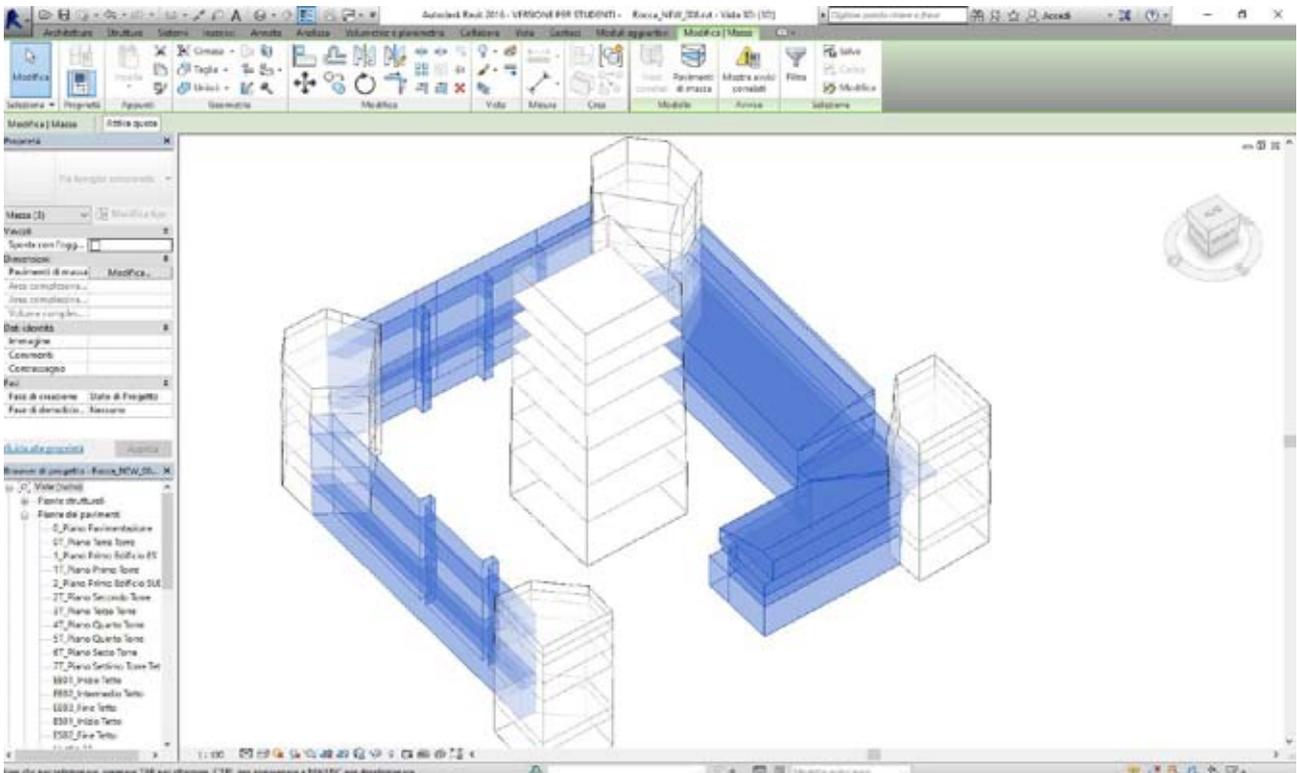


Fig 4.13 Masse locali dei muri nord e ovest e dell'edificio a Est - Audodesk Revit 2016.

hanno generato scompaiono e restano solo le facce e i volumi 3D, quindi occorre ricalcare nuovamente la sagoma dell'oggetto e disegnare la sagoma successiva per continuare con la creazione del volume completo che si vuole andare a definire.

Le famiglie di massa, oltre a generare superfici sulle quali è possibile creare dei muri che ne seguono perfettamente la morfologia, permettono di creare anche solai di interpiani, che tagliano letteralmente il solido, ma solamente se tali piani sono perfettamente orizzontali.

Con tali famiglie è anche possibile creare coperture particolari seguendo per esempio delle superfici di chiusura del solido che seguono l'inclinazione delle falde del vero tetto.

Questa operazione è decisamente lunga, occorre selezionare con accuratezza dei piani tipo dove tagliare la nuvola di punti, dopo aver selezionati tali piani come livello di lavoro bisogna ricalcare la nuvola stessa nel modo più preciso possibile, con i pochi riferimenti (Osnap) che Revit consente di usare, creare un profilo chiuso e infine creare un solido tra due contorni consecutivi, in questo modo si ottiene una massa verosimile all'oggetto che si sta ricalcando.

Una volta creati, i solidi, perdono il legame con le linee generatrici, perciò se sono stati disegnati male o se si notano degli errori occorre ricominciare dal principio eliminando il solido creato definendo delle nuove linee generatrici e questo è un altro fattore che consuma molto tempo nella modellazione.

Revit, come molti altri software BIM, è stato programmato per progettare oggetti nuovi dei quali si conosce in precedenza la conformazione geometrica degli oggetti che quindi possono essere costruiti da zero senza particolari problemi, per gli oggetti esistenti la questione diventa

molto più complicata, infatti molto spesso il programma dà errore se le linee non sono in asse, cosa che capita abbastanza spesso, e a catena l'errore si propaga ai solidi che non possono essere fusi tra loro perché le superfici che li compongono risultano non perfettamente planari.

Un altro dato del quale bisogna tenere conto è il fatto che quando si crea un oggetto muro, utilizzando la famiglia di sistema "muro da superficie" l'operazione che il software fa è quella di selezionare una faccia della massa di volume e disegnarci letteralmente sopra una parete in modo che la superficie del muro coincida perfettamente con essa, quindi se la forma della faccia è a stella, anche il muro così creato risulterà a stella, e dopo non potrà più essere modificato a meno che non si modifichi la massa di volume e poi si aggiorni la parete di conseguenza, ma è un'operazione laboriosa con alto tasso di errore.

Inoltre le pareti vengono orientate seguendo le normali delle superfici sopra alle quali si vogliono disegnare, e a seconda di come si decide di allinearle al momento della creazione (se con finitura esterna o finitura interna), questa scelta però va fatta all'inizio altrimenti, se le pareti create non sono perfettamente verticali, non sarà possibile invertire la stratigrafia della parete stessa e bisognerà rifarla da capo, di solito, se i solidi della massa sono stati creati correttamente e se sono chiusi, allora le normali alle facce sono sempre rivolte verso l'esterno e il problema dell'orientamento del muro non si pone.

Il passo successivo è quindi quello di andare a modellare le pareti sulle varie superfici create in precedenza, da questa operazione nascono un'altra serie di problemi, prima di tutto, essendo la famiglia muro una famiglia di sistema, occorre creare dei duplicati di uno dei "tipi" base già esistenti, come già descritto in precedenza, occorre creare un duplicato per ogni tipologia diversa di parete presente nel progetto, in modo da poterle poi modificare in un secondo momento, sia per conformazione

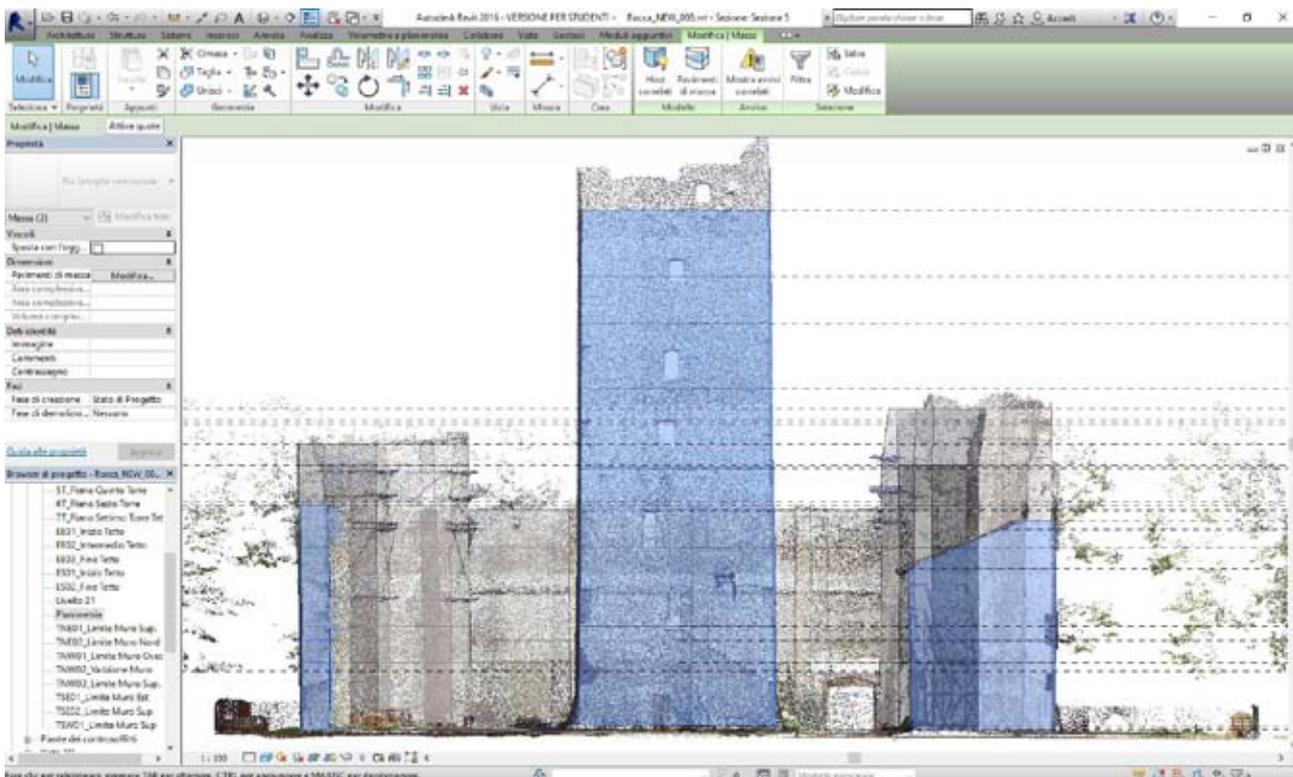


Fig 4.14 Vista in sezione delle masse locali a confronto con la nuvola di punti - Autodesk Revit 2016.

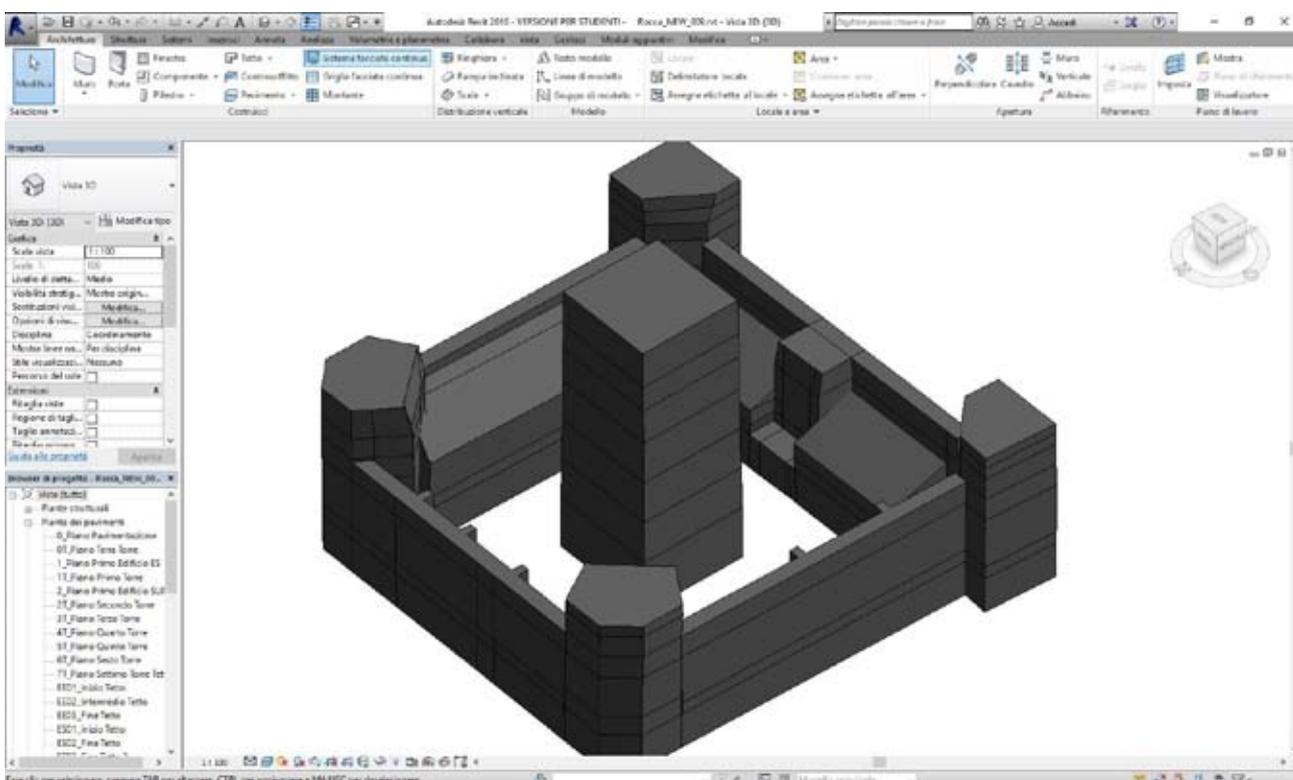


Fig 4.15 Massa concettuale di tutta la Rocca - Autodesk Revit 2016.

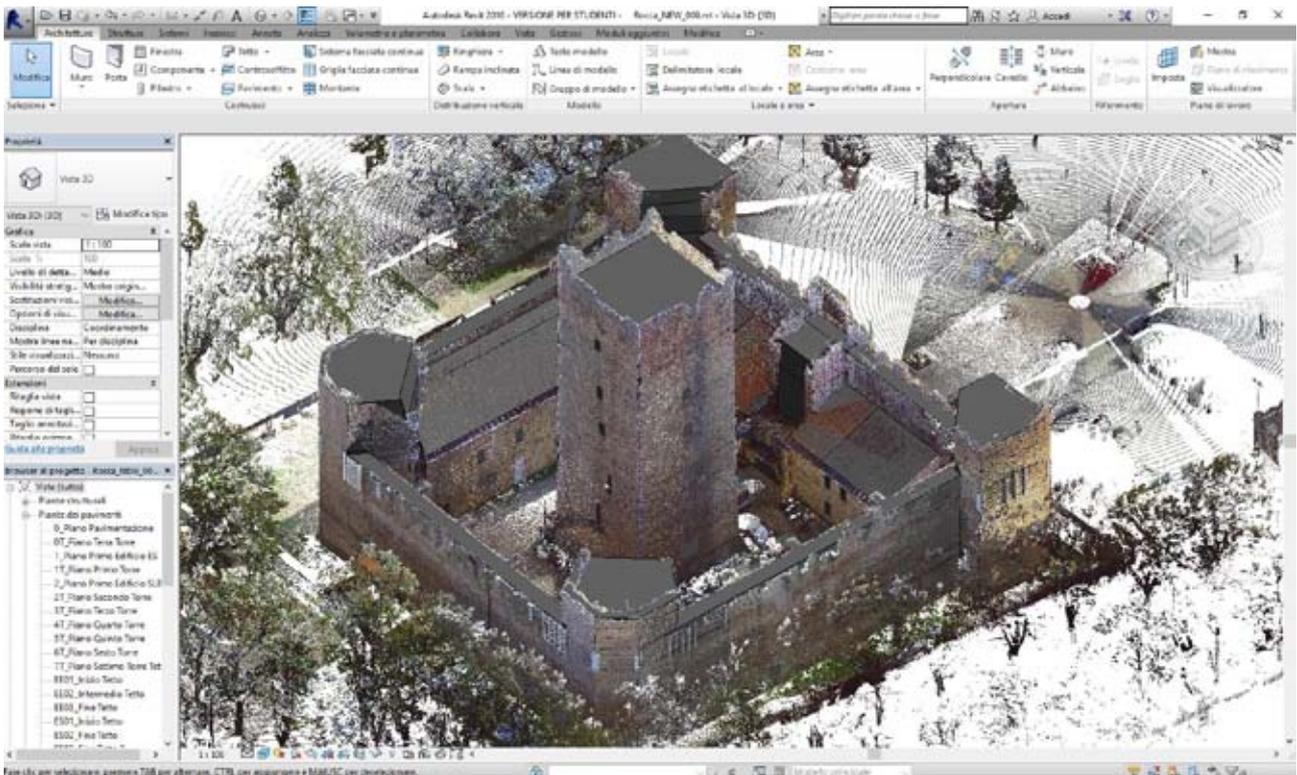


Fig 4.16 Massa concettuale di tutta la Rocca a confronto con la nuvola di punti - Autodesk Revit 2016.

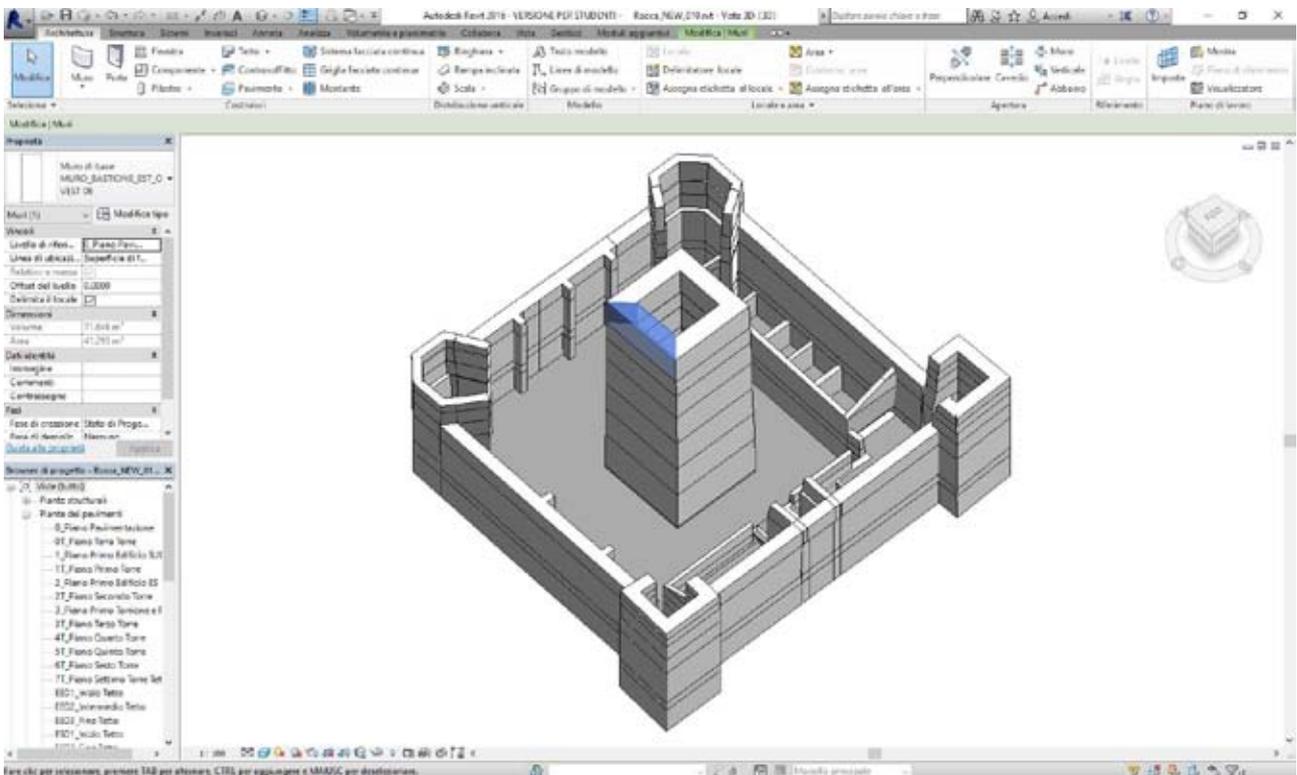


Fig 4.17 Muri di superficie creati sulla massa locale - Autodesk Revit 2016.

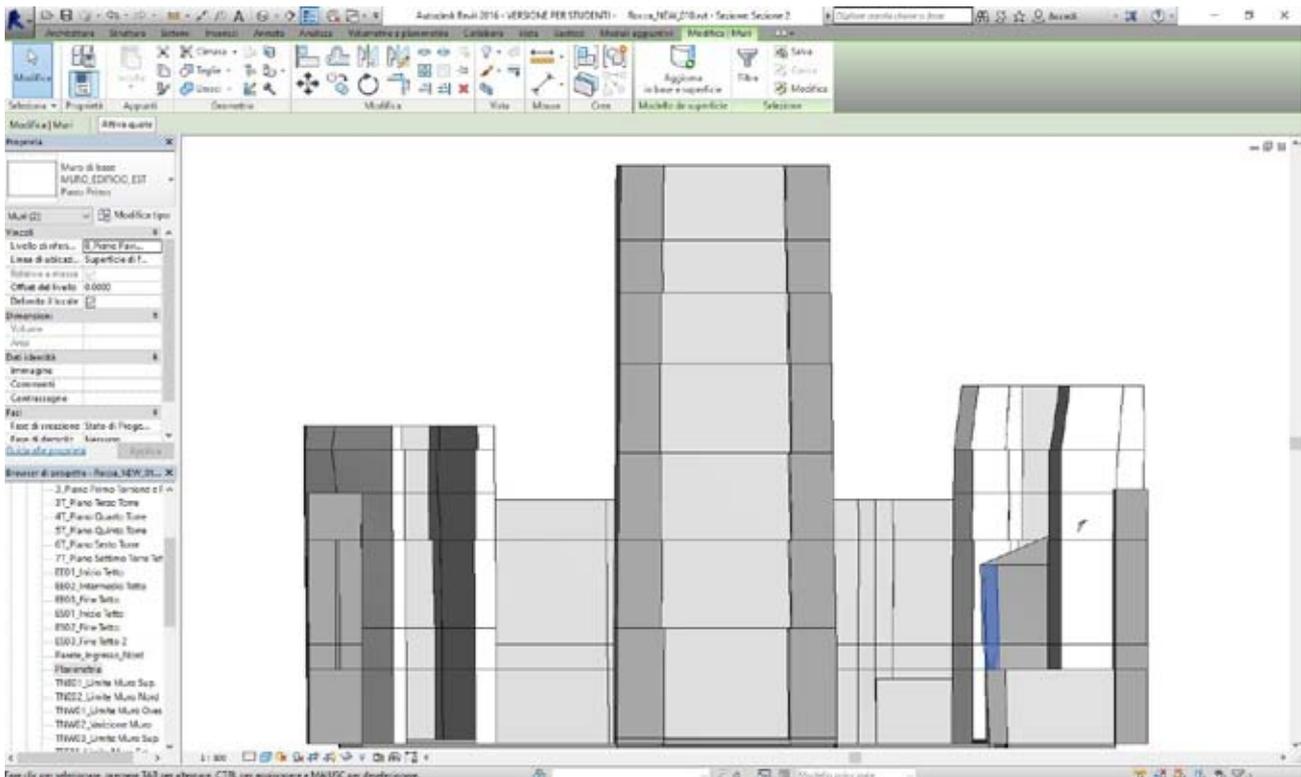


Fig 4.18 Vista di sezione dei muri da superficie - Audodesk Revit 2016.

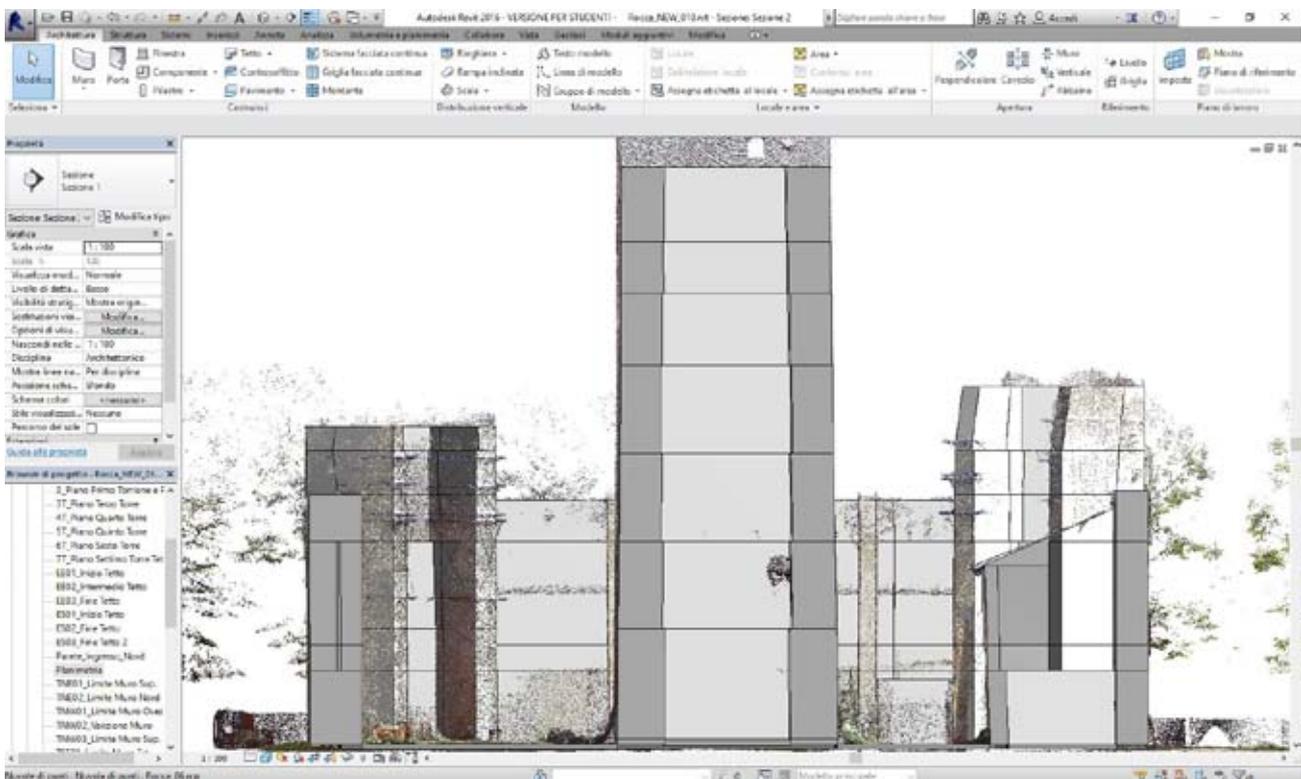


Fig 4.19 Vista di sezione dei muri da superficie e nuvola di punti - Audodesk Revit 2016.

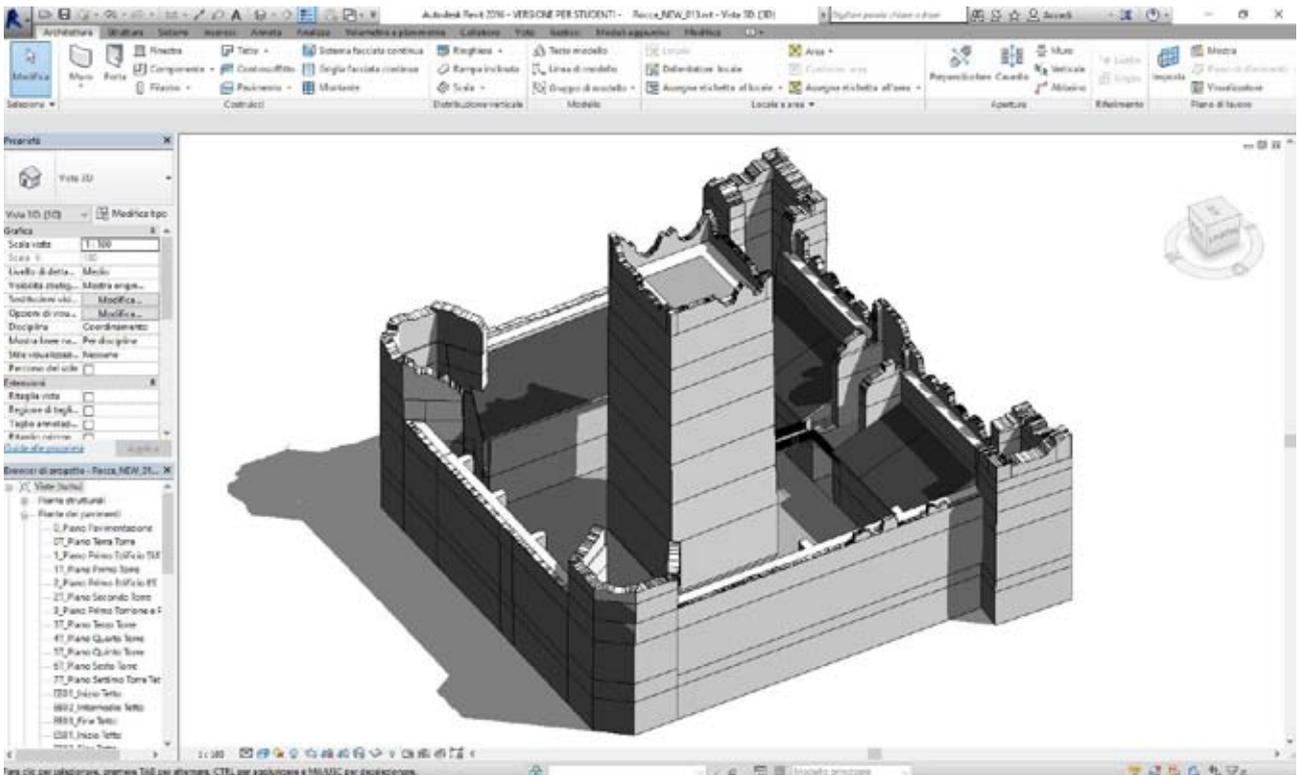


Fig 4.20 Assonometria con ombre della muratura completa della Rocca - Audodesk Revit 2016.

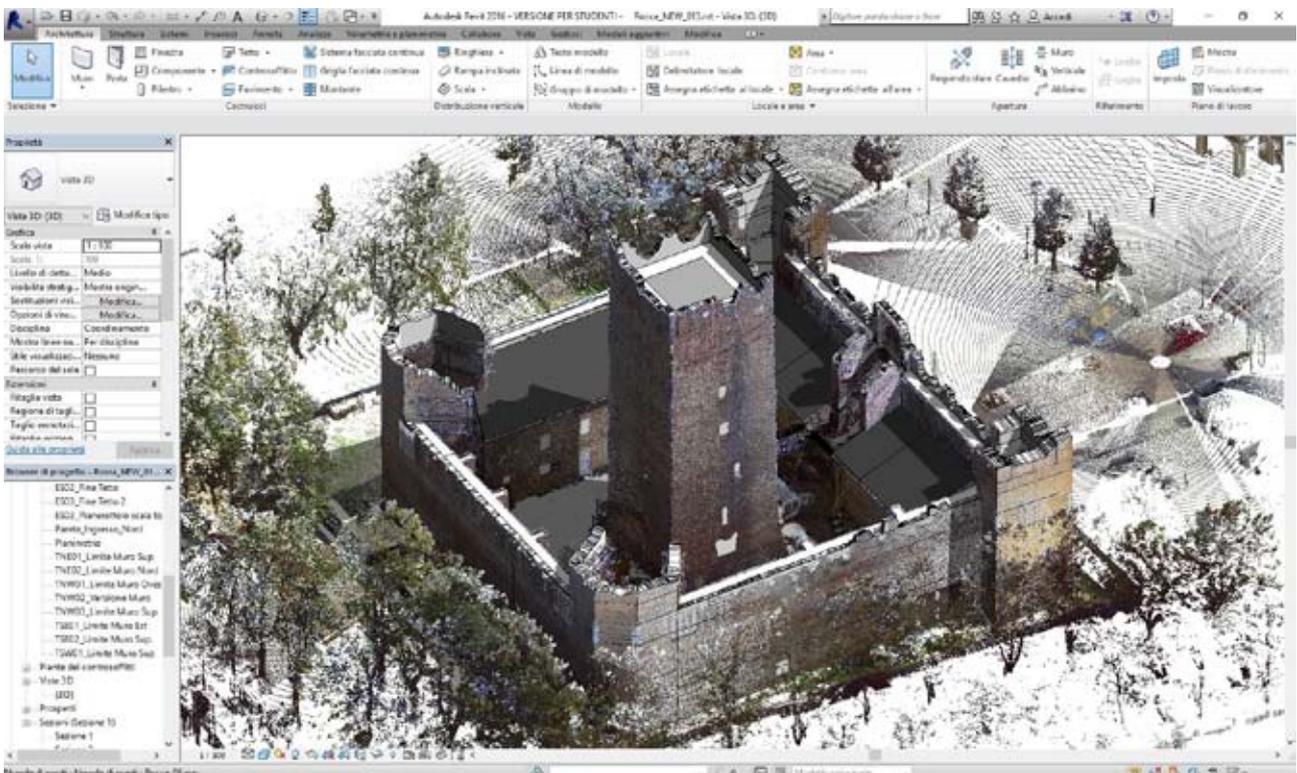


Fig 4.21 Assonometria con ombre della muratura completa della Rocca in aggiunta alla nuvola di punti - Audodesk Revit 2016.

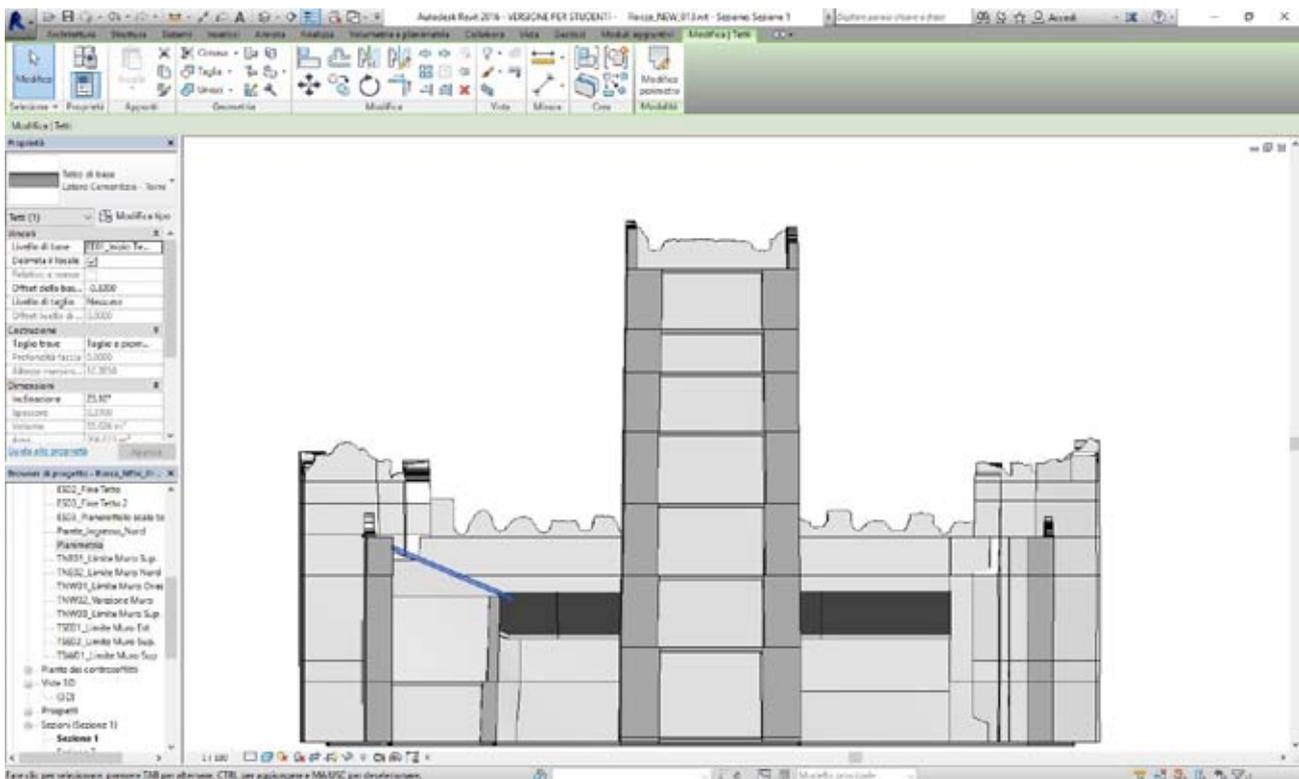


Fig 4.22 Sezione della muratura completa della Rocca - Autodesk Revit 2016.

geometrica sia per stratigrafia interna.

In secondo luogo bisogna seguire una certa logica nel costruire le pareti, cercando di concatenarle le une alle altre lavorando per piani successivi, partendo quindi dal basso e andando verso l'alto, in questo modo si creano dei legami tra i vari muri che tornano utili nel momento che si deve andare a verificare per esempio la scolarità di uno dei vari edifici.

Questo metodo di lavoro serve per avere una distinzione il più possibile realistica di tutte le componenti dell'edificio, per poter poi aggiungere informazioni quando vengono fatte indagini successive sul singolo elemento, quindi più dati parametrici si possono inserire nel modello, più sarà facile andarli a modificare in seguito, quindi è possibile inserire degli oggetti generici all'inizio che magari hanno soltanto delle informazioni geometriche per definire ingombri dei vari elementi e poi andarli a dettagliare in seguito.

I muri, come già scritto in precedenza, sono famiglie di sistema, quando si generano nel modello, sullo stesso livello, Revit tenta di collegarne uno a quello adiacente, andando a congiungere gli spigoli eliminando ogni soluzione di continuità, in questo modo le pareti risulteranno lisce e lineari, ma questo funziona bene su modelli per edifici di nuova progettazione, mentre nel caso della modellazione di un rilievo le pareti presentano spesso forme anomale e sono collegate tra loro con angoli anche molto piccoli.

Nei casi specifici in cui le pareti non hanno collegamenti lineari, o dove per esempio la massa di volume sulle cui superfici si sono costruiti i muri non sono perfettamente allineate, il software non riesce a collegare le pareti le une alle altre, mantenendole come oggetti separati e senza fare i risvolti automatici, questo oltre ad essere un errore grafico è anche un errore concettuale perché due oggetti parete non vengono collegati nel modo giusto e si perde la relazione di continuità della parete.

Questo può succedere anche quando per esempio si collegano due muri di spessore differente, sia sullo stesso piano che su piani differenti, il software, a volte tenta di colmare la differenza di spessore stirando letteralmente il muro, andando a creare un errore, perché nella realtà il muro ha davvero uno scalino.

Tutte queste difficoltà sono legate al fatto che si sta lavorando con oggetti dalle forme uniche e particolari, ogni parete ha la sua inclinazione e la sua forma specifica, e ovviamente il suo spessore, e per simulare la realtà si utilizzano oggetti preesistenti adattati il più possibile alle superfici reali.

Il software inoltre non permette di creare una parete seguendo più di una superficie, per esempio se la parete in esame avesse entrambe le facce longitudinali inclinate in direzioni diverse, quindi si deve per forza selezionare l'interno o l'esterno e l'altra faccia del muro viene disegnata

di conseguenza in base allo spessore di quel particolare tipo di quella famiglia di sistema, quindi la superficie derivata, tra le due, è sempre difforme da quella che si era disegnata ricalcando la nuvola di punti e definendo la massa di volume.

#### **4.4.4 FAMIGLIE PERSONALIZZATE: ELEMENTI PARTICOLARI**

La quasi totalità dei software BIM nasce per le nuove costruzioni o le nuove progettazioni, quindi molti elementi necessari nella creazione del modello potrebbero non esistere, ma possono essere aggiunti creando nuove famiglie, il vantaggio di questa operazione è che gli elementi creati in questo modo sono parametrici, questo significa che non sono “blocchi” inseriti nel modello che non potranno più essere modificati, ma hanno delle definizioni intrinseche che li rendono davvero versatili. In questo modo si può anche definire una gerarchia degli oggetti e anche un loro significato semantico.

In questa sezione si descrive la creazione di alcune famiglie personalizzate parametriche con le strategie utilizzate e con le definizioni che si sono volute aggiungere ai vari elementi, definendo sia le procedure che le semplificazioni adoperate e non per ultimi i problemi che si sono riscontrati.

Altre famiglie parametriche sono state create oltre a quelle elencate ma qui si è deciso di presentare solo quelle più significative a validazione del metodo che si vuole presentare, inoltre tali famiglie sono quasi tutte famiglie caricabili che quindi hanno la possibilità di essere utilizzate in altri progetti che presentino caratteristiche simili alla Rocca, che è un esempio classico di edificio fortificato.

Da questo punto in poi si elencano le varie fasi che si sono seguite per creare una o più famiglie, ricalcando passo passo la procedura utilizzata.

#### 4.4.4.1 FINESTRE PARAMETRICHE

La prima famiglia parametrica che si è generata per il modello della Rocca di Reggiolo è quella delle finestre, sono state studiate le varie tipologie di aperture che sono presenti nell'edificio e si è cercato di riprodurre degli oggetti parametrici che si potessero adattare il meglio possibile alla realtà, con un livello di dettaglio per una scala al 100 o al 50.

Prima di tutto si inizia aprendo una nuova famiglia nell'editor di famiglie di Revit e si seleziona una famiglia di base dalla quale partire, questa scelta è molto importante perché definisce la natura stessa della famiglia, si definisce in questo momento la semantica di quello che si sta andando a modellare, se si decide di creare una finestra, partendo per esempio da un modello di finestra metrica, tale scelta non può più essere modificata e per il software quella famiglia è una famiglia finestra, qualsiasi modifica si apporti al tipo o al disegno.

Si apre poi un ambiente di disegno in tutto e per tutto simile a quello di progettazione di Revit, con all'interno un modello molto semplice con già dei parametri inseriti, come per esempio l'altezza e la lunghezza della finestra stessa, è possibile modificare tali parametri e crearne altri, come sempre Revit ragiona per piani di lavoro, è quindi necessario definire degli assi e le relazioni tra essi per poter cominciare a lavorare.

Nella fase di definizione degli assi si inizia già a vedere la funzione dei parametri, selezionando una quota tra due elementi che ne definisce la distanza reciproca, oltre a poterla rendere equivalente ad altre misure, è possibile assegnarla ad un parametro, per esempio alla larghezza esterna della finestra, ora tale valore compare nelle proprietà della famiglia, nella sotto voce dimensioni e può essere modificata a piacimento, e il disegno si modifica di conseguenza in base al nuovo valore inserito.

Si procede poi inserendo gli assi per la larghezza interna, per la larghezza dello sguincio e per l'altezza dei vari elementi, lavorando prima in pianta e poi sui prospetti, l'host sul quale si modella la finestra è un muro, questo significa che questa famiglia parametrica, una volta ultimata può essere inserita soltanto in famiglie di sistema muro, e questo sottolinea ulteriormente la semantica di questo oggetto.

Man mano che si inseriscono nuovi parametri questi vengono tutti visualizzati nelle proprietà della famiglia, e cambiando i valori si possono modificare le relative misure, è sempre possibile in ogni momento trasformare parametri di istanza in parametri di tipo e viceversa ed è sempre possibile modificare il gruppo di appartenenza di ognuno di essi.

I parametri di tipo di una famiglia modificano tutti gli elementi che fanno riferimento allo stesso "tipo" mentre i parametri di istanza servono per poter cambiare localmente, anche sulla singola copia di un oggetto, il valore di una misura, non è possibile definire delle proprietà di istanza se le variabili che le identificano sono utilizzate in una formula.

Quando si elimina un parametro legato a delle misure sul disegno, Revit comunica che una definizione sul disegno potrebbe essere persa, quindi bisogna sempre lavorare con ordine per evitare di lasciare parametri nascosti o inutilizzati nel disegno in modo che il modello risulti il più pulito possibile.

Dopo aver inserito gli assi di riferimento per gli oggetti che si vogliono modellare si creano dei solidi di sottrazione che servono per definire le aperture all'interno dell'host, in questo caso la parete, anche in adesso si selezionano i piani di lavoro e con gli strumenti di disegno all'interno del comando di estrusione si traccia il profilo dell'elemento che deve essere vincolato agli assi definiti in precedenza in modo che modificando le loro misure, con i relativi parametri, cambia anche la dimensione del solido.

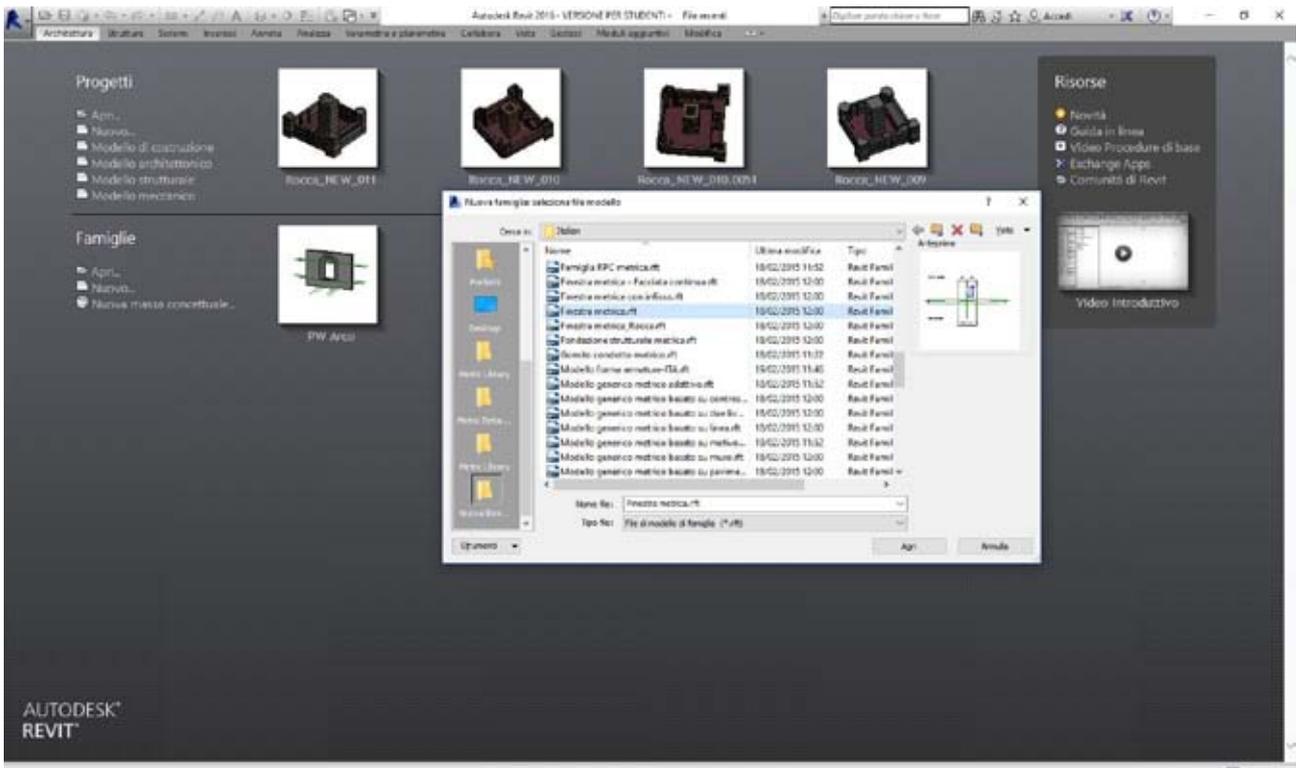


Fig 4.23 Editor di famiglie e scelta tipologia - Audodesk Revit 2016.

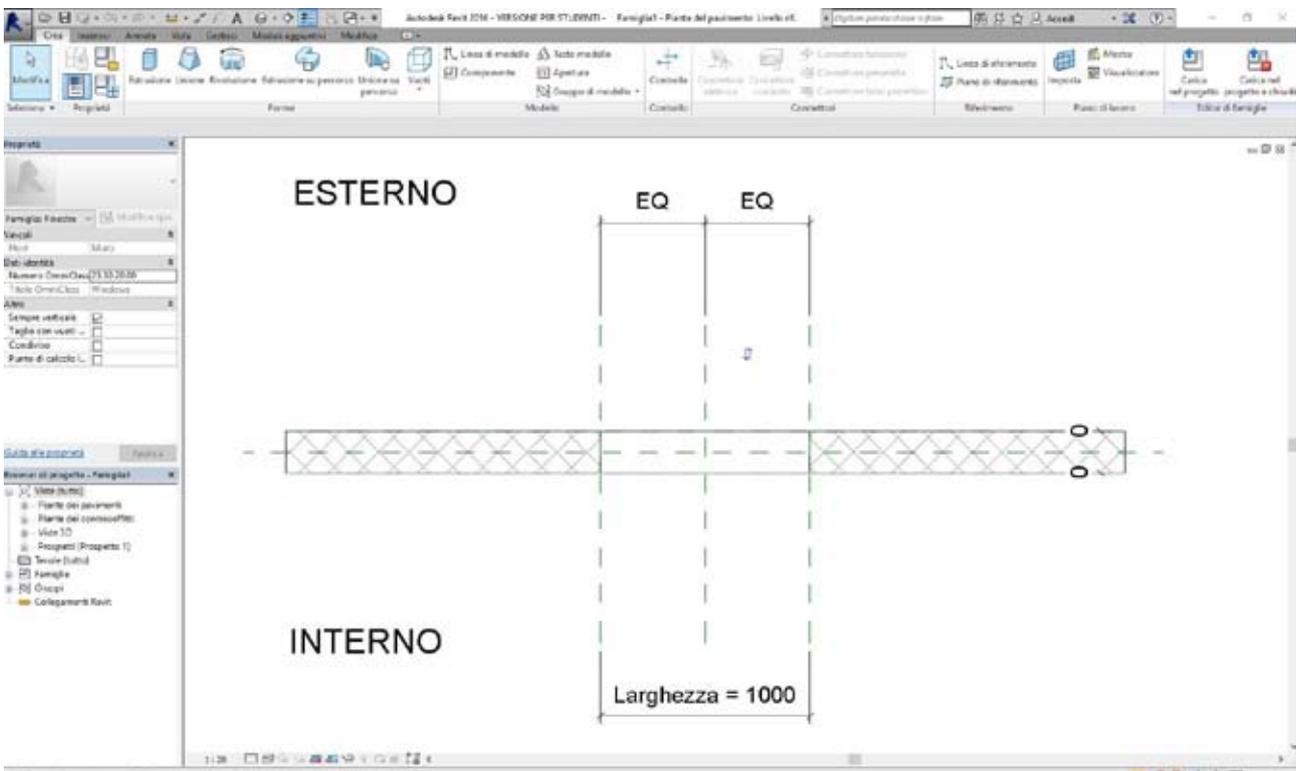


Fig 4.24 Vista di pianta ed assi - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016.

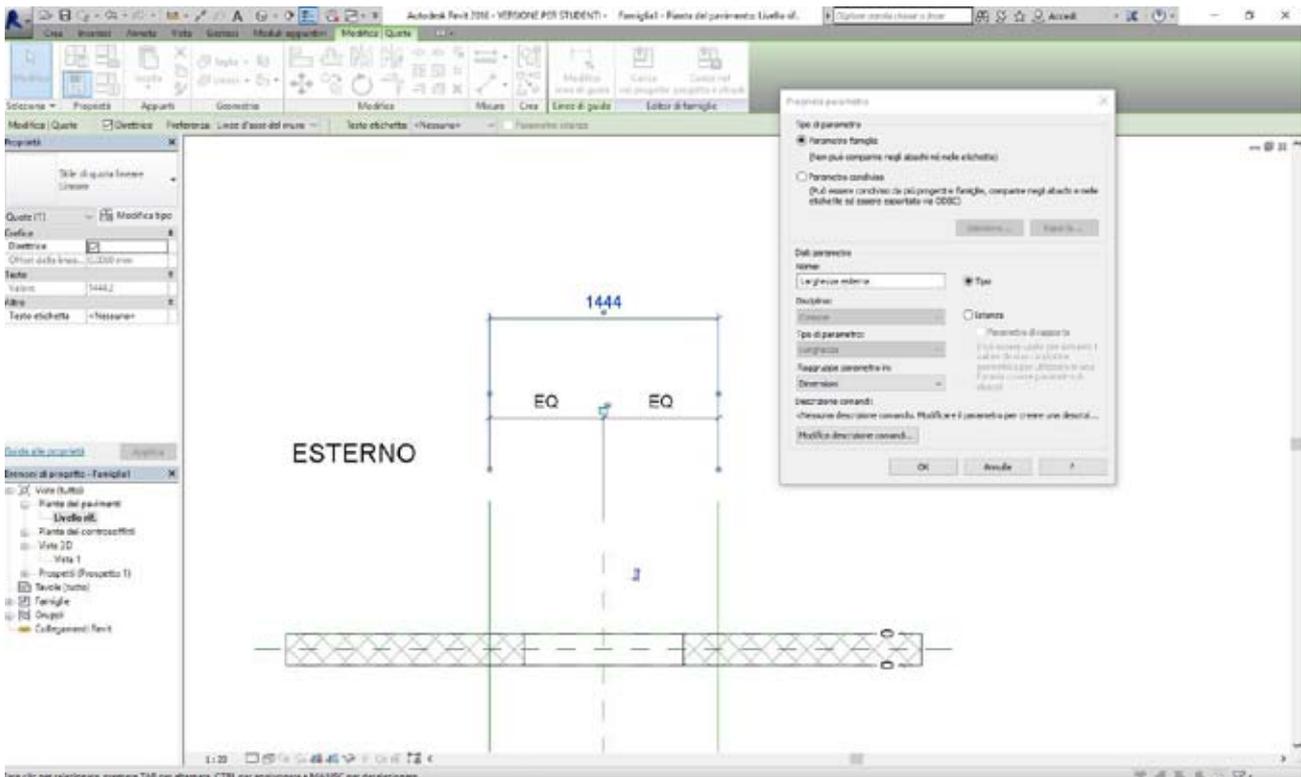


Fig 4.25 Inserimento parametri - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

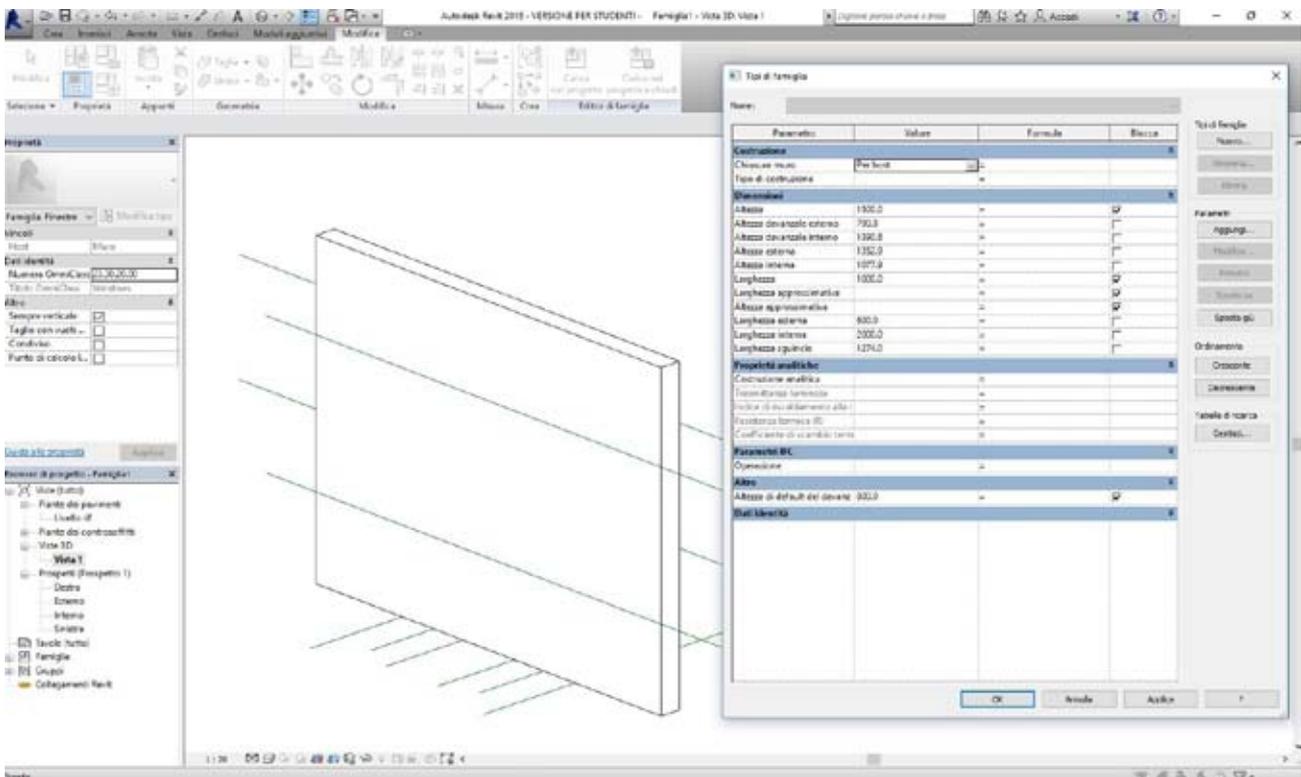


Fig 4.26 Assi in prospettiva e parametri verticali - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

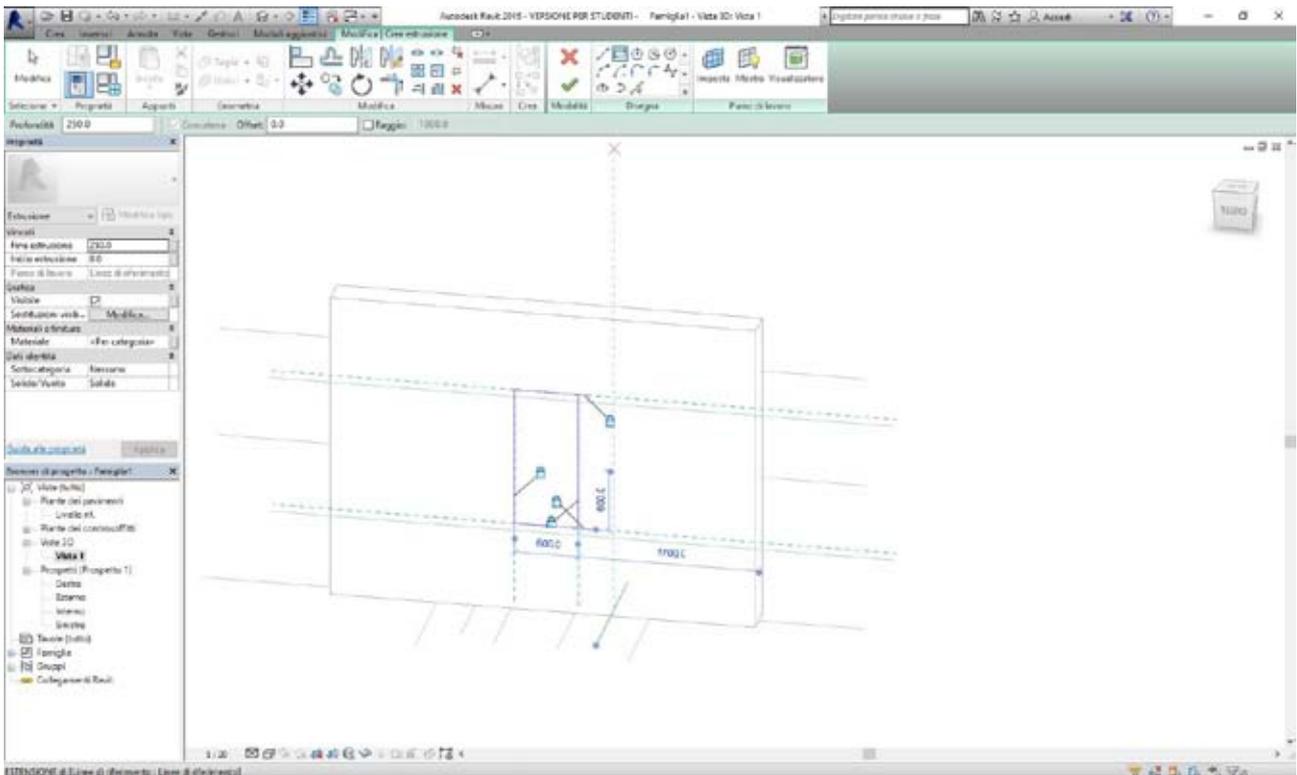


Fig 4.27 Inserimento di regole e vincoli - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

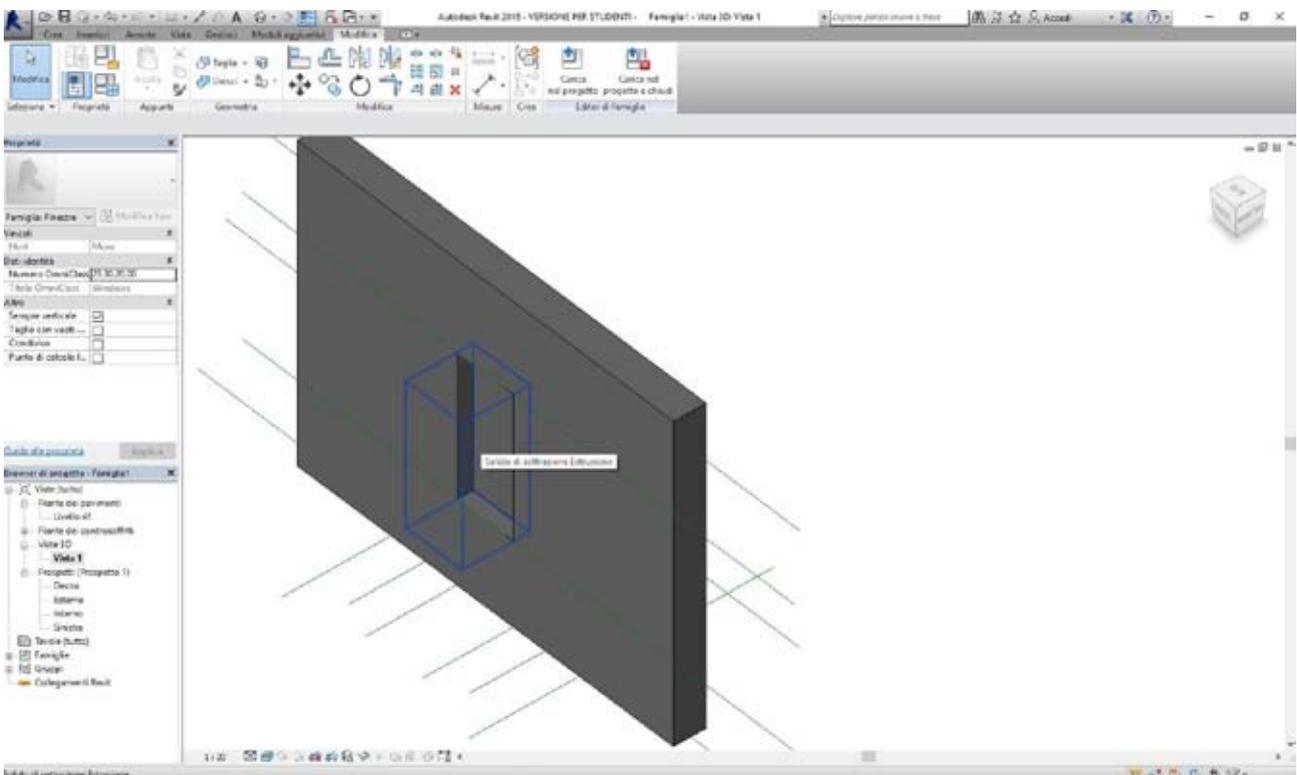


Fig 4.28 Creazione solido di estrusione - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

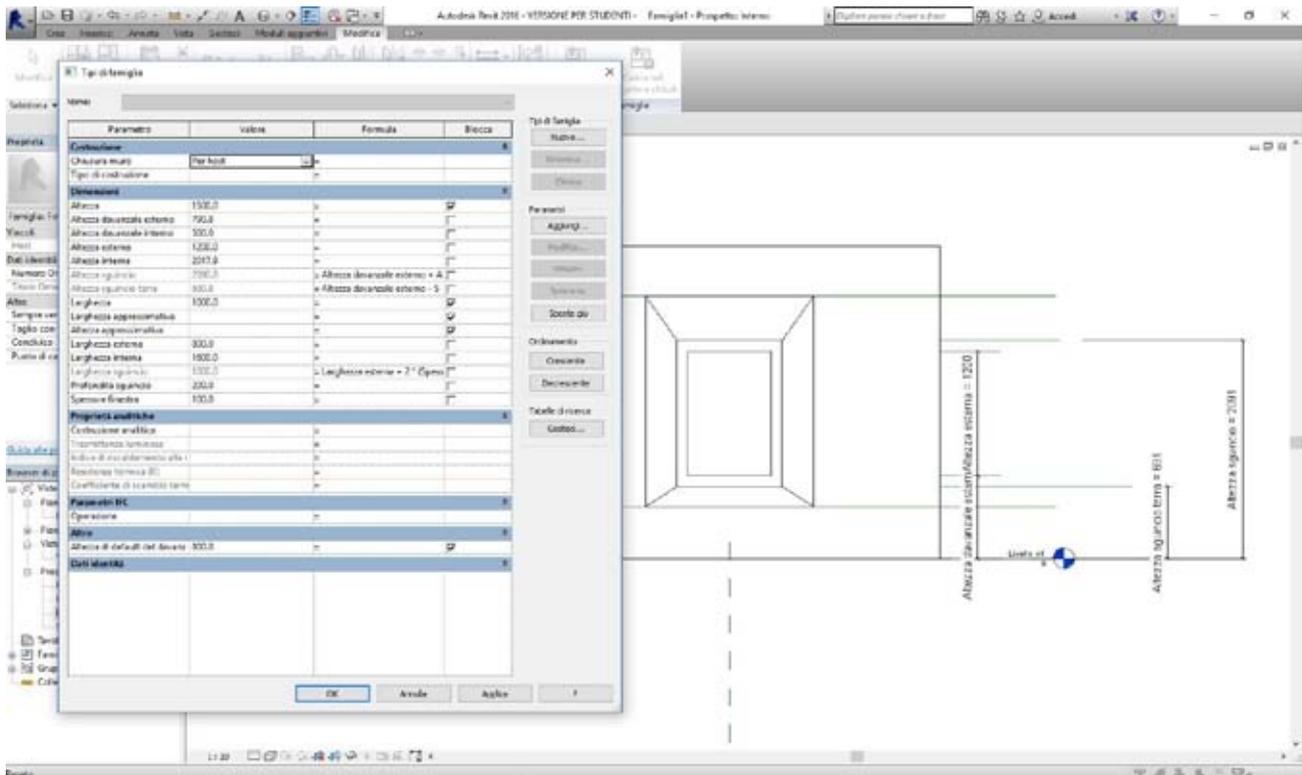


Fig 4.29 Creazione parametri dello sgancio e di quota - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

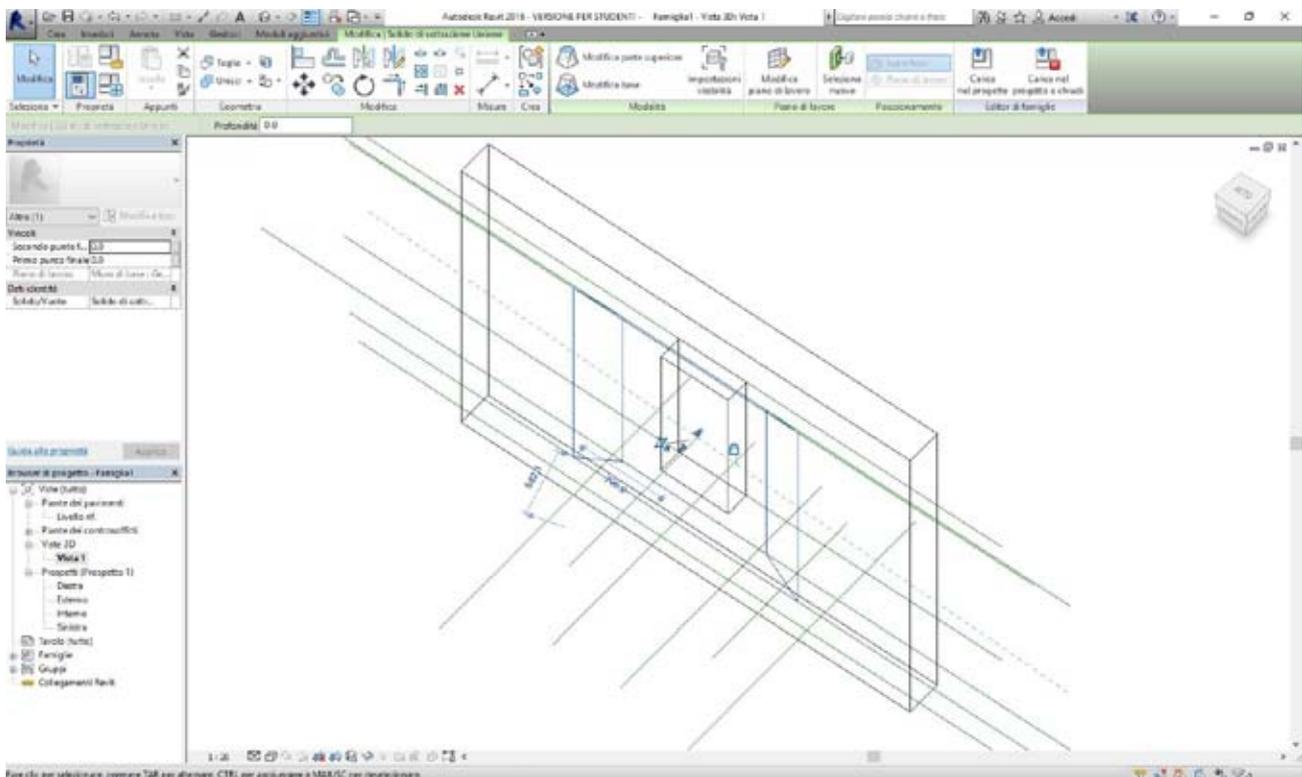


Fig 4.30 Impostazione limiti di foratura - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

Il solido di sottrazione che si genera, una volta vincolato agli assi, e ai vari piani di riferimento, viene sottratto dal solido costituito dall'host creando la foratura necessaria, questo viene fatto sia per la parte esterna che per la parte interna della finestra in modo da avere due aperture indipendenti legate a parametri diversi modificabili separatamente.

Per definire le misure dello sguincio e lo spessore dove appoggia l'infisso della finestra si definiscono alcune formule di relazione, queste formule permettono di rendere proporzionali alcune distanze definendo delle variabili dipendenti ad altre indipendenti ponendo quindi delle regole ben precise.

Poi si definisce il secondo solido per la foratura della parte interna dell'apertura, tale solido non è più un solido di estrusione ma un solido di unione tra due profili, quello interno e quello dello sguincio della finestra, e tutti i valori che regolano il disegno di questi due elementi sono legati a parametri quindi modificabili separatamente, dato che vengono vincolati alla posizione degli assi già tracciati.

In alcuni casi questo solido potrebbe non forare in modo adeguato il muro, generando errori una volta che viene inserita la famiglia nel modello, quindi è possibile operare anche utilizzando un altro tipo di strategia, definendo cioè un solido di estrusione che segue la sagoma in pianta dello sguincio, di solito a forma di trapezio, e non il profilo dello stesso in prospetto, e questo procedimento presenta di solito meno problemi dal punto di vista della foratura degli host.

Una volta sottratto anche il secondo solido dall'host, si ottiene una finestra con sguincio parametrica, che può essere modificata agendo sui parametri e può essere inserita in ogni progetto come famiglia caricabile e poi è utilizzabile nel modello stesso come famiglia locale, ogni modifica apportata alla famiglia locale resta all'interno di quello specifico lavoro,

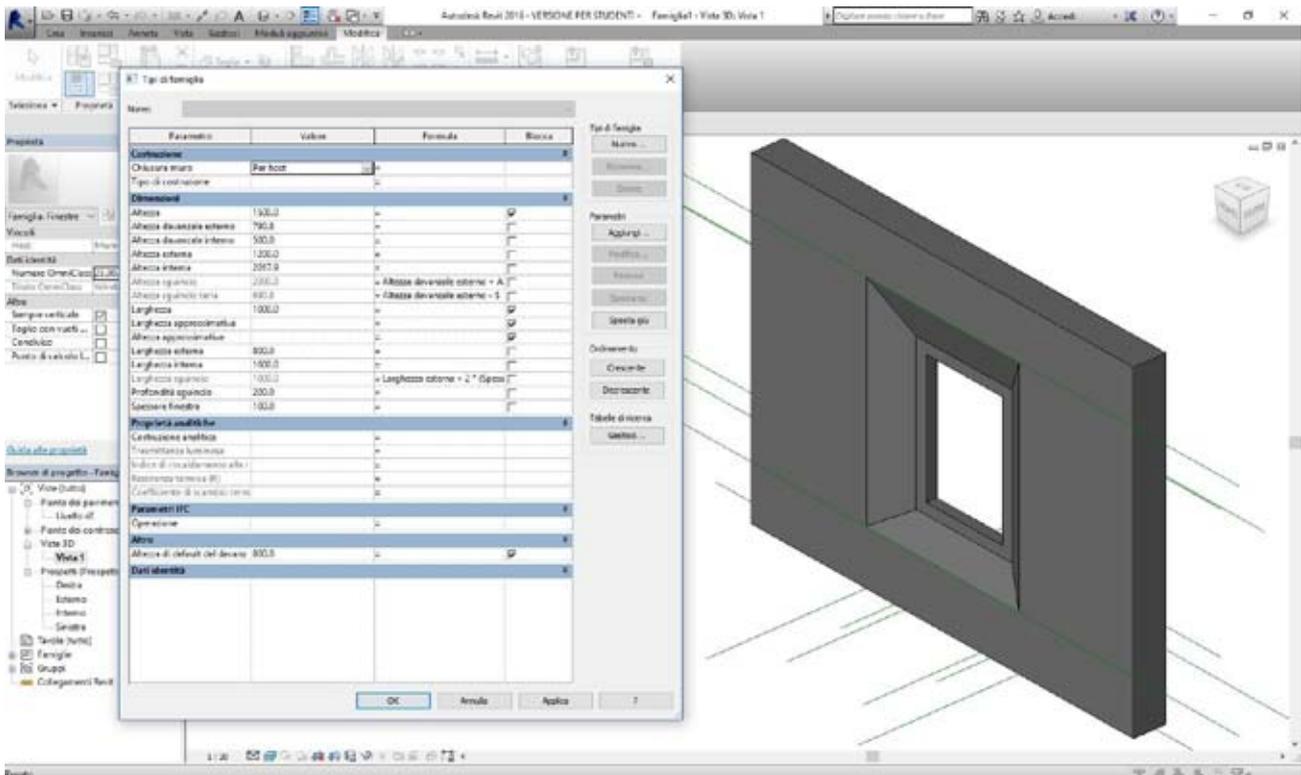


Fig 4.31 Vista assometrica foratura del muro - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

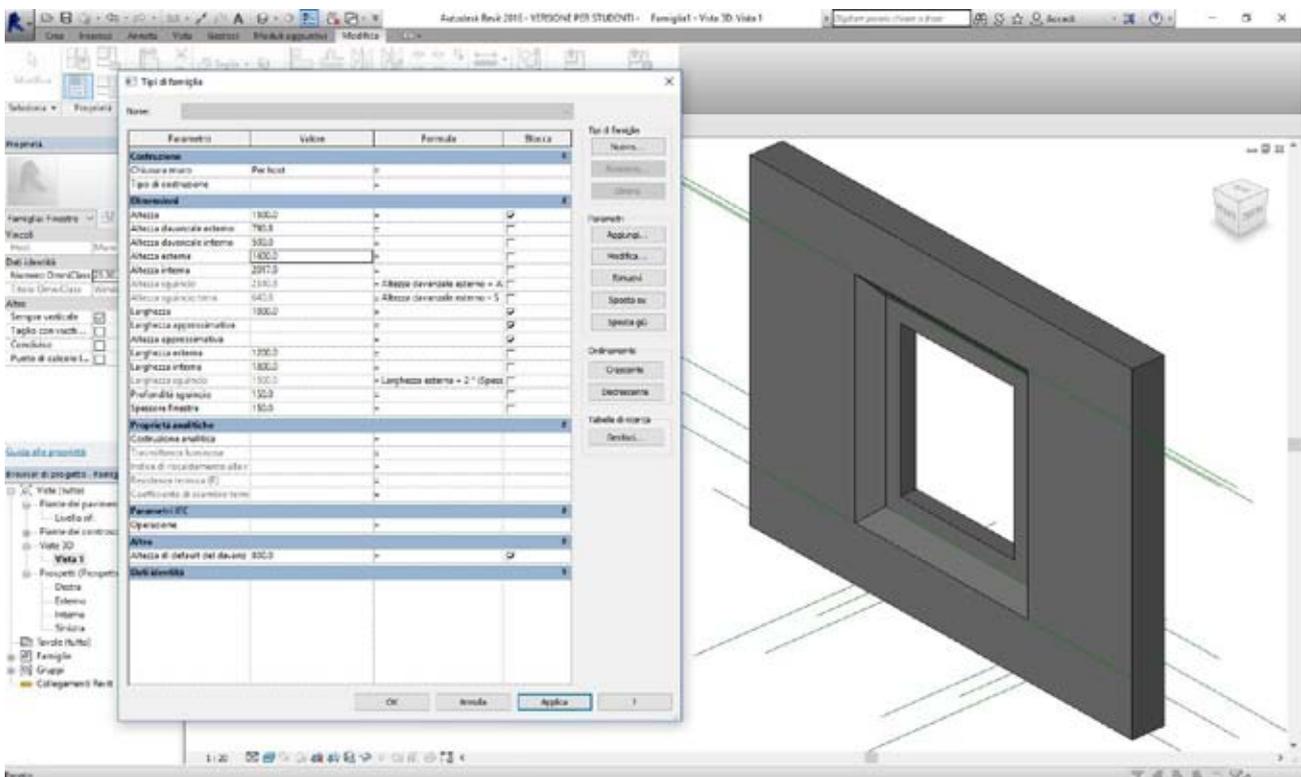


Fig 4.32 Variazione di parametri e modifiche corrispondenti - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

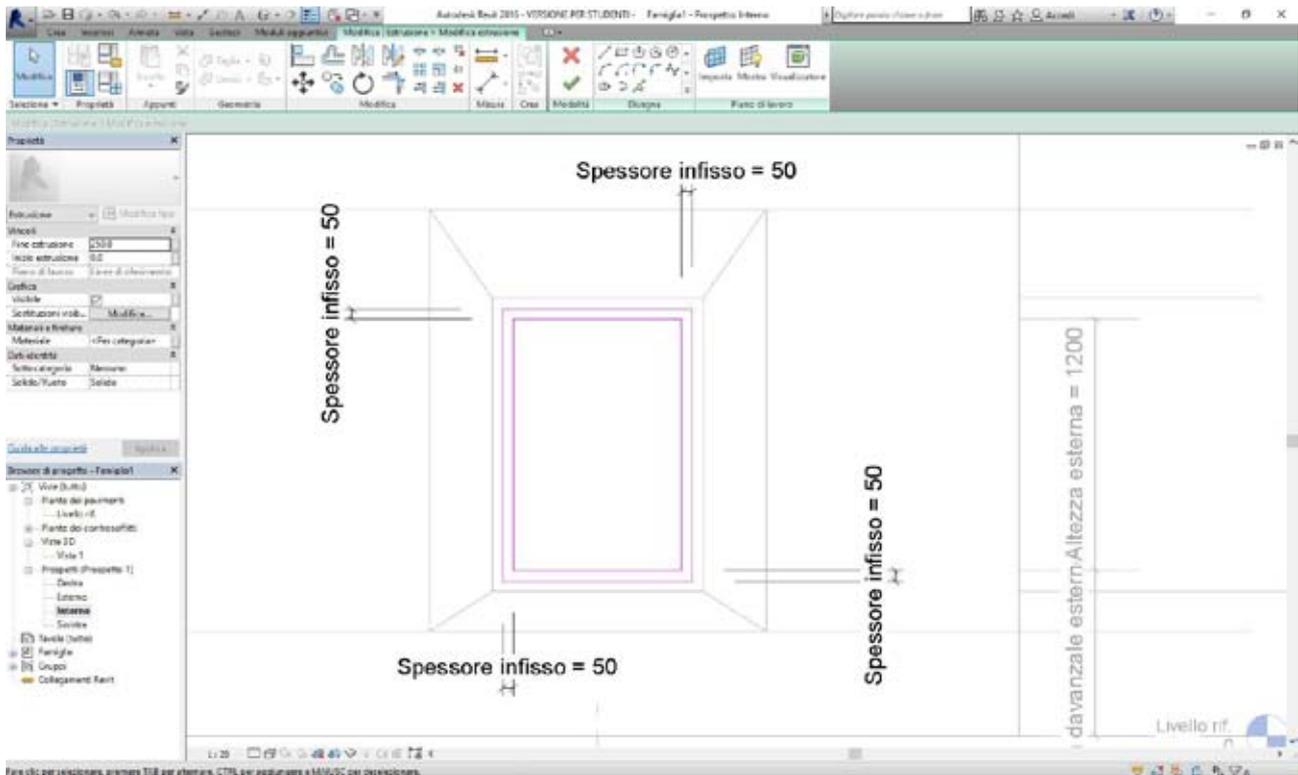


Fig 4.33 Creazione solidi per l'infisso - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

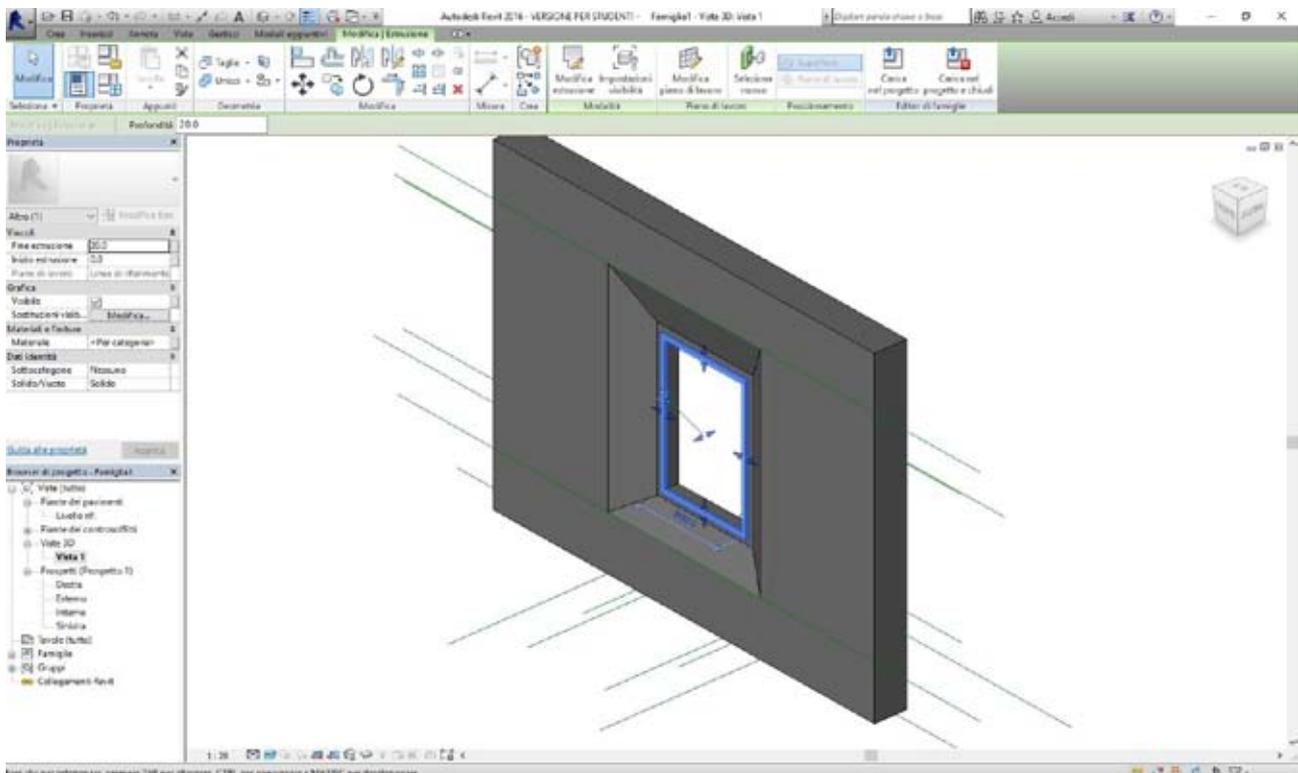


Fig 4.34 Definizione spessore per l'infisso - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

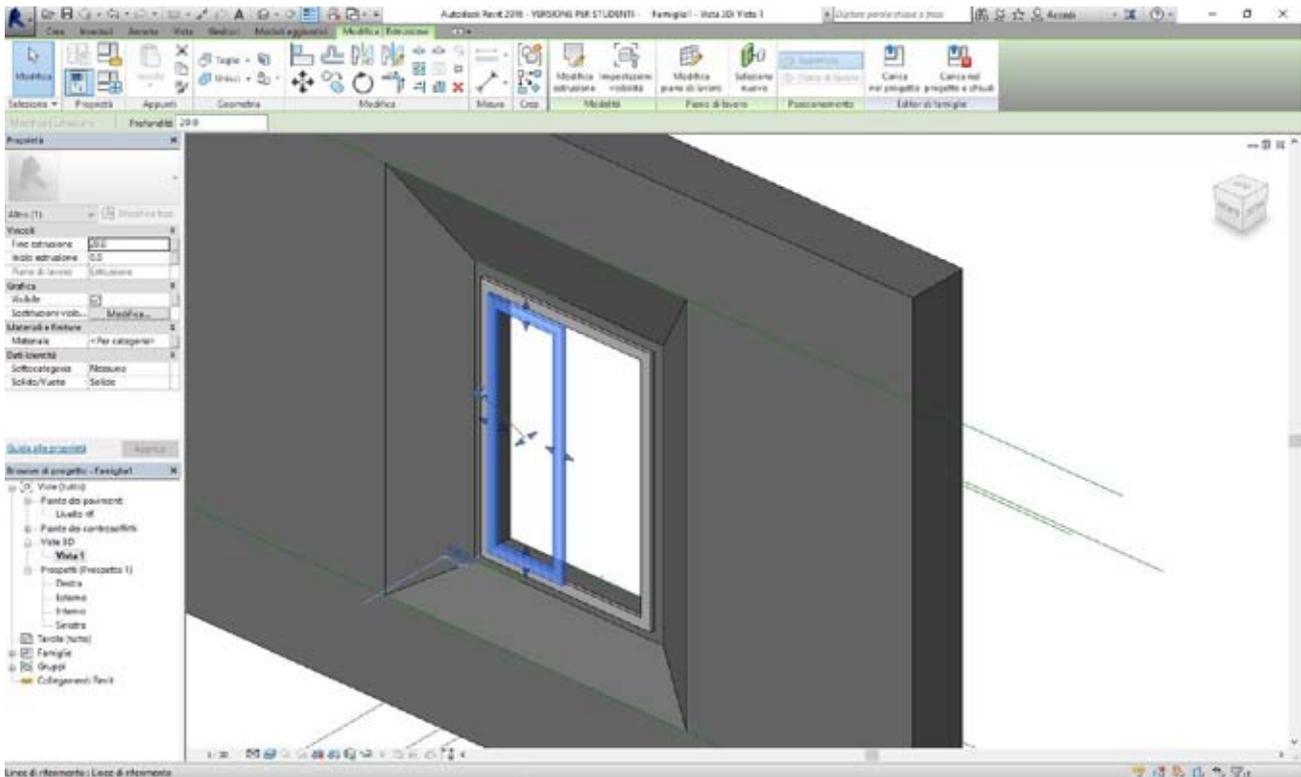


Fig 4.35 Creazione ante finestra - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

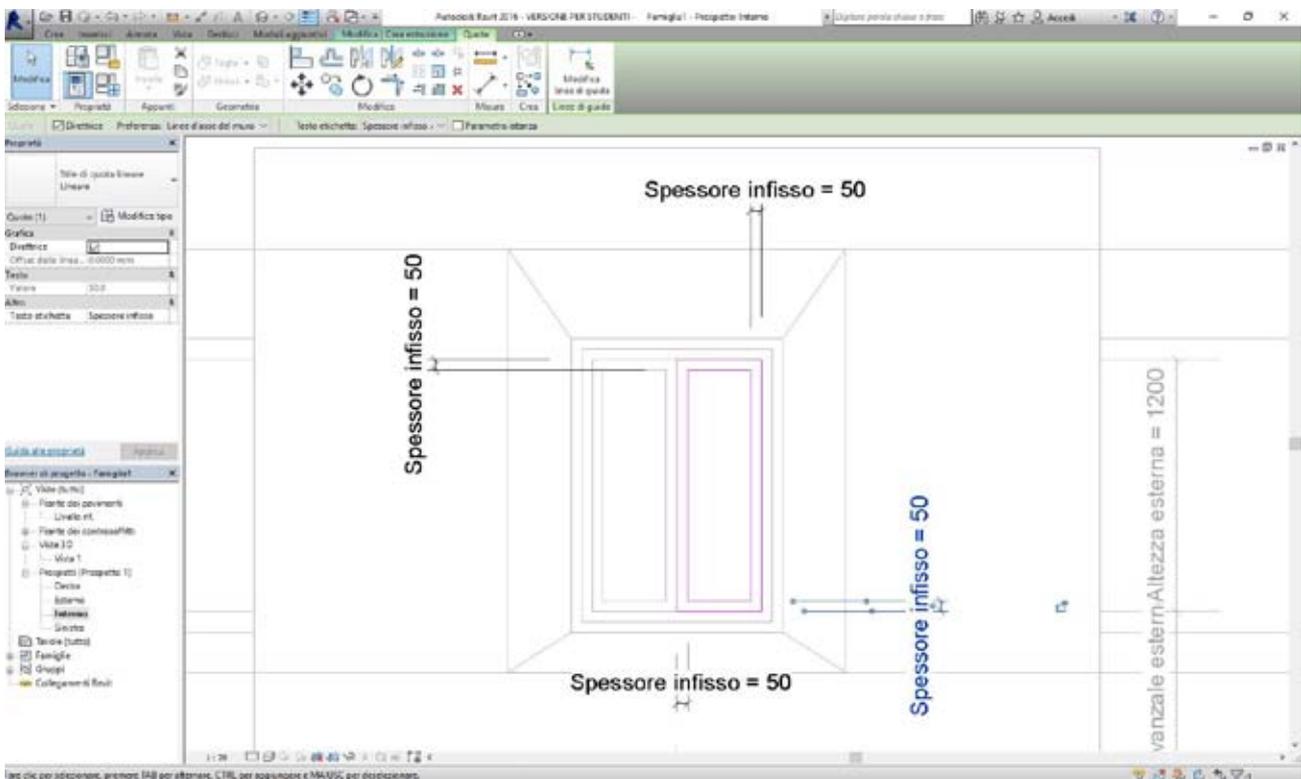


Fig 4.36 Vincoli e parametri dell'anta - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

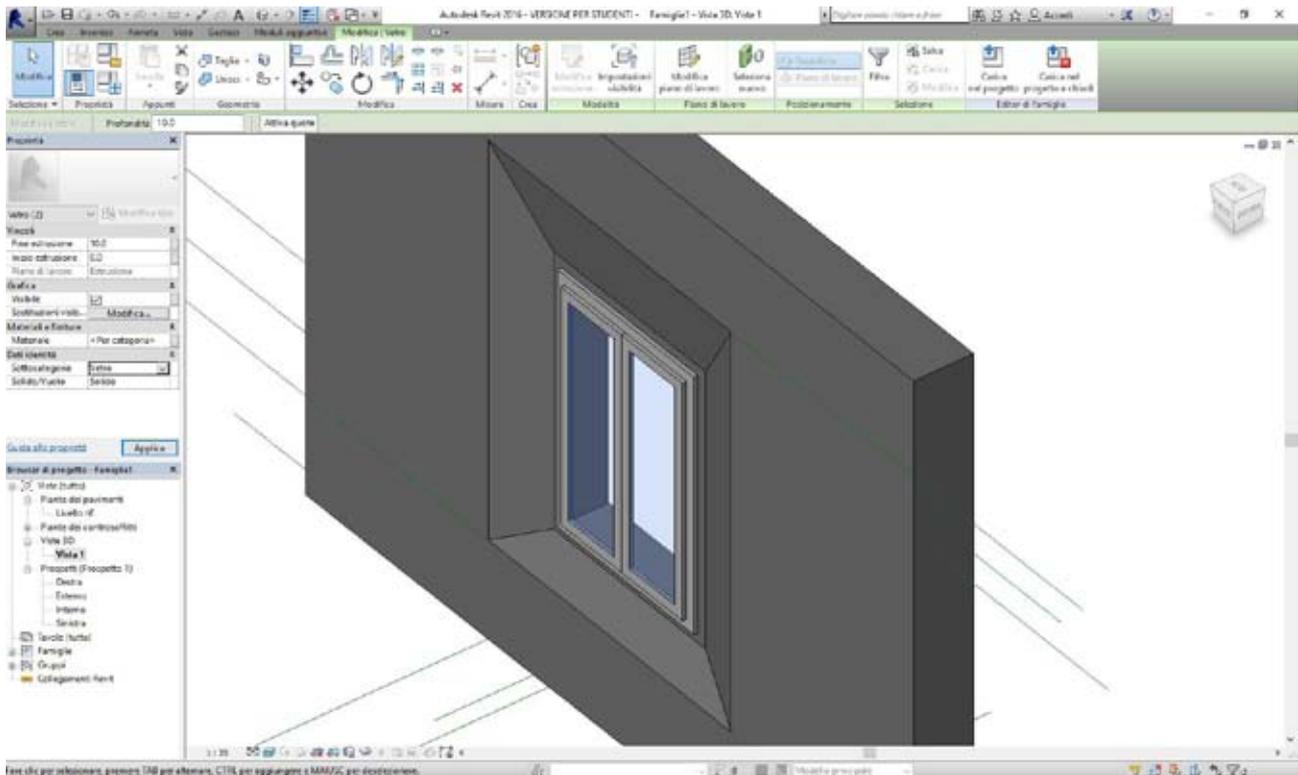


Fig 4.37 Inserimento del vetro - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

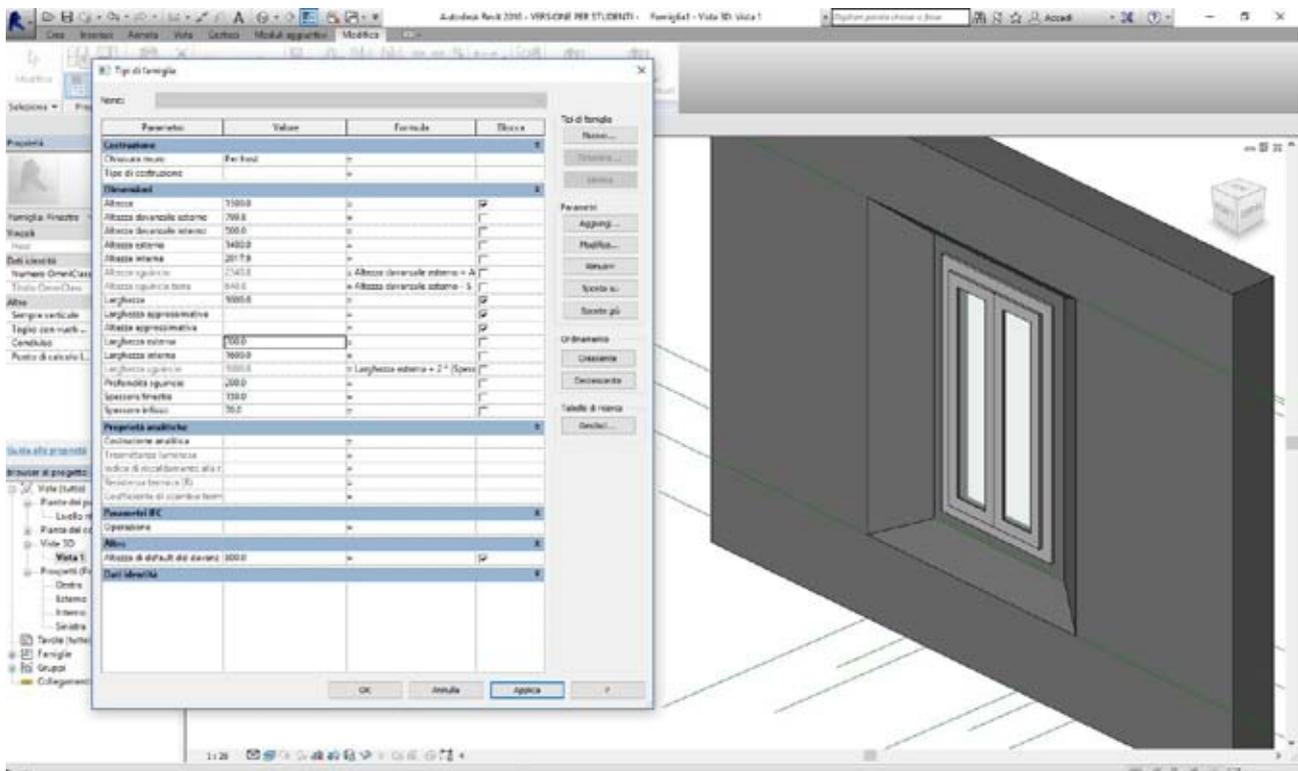


Fig 4.38 Modifica parametri e cambio della conformazione - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

ed ogni modifica apportata alla famiglia caricabile cambia nel progetto soltanto se quella famiglia viene nuovamente caricata nel modello dopo un nuovo salvataggio.

La finestra creata in questo modo è una semplice apertura in una parete, è possibile creare anche un telaio, un contro telaio e una vetratura utilizzando metodi simili a quelli appena visti, rendendo parametrici anche questi valori e definendo così varie tipologie di infisso, inoltre per ogni solido creato è possibile definire il materiale di composizione ed una serie di proprietà legate a quel tipo specifico di materiale.

Di nuovo si selezionano i piani sui quali collocare gli infissi e poi si iniziano a disegnare i bordi vincolandoli agli assi o ai bordi della foratura disegnati in precedenza, in questo modo anche l'infisso è collegato al resto dell'apertura e ha dei parametri che ne regolano per esempio lo spessore.

Utilizzando le quotature si definisce lo spessore dell'infisso per ogni suo lato, poi si legano queste misure ad un parametro e successivamente si disegna il contorno della finestra, in modo che anche l'infisso sia legato all'apertura, poi si regola lo spessore di questo solido di estrusione e così facendo si ottiene un elemento fisso che funge da telaio della finestra stessa.

Infine si disegna anche la parte apribile della finestra, dove alloggiare i vetri, utilizzando come riferimento il telaio già costruito, definendo anche qui la forma dell'infisso e del suo spessore legandolo con dei parametri e con dei vincoli agli elementi già costruiti della finestra, poi, per il livello di definizione richiesto da questo tipo di modellazione, la famiglia parametrica della finestra è anche terminata, anche se è possibile aggiungere sempre più dettaglio creando nuovi parametri e nuovi elementi della struttura, ma il metodo è lo stesso seguito fino a questo momento.

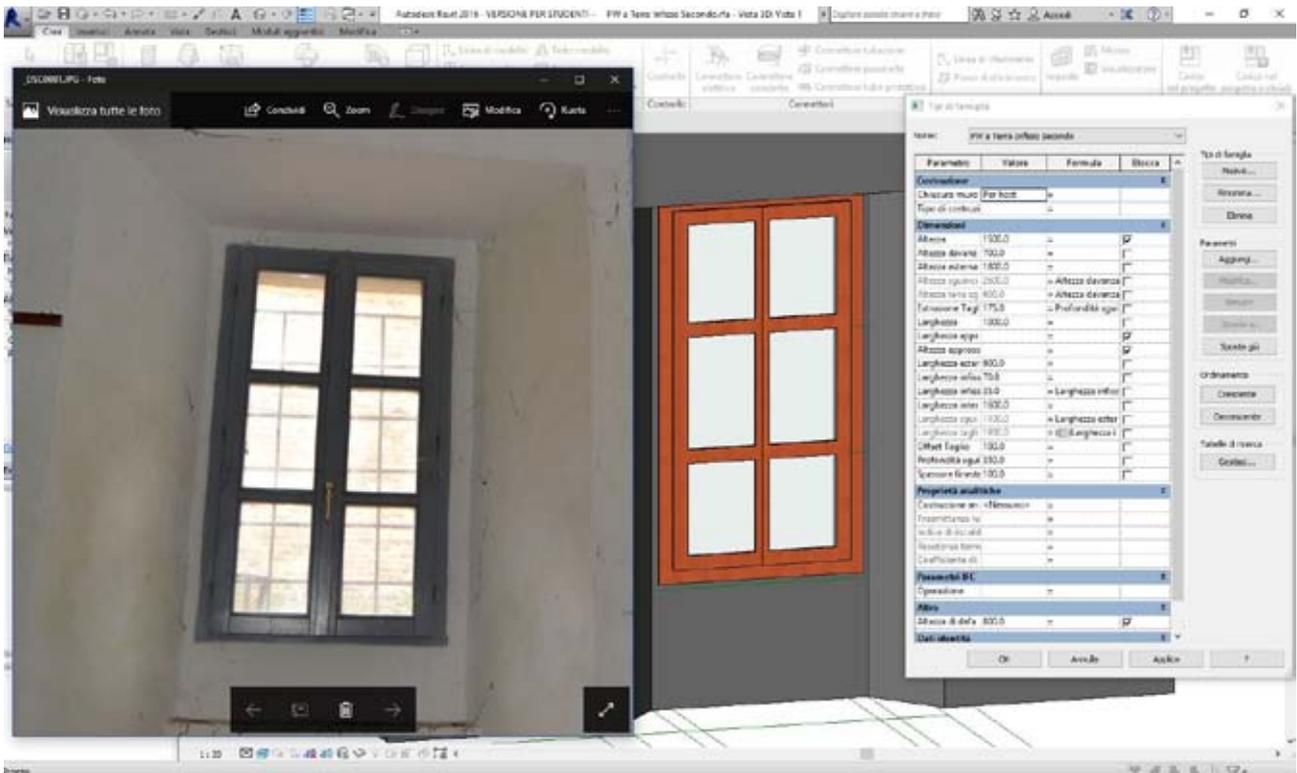


Fig 4.39 Finestra parametrica e reale a confronto edificio est piano terra - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

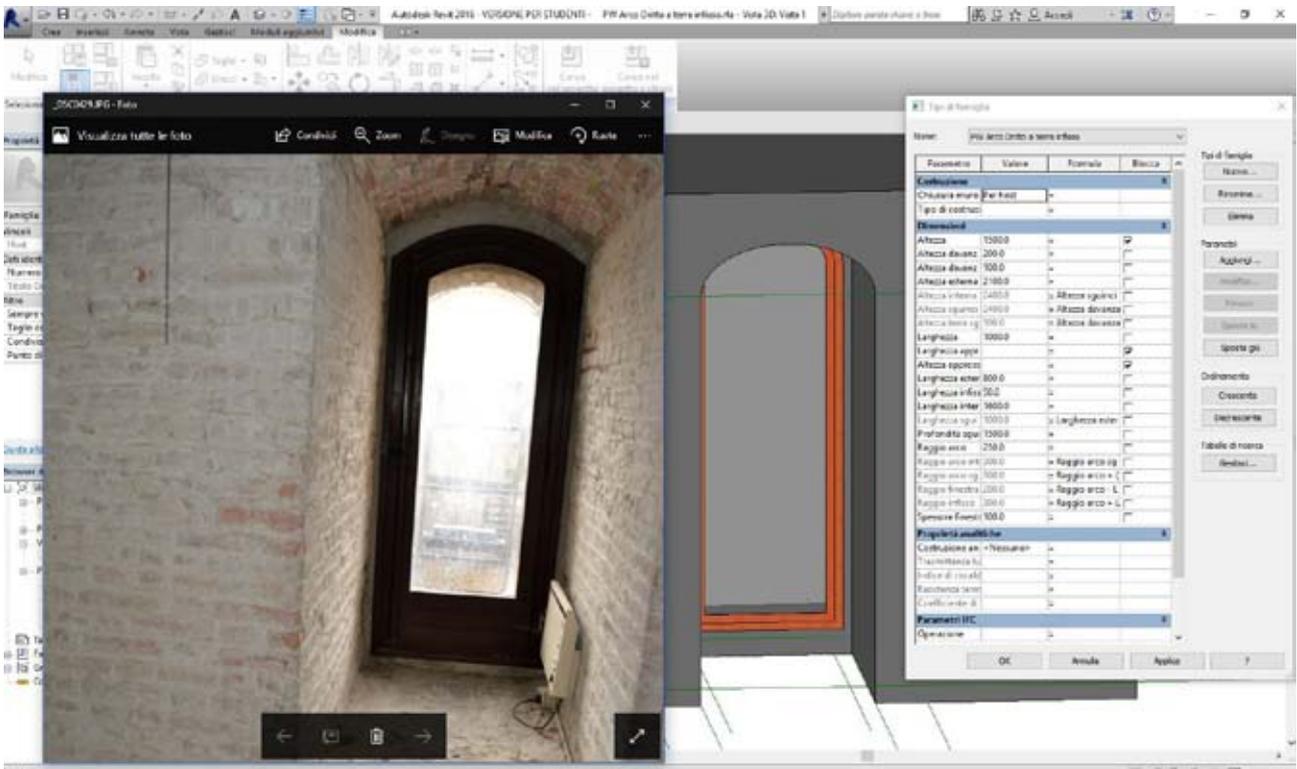


Fig 4.40 Finestra parametrica e reale a confronto Torre piano primo - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

Questa è la finestra più semplice che si può trovare all'interno del modello, con una forma abbastanza regolare dell'apertura e senza dettagli complessi nell'infisso, altre tipologie necessitano comunque di una modellazione più accurata.

Per le finestre ad arco si è utilizzato un metodo simile ai precedenti, si è utilizzato un elemento ellisse o arco di circonferenza per tre punti con raggio, e poi si è vincolato al resto del disegno uno dei punti di origine dell'arco e si è aggiunto il valore del suo raggio ad un parametro.

Questa procedura è stata fatta sia per il solido che definisce l'apertura sia per gli infissi e la parte apribile della finestra, imponendo delle regole di relazione che legassero tutto al valore del raggio, in questo modo ogni tipo di arco è rappresentabile con questo sistema.

Discorso a parte va fatto per gli archi a sesto acuto dove invece i raggi sono due e vanno gestiti con relazioni particolari dove i raggi devono corrispondere l'uno all'altro e i due punti di collegamento devono potersi muovere su linee ben definite utilizzando dei vincoli di allineamento.

Per tutte queste tipologie di finestre si sono generate sia la famiglia con lo sguincio, a terra e non, sia la famiglia con la parte interna della parete dritta, e poi si sono applicate sul modello utilizzando la nuvola di punti per posizionarle e dimensionarle nel modo corretto utilizzando i parametri per eseguire questa operazione.

Poi quando si inseriscono le famiglie finestra bisogna sempre verificare che la quota della soglia sia zero, per poi poter gestire l'altezza del davanzale, sia interno che esterno, utilizzando dei parametri, altrimenti il rischio è quello di incorrere in grossolani errori.

Bisogna anche fare attenzione ai valori minimi di certi parametri, sotto i quali non si può scendere altrimenti alcuni vincoli non vengono rispettati.



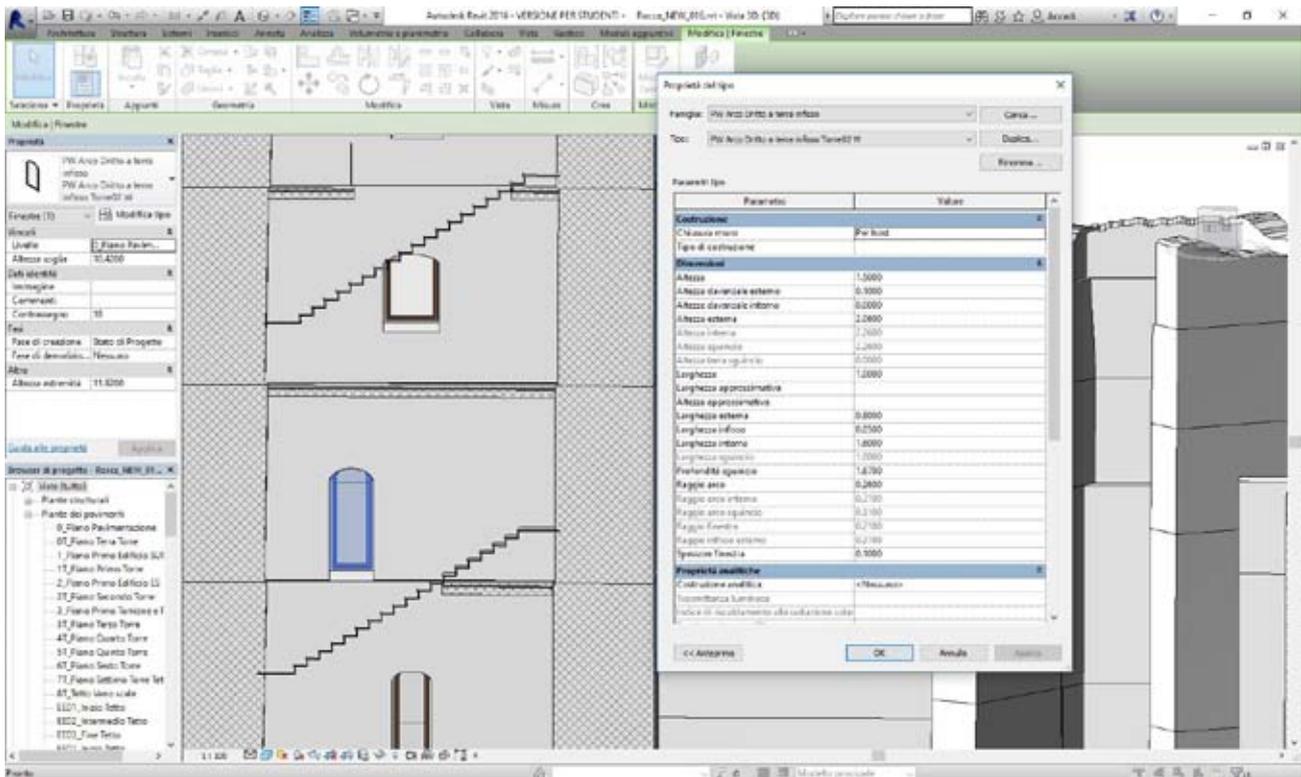


Fig 4.43 Finestre parametriche vista di sezione della Torre - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

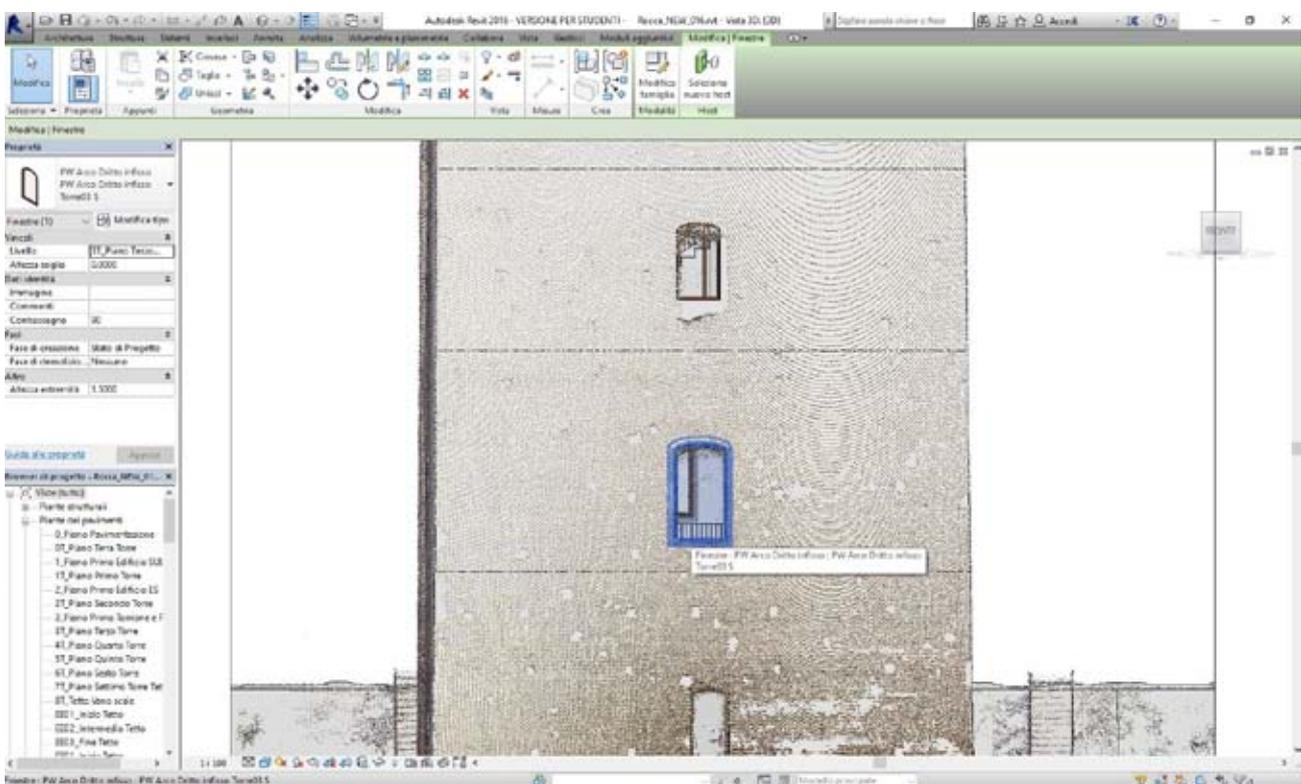


Fig 4.44 Finestre parametriche vista di sezione della Torre posizionamento sulla nuvola di punti - Famiglia finestra - Autodesk Revit 2016.

#### 4.4.4.2 PORTE PARAMETRICHE

Le porte sono un'altra famiglia caricabile parametrica alla quale si è dedicata particolare cura in questo lavoro, e nella loro modellazione hanno seguito uno schema simile a quello delle finestre ma con delle sostanziali differenze.

Prima di tutto la famiglia delle porte prevede che la soglia arrivi sempre al suolo, o al livello dove l'elemento viene posto, e quindi si trova sempre nella parte più bassa rispetto alla parete che lo ospita, sempre che non ci siano degli offset di base.

Anche le porte, come le finestre, hanno come host il muro, e possono essere posizionate solo su di esso, e inoltre devono essere modellate in modo che buchino interamente la parete altrimenti Revit potrebbe dare errore durante l'inserimento della famiglia.

Poi le porte hanno delle caratteristiche di base differenti dalle finestre, non prevedono un davanzale e solitamente l'infisso segue solamente tre lati della bucatura e non quattro, perché la parte inferiore è costituita dal pavimento.

Per le porte interne sono state definite forme abbastanza semplici, con porzione di porta fissa e porzione apribile, inoltre sono state modellate anche le aperture senza infissi, che concettualmente sono sempre porte.

Anche per queste famiglie, come nel caso delle finestre sono stati definiti degli assi sia in pianta per definire la differenza tra il volume interno e quello esterno, sia in prospetto, per definire la quota dell'altezza della porta e per sapere dove collocare l'infisso.

Poi sono stati creati i solidi di estrusione che per sottrazione vengono tolti dalla muratura, dall'host, per creare l'apertura della porta stessa,

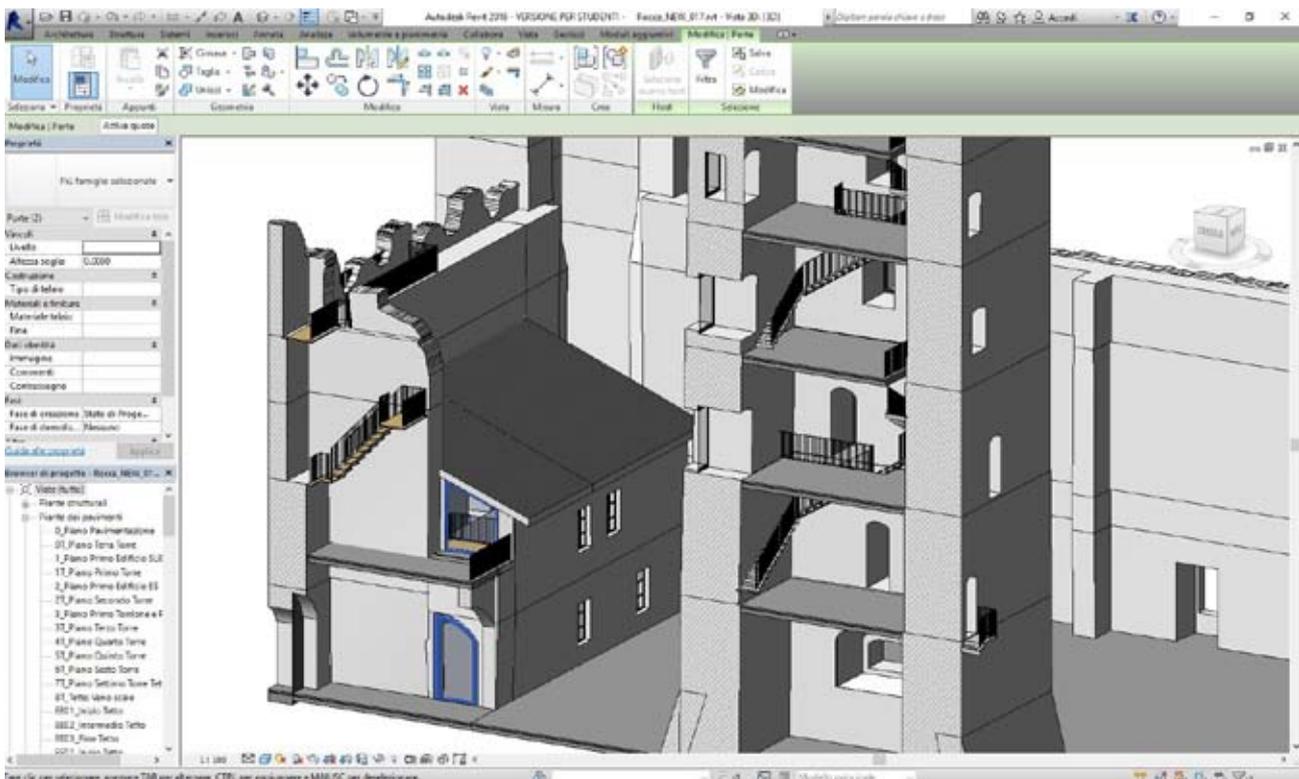


Fig 4.45 Porte parametriche in vetro edificio sud - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016.

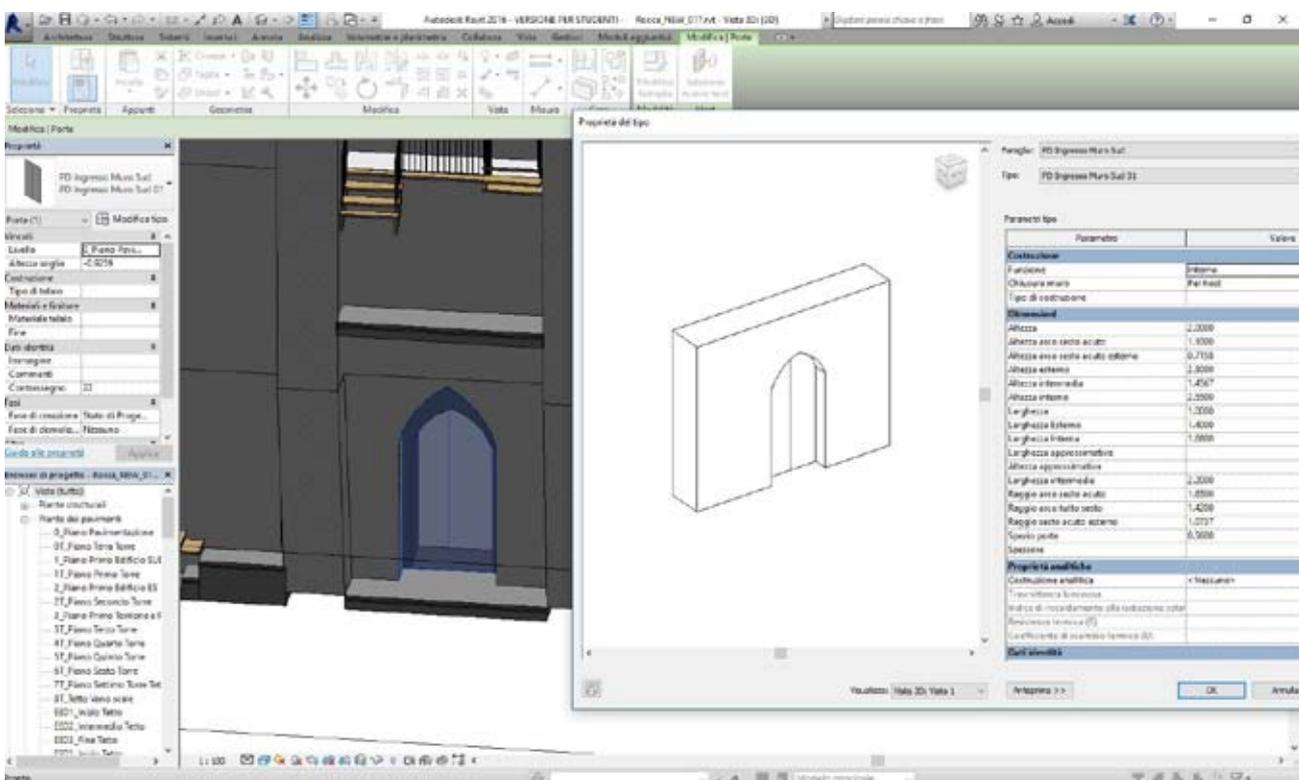


Fig 4.46 Porta parametrica ingresso delle mura a sud con proprietà - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016.

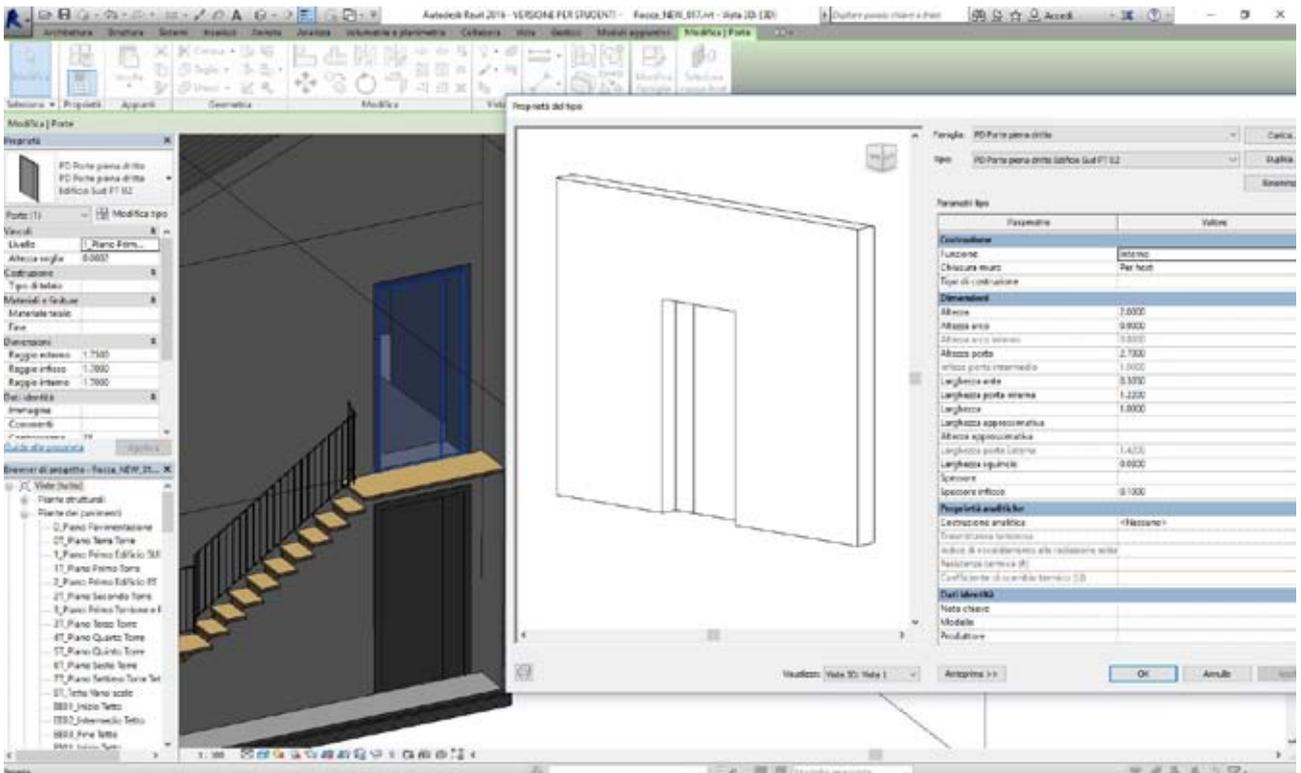


Fig 4.47 Porte parametriche edificio sud con proprietà - Famiglia porte - Autodesk Revit 2016.

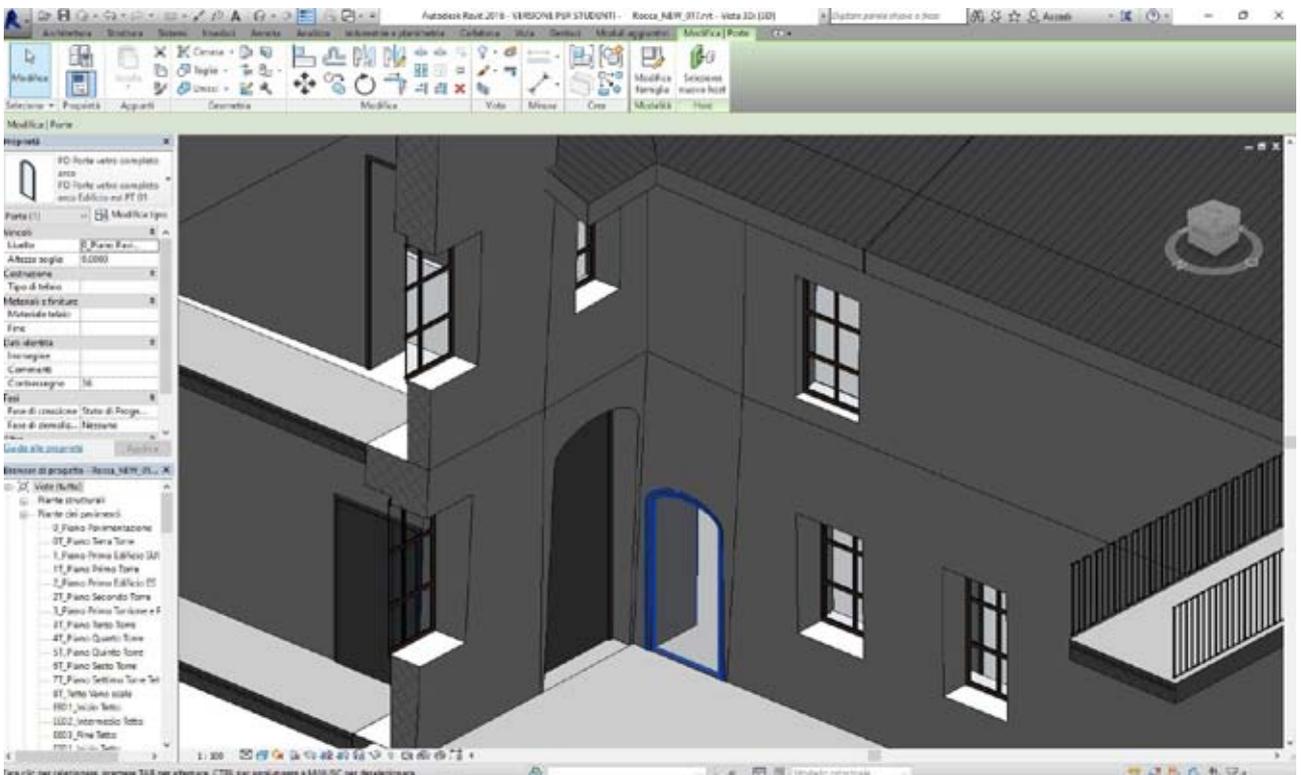


Fig 4.48 Porta parametrica in vetro edificio sud - Famiglia porte - Autodesk Revit 2016.

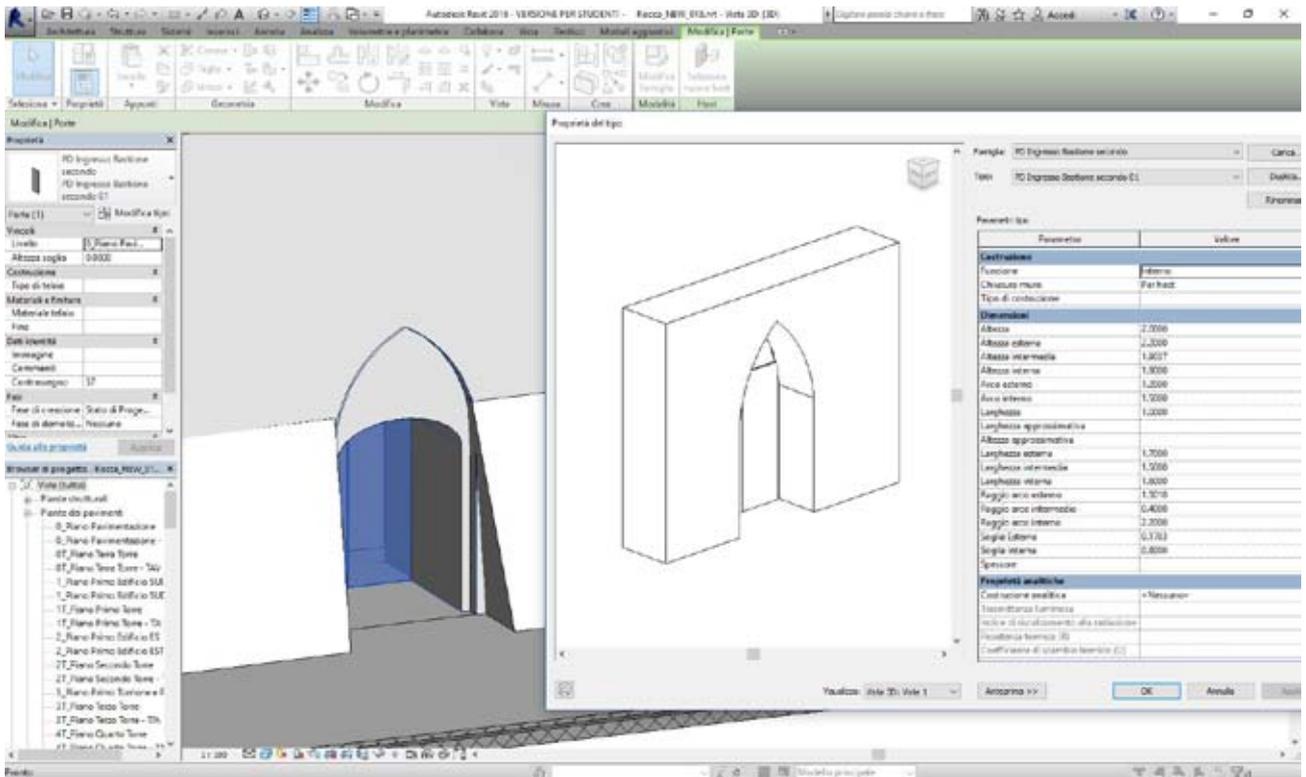


Fig 4.49 Porta parametrica ingresso della Torre con proprietà - Famiglia porte - Autodesk Revit 2016.

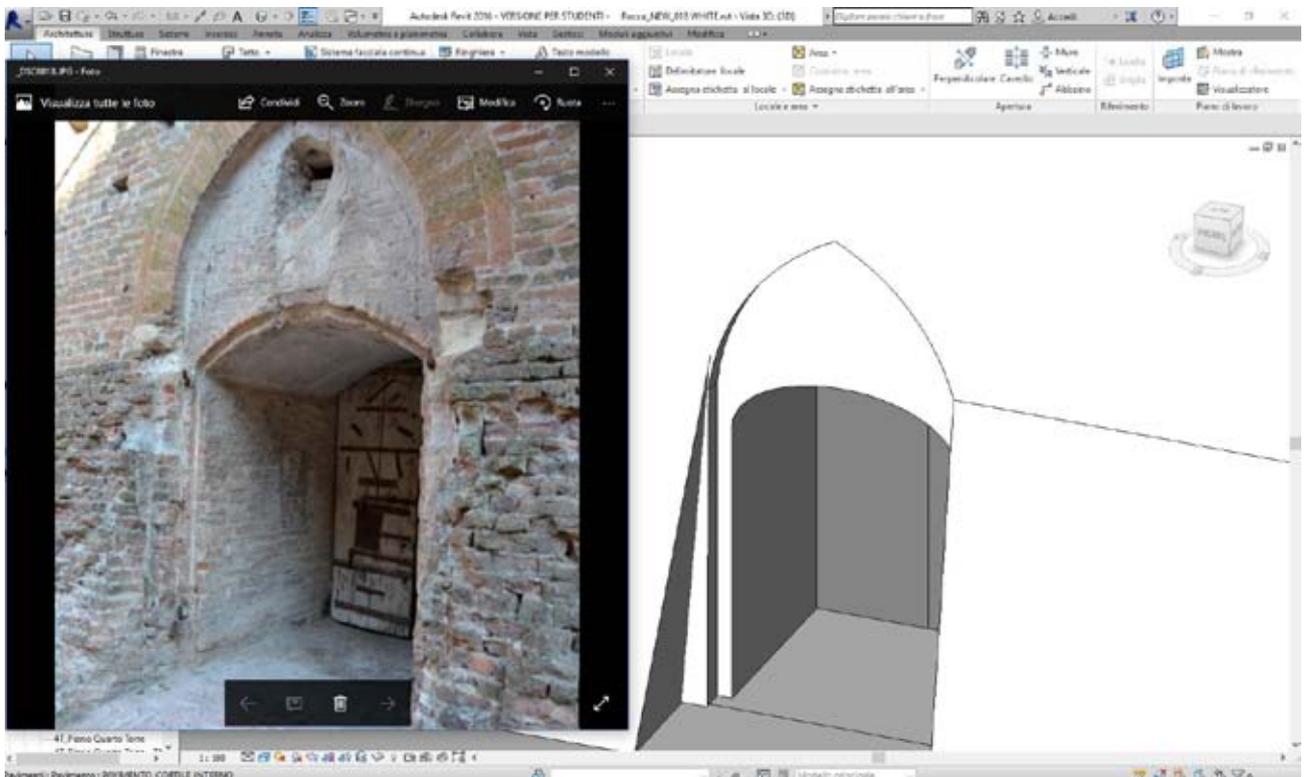


Fig 4.50 Porta parametrica ingresso della Torre confronto tra il reale e il modello - Famiglia porte - Autodesk Revit 2016.

alcuni problemi si sono riscontrati nel tagliare pareti con inclinazioni su una delle due facce abbastanza marcate ma estendendo il solido di foratura oltre il limite dell'host nella definizione generale della famiglia si è risolto il problema.

Particolare attenzione è stata data alle porte di ingresso principali, sia quella delle mura a Sud sia quella di ingresso al piano terra del Mastio centrale, in questo caso le porte oltre ad avere due archi a sesto acuto, uno interno ed uno esterno, hanno anche un arco a tutto sesto nella parte intermedia, dove si inserisce la porta stessa.

Per modellare queste particolari porte è stato necessario creare un terzo solido di estrusione nella parte intermedia che fosse collegato agli altri due e che avesse la caratteristica di avere un arco a tutto sesto a differenza degli altri che erano a sesto acuto, lo si è poi collegato ai due solidi già esistenti e ai loro assi di appartenenza in modo da mantenere sempre collegate le bucaure.

E oltre al solido intermedio si sono fissati altri assi sia in pianta che in prospetto per gestire con proprietà e vincoli tutte le nuove misure, come i due raggi degli archi a sesto acuto, interni ed esterni, e il raggio dell'arco a tutto sesto, poi bisognava anche gestire il punto in cui poteva essere posizionato nel livello, cioè nel muro host.

#### **4.4.4.3 MURATURE**

Le murature, come detto in precedenza, sono delle famiglie di sistema, in quasi tutto il modello sono stati inseriti con la modalità "muro da superficie" utilizzando come superfici di appoggio quelle che erano state generate con le masse locali, utilizzando particolare cura del posizionare i livelli in corrispondenza della reale quota dei piani che costituiscono l'edificio.

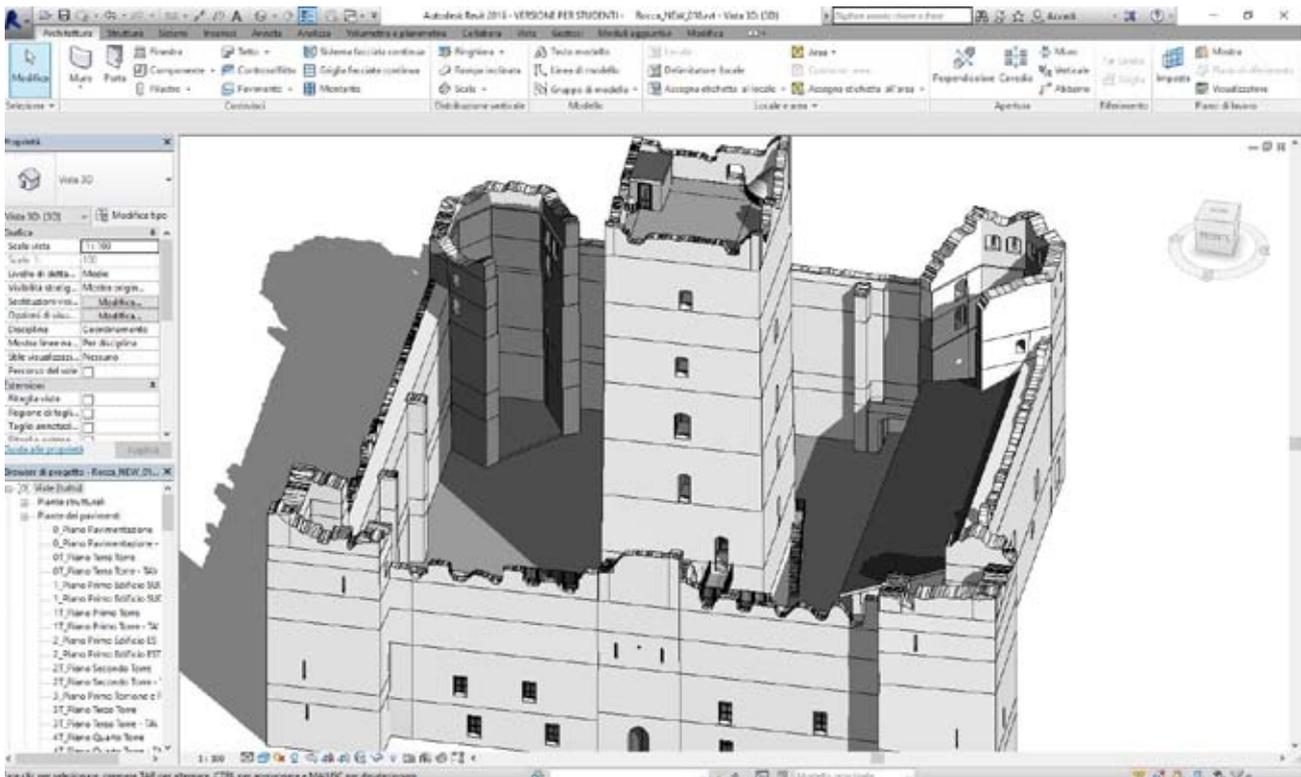


Fig 4.51 Muratura completa della Rocca vista ombreggiata da Sud - Autodesk Revit 2016.

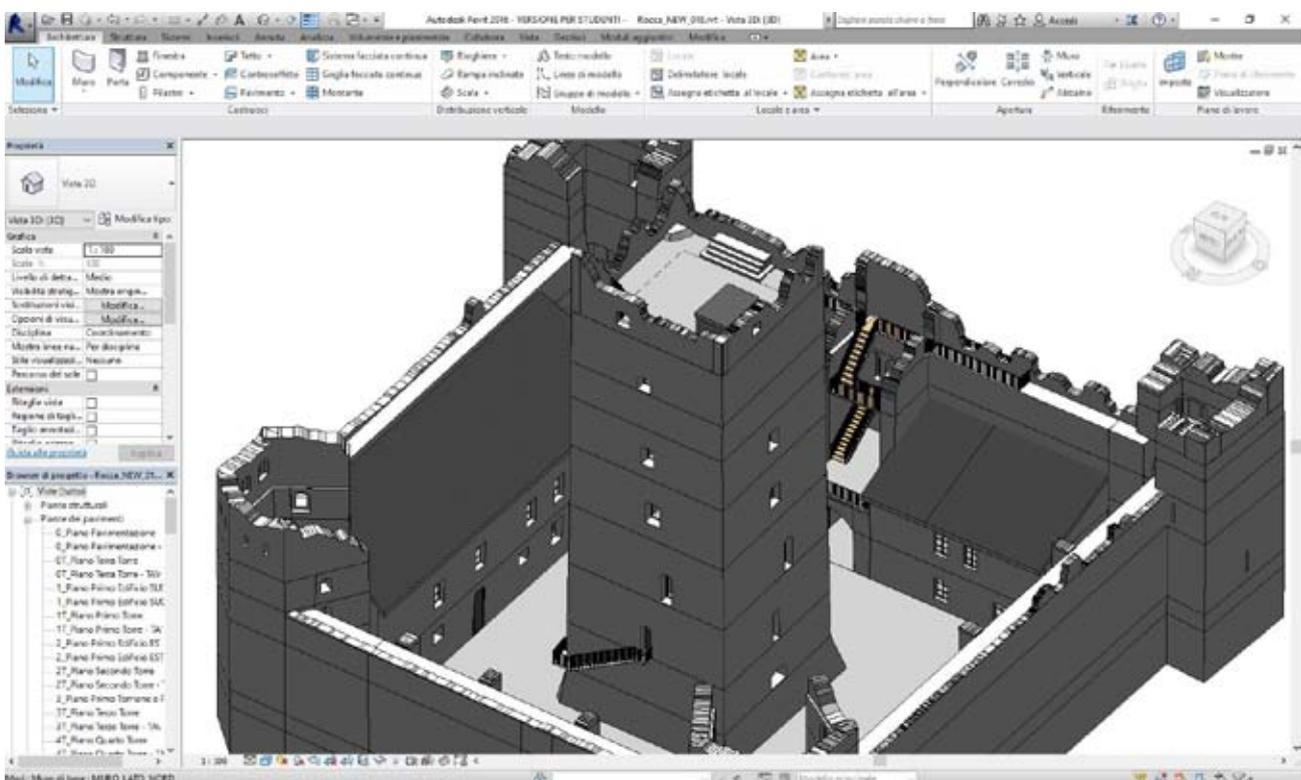


Fig 4.52 Muratura completa della Rocca vista ombreggiata da Nord Ovest - Autodesk Revit 2016.

In questo modo le pareti inserite saranno porzioni di muro che collegano due piani successivi e possono essere divise anche per porzioni orizzontali dell'edificio, la loro inclinazione sarà conforme a quella delle superfici che le hanno generate e inoltre, ove possibile, le murature vengono collegate una alle altre e si creano dei giunti.

Essendo la muratura una famiglia di sistema, non può essere generata dal nulla ma occorre duplicarne il tipo e poi è possibile definire le specifiche proprietà di quel singolo tipo, come spessore, stratigrafia, tipo dei materiali ecc.

Nell'ottica di una modellazione BIM, parametrica, si generano tanti più tipi di muro tante sono le diverse porzioni dell'edificio, in questo modo si rende più versatile il modello e lo si rende più simile al reale, anche se le pareti generate in questo modo perdono molte delle caratteristiche delle famiglie muro standard e questo rende più complicate le operazioni successive.

Per le pareti interne degli edifici Sud ed Est all'interno della Rocca sono state invece utilizzate le pareti standard in quanto non era necessario valutare dei fuori scala rilevanti, e sono state collegate anch'esse con i livelli di piano che le racchiudono e per il piano che giunge fino al coperto le pareti sono state unite al tetto, seguendone l'inclinazione.

Per le parti di decoro della sommità della Rocca, cioè le merlature del Mastio centrale, delle 4 torri di bordo e delle murature sono state utilizzate porzioni di murature standard, perché in Revit non è possibile modificare il profilo di un muro da superficie e tale opzione è necessaria per poter restituire il reale andamento delle pareti, ma se il profilo è troppo dettagliato il software separa le pareti perché non è in grado di creare un giunto adeguato.

#### **4.4.4.4 SOLAI, TETTI E PAVIMENTI**

Per quanto riguarda i solai, i tetti e i pavimenti si è deciso di utilizzare un approccio simile a quello che si è applicato con le pareti, dividendo per porzioni il modello e generando per ogni diverso elemento una famiglia di riferimento.

I solai, o pavimenti tradotto nella famiglia di sistema di Revit, possono essere duplicati nel tipo ed ogni diverso tipo può essere cambiato singolarmente e applicato alla porzione di edificio di appartenenza, per esempio viene creato un pavimento diverso per ogni singola stanza che compongono i vari edifici.

Avendo utilizzato delle pareti da superficie la famiglia di pavimento di Revit non le riconosce come confine è quindi necessario disegnare ogni singolo elemento manualmente andando a ricalcare sia i muri creati in precedenza sia la nuvola di punti stessa.

Anche per la corte interna si è utilizzato lo stesso metodo per creare la pavimentazione di tutto il cortile, e anche quella interna alle Torri sui quattro lati delle mura, poi si sono generati i vari livelli dei piani del Mastio centrale, 7 in tutto, ponendo particolare attenzione alla disposizione delle orditure principali che cambiano direzione salendo con i piani.

Per queste famiglie è stato deciso di utilizzare la generazione standard e non quella da superficie perché non si sono mai riscontrati casi in cui fossero presenti dei fuori squadra considerevoli, ma è possibile anche in questo caso seguire quella strategia.

Per i coperti si sono seguite due strade parallelamente, nella prima si sono create delle masse locali che rappresentassero la reale inclinazione del tetto utilizzando come base la nuvola di punti, mentre nella seconda si sono utilizzate delle famiglie standard che ricalcassero la reale

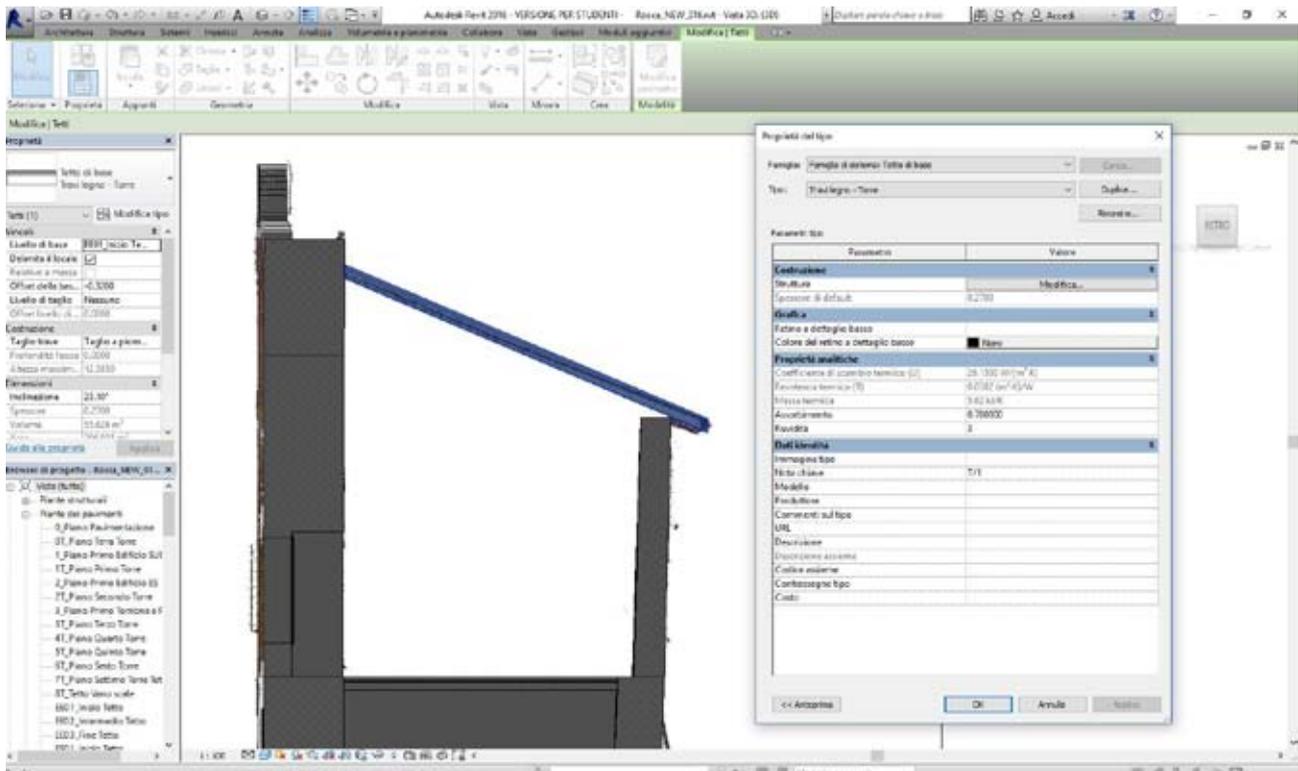


Fig 4.53 Tetto edificio Est, allineato con la nuvola di punti - Autodesk Revit 2016.

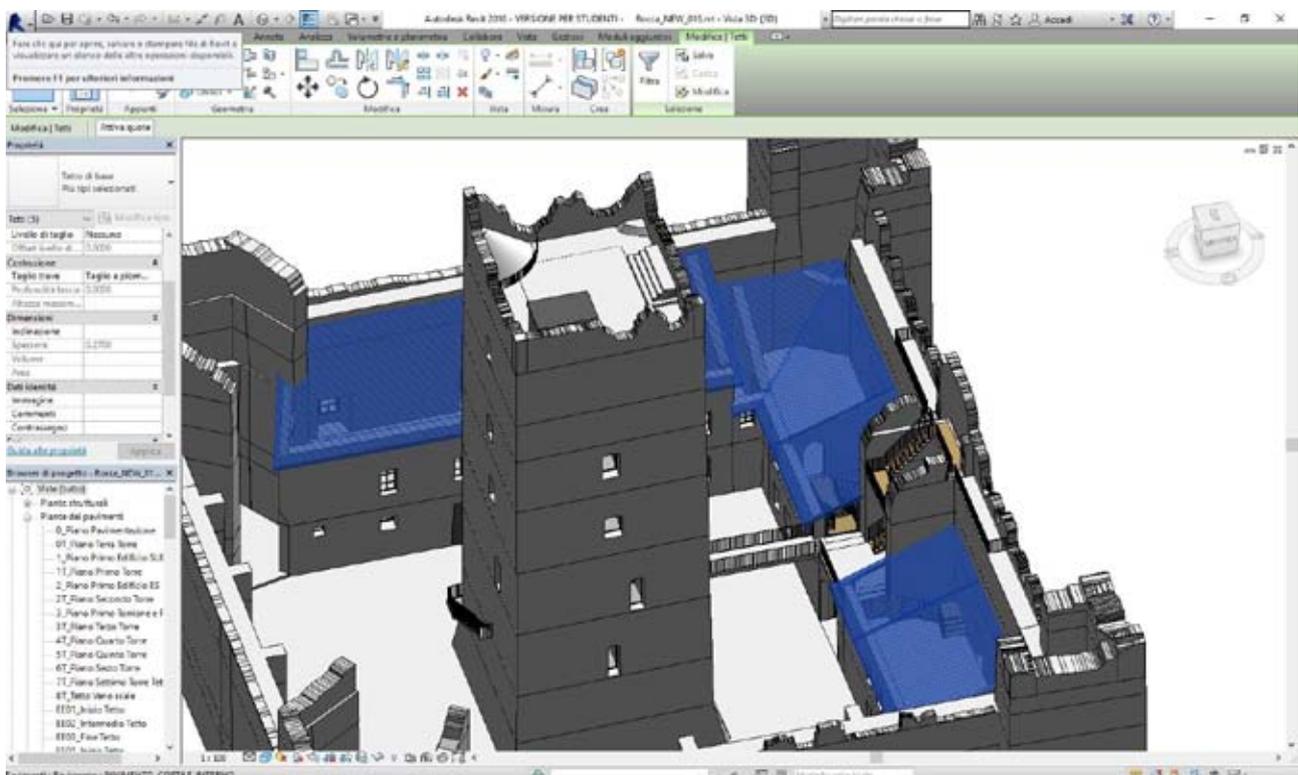


Fig 4.54 Tetti di tutti gli edifici della corte interna della Rocca - Autodesk Revit 2016.

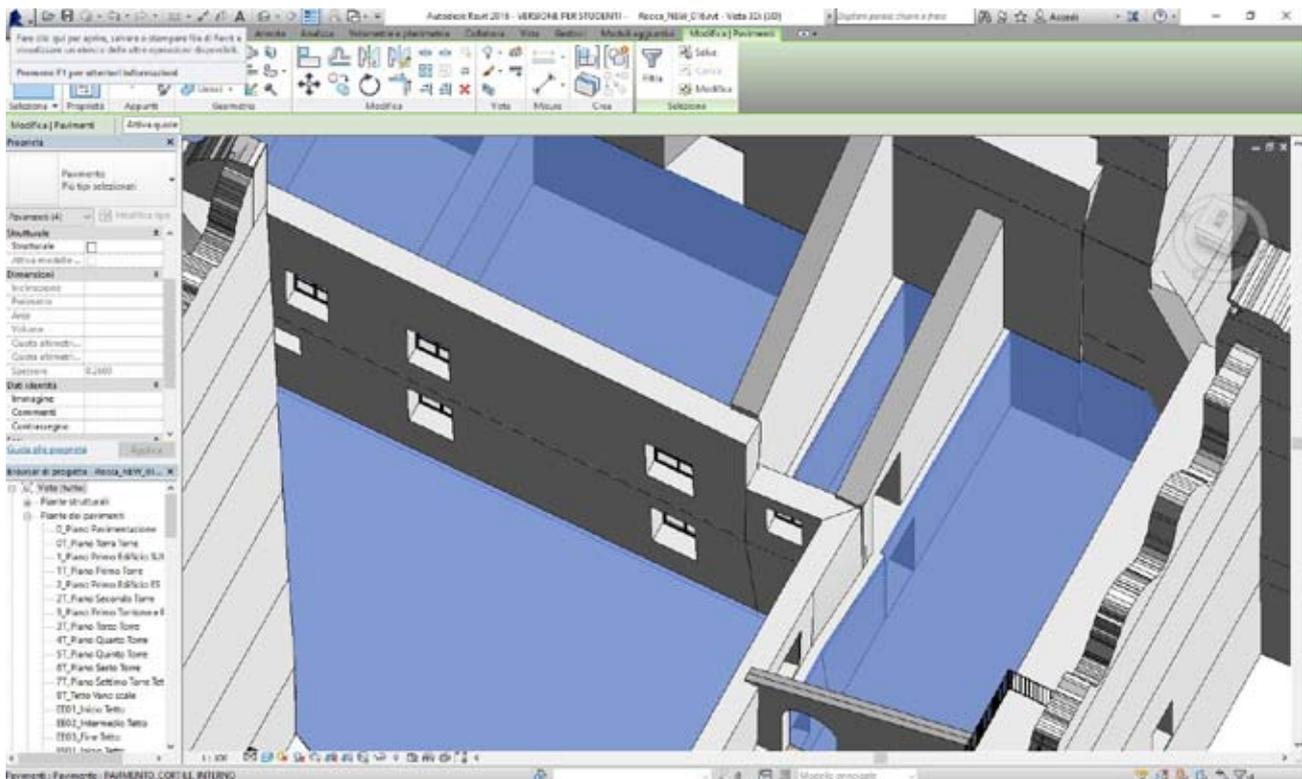


Fig 4.55 Solai edificio Est e Sud e del cortile interno - Autodesk Revit 2016.

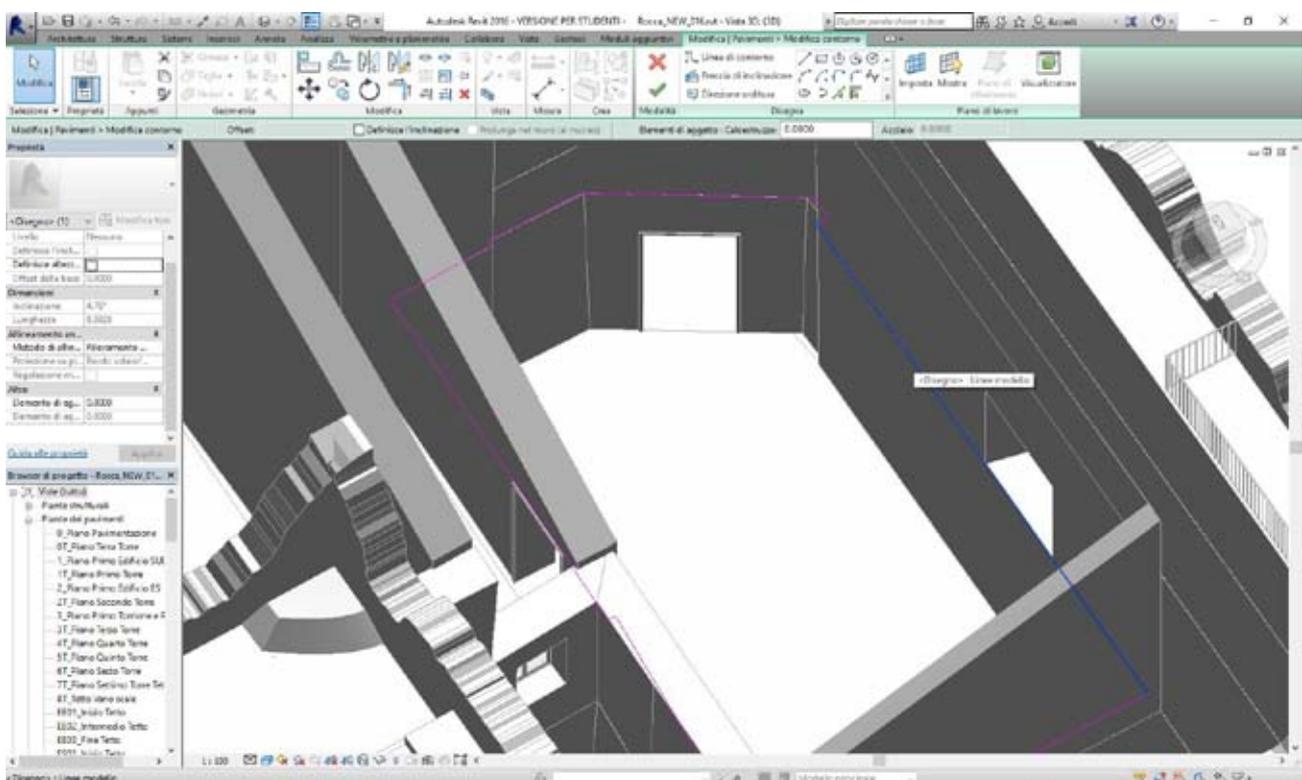


Fig 4.56 Modifica del solaio interno edificio Sud - Autodesk Revit 2016.

inclinazione del muro ma che avessero anche lo sporto di gronda della giusta inclinazione e misura.

Nel primo approccio si è notato che il tetto da superficie creava alcune problematiche con le pareti adiacenti, non si collegava bene, e inoltre non permetteva successive modifiche o la creazione di uno sporto di gronda.

Nel secondo approccio invece, che si è deciso di adoperare come definitivo, il tetto è stato creato utilizzando la funzione standard, ma anche in questo caso, essendo le pareti sottostanti muri da superficie, non le riconosceva in automatico e si è dovuto disegnare il profilo a mano.

Mentre per l'inclinazione si sono utilizzate le sezioni della nuvola di punti, e alzando o abbassando il punto di partenza del coperto, lavorando sull'offset della famiglia, si sono adeguate le falde alla posizione reale del tetto, facendo coincidere al meglio sia le pareti sottostanti che le porzioni di parete adiacenti.

#### **4.4.4.5 SCALE PARAMETRICHE E RINGHIERE**

Le scale sono una particolare famiglia parametrica, in quanto prima di tutto sono una famiglia di sistema, cioè una di quelle famiglie, come i muri, che è intrinsecamente inserita e collegata a Revit stesso e che quindi non può essere generata da zero ma può solamente essere duplicata e modificata nello specifico progetto, e in secondo luogo nascondono molta complessità al loro interno, infatti contengono altre famiglie annidate come per esempio i montanti e le ringhiere.

La famiglia delle scale, in Revit, può essere definita in due modi principali, scala da componente o scala da disegno, dato che le scale che spesso si trovano nella realtà storica esistente hanno forme particolare e non sono quasi mai regolari è preferibile utilizzare una scala che si possa adattare

il meglio possibile alla forma reale, la seconda tipologia, cioè scala da disegno, si presta bene a questo scopo.

La logica con cui un software BIM come Revit considera la scala è sia fisica che funzionale, in pratica una scala è definita come collegamento verticale, che ne rispecchia la stessa funzione nella realtà, infatti anche nel modello BIM, la scala, non fa altro che collegare due livelli, e li collega utilizzando delle componenti parametriche, come pedate, montanti, alzate ecc, che seguono determinate regole a loro volta legate a parametri.

In questo modo le scale mantengono la loro definizione semantica, non è importante il materiale del quale sono composte o la forma dei loro fregi ma il fatto che collegano due determinati punti posti a quote differenti, con un preciso numero di alzate, dopo aver definito questo concetto si possono aggiungere tutti gli altri dettagli costruttivi, come materiali, struttura portante e così via.

Anche in questo caso sorgono alcuni problemi legati alla differenza tra ciò che viene generato dal software e ciò che arriva dalla realtà del rilievo, infatti nella famiglia di scala parametrica di questo tipo le alzate verranno poste tutte alla medesima distanza le une dalla altre creando una salita regolare, per aggiungere delle differenze di quota tra un gradino e l'altro bisogna intervenire manualmente sulle misure stesse eliminando alcuni vincoli, e perdendo quindi alcuni automatismi a favore di una maggiore fedeltà con il reale.

Le scale sono oggetti indipendenti, una volta definita la quota di partenza, la quota di arrivo, il percorso e la forma vengono generate in automatico, e i solai presenti nei livelli che le scale attraversano non vengono tagliati in automatico in quanto il software non può sapere fino a che punto occorre bucare il pavimento, e quindi questa resta un'operazione da fare a mano.

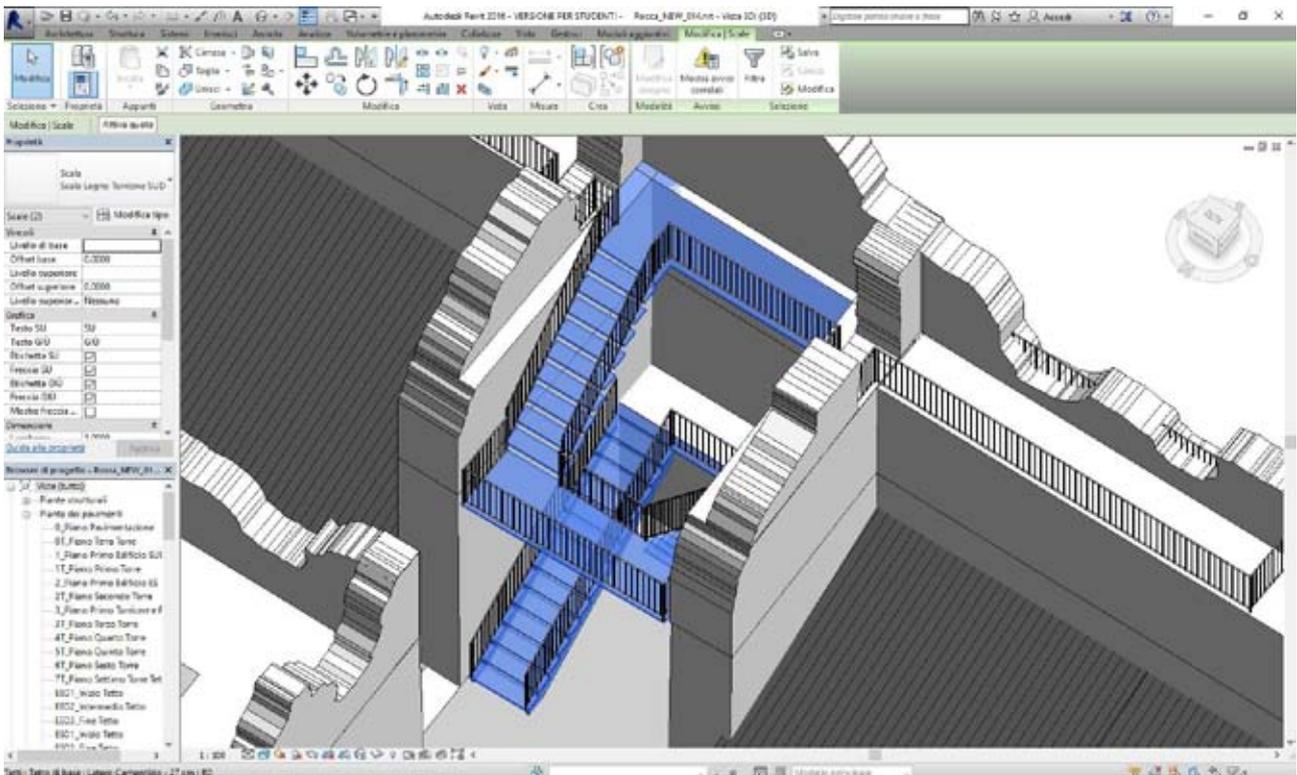


Fig 4.57 Scale torrione Sud - Famiglia scale - Autodesk Revit 2016.

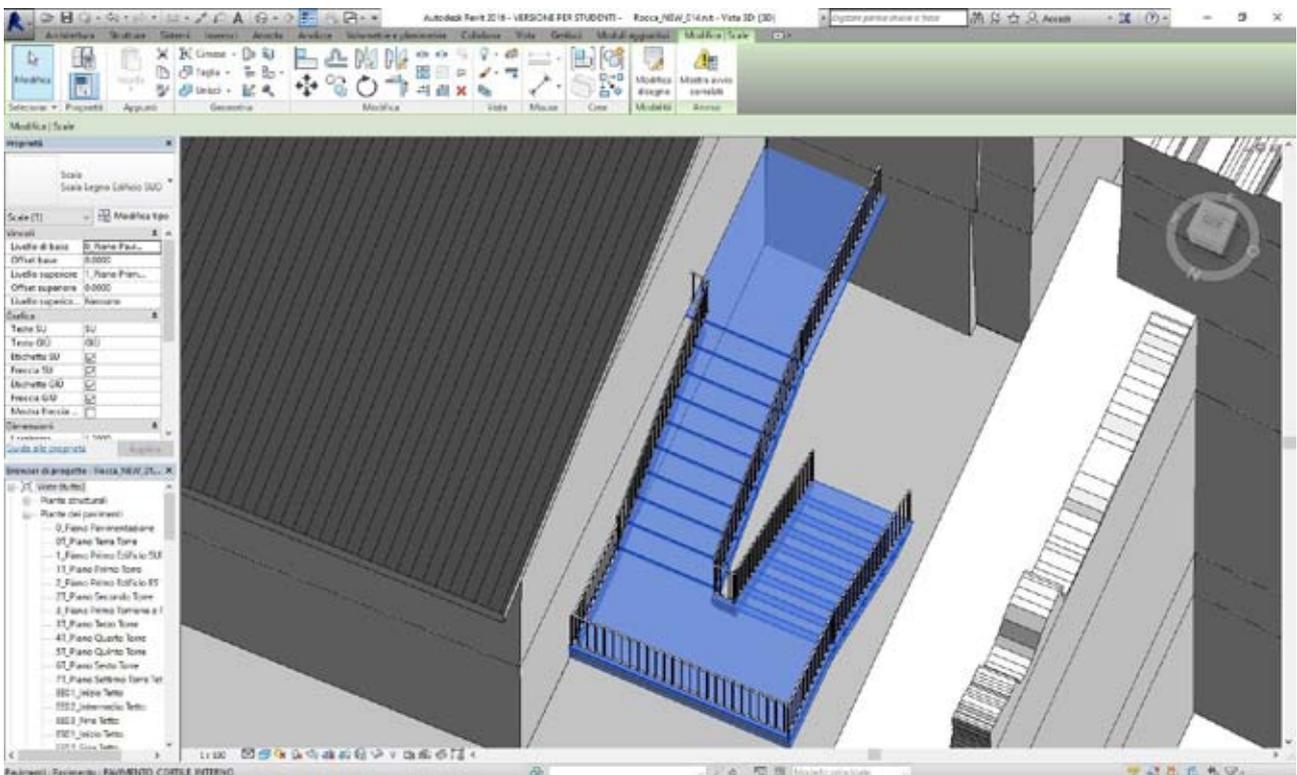


Fig 4.58 Scale edificio Sud - Famiglia scale - Autodesk Revit 2016.

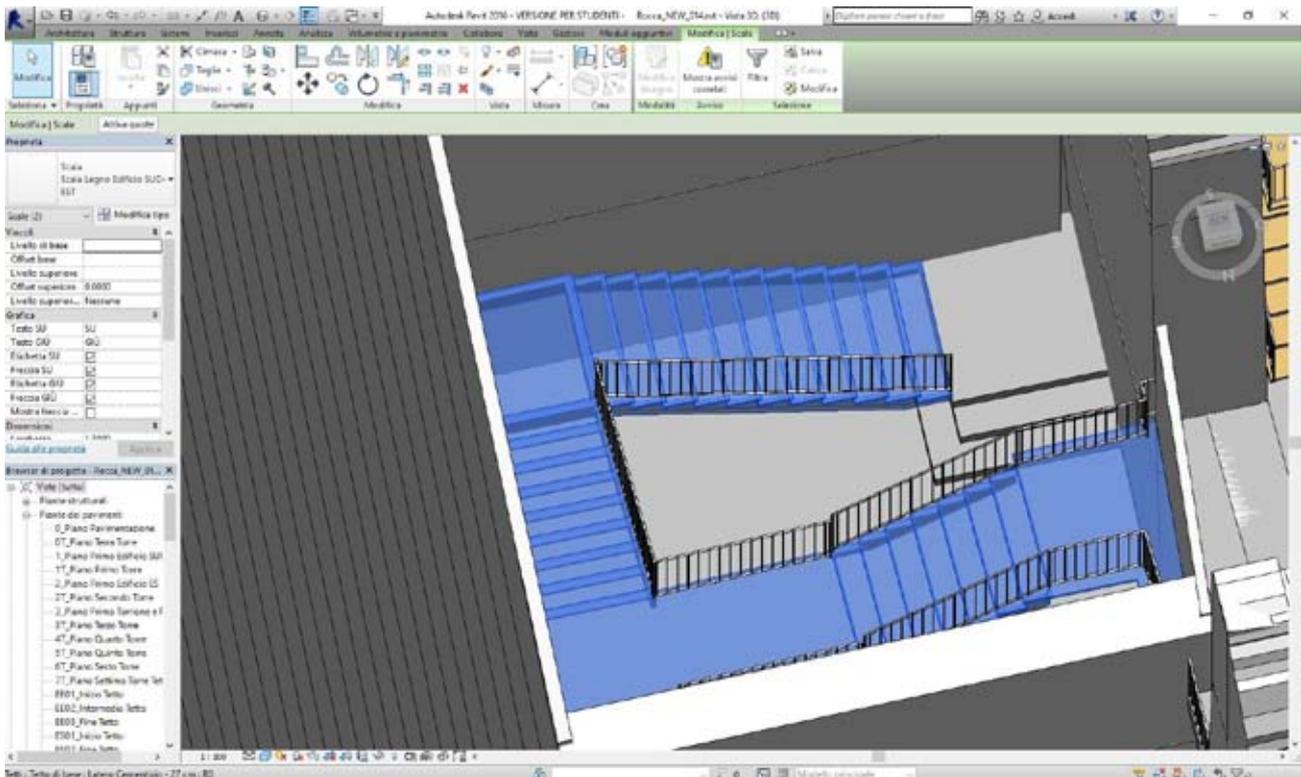


Fig 4.59 Scale edificio Sud - Est interne - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016.

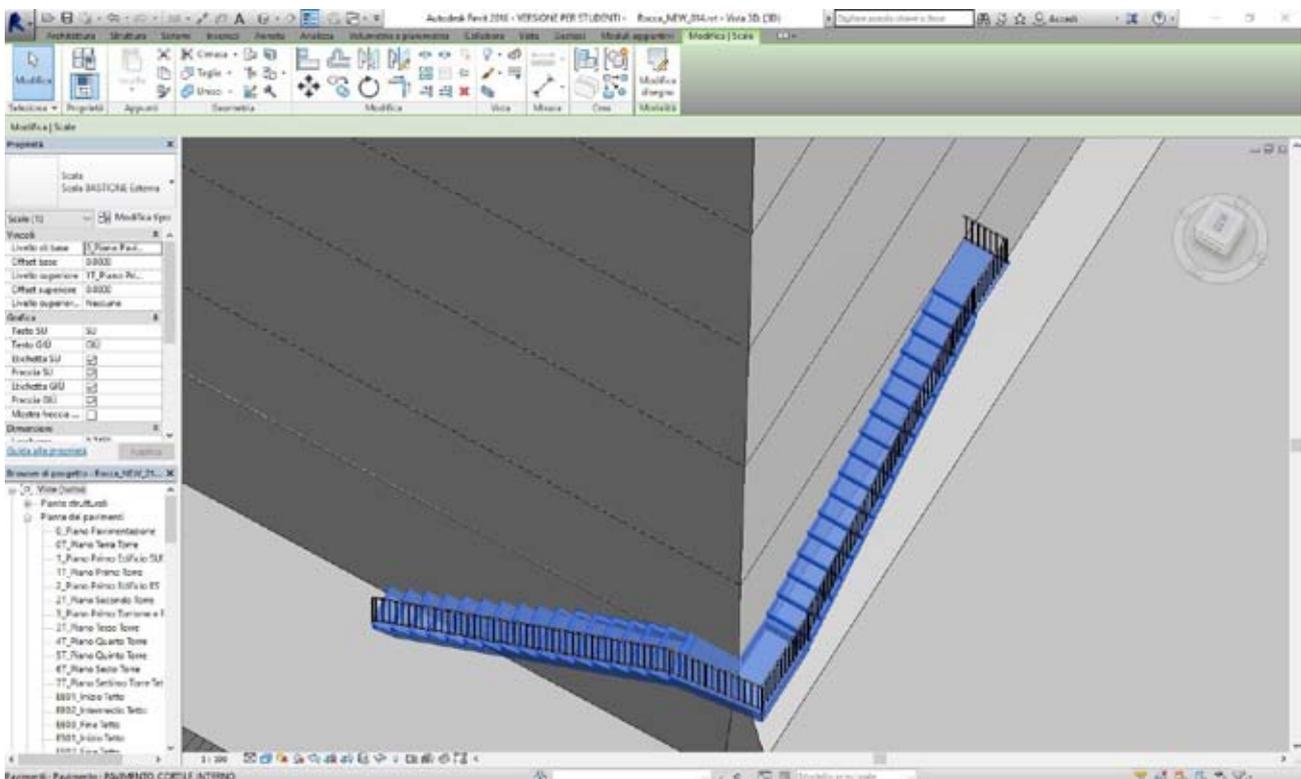


Fig 4.60 Scale Torre esterne - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016.

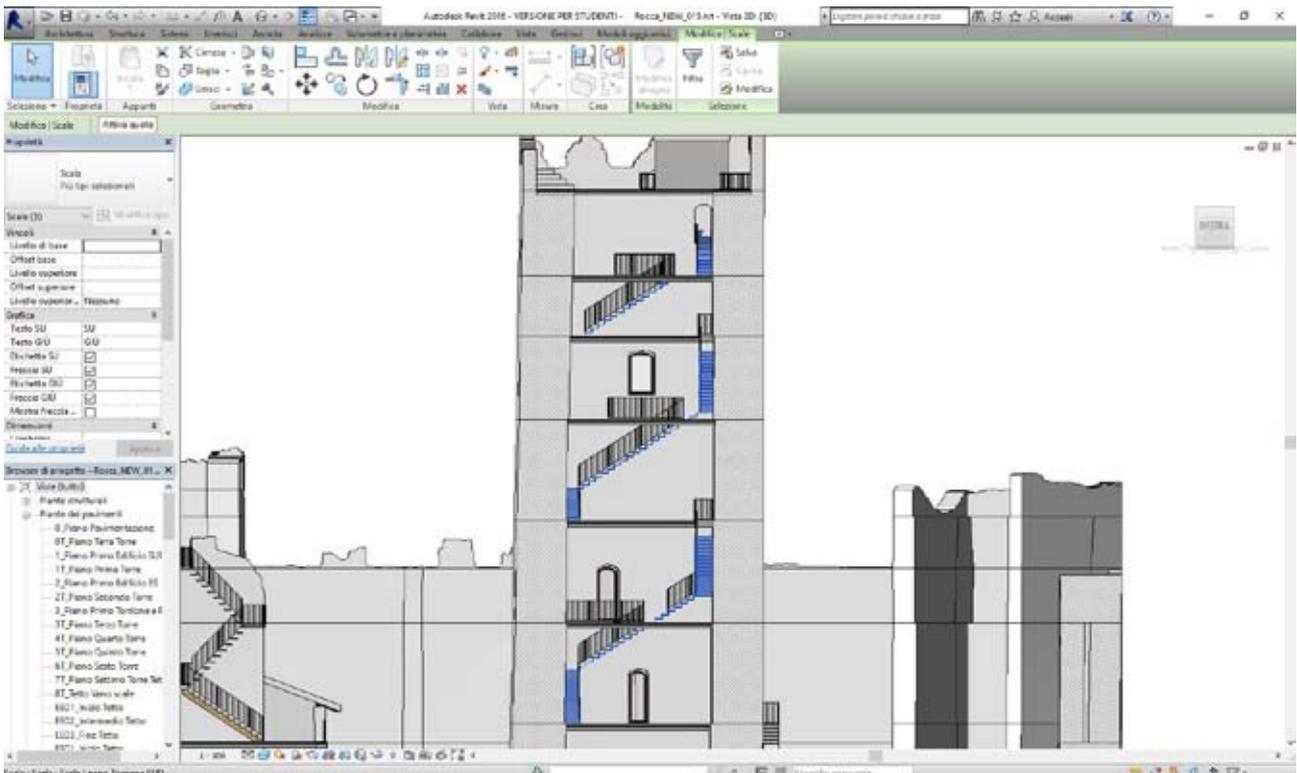


Fig 4.61 Scale Torre interne - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016.

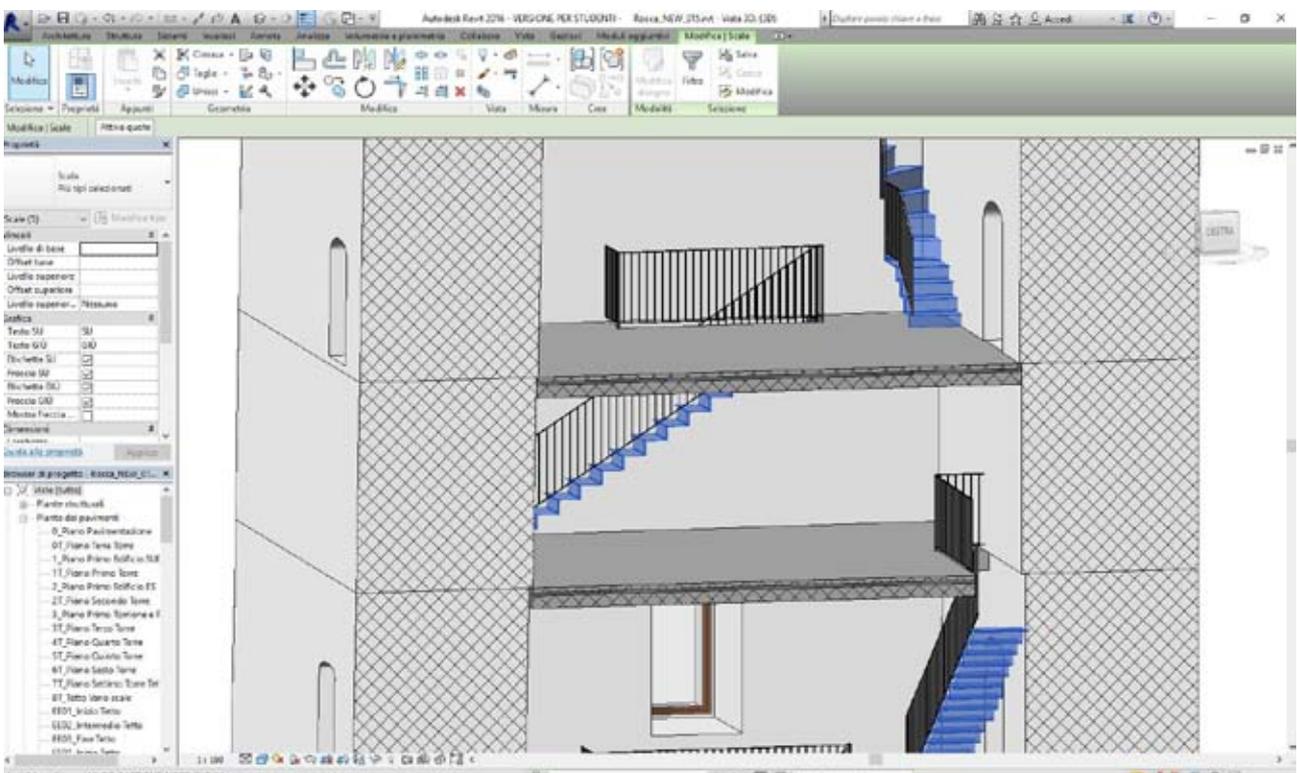


Fig 4.62 Scale Torre interne vista di dettaglio - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016.

I pianerottoli vengono creati in automatico se collegano due rampe consecutive, mentre il pianerottolo di partenza o quello di arrivo devono essere disegnati a mano se hanno una forma diversa da quella di un normale gradino, e questo spesso accade quando si modella un edificio esistente storico, i cui la sagoma dei vari gradini viene definita dalla forma del muro del vano scale, inoltre anche l'intradosso della scala è un elemento che di base segue l'andamento dell'inclinazione della rampa ma che può assumere tantissime forme diverse nell'infinita casistica architettonica.

Un'altra particolarità di questa famiglia è che il disegno che definisce le scale giace tutto su un piano, di solito quello di base, anche se il risultato finale è un elemento a tre dimensioni sviluppato oltre che nella sua sagoma in pianta anche in altezza, quando però le linee dello stesso elemento si sovrappongono il software, in questo caso Revit, non riesce a comprendere cosa si trova sopra e cosa sotto, quindi o restituisce un messaggio di errore o disegna collegamenti anomali.

Bisogna quindi prestare molta attenzione a come si disegna una scala, soprattutto se le rampe si sovrappongono più volte le une sopra alle altre, in quel caso potrebbe convenire creare scale diverse per ogni piano oppure utilizzare il comando per creare rampe multiple già presente in Revit che però non sempre è utilizzabile in progetti che riguardano edifici esistenti.

Le ringhiere sono un'altra famiglia molto complessa, costituita da diversi elementi e profili al suo interno, che possono essere disegnate in modo indipendente, come elemento a se stante, e si collegano ad un pavimento e possono essere collegate alle pareti adiacenti.

Le ringhiere vengono anche collegate alla famiglia delle scale, ed ogni volta che si genera una scala ne vengono create due, una per lato, che

seguono l'inclinazione della rampa, queste ringhiere possono essere cancellate e modificate all'occorrenza e collegate ad altre ringhiere.

#### **4.4.5 BIM FITTING DELLA TORRE - MODELLO DETTAGLIATO**

Per la torre si è adoperata un certa attenzione nel modellare i vari elementi, soprattutto per le aperture, porte e finestre, che per la parte sommitale, tetto e merlature, dove si è cercato di trasferire tutti i dati provenienti dalla nuvola di punti per un corretto dimensionamento degli elementi.

Gli elementi principali che si sono modellati sono state le finestre, con famiglie personalizzate di tre tipologie differenti, dei vari piani della torre, e le porte, sia quelle del piano prima che quelle del piano terra e del tetto.

Si è lavorato prima sulla composizione delle famiglie singolarmente, nell'editor di famiglie, e poi si sono inserite nel modello posizionandole e dimensionandole in modo corretto utilizzando come guida la nuvola di punti e posizionandosi in piani paralleli alle varie superfici della torre.

Dopo aver posizionato porte e finestre ai vari livelli si è modellata la scala, in modo che collegasse i vari piani della torre, rendendo adiacenti gli scalini alle pareti di bordo, tagliando i solai delle dimensioni corrette e raccordando le varie ringhiere tra quelle inclinate e quelle orizzontali.

Particolarmente complicata è stata la creazione della scala in sommità che attraversando per intero una parete ha reso necessaria la costruzione di due murature, di bordo, ed una sottostante alla scala stessa che seguisse il profilo dei gradini, in questo modo è stato possibile simulare il passaggio della scala in un muro, funzione non presente di base in Revit.

Infine sono stati modellati tutti gli elementi del tetto che si trovano in sommità alla torre, come scale, gradoni, ringhiere e punto di arrivo della scala costituito da un piccolo edificio a parallelepipedo fatto in cemento.

#### **4.4.5.1 MURATURA DELLA TORRE: RAPPRESENTAZIONE RISULTATI E TESSITURA**

Anche per la muratura della torre è stato utilizzato il procedimento delle pareti da superficie applicate ad una massa locale, e gli spessori sono stati misurati direttamente dalla nuvola di punti a partire quindi dal rilievo fatto con il laser scanner 3D e con la fotogrammetria.

Poi la massa locale, e di conseguenza tutte le murature sono state divise per ogni livello della Torre, in modo da poterle adattare agli spessori variabili di piano in piano, e sono state create anche delle copie di tipo della famiglia parete per poterle poi adattare al meglio ad ogni diversa misura.

La stessa cosa è stata fatta per il basamento, che gira tutto attorno al piano terra della torre, con un'inclinazione variabile, anche per questo elemento è stato necessario creare una massa locale, perché le pareti da superficie non permettono il collegamento di profili di alcun tipo, cosa invece possibile sulle murature standard.

In sommità invece sono state utilizzate murature normali per generare le merlature della Torre, incorrendo nel problema che profili troppo complessi non possono essere uniti dal software che quindi li disgiunge lasciandoli come indipendenti.

Per l'elemento della torre, ma più in generale per l'intero modello della Rocca, si è deciso di rappresentare gli elementi in modo concettuale, dando più importanza alle volumetrie e al rapporto pieni vuoti, in modo che si potessero notare le parti di progetto più rilevanti.

Ciò è stato possibile esportando il file da Revit a 3DStudio Max e utilizzando la metodologia dell'ambient occlusion per ottenere il risultato cercato e per avere degli oggetti rappresentati, seppur in modo concettuale, nella

corretta forma e posizione.

In più, una delle grandi potenzialità di questa metodologia, è la possibilità di ricollegare la nuvola di punti al modello BIM stesso come tessitura degli elementi, in pratica si incolla alle superfici delle geometrie del modello cioè che arriva dalla realtà.

In questo modo non si compie una simulazione foto realistica ma si ripropone con un buon grado di precisione, ciò che c'è nella realtà e che è stato rilevato riproponendolo come informazione sugli elementi stessi del modello, e ciò ne rende possibile un rapido confronto con l'edificio esistente.

Prima di tutto occorre creare le ortofoto per ottenere una texture applicabile poi al modello, e questa operazione si ottiene con il software di gestione fotogrammetrica, Photoscan, già utilizzato in precedenza, creando prima una mesh e poi mappando le foto dalle quali si è originata la nuvola di punti sulla superficie così creata.

Dopo di che è possibile, in Revit, applicare come decalcomania (decal), questa tessitura alle superfici del modello aggiungendola come informazione ulteriore che rimane legata ai vari oggetti, quindi si crea un percorso ciclico nel quale dalla nuvola di punti si arriva al modello, e poi la tessitura derivata da essa si riapplica sul modello stesso con dato aggiuntivo, anche se sui muri da superficie non è sempre possibile collegare una decal e occorre cambiare direttamente il materiale associato.

In questo modo è possibile visualizzare direttamente le lesioni, o le fessurazioni, sul modello tramite le immagini provenienti dal rilievo applicate come tessitura sugli elementi geometrici già costruiti, collegando le due informazioni a fronte di un possibile intervento di riqualificazione anti sismica.

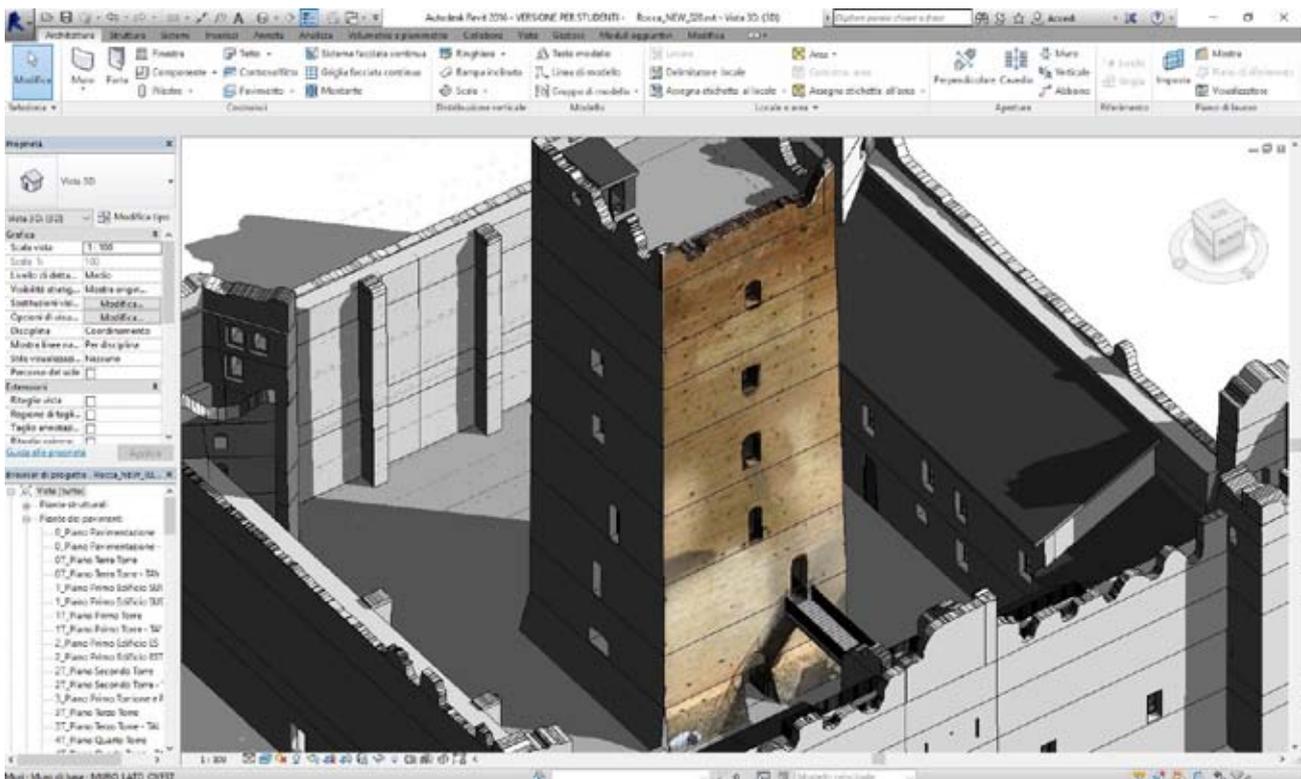


Fig. 4.63 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello - Audodesk Revit 2016.

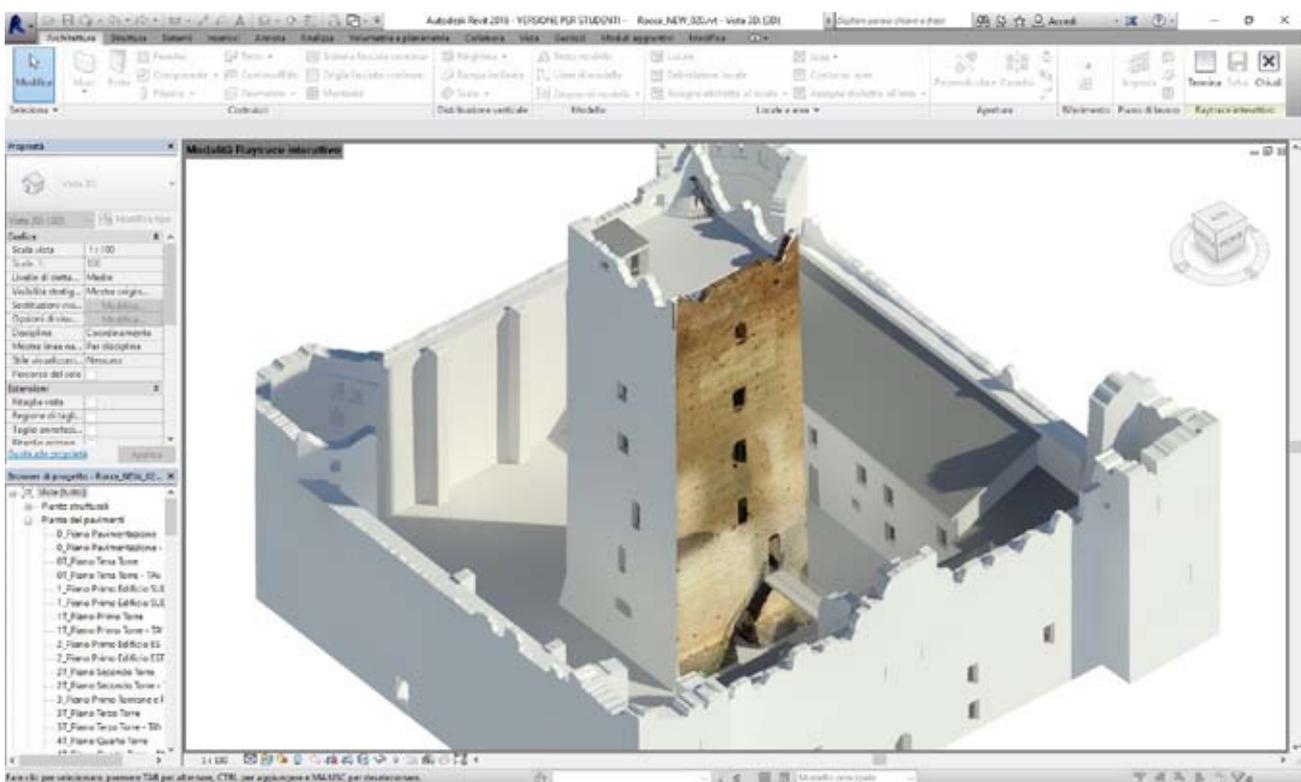


Fig. 4.64 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello visualizzazione di Render - Audodesk Revit 2016.

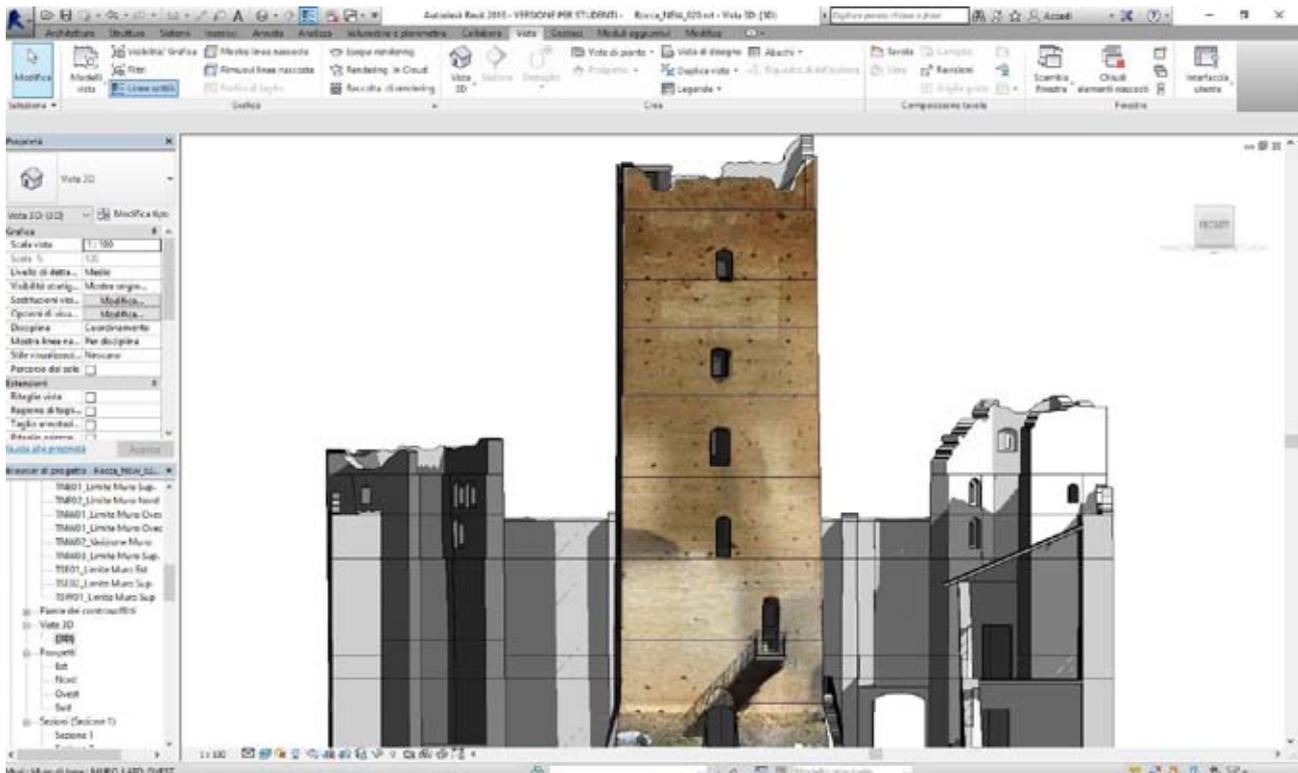


Fig 4.65 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello vista in sezione ortogonale - Audodesk Revit 2016.

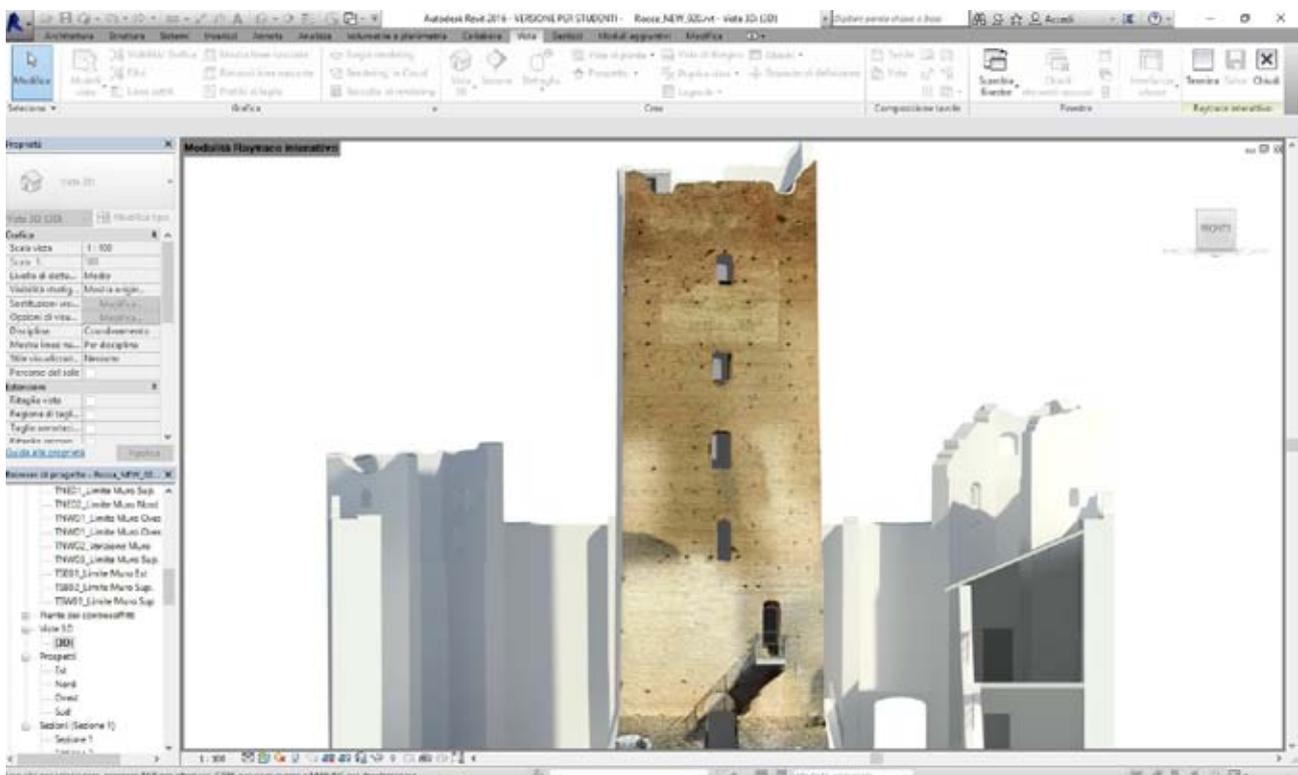


Fig 4.66 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello vista in sezione ortogonale visualizzazione di render - Audodesk Revit 2016.

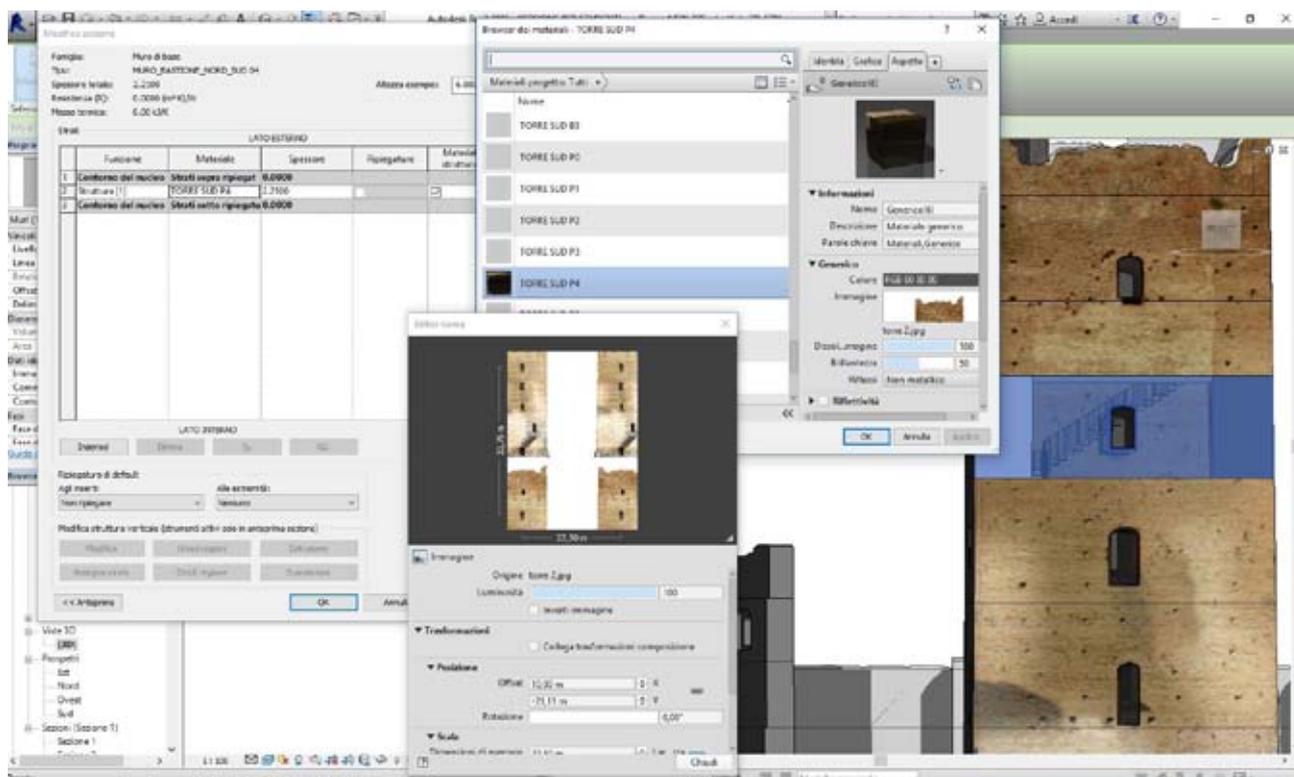


Fig 4.67 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello impostazioni generali delle proprietà - Autodesk Revit 2016.

#### 4.4.6 PROBLEMI RICONTRATI

I principali problemi riscontrati sono legati in gran parte all'impostazione dei programmi di modellazione BIM, come Revit, che sono strettamente legati alla progettazione del nuovo, e hanno diversi limiti nel modellare oggetti, o interi edifici, che appartengono al patrimonio costruito esistente.

In particolare con Revit non è possibile generare murature che non siano perfettamente verticali, o non è possibile generare forme particolari delle pareti senza utilizzare le masse locali, con un lungo dispendio di tempo.

Inoltre gli oggetti da superficie hanno uno scarso livello di gestione, non sono più modificabile, se non aggiornando la massa locale che funge da host, e non vengono più riconosciuti da altri oggetti presenti nel modello, come tetti, pavimenti o anche profili da parete.

In caso di creazioni di angoli strani, troppo acuti, il software non riesce a creare i giunti tra le pareti di superficie, inoltre se due muri di questo tipo si intersecano senza unirsi non sempre vengono tagliati nel modo giusto e questo crea particolari problemi nella gestione degli oggetti adiacenti.

Anche le famiglie caricabili presentano diversi problemi, primo fra tutti non è possibile importare la nuvola di punti nell'editor di famiglie, e le famiglie create in locale nel progetto, seguendo la nuvola stessa, non possono essere esportate e trasformate in famiglie locali e questa è una forte limitazione nella modellazione BIM del reale.

La nuvola di punti, inserita nel modello in Revit, è un oggetto compatto, con scarsissimi comandi per la sua gestione, può essere visualizzata e sezionata sia in verticale che in orizzontale e a volte riconosce dei punti della stessa come oggetti del modello.

Le famiglie caricabili, generate a parte, si devono confrontare con elementi generati a partire da superfici, e non sempre questo porta a buoni risultati, perché il comportamento dell'inserimento della famiglia diventa anomalo, soprattutto se la sua parte "vuota" non taglia gli elementi e quindi non può essere posizionata o in altri casi in certe specifiche zone non è possibile inserire alcuna apertura.

La maggior parte di questi problemi deriva dall'utilizzo di oggetti da superficie che avendo molte meno proprietà modificabili rispetto ad altri elementi rendono molto difficoltosa la gestione delle famiglie che vi si vogliono inserire, perché i piani non risultano planari e i giunti spesso non vengono riconosciuti, e quindi vanno in conflitto i posizionamenti delle varie aperture.

Un altro problema, sempre legato a queste famiglie, riguarda il fatto che non è possibile collegarle a livelli del progetto, ma restano sempre

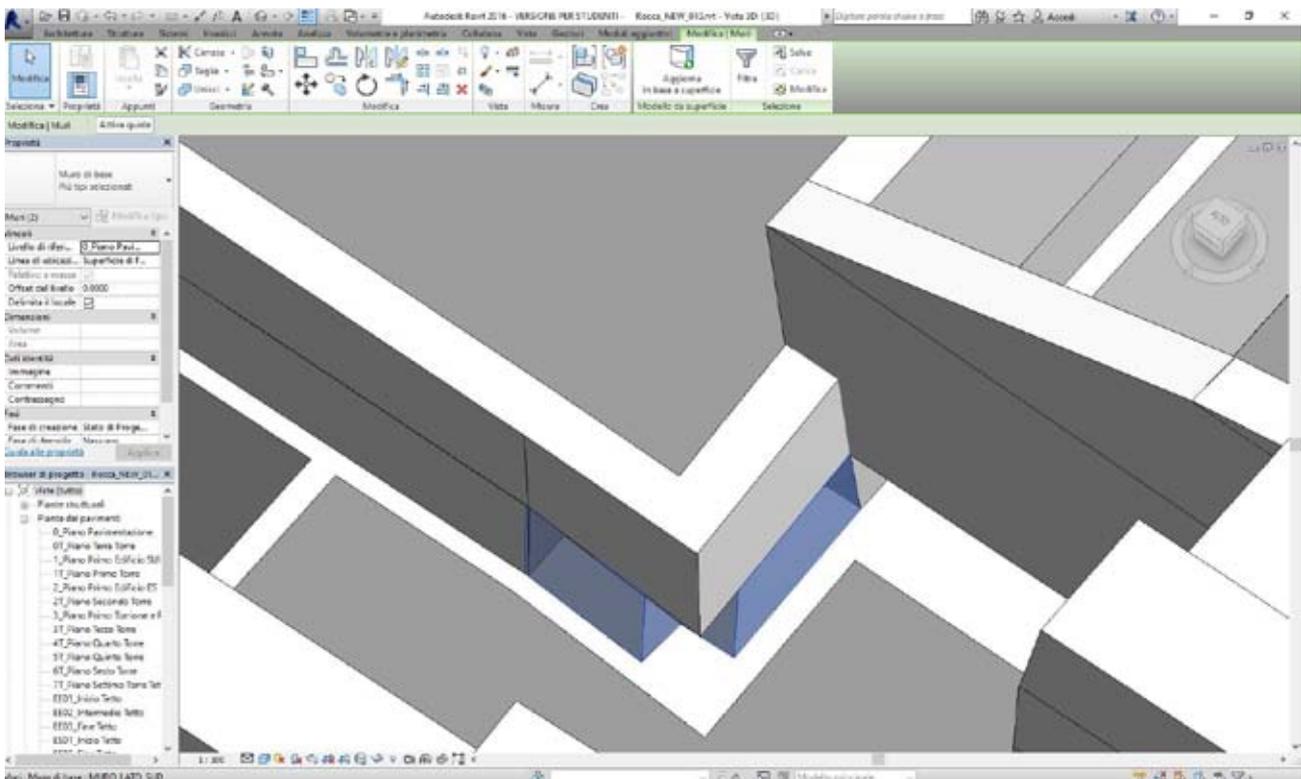


Fig 4.68 Muri da superficie che non riescono a creare un giunto corretto - Autodesk Revit 2016.

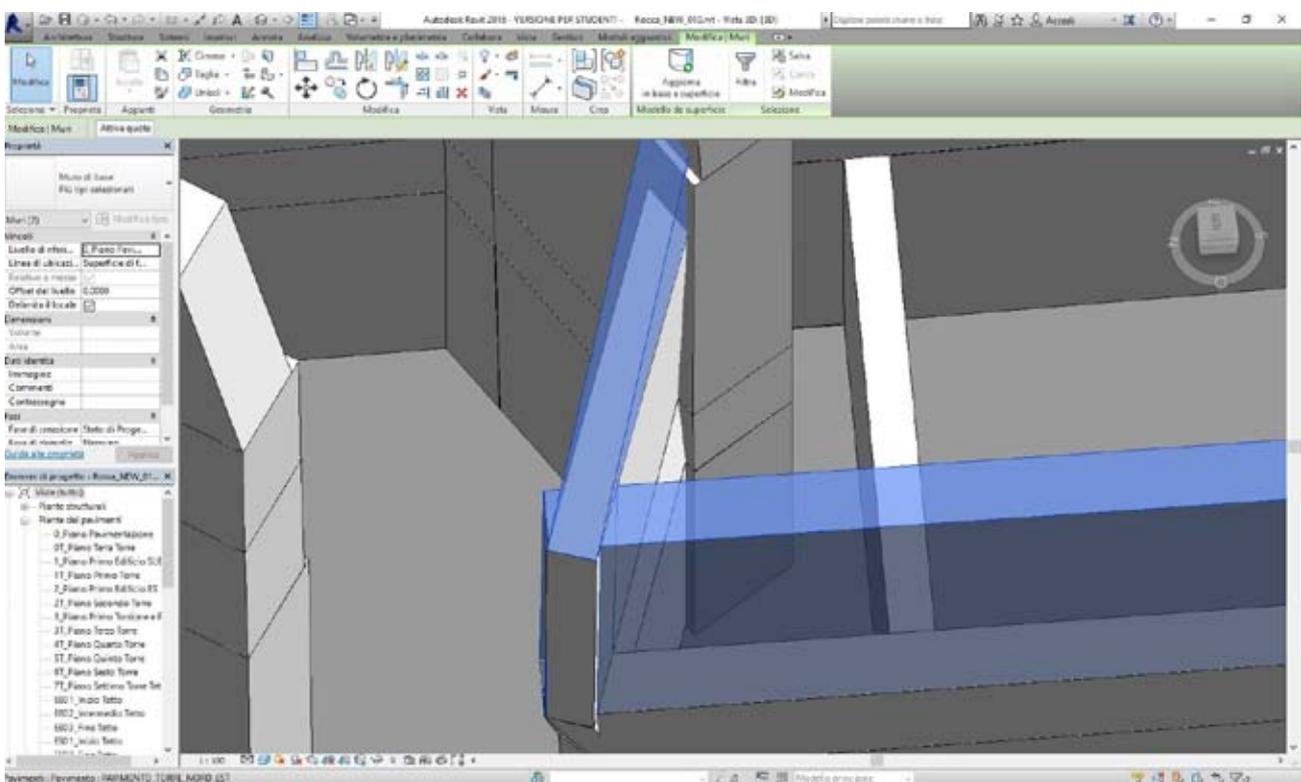


Fig 4.69 Muri da superficie che non riescono a creare un giunto corretto, inclinazione troppo elevata - Autodesk Revit 2016.

collegate solo alla superficie della massa locale e quindi si perde anche la possibilità di modificare gli elementi muro, costruiti in questo modo, modificando i livelli del modello.

Famiglie che generano piani orizzontali o inclinati come pavimenti e tetti non riconoscono in automatico i muri da superficie e anche in questo caso si perde definizione e collegamento, la modifica dell'uno non comporta la modifica automatica dell'altro e viceversa, aumentando molto le tempistiche di modellazione.

Molti dei problemi riscontrati in questa fase sono legati in maggior parte ai limiti di alcuni strumenti che i software mettono a disposizione, che potrebbero essere risolti con gli anni e con la crescente necessità di progettare e riqualificare il patrimonio esistente, altri problemi sono più che altro concettuali in quanto i sistemi BIM disponibili oggi non sono stati pensati per modellare l'esistente ma più che altro per la nuova progettazione.

# 5. INFORMAZIONI E DATI DEL MODELLO (LOD)

## **5.1 ESTRAPOLARE INFORMAZIONI**

Una delle funzioni principali di un modello BIM è quella di gestione delle informazioni, e in questa sezione si discute in modo un po' più approfondito di come poterle elaborare sia per l'inserimento che per la modifica.

Bisogna fare un discorso a parte su come estrapolare i dati, perché la modellazione geometrica stessa inserisce già molte informazioni nel modello che in parte sono nascoste, e interrogandolo nel modo corretto è possibile estrarre altri dati utili, non direttamente visualizzabili per altre specifiche analisi.

Interrogare il modello significa utilizzare alcuni strumenti che mette a disposizione il software BIM per leggere alcuni tipi di dati, per esempio le viste di progetto sono interrogazioni del modello, perché identificano una porzione del disegno, modificabile, e la rappresentano con determinate regole, che sono proprie della vista e non dell'elemento.

Ogni modifica apportata al modello viene automaticamente aggiornata in tutte le viste, o altre interrogazioni, fatte sul modello stesso, in modo che non ci siano incongruenze tra una rappresentazione e l'altra.

Anche l'abaco dei locali, per esempio, è un'informazione che può essere estrapolata dal modello, e che contiene già i valori di volume e di area di un singolo locale, e un locale è riconosciuto in automatico da Revit se è chiuso su tutti i lati da delle pareti, e se ha anche un soffitto ed un

pavimento, quindi se c'è chiusura totale del volume.

Sia le famiglie caricabili che quelle locali possono essere poste in abachi in cui vengono elencate in ordine, per categoria e per tipo, in modo da avere un computo di tutti quegli elementi effettivamente presenti nel modello, e anche in questo caso, ogni modifica ad esso viene automaticamente apportata agli abachi.

Inoltre si possono anche ricavare le dimensioni metriche degli oggetti, e la loro disposizione nel modello, per esempio a che livello si trovano, in più è possibile applicare delle modifiche all'abaco stesso e queste si trasferiscono al modello.

### **5.1.1 INSERIRE, GESTIRE E CONDIVIDERE INFORMAZIONI**

Inserire informazioni nel modello BIM significa riempire i campi del database che mette a disposizione Revit di default e, se necessario, aggiungere altri campi, che saranno collegati ai vari elementi del progetto, i dati che si possono inserire in questo modo sono i più disparati, caratteristiche dei materiali, dati fisici, dati geometrici, dati del produttore, link al web o link al produttore di un determinato elemento ecc.

La gestione dei dati è una delle caratteristiche principali del modello BIM, tutte le informazioni che vengono inserite in esso possono essere modificate e collegate, è possibile legare parametri fisici ad un materiale, misure geometriche ad un elemento specifico e così via, inoltre è possibile anche collegare informazioni che giungono dal rilievo come foto e nuvole di punti.

La gestione non è soltanto la modifica ma è anche il controllo di questi dati, bisogna sempre gestire le informazioni con ordine e verificare di non inserire dati errati o ridondanti, ma anche in questo caso il software aiuta a risolvere questo tipo di problemi perché può visualizzare sotto forma di

elenchi, tabelle ed abachi tutte le proprietà dei vari elementi.

Una delle caratteristiche fondamentali della modellazione BIM è la condivisione delle informazioni, o detto meglio, l'interoperabilità dell'intero modello, è possibile lavorare contemporaneamente sullo stesso progetto da parte di più professionisti che collaborano per raggiungere un obiettivo comune ma inserendo ognuno un livello di conoscenza diverso.

L'interoperabilità nel processo BIM si divide in due principali definizioni:

- Interdisciplinarietà: Il modello BIM descrive in modo completo ed esaustivo tutti gli aspetti del progetto, con funzioni di costruzione e valutazione specifiche, e nel caso non sia presente nel software BIM, in questo caso Revit, un modulo disciplinare, esso può essere compensato utilizzando prodotti complementari.

In tal caso il modello racchiude dentro di sé la complessità che può



Fig 5.01 Schema delle potenzialità di un modello BIM, analisi e progetti.

arrivare solamente da più fonti e allo stesso tempo la rende disponibile per altri utilizzi all'interno dello stesso processo.

- **Teamworking:** o lavoro di squadra, definisce l'operatività contemporanea di più progettisti sullo stesso modello/progetto, sia multidisciplinare che non, ma che richieda il lavoro contemporaneo di più professionisti con abilità e formazione diverse.

Entrambi questi aspetti riguardano la condivisione dei dati che afferiscono al modello BIM ed identificano una procedura di lavoro che è abbastanza diversa da quelle tradizionali, dove l'operato di più professionisti sullo stesso progetto è molto più frazionato e sequenziale.

**INTEROPERABILITA':** Nel mondo BIM questo valore ha due principali accezioni, una che riguarda le conoscenze ed una che riguarda gli strumenti.

- **Interoperabilità delle conoscenze:** Espressa anche con il termine di interdisciplinarietà, identifica le modalità di processo con le quali i vari protagonisti del processo BIM cooperano tra loro, condividendo informazioni e conoscenza riguardante il progetto.
- **Interoperabilità degli strumenti:** Definisce in modo specifico i programmi, e più diffusamente gli strumenti, che i software mettono a disposizione, ai diversi lavoratori in modo che possano comunicare tra loro, anche in remoto, e scambiarsi anche dei dati.

In questo modo si può dire che vari strumenti operativi, possono essere utilizzati dai vari attori che lavorano sul flusso progettuale e sull'ottimizzazione del trasferimento dei dati al suo interno.

Questa metodologia di lavoro racchiude in sé una grande strategia perché permette lo scambio di informazioni senza ambiguità e senza

incongruenze tra un programma e l'altro mantenendo un buon livello di coerenza all'interno del modello e tra i vari dati che si trovano al suo interno.

Si crea quindi un flusso circolare di informazioni che in più step temporali raggiunge tutti coloro che hanno qualche interesse all'interno del singolo progetto, mantenendo una continua comunicazione tra le varie parti e tra i vari professionisti, dal committente al progettista, e dalle imprese ai fornitori, diventando un campo a tutto tondo che riguarda tutte le fasi della progettazione e successivamente della manutenzione.

I modelli federati sono il principale formato di interscambio di informazione utilizzato dai software BIM per potersi scambiare dati tramite database, e per poter trasferire i modelli nella loro interezza tra un programma e l'altro, e il formato di file più utilizzato attualmente per questa operazione è l'IFC (Industry Foundation Classes) dove il database viene reso leggibile

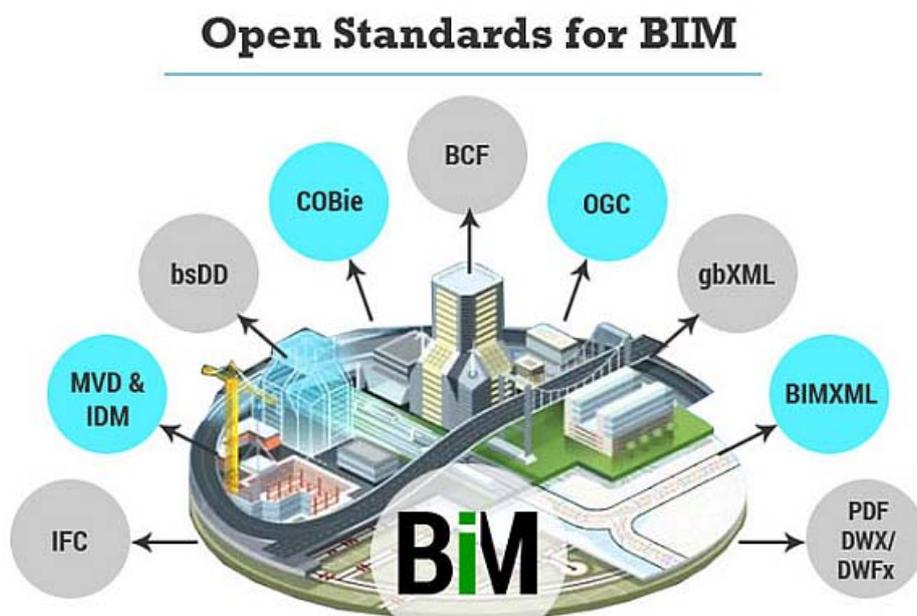


Fig 5.02 Schema dei modelli di interscambio file nel modello BIM <https://thebimhub.com>.

come archivio federato per essere utilizzato da altri software.

I modelli federati sono, attualmente, una delle criticità maggiori di tutto il sistema di trasferimento dati e informazioni all'interno del processo di modellazione BIM, in quanto esiste una percentuale di perdita di informazioni comunque non trascurabile, e l'errore si trasferisce durante i vari passaggi tra un software e l'altro.

Quindi si sta lavorando molto, attualmente, sulla ricerca di un sistema o un formato di trasferimento file che non causi la perdita di informazioni o di dati durante lo scambio tra un programma e l'altro.

### **5.1.2 LOD NEL BIM E PER L'ESISTENTE**

I livelli di sviluppo (LOD) nel progetto digitalizzato sono la misura dell'informazione contenuta all'interno del processo BIM, e riguardano direttamente i dati contenuti all'interno del modello stesso.

In generale un'informazione, e qui si fa riferimento alla "I" dell'acronimo BIM, ha tanto più valore quanto più è potenzialmente utile per i propri fruitori e per le loro molteplici finalità, e ciò è tanto più vero nel settore dell'edilizia, dove la gestione e l'accessibilità dei dati sono parte fondamentale della digitalizzazione del progetto.

I modelli digitali del processo BIM, basi di dati unificate o riunite in archivi federati, necessitano di strutture regolamentate per gestire i propri contenuti informativi, essendo non più semplicemente rappresentazioni geometriche di un progetto ma contenitori di informazioni estese.

In base a tutte queste considerazioni sono stati introdotti i livelli di Sviluppo (LOD dall'inglese Levels of Development) intesi come misura del livello di affidabilità, coerenza e sicurezza, delle informazioni inserite nelle varie fasi di elaborazione del progetto.

Da non confondere con il termine Levels of Detail (che ha lo stesso acronimo LOD) che si riferisce invece al dettaglio grafico che contraddistingue un componente, che in ordine crescente partono dalle visualizzazioni tecniche fino alle visualizzazioni 3D e di rendering finale.

I livelli di sviluppo, invece, non sono una quantità di informazioni inserite in un elemento di modello, non misurano la quantità e neppure la precisione delle informazioni grafiche ma misurano semplicemente la quantità delle informazioni fornite.

In un modello BIM tutte le informazioni fornite, di qualsiasi genere, sono rilevanti ai fini della progettazione, quindi è la misura della quantità di dette informazioni che funge da parametro come valutazione del livello di sviluppo di una componente o dell'intero organismo edilizio.

I vari livelli di LOD fungono da step, che si possono raggiungere con una certa quantità di informazioni, quelli più bassi riguardano rappresentazioni puramente simboliche, poi ci sono quelli intermedi, dove gli elementi del modello sono definiti da forme specifiche e compaiono relazioni con gli altri elementi del progetto e collegamenti a documenti loro allegati.

Infine i livelli più elevati di sviluppo, si raggiungono quando sono integrati nel modello forme, quantità, posizione e dati di assemblaggio dei vari elementi che vengono poi verificati in opera confermando i dati fino a quel momento raccolti.

I livelli di sviluppo, schematizzati in questo modo dipendono molto dalla normativa dello stato di riferimento, e possono cambiare nei contenuti minimi o nei requisiti, ma il concetto generale è che si possono esprimere con dei parametri questi livelli per un progetto, per i suoi elementi e per le sue fasi, in modo da poter stilare una classificazione in funzione delle quantità di informazioni.

**LOD PER L'ESISTENTE:** Nei livelli di sviluppo si può inserire anche la parte che riguarda il rilievo, cioè se degli elementi del modello sono esistenti nella realtà, se sono stati rilevati, e se tali informazioni sono state inserite nel modello, allora è possibile definire questi dati come livello aggiuntivo di informazione generale e quindi un livello più alto di sviluppo.

Per il rilievo ci sono molti parametri di riferimento per poterlo definire in una scala di valutazione che utilizza i LOD, per esempio bisogna capire come è stato fatto il rilievo e con quale strumentazione, quanto sono precisi i dati raccolti, che metodologia è stata utilizzata, e poi se le informazioni sono solo di carattere geometrico o sono state fatte altre indagini.

In questo ragionamento si inserisce anche la documentazione storica, se presente, e le varie analisi compiute sugli elementi dell'organismo edilizio, se sono state eseguite, e inoltre anche i dettagli di caratteristiche fisiche di materiali o di altri componenti.

Inoltre se viene fatto un progetto di intervento sull'esistente anche questo rientra nei LOD, e anche tutte le fasi successive che potrebbero esserci dopo la sua effettivamente messo in opera, comprese tutte le verifiche e i collaudi eseguiti successivamente.

Concludendo si può affermare che la parte di rilievo di un edificio esistente, in un processo di modellazione BIM, rientra nei livelli di sviluppo come quantità di informazioni aggiuntive che possono essere valutate, nell'insieme generale di informazioni e di dati che afferiscono a quel modello specifico, andandolo eventualmente ad integrare con la parte di progettazione o di intervento successivo.

## **5.2 PROGETTO DAL MODELLO BIM**

Il BIM è nato principalmente per la progettazione del nuovo e per il mantenimento negli anni degli edifici che vengono costruiti con questo metodo, e gli strumenti dei software BIM sono pensati per questo tipo di approccio.

In questo lavoro si studia un metodo per creare un modello BIM dell'esistente, quindi partendo da un rilievo, ma il passaggio successivo potrebbe essere quello di utilizzare il modello così creato per fare nuova progettazione.

Il progetto, in questo caso, non parte da zero, ma ha come sorgente un modello basato su un rilievo dell'esistente, e quindi c'è un collegamento diretto tra quello che esiste e quello che si vuole edificare.

Inoltre Revit permette di gestire le "fasi di progetto", cioè si possono collegare certi elementi ad una fase che si riferisce all'esistente, e ad una che si riferisce alla nuova progettazione, in questo modo si possono fare confronti diretti tra il modello creato dal rilievo e il modello del nuovo.

Questa è un'altra grande potenzialità della modellazione BIM, progettare direttamente sul modello che arriva dal rilievo, creando la base di partenza per ogni progettazione successiva, elaborando così i vari elementi direttamente su informazioni reali basate sulla nuvola di punti, senza dover disegnare nuovamente la geometria dell'edificio.

### **5.2.1 INFORMAZIONI PER LA PROGETTAZIONE**

In questo frangente tornano molto utili le informazioni che si sono legate al progetto durante la modellazione dal rilievo, e tutte le famiglie parametriche che sono state create appositamente per lo specifico

edificio, che possono essere usate come base per il lavoro successivo.

In Revit esiste la possibilità di impostare le fasi di lavoro, con questo principio si inserisce il concetto di tempo all'interno del modello BIM, detto anche quarta dimensione o 4D, dove l'ordine cronologico diventa un punto focale dell'intero lavoro.

Oltre a definire i vari elementi di un edificio si identificano anche i momenti temporali in cui questi oggetti sono comparsi e in quali momenti sono stati demoliti, in questo modo si possono identificare rapidamente le differenze tra ciò che esiste e ciò che viene progettato.

La versione del rilievo è la fase attuale, è il momento zero, che può quindi essere definito come "esistente" poi la parte progettuale può essere definita come "nuovo progetto", in questo modo, a diverse fasi, si possono associare oggetti differenti che fanno riferimento a tempi diversi, sia se si vogliono rappresentare tutti i passaggi delle lavorazioni successive, sia che si voglia mostrare il progetto finale.

Lavorare con le fasi, in Revit vuol dire definire visualizzazioni differenti del modello, dove i vari elementi che lo compongono non vengono fisicamente eliminati ma vengono nascosti a seconda della fase specifica, quindi se per esempio si sposta un muro in una stanza, nella visualizzazione dell'esistente il muro sarà nella sua posizione originale mentre nella visualizzazione di nuovo progetto il muro sarà nella posizione nuova.

In più è possibile generare una vista di comparazione dove i due elementi coesistono nella stessa visualizzazione ed è possibile confrontarli in modo diretto, inoltre si possono cambiare le proprietà di visualizzazione dei due elementi con colori diversi, per esempio il giallo per le parti demolite e il rosso per quelle di nuova costruzione.

Utilizzando le fasi si possono definire tutti gli step di progetto che si vuole,

gestendo in modo agevole il fattore tempo, assegnando i vari elementi ad una fase piuttosto che ad un'altra, e questo per gli edifici esistenti può tornare molto utile non solo per fare progetti nuovi ma anche per identificare le fasi di evoluzioni nel passato dell'oggetto rilevato.

### **5.2.2 VERSATILITA' DEL TIPO DI PROGETTO**

I progetti che si possono compiere su un modello BIM sono i più disparati, è possibile compiere riqualificazioni energetiche, rinforzi strutturali, adeguamenti sismici, restauri e così via, e per tutte queste tipologie si ha sempre la stessa base di partenza.

Quindi una volta finita la parte di modellazione, oltre a quella di analisi che verrà trattata in seguito nel paragrafo successivo, è possibile iniziare la fase di progettazione, ma le strade che si possono intraprendere sono molte e tutte ugualmente valide, se per esempio si vuole eseguire un progetto di restauro si aggiungono dettagli delle tessiture e si prepara un progetto per la conservazione della facciata.

Altrimenti se si vuole fare, per esempio, un progetto di riqualificazione energetica, dopo aver valutato lo stato attuale e aver modellato gli impianti, è possibile progettare i nuovi sistemi e poi verificarne il corretto funzionamento con altri software, per poi eventualmente tornare al modello di Revit e apportare alcune modifiche, che siano però coerenti con ciò che giunge dal rilievo.

Quindi la versatilità della progettazione è dimostrata dai vari tipi di approccio che si possono applicare al modello BIM creato sull'esistente, utilizzandolo come base per i processi successivi, e come fase iniziale di qualsiasi altro lavoro che si vuole compiere sull'edificio tema dello studio.

Nel caso della Rocca di Reggiolo, molti interventi sono possibili, prima di tutto il miglioramento dal punto di vista sismico per rendere l'edificio

di nuovo agibile e poi, in un secondo momento, anche il miglioramento degli impianti che si trovano in molti dei suoi locali.

## **5.3 MODELLO BIM PER ANALISI**

Come detto in precedenza il modello BIM ha molteplici utilizzi, essendo un insieme di informazioni di diverso tipo, oltre alla progettazione può gestire anche analisi, oggi esistono dei plug-in per i software BIM, come per esempio Robot per Revit, che possono analizzare alcuni dati e restituire altre informazioni rielaborate.

I dati contenuti nel modello sono per molti aspetti grezzi, necessitano cioè di essere analizzati e contestualizzati, per esempio tutta la parte di caratteristiche dei materiali riguarda l'analisi energetica che deve essere eseguita con un software esterno, ma i dati possono essere già contenuti nel modello.

Quindi più informazioni si riescono a raccogliere durante il rilievo più dati si possono inserire negli elementi del modello BIM e in questo modo possono facilmente essere utilizzati per analisi future, come per esempio la fluidodinamica, sia idraulica che dell'aria, per gli impianti tecnici.

Anche se i software BIM riescono a compiere molte analisi in modo indipendente, o con dei semplici plug-in, è molto difficile che i risultati finali siano sufficientemente raffinati per compiere operazioni successive, e quindi si utilizzano altri software con altri strumenti specifici.

In questo ambito si inserisce la parte che riguarda la gestione dell'informazione tra strumenti di diversa natura e soprattutto tra utenti con diverso background culturale, per esempio un modello BIM di un edificio, deve essere trasferito ad un tecnico di impianti per una riqualificazione energetica, e lui con i suoi specifici strumenti ottiene il risultato richiesto, ma la vera sfida è quella che questa operazione non sia a senso unico ma che questa informazione elaborata torni al modello BIM per integrarsi al resto del modello.

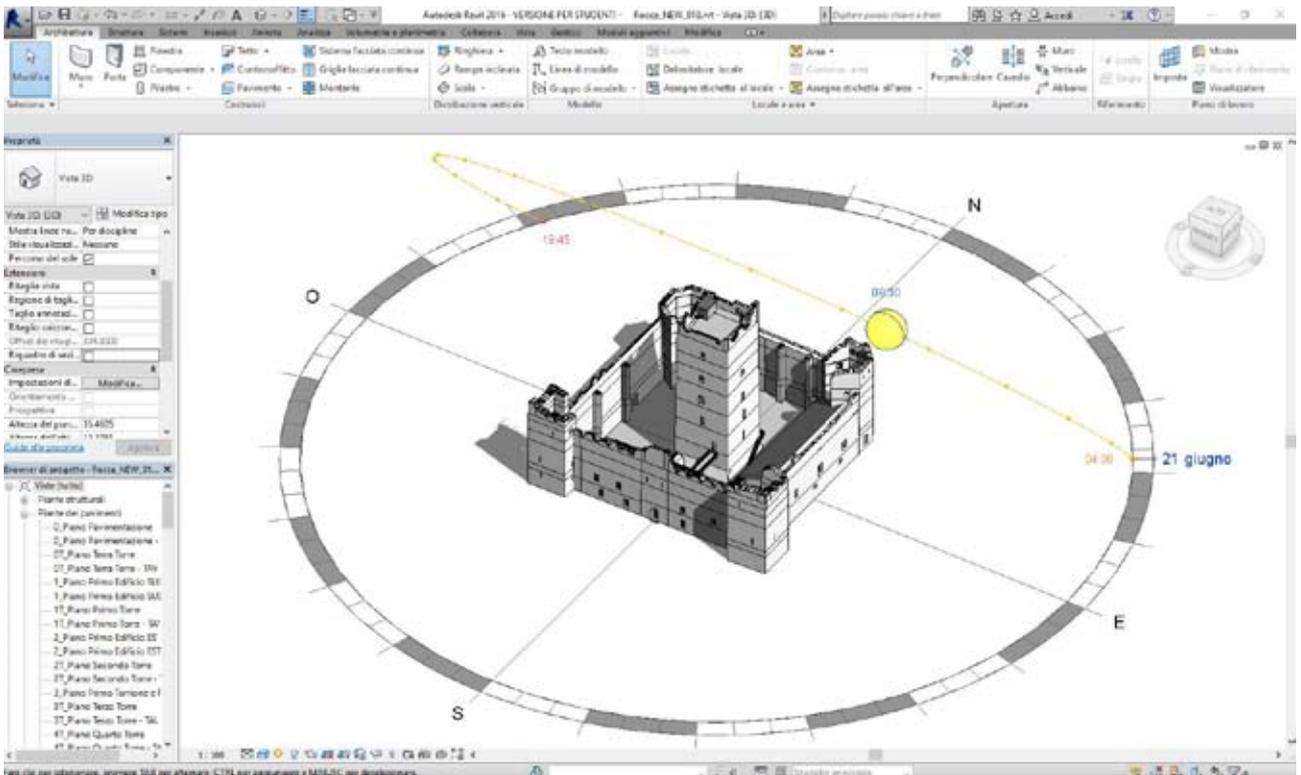


Fig 5.03 Analisi solare Rocca solstizio d'estate - Audodesk Revit 2016.

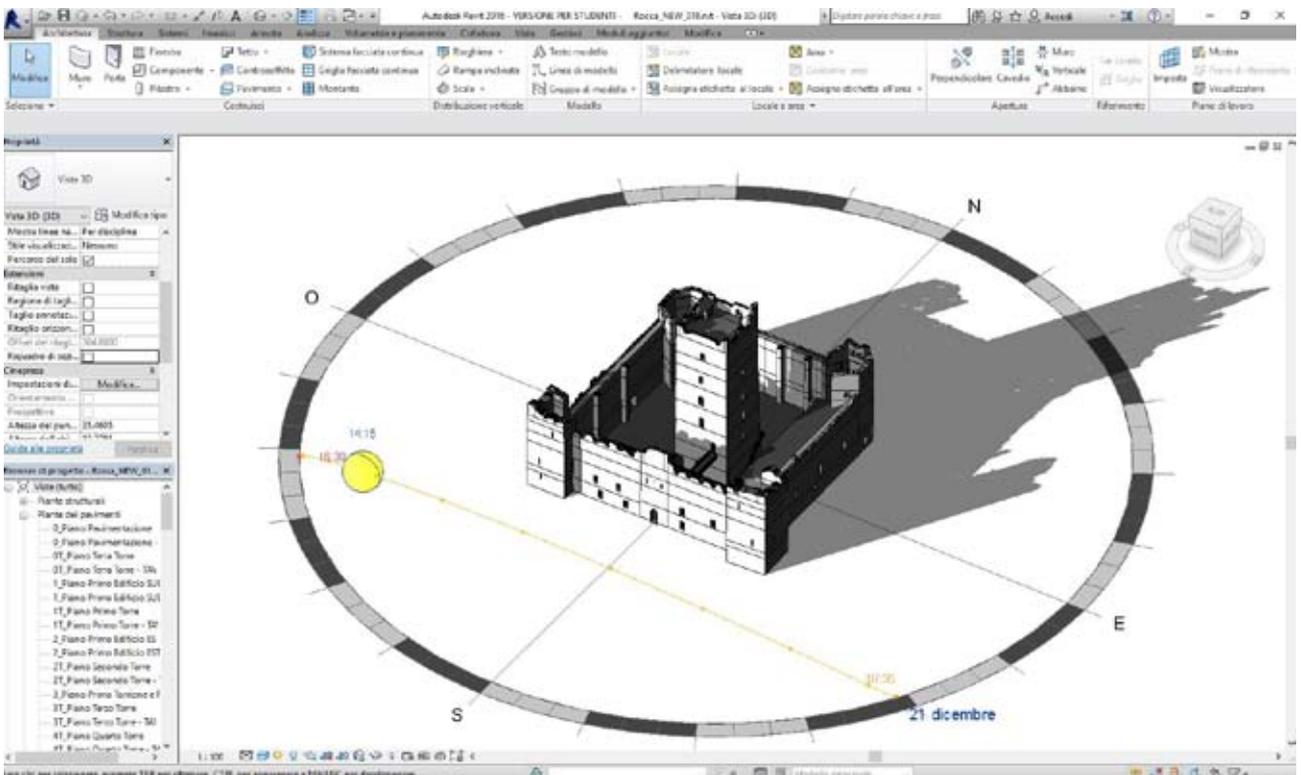


Fig 5.04 Analisi solare Rocca solstizio d'inverno - Audodesk Revit 2016.

La condivisione dei dati proveniente da analisi di diverso genere è una parte fondamentale della programmazione BIM e soprattutto non è un percorso lineare ma è ciclico ed incrementale, dove ogni step aggiunge conoscenza al modello.

Quindi non solo il modello BIM permette di integrare informazioni e dati da diverse fonti ma migliora notevolmente l'integrazione del lavoro di più persone, rendendole una squadra, anche se non lavorano fisicamente insieme.

### **5.3.1 ANALISI GEOMETRICHE E STRUTTURALI**

Le analisi principali che si possono fare sul modello BIM sono di tipo geometrico, è possibile valutare volumi, aree e perimetri, fare analisi di rapporti pieni e vuoti, valutare inclinazione e ricavare i valori di massa degli oggetti.

Se si conosce il volume di un oggetto, i pesi specifici delle varie parti che lo compongono e la loro stratigrafia, è possibile valutare il baricentro e il momento d'inerzia di questo elemento, così facendo si possono avere le informazioni statiche dell'elemento.

Inoltre Revit permette anche di posizionare dei vincoli in modo da valutare come le varie parti della struttura siano collegate tra loro, e potrebbe anche valutare dei carichi che sollecitano i vari elementi, in più la valutazione viene fatta tenendo conto di quale parte degli oggetti che compongono l'edificio è strutturale e quale invece è solamente di finitura.

Quando si disegna un elemento nel progetto, tipo un muro, una trave o un pilastro, esso è costituito sia da una parte strutturale, chiamata in Revit nucleo strutturale, sia da una parte di finitura esterna che non concorre alla resistenza statica globale dell'edificio.

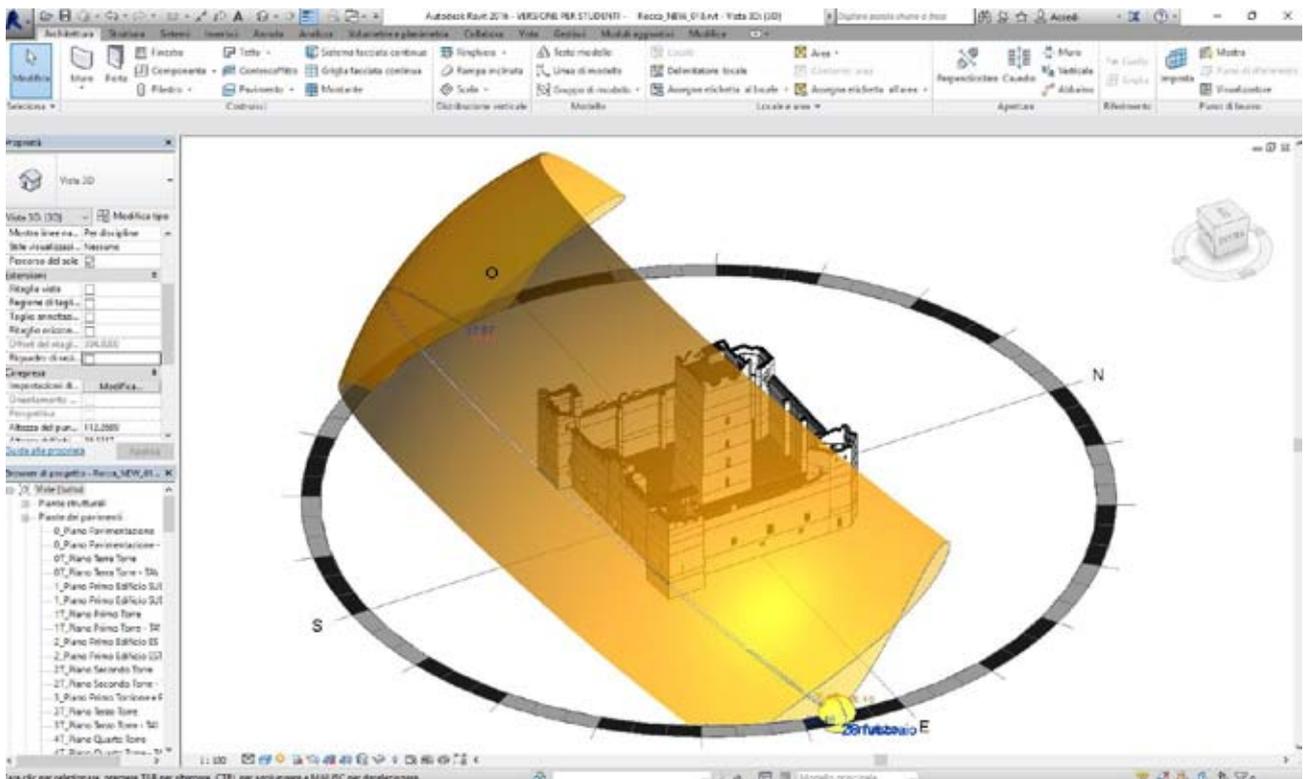


Fig 5.05 Analisi solare Rocca anno solare completo - Autodesk Revit 2016.

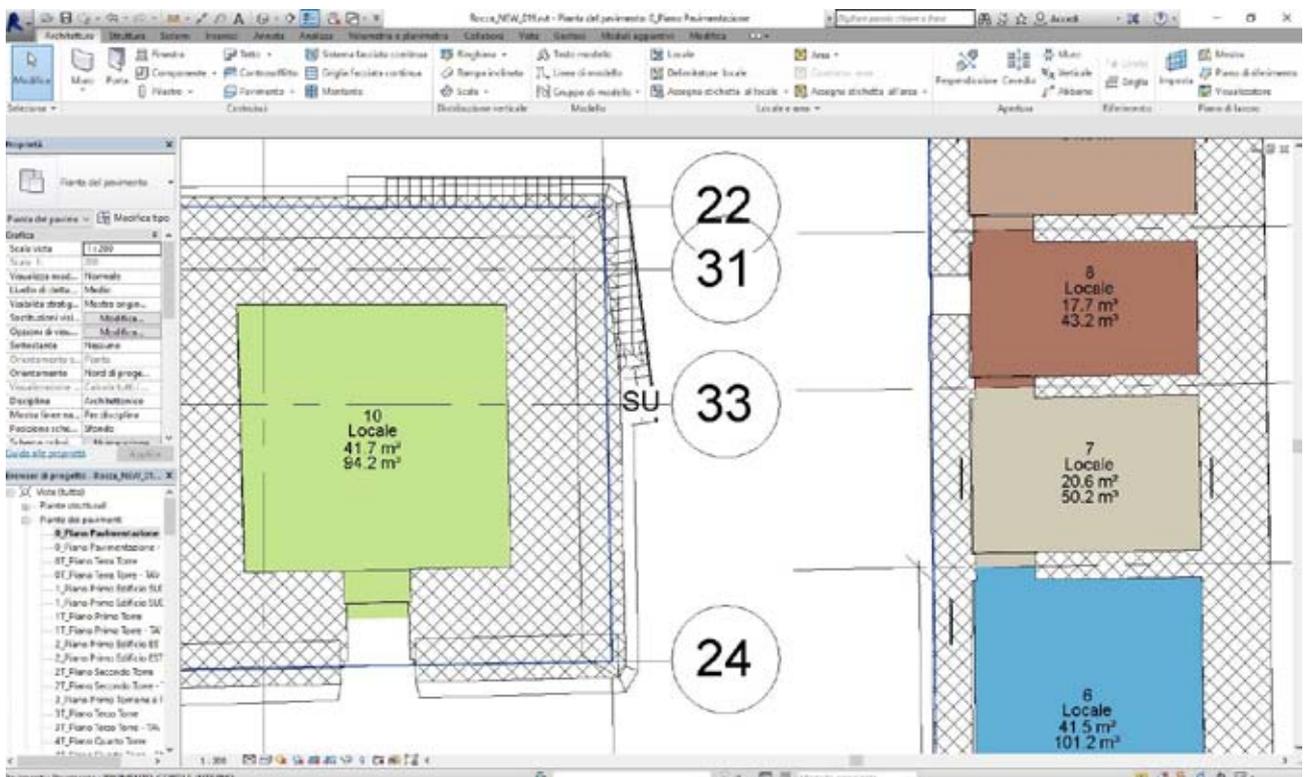


Fig 5.06 Interrogazione automatica dei locali presenti in una porzione della Rocca, vista di pianta - Autodesk Revit 2016.

Inoltre Revit, come detto in precedenza, permette di fare delle analisi strutturali, utilizzando alcuni plug-in come per esempio Robot, ma sono analisi che necessitano di un lavoro ulteriore da parte di software specifici, come Strauss o Sap 2000, con risultati che poi possono essere rimessi all'interno del modello BIM stesso.

Si può analizzare il modello anche come se fosse composto solo dalla parte strutturale, per visualizzare il suo eventuale comportamento a telaio, molti elementi strutturali hanno caratteristiche geometriche semplici, se si vogliono dettagliar ulteriormente il calcolo diventa ben più complesso e poi si possono anche definire i vari tipi di vincolo strutturale tra un elemento e l'altro.

### **5.3.2 SIMULAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI**

La modellazione BIM si presta bene anche ad un altro tipo di analisi, sempre legata alle strutture ma più specifica per la parte dinamica, e quindi sismica, quella agli elementi finiti, dove si valuta la struttura non schematizzandola con sistemi noti, ma applicando tutte le formule della statica e della dinamica alle masse dei vari elementi finiti sia nella forma che nel dimensionamento.

Questo tipo di analisi, chiamata appunto FEM, "Finite Element Method", cerca di trovare soluzioni approssimate da problemi descritti da equazioni differenziali (alle derivate parziali) riducendo queste ultime ad un sistema di equazioni algebriche, e un modello BIM si presta bene a questa tipologia di lavoro perché tutti gli elementi costitutivi hanno già al loro interno buona parte della definizione necessaria alle successive analisi.

Anche in questo caso è necessario esportare il file verso altri software più specifici per il caso, come per esempio "Aster" o anche "Cast3M" che

possono risolvere problemi meccanici anche molto avanzati, poi dipende sempre da quale obiettivo un progettista si pone.

Con questo sistema è possibile anche compiere simulazioni sismiche, legate ad oggetti che non sono rappresentazioni semplificate di un edificio, ma ne sono la copia più verosimile che ci possa essere, perché essendo stati modellati a partire dalla nuvola di punti ne rispecchiano a pieno la conformazione.

Come nel caso della Rocca, che è un edificio che è stato fortemente lesionato dai terremoti, per la quale avere uno strumento di questo tipo, che permette le simulazioni sismiche e la visualizzazione delle vulnerabilità, è di fondamentale importanza perché permette, da una parte di mettere in sicurezza l'edificio nel breve termine, e dall'altra di valutare progetti di adeguamento sismico per evitare che eventi futuri possano causare gli stessi danni alle opere.

Quindi modello BIM per analisi, modello per uniformare informazioni in uno stesso punto e modello per coadiuvare il lavoro di più professionisti in un unico processo di progettazione, dove il flusso di dati si trasferisce da un utente all'altro ad incrementare il livello di dettaglio e lo sviluppo del progetto stesso.

### **5.3.3 ANALISI SULL'INVOLUCRO E INDAGINI STORICHE**

Le analisi possono essere fatte anche direttamente sull'involucro, cioè sulle parti dell'edificio che dividono i volumi interni da quelli esterni, e in modo più specifico volumi scaldati da volumi a temperatura ambiente, questo in un'ottica di riqualificazione energetica.

Il modello BIM permette di aggiungere caratteristiche fisiche di ogni genere, come trasmittanza, permeabilità, densità, riflettività ecc ad ogni elemento che contenga materiali dei quali si conoscono tali proprietà, e

successivamente questi valori possono essere estrapolati per successive analisi.

Solitamente sono software esterni a Revit quelli che gestiscono la parte energetica, ma i dati in ingresso li prelevano direttamente dal modello BIM creato con il suddetto programma, è quindi possibile integrare le due funzioni in modo che la prima funga da base dati per la seconda e che alla fine i dati analizzati siano in qualche modo utilizzabili all'interno del modello BIM in Revit.

Applicare questo principio all'esistente permette di ragionare su vari aspetti di riqualificazione energetica, andando a valutare edifici esistenti con certe caratteristiche ottenute durante il rilievo o da dati di schede tecniche disponibili in archivio, per definire progetti in cui si valutano varie opzioni e combinazioni progettuali per raggiungere gli obiettivi esistenti avendo come base il modello BIM dell'oggetto reale.

Revit permette di compiere anche analisi solari dell'edificio, per calcolare rapporti di luminosità e di apporti solari gratuiti per certe zone dell'opera, inserendo i dati geografici esatti del modello il software inserisce il sole con le caratteristiche proprie di quella zona, proiettandone anche le ombre, e nel caso siano disponibili, può importare anche i dati climatici.

Infine il modello BIM può essere utilizzato come base per integrare informazioni di carattere storico, si possono gestire come fasi, cioè come vere e proprie successioni tempistiche dell'evoluzione dell'edificio che si sta rilevando, ponendo come base quella del rilievo e utilizzando fonti storiche per valutare l'evoluzione dal passato, e per ognuna di esse definire delle porzioni di modello differenti.

Oppure un'altra strada, meno elaborata ma comunque efficace, è quella di aggiungere informazioni storiche, come foto, parti di testi, o direttamente

come proprietà degli oggetti intelligenti, all'interno del progetto, dentro alle famiglie del modello BIM.

Il modello BIM in questo modo diventa deposito di informazioni, sia del passato, che del momento attuale, utili sia per la conservazione che per il mantenimento di quello che già esiste, per il recupero, la riqualificazione e il restauro degli edifici a seconda delle esigenze della singola opera.

# 6. RISULTATI: METODI E TEMPI DI LAVORO

## **6.1 VALUTAZIONE STRUMENTI IN BASE AL METODO**

Dopo aver terminato il modello e spiegato il metodo utilizzato si può fare una valutazione, qualitativa, della strumentazione utilizzata, in base ai problemi che si sono riscontrati durante la modellazione stessa in modo da poter ottimizzare ulteriormente il processo di lavoro.

Prima di tutto occorre fare una valutazione della strumentazione utilizzata per il rilievo, sia per la parte eseguita con sistemi ottici attivi, sia la parte eseguita con sistemi ottici passivi:

- **METODO OTTICO ATTIVO:** con il metodo ottico attivo, cioè con l'utilizzo del laser scanner, si possono raccogliere molte informazioni in una tempistica abbastanza breve, lo strumento deve essere tarato ed è preferibile che sia dotato di sistema GPS per poter avere un perfetto posizionamento delle nuvole in un sistema di riferimento terrestre.

Capacità di memoria interna e capacità della batteria devono essere elevati per poter compiere le lavorazioni nel minor tempo possibile, e nel caso non lo siano dotarsi di una memoria esterna e di una batteria aggiuntiva.

Laser scanner 3D, che possiedono la funzione a differenza di fase, con portata che possa coprire almeno 500 m, vanno benissimo per i tipi di rilievi che debbano coprire edifici di medie dimensioni, come nel caso della Rocca.

Esistono adesso anche sistemi di laser scanner 3D portatili, che un tecnico può indossare come uno zaino e andare in giro per l'edificio a rilevare elementi, anche se di questo sistema esistono per ora solo prototipi, molto costosi e decisamente ingombranti.

• **METODO OTTICO PASSIVO:** con il metodo ottico passivo, cioè con l'utilizzo della fotogrammetria, si possono raccogliere informazioni dettagliate di edifici di medie dimensioni, utilizzando una macchina fotografica.

La macchina fotografica, o strumento di presa, è il principale strumento della fotogrammetria, e qualsiasi tipo di fotocamera può essere utilizzata, anche quelle presenti in uno smartphone, anche se per lavori accurati con un certo grado di precisione è meglio utilizzare macchine con prestazioni più elevate come quelle a disposizioni delle camere Reflex.

Occorre che macchina fotografica sia dotata di autoscatto, o ancora meglio di un controller bluetooth a distanza, per poter scattare foto senza muovere lo strumento, che abbia la possibilità di regolare l'esposizione e che possa scattare foto in RAW, molto pesanti dal punto di vista di memoria su disco, ma meglio interpretabili dai software di fotogrammetria.

Anche nel caso della macchina fotografica, servono sia batterie di riserva che memorie di scorta per poter raccogliere più dati possibile nella singola campagna di rilievo.

In più è consigliabile l'utilizzo di un cavalletto per evitare che le foto vengano mosse, sul quale possa essere montata la macchina fotografica e ne possa essere bloccata l'inclinazione, dotato di bolla per l'allineamento.

Queste sono le valutazioni per quanto riguarda gli strumenti per il rilievo, mentre per la parte di modellazione gli strumenti utilizzabili sono di due tipologie, hardware, cioè i computer sui quali fisicamente eseguire i calcoli,

e i software, sui quali sono presenti gli strumenti per la modellazione.

• **HARDWARE:** la parte hardware della strumentazione riguarda i computer utilizzati per la modellazione, le caratteristiche richieste in maggior parte sono memoria RAM e potenza del processore, soprattutto per la parte di generazione e gestione delle nuvole di punti, mentre per la parte di modellazione è richiesto molto lavoro da parte della GPU e dalla scheda video in generale.

Bisogna valutare con cura quali macchine si hanno a disposizione per raggiungere l'obiettivo voluto, perché i tempi di calcolo e di lavoro sono direttamente proporzionali alla potenza delle macchine.

Revit per esempio, lavora bene con modelli fino a 100 MB di dimensione ma quando si importano le nuvole di punti inizia a dare molti problemi, e spesso si blocca.

Specifiche minime consigliate, processore i7 da 2.8-3.4 GHz, Ram 12 GB, o ancora meglio 16 GB, scheda video, con almeno 4 GB di Ram dedicati e un HD molto capiente, almeno 800 GB di spazio disponibile e meglio ancora se si tratta di HD allo stato solido.

• **SOFTWARE:** gli strumenti software utilizzati per questo lavoro funzionano tutti su piattaforma windows, e nel caso specifico è stato utilizzato windows 10, sia per i programmi per gestire le nuvole di punti, come Photoscan, Geomagic, Meshlab, Recap, sia per Revit utilizzato per la modellazione BIM, che per Autocad che è stato usato per la parte di disegno vettoriale.

Mentre per poter accedere alle scansioni online sul sito di FARO, collegato al server dove sono depositate le varie nuvole di punti rilevate con il laser scanner 3D, occorre utilizzare il plug-in flash per il browser utilizzato.



## **6.2 TEMPISTICHE DI LAVORO - RACCOLTA DATI E MODELLAZIONE**

In questa sezione si valutano le tempistiche di lavoro, caratteristica fondamentale per la validazione di un metodo, inoltre saranno descritti anche alcuni accorgimenti per poter ottimizzare i processi di lavoro durante tutte le varie fasi in modo da agevolare le varie procedure.

Nella fase iniziale, quella di rilievo, le tempistiche riguardano principalmente due momenti quello di presa e quello di restituzione:

- **FASE DI PRESA:** in questa fase le tempistiche più lunghe sono legate alla pianificazione del rilievo stesso, cioè come approcciare l'edificio, quale percorso seguire e in quali finestre temporali lavorare.

Bisogna tenere conto, soprattutto per la fotogrammetria, ma anche parzialmente per il rilievo con il laser scanner 3D, che la luce ambientale può modificare il risultato finale nella creazione successiva della nuvola di punti, in quanto mentre passano le ore cambia la posizione del sole nel cielo e quindi anche l'illuminazione dell'ambiente.

Per la fotogrammetria la parte più lunga è quella di raccolta delle immagini, per un edificio grande come la Rocca sono state scattate quasi 5000 foto, delle quali 3500 sono state utilizzate per la fotogrammetria stessa, e per scattare ogni foto bisogna posizionare il cavalletto e far partire l'autoscatto, se non si dispone di un controller remoto.

Per fare questa operazione sono necessarie diverse ore, circa 3 ore ogni 500 foto di media, quindi bisogna pianificare bene le strategie con cui si scattano le foto per evitare di dover fare più volte la stessa lavorazione.

Con il laser scanner invece il tempo totale è direttamente proporzionale

al numero di scansioni che si vogliono eseguire, ogni scansione fatta, utilizzando il sistema di differenza di fase impiega circa 7 minuti di tempo, aggiungendo le tempistiche per gestire le impostazioni e cambiare la posizione dello strumento si arriva almeno a 10 se non 12 minuti tra una scansione e l'altra.

Sono necessari 100/120 minuti ogni 10 scansioni, e anche qui bisogna pianificare bene dove posizionarsi con il laser scanner 3D per dover fare il minor numero possibile di stazioni di presa.

Nel caso specifico della Rocca, sono state scattate 3500 foto per la fotogrammetria, quindi circa 7 ore totali, e sono state fatte 30 scansioni con il laser scanner 3D, quindi circa 300/360 minuti (5/6 ore), si è quindi impiegato circa lo stesso tempo per compiere entrambe le operazioni.

• **FASE DI RESTITUZIONE:** le tempistiche crescono molto nel momento in cui si devono gestire i dati raccolti per ricavarne nuvole di punti utili per la modellazione, sia per la gestione dei scansioni fatte con i laser scanner 3D ma soprattutto con i software per la gestione della fotogrammetria.

La gestione delle scansioni fatte con il laser scanner, il loro allineamento e la loro unione, richiedono alcune ore di tempo per il calcolo, almeno 5/6, a seconda del PC utilizzato, e poi almeno 3 volte quel tempo per gestire le nuvole di punti per renderle importabili in un programma di modellazione BIM, come per esempio Revit.

Mentre per la fotogrammetria i tempi crescono esponenzialmente, il tempo di calcolo da parte del software cresce enormemente al crescere del numero di foto e delle dimensioni del fabbricato.

E un edificio, come la Rocca, di medie dimensioni, mette già in seria difficoltà anche PC con prestazioni elevate, questo perché il numero di punti utili per creare le nuvole dense è molto elevato, e le foto da

confrontare sono tantissime.

Photoscan, il software utilizzato per questa operazione, deve confrontare tutte le foto tra loro, più volte e trovare dei punti con un adeguato livello di corrispondenza e poi eseguire questa operazione migliaia di volte fino a quando non genera la nuvola di punti densa.

Per riuscire a fare questa operazione in modo che possa essere gestita dal PC, occorre dividere il modello in sezioni, e poi trovare la nuvola densa di punti per ognuna di esse, nuvole che poi devono essere ripulite e sistemate con una lunga parte di lavoro manuale, di almeno 2/3 ore per ogni porzione dell'edificio.

Poi un'altra parte lunga di lavoro, almeno un'altra ora per ogni chunk, è quella di ricerca dei marker per allineare le varie porzioni.

Infine per creare mesh e ortofoto, necessarie per la tessitura del modello finale, occorrono tempistiche di calcolo paragonabili a quelle della fase iniziale per trovare la nuvola densa di punti.

Quindi questa è una fase molto laboriosa che occupa moltissimo tempo.

Queste sono le tempistiche che riguardano la fase del rilievo, e quella successiva di elaborazione dei dati rilevati, successivamente entra in gioco la parte relativa alla modellazione in Revit, quindi alla creazione del modello BIM.

La fase di modellazione è in assoluto quella più lunga della quale è difficile quantificare con esattezza, in ore, il tempo dedicato all'esecuzione di ogni operazione, quindi andrebbe fatto un discorso generale in percentuale di tempo per ogni fase.

Fase di inserimento della nuvola di punti e gestione degli assi e delle

sezioni tipo: 15%

Fase di creazione delle masse locali disegnando le sagome sulla nuvola di punti: 30%

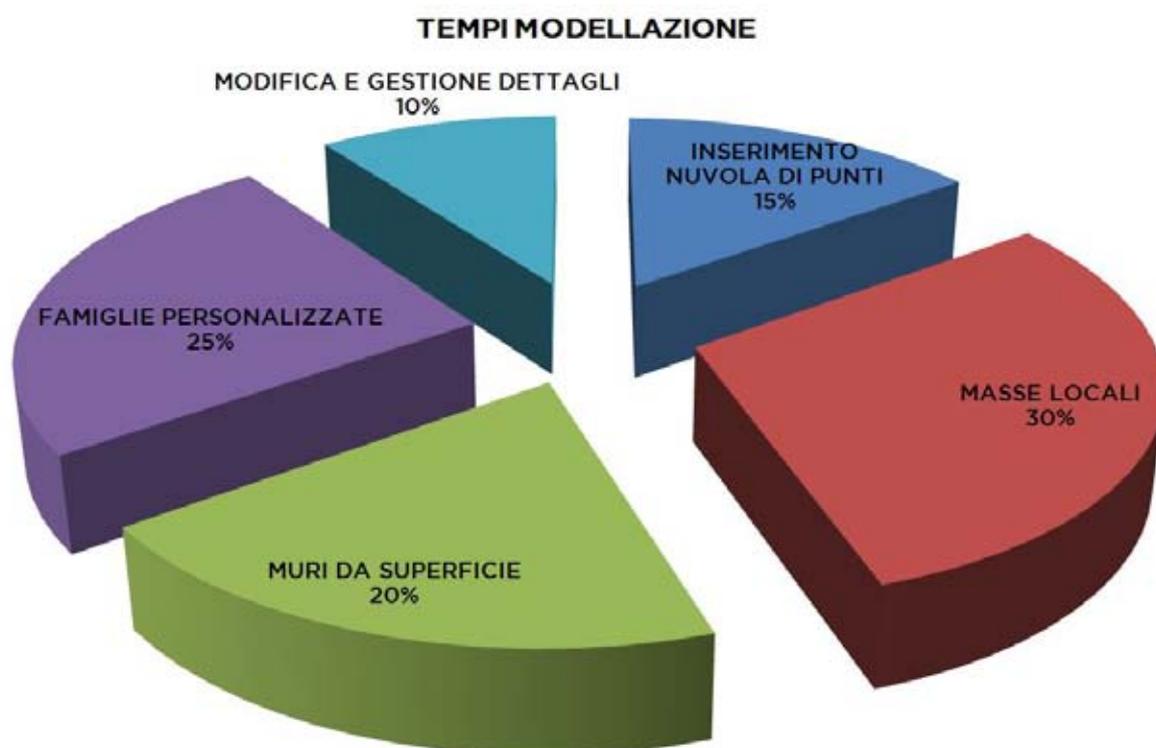
Fase di creazione delle murature e di tutte le famiglie da superficie: 20%

Fase di creazione delle famiglie personalizzate: 25 %

Fase di modifica e gestione dei dettagli e delle finiture: 10 %

Da questo breve prospetto è possibile valutare quanto ogni porzione di lavoro sul modello abbia inciso sulle tempistiche totali, e per capire dove applicare delle strategie per ridurre la mole di lavoro e quindi il tempo relativo all'esecuzione di ogni fase.

Si parla di strategie e non di strumenti, perché un buon metodo permane



*Fig 6.01 Tempistiche a confronto per la modellazione dalla nuvola di punti al modello BIM in Revit 2016*

nei processi di lavoro mentre gli strumenti cambiano ed evolvono nel tempo, e dato che questi ultimi devono servire il metodo, esso deve essere il più generale ed universale possibile, in modo da poter essere utilizzato anche con tecnologie più avanzate o semplicemente diverse da quelle utilizzate in questo lavoro specifico.



## **6.3 METODO PER MIGLIORARE IL PROCESSO**

Dopo aver analizzato le tempistiche di ogni lavorazione si cerca in questa sezione di definire alcune strategie e metodologie per migliorare il metodo e per agevolare altri operatori che dovranno eseguire le stesse lavorazioni.

Sono in gran parte indicazioni legate all'esperienza, seppur breve, di questo lavoro, che potrebbero essere utili per la modellazione BIM di altri edifici o opere architettoniche esistenti.

Sono state divise in due sezioni, una riferita alla parte di rilievo ed una che riguarda più strettamente la parte di modellazione, in entrambi i casi si tratta di indicazione di carattere molto generale.

### **6.3.1 RILIEVO**

Indicazioni di carattere generale per valutare alcune strategie da mettere in opera durante le fasi di rilievo con le varie metodologie utilizzate, prima di tutte la fotogrammetria:

- Utilizzare per quanto possibile sempre la stessa macchina fotografica, con le stesse impostazioni, assicurarsi sempre di avere abbastanza memoria sulla SSD per poter contenere tutte le foto che si prevede di scattare in quella sessione e verificare di poter ricaricare la batteria.
- Macchine reflex sono preferibili alle compatte in quanto gestiscono meglio l'esposizione e l'apertura focale e inoltre possono fare foto a risoluzione più alta anche senza flash.
- Non modificare lo zoom, ma lasciare sempre l'apertura più ampia senza modificare l'apertura focale, al massimo è possibile cambiare l'ISO o le impostazioni dell'illuminazione.

- Utilizzare un treppiede a cavalletto che possa gestire sia la messa in bolla che l'inclinazione della macchina fotografica, valutare anche che abbia un piano di appoggio stabile e che possa alzarsi di almeno 1,80/2,00 m da terra per posizionare la macchina fotografica in posizione elevate.
- Cercare di scattare le foto in momenti della giornata in cui le ombre non siano troppo marcate, quindi verso mezzogiorno, oppure, ancora meglio, fare il rilievo in giornate nuvolose.
- Se le foto si scattano in più giorni scattarle sempre nello stesso momento della giornata per avere più o meno la stessa quantità di luce tra una giornata e l'altra.
- Scattare le foto sempre con almeno il 70 % di sovrapposizione con la precedente e poi compiere un percorso intorno all'edificio il più lineare e continuo possibile, cercando di scattare sempre per fasce allo stesso livello.
- Evitare di fare foto dalla stessa posizione ruotando solo la fotocamera, il software farebbe fatica a cogliere quel tipo di movimento.
- Scattare le foto in modo che ci siano sempre punti in comune (almeno 1) tra le varie porzioni dell'edificio, utilizzare porte e finestre per i collegamenti più difficoltosi tra le varie aree da rilevare dell'opera architettonica.

Mentre per quanto riguarda il laser scanner:

- Fare in modo che lo strumento si "veda" tra una stazione di scansione e quella successiva.
- Valutare in anticipo quante stazioni di rilievo si vogliono fare e verificare di avere abbastanza memoria sulla scheda SSD e valutare di avere sufficiente batteria.

- Quando si eseguono scansioni ad altezze diverse verificare che si “vedano” sempre i punti tra una scansione e l'altra.
- Definire in anticipo il percorso che si vuole seguire tenendo conto della portata dello strumento per raccogliere più porzioni di edificio possibile nel minor numero di scansioni.
- Tenere conto del fatto, che l'acqua può creare disturbo allo strumento, perché riflette la luce e che le parti trasparenti, come i vetri, vengono attraversati dalla luce del laser

Tali accorgimenti sono solo alcuni di quelli possibili da applicare in una campagna di rilievo con strumentazione simile a quella utilizzata per la Rocca, in modo da ridurre al minimo gli errori e poter compiere il rilievo nel minor tempo possibile.

Tornare sul campo a fare altre foto o altre scansioni è sempre notevolmente più lungo che estendere una giornata di lavoro, occorre tenere sempre conto di questo fatto prima di organizzare il rilievo, e iniziare le operazioni solamente dopo che si è fatta una buona pianificazione di come organizzare il rilievo.

### **6.3.2 MODELLAZIONE**

La parte della modellazione BIM, soprattutto nel caso del reale, è quella più lunga e complicata e quella che necessita più cura nel metodo per poter essere eseguita nel modo più agevole, durante questo lavoro in particolare si sono riscontrate diverse difficoltà che hanno portato a trovare alcune strategie utili per eseguire il lavoro.

Queste indicazioni si riferiscono principalmente all'utilizzo del software Revit ma possono essere applicate a molti altri strumenti di modellazione BIM, che seguono metodologie simili nella definizione del modello e delle

famiglie, verranno qui di seguito elencate:

- Importare la nuvola nel modello e verificare che le unità di misura corrispondano a quelle dell'ambiente di modellazione, una volta decisa un'unità di misura mantenere sempre quella fino alla fine del lavoro.
- Gestire con ordine assi, sezioni, prospetti e livelli di piano, in modo da poter lavorare agilmente passando da una vista all'altra senza perdersi tra nomi che potrebbero essere letti con difficoltà.
- Scegliere con cura, magari basandosi sul rilievo e sull'indagine preliminare dell'edificio, quante sagome disegnare per ogni massa locale, basandosi sia sulla posizione delle aperture che dei vari livelli, in quanto se si vengono a creare due pareti che attraversano un'apertura quando questa verrà inserita nel modello apparterrà solamente ad uno dei due host, forando solo quello e non l'altro.
- Gestire le viste quindi sia per definire i piani dove disegnare le sagome delle masse locali, sia per poter modificare eventualmente le forme delle sagome stesse, agendo su ogni elemento che le costituisce.
- Le masse sono oggetti complessi, e spesso sono di difficile modifica, è più facile ridisegnare le sagome che modificare un punto nello spazio, e anche per queste famiglie si lavora sempre per piani di riferimento, lavorare liberamente nello spazio di modellazione è difficoltoso e poco preciso.
- Gestire le superfici delle masse locali in modo che siano sempre verticali e con facce che rispecchino la vera posizione delle murature, i poligoni che le compongono dovrebbero avere sempre lo stesso numero di vertici altrimenti si creano strani collegamenti diagonali e si fatica a posizionare le famiglie muro da superficie.

- Per unire le pareti lavorare sullo spessore, a volte il motivo per cui due pareti non si congiungono è dovuto solamente ad una dimensione che il software non riesce a gestire.
- Per la gestione delle famiglie caricabili, soprattutto quelle delle aperture come porte e finestre, verificare sempre che i solidi di estrusioni taglino tutto l'host, altrimenti il software potrebbe non riconoscerle come forature e non farle inserire nel modello.
- Fare sempre attenzione a non aggiungere troppi vincoli all'interno delle famiglie caricabili, potrebbero entrare in conflitto con altri parametri del modello inseriti in precedenza.

Queste sono solo alcune delle strategie utilizzate in questo lavoro, ma descrivono bene quanto sia complessa la modellazione BIM, di un edificio esistente, in un software che per quanto sofisticato è stato pensato per la nuova progettazione e non per qualcosa che è già stato costruito.



## **6.4 EFFICIENZA DEL METODO: PROCESSO STUDIATO VS METODO TRADIZIONALE**

Con quanto descritto fino a questo punto è possibile estrapolare alcune considerazioni sull'efficienza di questo lavoro, e soprattutto sul metodo utilizzato, rispetto ad altre metodologie così dette "tradizionali" che oggi vengono in maggior parte utilizzate.

Prima di tutto si può fare un discorso di tempistiche che, per quanto lunghe, sia nella fase di rilievo che in quella di modellazione, sono decisamente più limitate rispetto a metodi diretti e classici, è possibile compiere campagne di rilievo di pochi giorni, ed ottenere un risultato molto dettagliato che a volte non è uguagliabile con le tecniche dirette.

Quanto rilevato, grazie alla possibilità della nuvole di punti di contenere informazioni geometriche, risulta un ottimo punto di partenza per poter ricavare misure senza dover tornare sul campo, e questa operazione è possibile anche in remoto tramite il web.

Il costo della strumentazione è elevato, almeno per il rilievo ottico attivo (laser scanner 3D), ma lo è molto meno per quanto riguarda il rilievo ottico passivo (fotogrammetria) con il quale si possono raggiungere risultati ottimi, e il costo è molto più contenuto (al più quello di una macchina fotografica reflex).

Inoltre anche dal punto di vista di risorse umane si ha un enorme vantaggio, infatti le campagne di rilievo che seguono questa metodologia possono essere fatte anche da sole due persone, a volte anche una soltanto, a differenza del metodo diretto che ne richiede molte di più per essere fatto in tempi contenuti.

Quindi si può dire che a fronte di un investimento in denaro, più o

meno corposo, a seconda della tecnologia utilizzata, e con un piccolo investimento in risorse umane, è possibile ottenere un risultato di gran lunga migliore in tempi limitati, ed è ripetibile per molti altri casi simili.

L'efficacia più grande si riscontra nella modellazione BIM, il modello che scaturisce da questa procedura contiene tutti gli elementi dell'edificio esistente con un livello di dettaglio più o meno avanzato, che sono interrogabili in qualsiasi momento.

Il modello è congruente e consistente, e soprattutto è verosimile all'oggetto rilevato, con un alto livello di parametrizzazione e mantiene quasi tutta la semantica delle varie porzioni dell'edificio oggetto della modellazione.

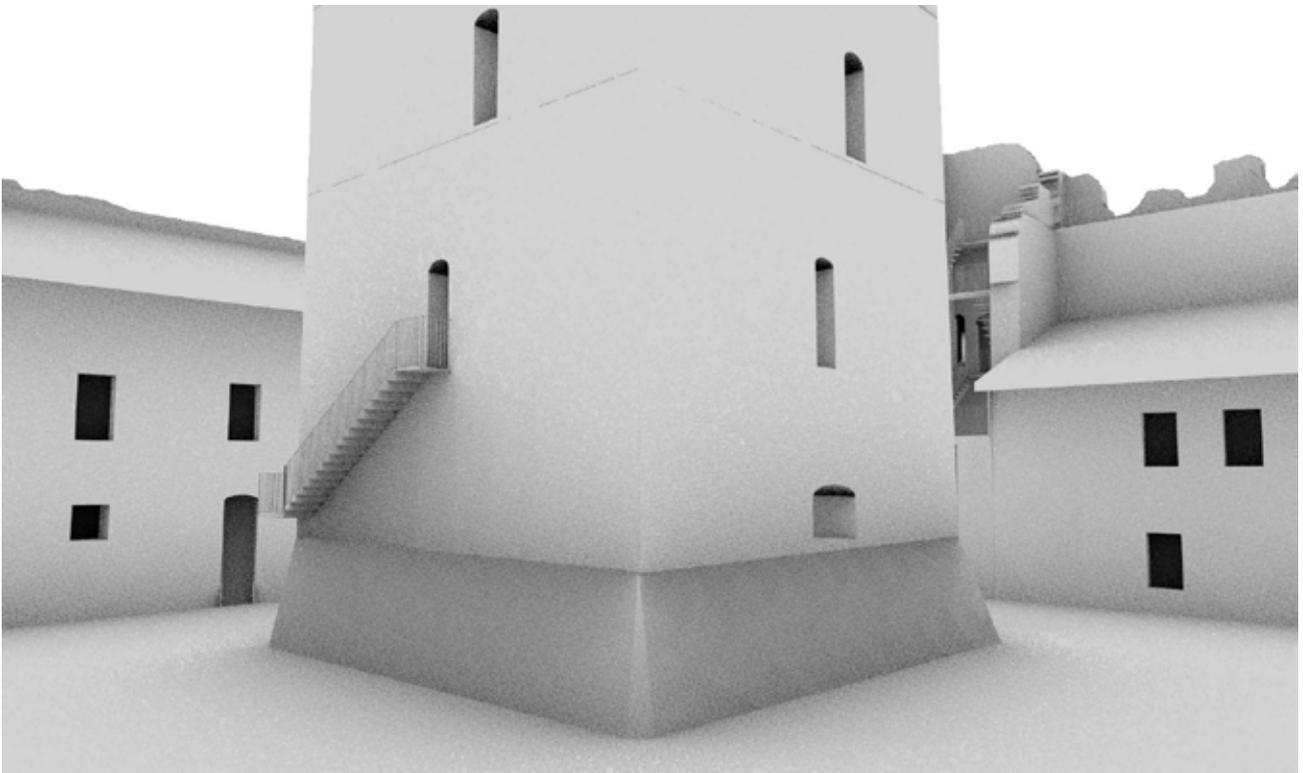
Come già definito in precedenza può essere utilizzato per progettazione, analisi, indagini storiche e strutturali e così via, da qualsiasi tipo di tecnico che debba compiere operazioni su questo edificio.

I tempi di modellazione sono lunghi, ma non molto di più che una restituzione vettoriale per sezioni e piante tipo dello stesso edificio rilevato in modo diretto e poi rappresentato con uno strumento CAD di disegno vettoriale, inoltre il modello BIM, può essere rapidamente rappresentato su tavole tipo selezionando la vista e la scala desiderata del disegno, e se la modellazione è stata fatta bene il disegno si modificherà di conseguenza.

Ogni modifica apportata al modello, quindi al database di informazioni, viene in automatico trasferita a tutte le interrogazioni del modello, quindi tabelle, elenco locali e materiali, tavola con varie rappresentazioni e così via, risparmiando una enorme quantità di lavoro per chi deve aggiornare tutto questo materiale ad ogni singola modifica del progetto, documenti compresi.



*Fig 6.02 Vista in Ambient Occlusion della Rocca ponte interno guardando verso sud - Autodesk 3D Studio Max 2015*



*Fig 6.03 Vista in Ambient Occlusion della Rocca cortile interno guardando verso sud est - Autodesk 3D Studio Max 2015*

Detto questo è possibile definire una notevole efficacia di questo metodo, dal rilievo al BIM, rispetto ai metodi tradizionali, occorre anche tenere conto dei costi aggiuntivi e di un buon grado di addestramento per apprendere appieno l'utilizzo dei vari strumenti.

# 7. CONCLUSIONI E PROGETTI FUTURI

## **7.1 RISULTATI DELLA RICERCA**

Questa ricerca ha portato a buoni risultati, la maggior parte degli obiettivi che si erano posti come tesi all'inizio sono stati in gran parte raggiunti, si è potuto dimostrare come approcciare in modo innovativo sia il rilievo di un edificio storico o esistente in generale, sia la parte di modellazione BIM dello stesso in un ambiente digitale 3D.

Oggigiorno la necessità di riqualificare il patrimonio esistente, piuttosto che costruire del nuovo, è quanto mai cogente, soprattutto in stati come l'Italia dove l'edilizia è ferma ormai da anni e dove il patrimonio esistente storico e monumentale è davvero vasto.

Da questa esigenza nasce la necessità di ottimizzare le operazioni sia di rilievo che di digitalizzazione dei progetti, e per questo ultimo aspetto, la modellazione BIM, può fungere da ottima metodologia di lavoro.

Con queste motivazioni nasce il lavoro di ricerca tema di questa tesi, con il quale si è voluto estrapolare un metodo che potesse tradurre questa esigenza in pratiche operazioni da attuare realmente, con la strumentazione più avanzata che attualmente il mondo della progettazione mette a disposizione, sia per il rilievo che per il modello BIM.

Con il modello finale si è potuto dimostrare che il metodo per passare dal rilievo al BIM funziona, alla fine si ottiene un risultato con un buon livello di dettaglio e molto simile alla realtà, creando un vasto database di informazioni che una volta integrate nel modello ne divengono parte

costituente.

Il metodo è laborioso e richiede molto tempo per essere portato a termine con un buon livello di dettaglio, ma le potenzialità del modello BIM giustificano la parte di fatica iniziale e le risorse spese, inoltre è possibile gestire il patrimonio esistente in modo integrato creando un “giorno zero” dove pian piano tutti i vari edifici esistenti iniziano ad essere modellati in questo modo, creando un database generale.

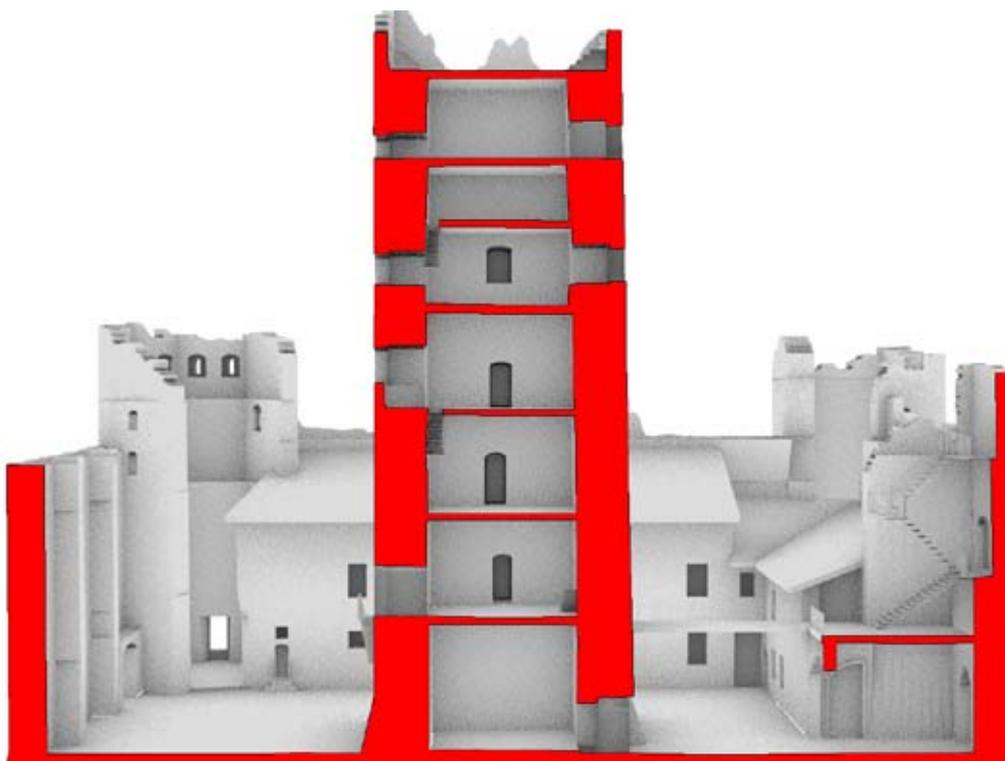
Inoltre l'intero lavoro si inquadra nella modellazione BIM, ma essendo riferito all'esistente e non alla nuova progettazione diventa parte integrante dell'HBIM, e segue questo filone sia nelle modalità del rilievo sia per la successiva modellazione con la creazione di librerie ricche di elementi parametrici e semantici utilizzabili in altri ambiti simili a quello oggetto di studio.

Infine si può aggiungere che il metodo utilizzato è in buona parte universale, in quanto il caso di studio in esame è abbastanza variegato da fungere da esempio per altri lavori della stessa tipologia ma anche molto diversi da una Rocca medioevale, a partire da edifici moderni in cemento armato a vecchie chiese o antichi templi.

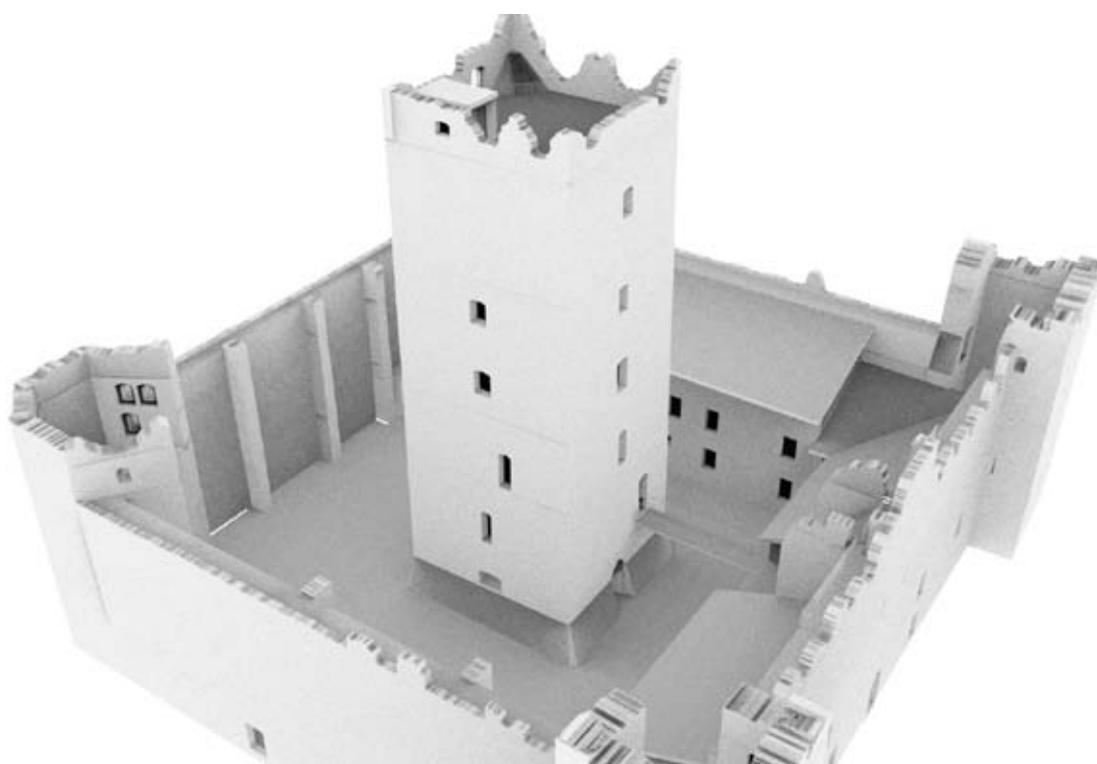
### **7.1.1 GRADO DI MODELLAZIONE RAGGIUNGIBILE**

Il grado di modellazione raggiungibile nel modello dipende principalmente da due fattori, uno legato al dettaglio del rilievo iniziale, quante scansioni o quante foto si sono fatte e quanto è “ricca” la nuvola di punti, e l'altro legato alla modellazione che a suo volta si divide tra capacità del progettista che vi lavora e versatilità degli strumenti messi a disposizione dal software BIM utilizzato.

Per la parte di rilievo dipende come già detto in precedenza, sia dal numero di scansioni fatte o di foto scattate sia dalla sensibilità del singolo



*Fig 7.01 Vista in Ambient Occlusion della Rocca sezione nord sud guardando verso Est - Autodesk 3D Studio Max 2015*



*Fig 7.02 Vista in Ambient Occlusion della Rocca vista generica da sud ovest - Autodesk 3D Studio Max 2015*

strumento, ovviamente all'aumentare dei punti che compongono la nuvola corrisponde un dettaglio molto maggiore, ma la complessità del modello cresce esponenzialmente e con essa i tempi di calcolo, quindi bisogna trovare un buon compromesso tra dettaglio rilevato e tempo e risorse a disposizione.

Mentre per la modellazione il grado di dettaglio dipende in buona parte dalla scala minima, cioè quella le cui dimensioni sono le più vicine al reale, che si vuole raggiungere, per sapere qual è l'elemento più piccolo visualizzabile, cioè se si vuole modellare un'apertura con gli infissi appena accennati o se si vuole approfondire fino al dettaglio del fregio del davanzale o il ricciolo della maniglia.

Una volta fissata la scala il resto viene di conseguenza, e sta all'abilità del progettista modellare i dettagli verosimili alla realtà e ricchi di parametri e proprietà per rendere l'oggetto confrontabile sia con il rilievo che con l'edificio esistente.

Anche il software ricopre un ruolo fondamentale nella definizione del dettaglio del modello, e dipende molto dagli strumenti che mette a disposizione e la semplicità di modellare delle forme di un certo tipo piuttosto che altre, o anche la possibilità di aggiungere informazioni esterne in modo più o meno comodo.

### **7.1.2 NUOVO TECNOLOGIA PER MIGLIORARE IL PROCESSO**

La tecnologia potrebbe agevolare molto questo metodo, prima di tutto con strumenti di rilievo più veloci si potrebbe risparmiare molto tempo nella prima fase di raccolta dati, anche utilizzando droni per la fotogrammetria aerea che oltre a fare video scattano anche foto dell'edificio.

Droni sui quali si possa programmare un percorso che in automatico prendano tutte le foto necessarie, porzione per porzione, e anche delle

parti più scomode dove è difficoltoso arrivare a mano, magari con già impostata la posizione GPS e l'inclinazione delle foto, per agevolare il lavoro di allineamento da parte del software.

Per le scansioni laser sarebbe utile avere scanner 3D portatili, come zaini, in modo che mentre si cammina per l'edificio si raccolgono direttamente i dati e si costruisce la nuvola di punti.

Inoltre sarebbe utile integrare sui droni il laser scanner stesso, in modo che possa portare l'emettitore di luce in punti altrimenti non raggiungibili da terra.

Altre tecnologie riguardano principalmente lo sviluppo software, sia per velocizzare la parte di gestione delle nuvole di punti sia per migliorare la parte di modellazione BIM successiva.

Software per la gestione delle nuvole che possano già riconoscere quali porzioni dei dati rilevati fanno riferimento all'edificio e quali non c'entrano, una sorta di scrematura iniziale grossolana, e che possano eliminare dei punti decimando la nuvola stessa seguendo la conformazione dell'edificio.

Migliorare inoltre la gestione delle nuvole all'interno dei software BIM, rendendola un oggetto famiglia, e quindi oggetto intelligente, con proprietà di gestione e di catalogazione dei punti, con divisione in gruppi e integrazione con i comandi già presenti per i restanti oggetti presenti nel software.

Poi si potrebbero ampliare le librerie dei software BIM, con oggetti intelligenti dedicati all'esistente, con la possibilità, per esempio, di avere murature con una certa inclinazione, o di poter gestire le forme delle famiglie a piacere senza dover fare sempre due o più passaggi per raggiungere un singolo risultato.

Implementare delle funzioni che possano riconoscere in automatico elementi tipo della nuvola di punti, come per esempio porte e finestre e che possano anche distinguere tra pareti, soffitti e pavimenti, in modo da avere giù un modello abbozzato di partenza.

## **7.2 METODO PER ALTRI CASI DI STUDIO**

Il processo analizzato in questo lavoro è assolutamente applicabile ad altri casi di studio, le regole o le strategie indicate si adattano bene alla maggior parte degli edifici esistenti nel panorama costruito esistente, inoltre essendo stato svolto il lavoro su un edificio di importanza storica e monumentale, si ritiene ancora più valida l'estensione del metodo stesso ad edifici con la stessa valenza architettonica.

Ogni caso di studio presenta particolarità uniche che non possono essere generalizzate a partire da un singolo lavoro, ma le metodologie e le accortezze dovute ad errori commessi direttamente sul campo possono dare un grande aiuto per le lavorazioni della stessa tipologia.

La forza di questo metodo sta proprio nella possibilità di estendere il processo a quasi tutti gli altri edifici, ovviamente possono cambiare le scale di lavoro, le dimensioni e il livello di dettaglio, ma concettualmente si può procedere allo stesso modo.

Inoltre, dato che il risultato finale non è semplicemente una rappresentazione 3D dell'esistente ma un modello BIM, le informazioni vengono catalogate sempre allo stesso modo, quindi per esempio le proprietà legate ad una finestra, o la sua semantica, resteranno immutate sia che la si applichi ad una chiesa sia che la si applichi ad un palazzo moderno, cambia ovviamente nella forma e nella tipologia.

Quindi in definitiva si può utilizzare lo stesso metodo per edifici simili, e spesso i problemi riscontrati su un caso di studio non differiscono molto da quelli presenti in un altro, e quindi anche le soluzioni possono essere le stesse, quindi oltre ad avere una grande versatilità di utilizzo c'è anche una sorta di convergenza nella correzione del metodo.

## 7.2.1 PROCESSO ITERATIVO PER AFFINARE IL METODO

Il metodo si applica con facilità più volte anche sullo stesso caso di studio, ovviamente ogni volta che si ripercorre il processo è per motivazioni diverse, non per sostituire ciò che è già stato fatto ma per migliorare il livello di dettaglio.

Per esempio si parte dal rilievo, si arriva alla modellazione, poi se in un secondo momento si vuole aggiungere il dettaglio degli infissi perché si vuole operare un progetto di sostituzione per la riqualificazione energetica, si torna sul campo, e si riparte dal rilievo dei dati e si riapplica il procedimento sullo specifico dettaglio.

In questo modo, ad un modello BIM già esistente si è applicato un livello di dettaglio aggiuntivo, senza dover rifare nulla da capo, le geometrie di base non sono state toccate ma si è aggiunta informazione al database.

Con questo principio è possibile anche valutare la manutenzione stessa dell'edificio esistente, valutando un sistema di monitoraggio delle opere anche da un punto di vista del degrado o della vulnerabilità sismica, aggiornando periodicamente il modello in base a come le strutture e i vari elementi evolvono nel tempo.

Inoltre ogni volta che si riapplica il metodo, sia sullo stesso edificio che su altri, si affina sempre di più il processo perché non si commettono più gli errori commessi la volta precedente e questo vale come processo iterativo e ricorsivo per raggiungere un modello finale sempre più dettagliato.

## **7.3 PROSPETTIVE FUTURE**

Il lavoro presentato in questa tesi tratta di argomenti che sono attualmente in fase di nuova ricerca e di sviluppo, quindi il tema verte molto sulle prospettive future e su quello che verrà dopo e come verrà affrontato.

Uno dei grandi temi per le prospettive future è quello di ottenere un sistema che possa in automatico, o in modo semiautomatico, riconoscere elementi particolari direttamente sulla nuvola di punti e che possa “apprendere” tramite l’intervento di un operatore che aiuta il sistema ad identificare certi oggetti per rendere sempre più raffinato il metodo.

Inoltre si prospetta che in futuro vengano integrati nel software di modellazione BIM, sistemi per agevolare la modellazione di forme particolari riferite all’esistente, dando la possibilità di modificarle manualmente o addirittura prendendo i punti di riferimento direttamente dalla nuvola di punti del rilievo.

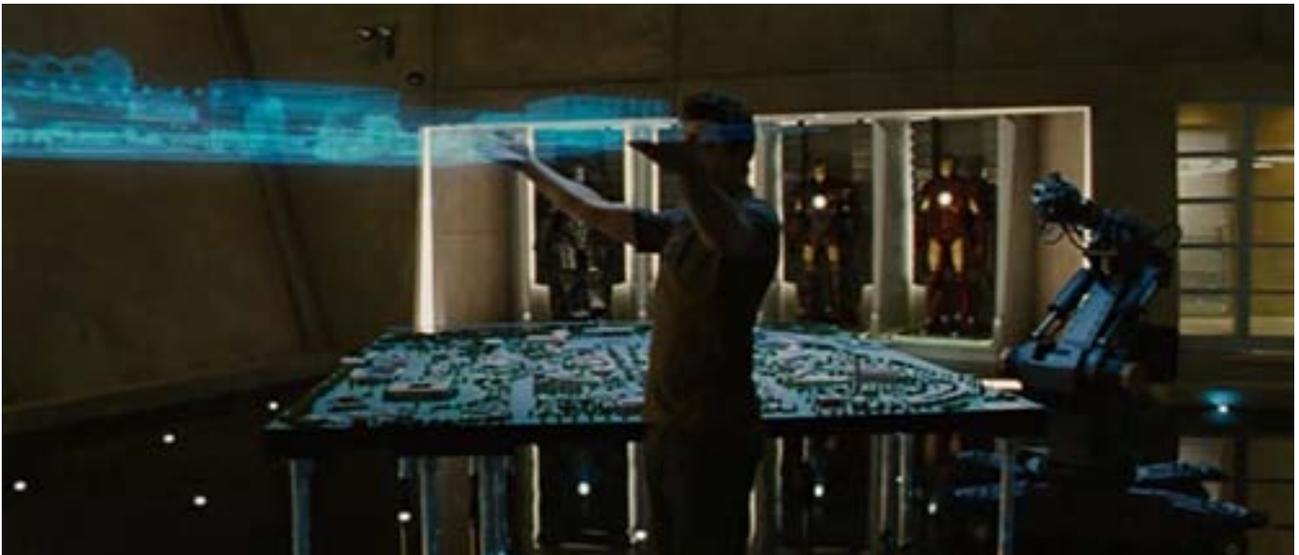
Utilizzare tecnologie di realtà aumentata per poter gestire il rilievo direttamente sul luogo di presa dei dati avendo in sovrapposizione un grezzo del modello dell’edificio al quale aggiungere informazione o dal quale attingerne, come per esempio la posizione di impianti o di altri sistemi che arrivano da progetti ma sarebbero nascosti alla vista umana durante un sopralluogo.

A livelli ancora più avanzati di prototipazione si potrebbe arrivare a rappresentazioni virtuali, olografiche oppure sempre utilizzando la realtà aumentata dove l’operatore può direttamente modellare le porzioni dell’edificio manualmente lavorando alla scala di definizione che preferisce.

Altri elementi potrebbero essere sistemi di monitoraggio fissati in punti



*Fig 7.03 Gestione manuale e olografica di un modello digitale - Immagine di fantasia dal film IronMan 2*



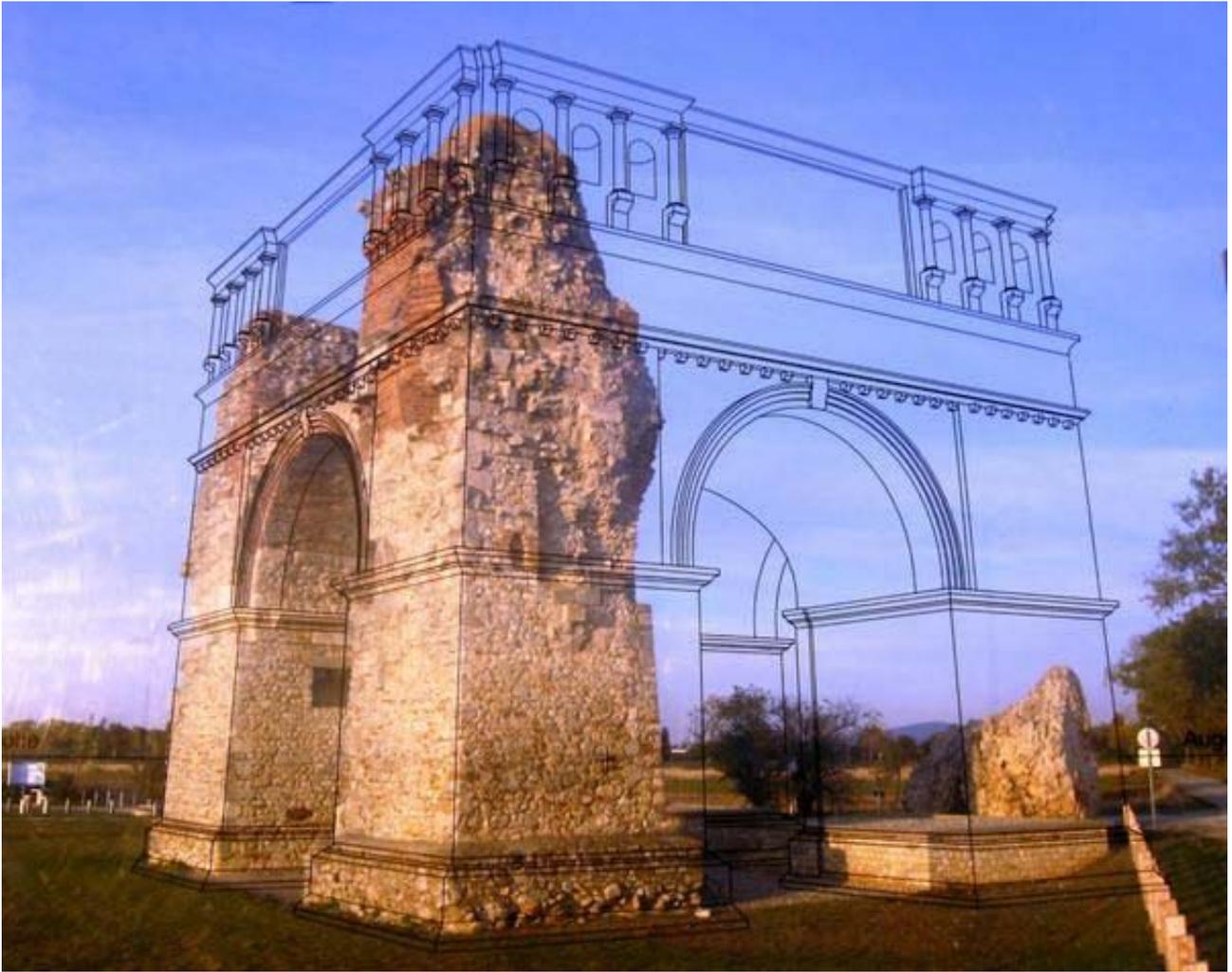
*Fig 7.04 Gestione manuale e olografica di un modello digitale - Immagine di fantasia dal film IronMan 2*



*Fig 7.05 Visualizzazione di un modello a realtà aumentata con l'utilizzo di occhiali di nuova progettazione - Hololens - immagine di fantasia.*



*Fig 7.06 Visualizzazione di un modello a realtà aumentata con l'utilizzo di occhiali di nuova progettazione - Hololens - immagine di fantasia applicata alla progettazione.*



*Fig 7.07 Visualizzazione di un monumento storico a realtà aumentata, per poterlo visualizzare in epoche diverse dall'attuale - disegno di indicazione schematica.*

strategici di un determinato edificio che possono raccogliere dati in tempo reale e possono modificare in remoto un modello BIM già esistente di quell'elemento.

Anche la stampa 3D è un altro elemento che applicato all'esistente può aiutare a creare prototipi per simulazioni o analisi su certi particolari elementi che non potrebbero essere fatte direttamente sull'opera, e anche questo frangente è una via di possibile sviluppo.

Inoltre queste tecnologie sono utili anche per la rappresentazione virtuale e la musealizzazione degli edifici che si rilevano, per esempio integrando fonti storiche non più solo come dati cartacei ma come visualizzazione in

realtà aumentata delle opere che si stanno visitando.

Per esempio un visitatore della Rocca, o di qualsiasi altro edificio, potrebbe indossare degli occhiali a realtà aumentata e visualizzare il monumento in diverse epoche come sovrapposizione dell'esistente, avendo caricato, e precedentemente modellato, questi elementi.

Altre prospettive riguardano la divulgazione dei dati in modo simultaneo tra vari professionisti, in modo sempre più rapido e privo di errori o perdita di dati, in modo che più operatori possano lavorare contemporaneamente sulla stessa opera, in tempo reale, senza entrare in conflitto tra loro.

Anche la restituzione foto realistica degli elementi può essere migliorata, ed avendo già il dato delle tessiture proveniente dal rilievo è possibile applicarlo direttamente al modello BIM dell'edificio.

Per quanto riguarda il caso specifico di studio, della Rocca, le prospettive sarebbero quelle di utilizzare il modello BIM che si è creato prima di tutto per un'approfondita analisi strutturale per mettere in opera un progetto di miglioramento sismico e poi un altro progetto per rendere nuovamente fruibile il monumento dalla popolazione.

Infine si può dire che le strade da perseguire in questo ambito sono le più disparate ma con questo lavoro si è voluto dare un punto di partenza per fare un po' di chiarezza su un tema molto delicato e quanto più attuale dove si intersecano due temi molto attuali e cogenti come quello del rilievo e quello della modellazione BIM, che applicata ad edifici esistenti, storici e non, si traduce nell'HBIM.



# ELENCO IMMAGINI

- Fig 1.01 Il BIM e i suoi aspetti <https://www.bimportale.com> 10*
- Fig 1.02 Processo BIM e integrazione <https://processinnovation.wordpress.com> 13*
- Fig 1.03 Dal CAD al BIM <http://www.cadtobim.com> 14*
- Fig 1.04 Le dimensioni progettuali del BIM <http://www.str.it> 15*
- Fig 1.05 Curva MacLeamy BIM 16*
- Fig 1.06 Henrietta Street - Laser Scan to HBIM - Maurice Murphy et al. 2013 20*
- Fig 1.07 Ordini architettonici riprodotti in modelli BIM - Maurice Murphy et al. 2013 22*
- Fig 1.08 Potenzialità dell'HBIM: Modello digitale Sala Urbana di Palazzo d'Accursio a Bologna - Modelli di S. Garagnani 2014 - <http://www.ingenio-web.it> 25*
- Fig 1.09 Prospettive future del patrimonio costruito esistente con più di 40 anni di età - elaborazione stime CRESME 26*
- Fig 1.10 Esempio di modellazione parametrica di un oggetto esistente - <https://thebimhub.com> 37*
- Fig 1.11 Scansione, modellazione HBIM e documentazione - Maurice Murphy et al. 2013 38*
- Fig 2.01 Rappresentazione artistica Rocca di Reggiolo e castello - La Rocca e il Castello Comune di Reggiolo 45*
- Fig 2.02 1821 Mappa del catasto di Reggiolo - La Rocca e il Castello Comune di Reggiolo 46*
- Fig 2.03 Castello pittura su olio sec. XVII Ambrogio Viarana - La Rocca e il Castello Comune di Reggiolo 47*
- Fig 2.04 Foto Rocca di Reggiolo - Castelli e Corti Reggiane Mario Bernabei Città Editrice 49*
- Fig 2.05 Targa in onore dell'architetto fiorentino Luca Fancelli (1430-1495) Salone primo piano ala Est 50*
- Fig 2.06 Lesioni Rocca Sisma 2012 - <http://terreferme.beniculturali.it/rocca.html> 53*
- Fig 2.07 Lesioni Rocca Sisma 2012 - <http://terreferme.beniculturali.it/rocca.html> 54*
- Fig 2.08 Riqualficazione parco urbano della Rocca di Reggiolo - Prog. Comune di Reggiolo 2017 57*
- Fig 2.09 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Sud 1977 68*
- Fig 2.10 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Ovest 1977 68*
- Fig 2.11 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Nord 1977 69*
- Fig 2.12 Rilievo tradizionale e disegno a china della Rocca di Reggiolo - Prospetto Ovest 1977 69*
- Fig 3.00 Schema riassuntivo degli approcci utilizzati per questo lavoro 72*
- Fig 3.01 Restituzione in disegno vettoriale, CAD, della Rocca di Reggiolo - piano primo e piani torre 78*
- Fig 3.02 Restituzione in disegno vettoriale, CAD, della Rocca di Reggiolo - Prospetti e piano terra 78*
- Fig 3.03 Laser scanner 3D terrestre - a differenza di fase Faro Focus3D CAM2 83*
- Fig 3.04 Laser scanner 3D terrestre - a differenza di fase Faro Focus3D CAM2 84*

*Fig 3.05 Allineamento scansioni e nuvole di punti - Software Scene di Faro 87*

*Fig 3.06 Vista di una stazione di presa del laser scanner 3D - Software Scene di Faro 87*

*Fig 3.07 Visualizzazione dati di una singola stazione di scansione - in rosa le altre scansioni con il relativo nome - Software Scene di Faro 89*

*Fig 3.08 Nuvola di punti di una singola stazione - Software Scene di Faro 89*

*Fig 3.09 Visualizzazione d'insieme dell'intera nuvola di punti di tutte le scansioni unite - Software Scene di Faro 92*

*Fig 3.10 Radianza di una stazione, come le superfici riflettono la luce - Software Scene di Faro 92*

*Fig 3.11 Nuvola di punti totale importata in Autodesk ReCap 2016 94*

*Fig 3.12 Ritaglio della nuvola di punti per la visualizzazione della Rocca - Autodesk ReCap 2016 94*

*Fig 3.13 Quadro di sezionamento della nuvola di punti per visualizzare i piani utili - Autodesk ReCap 2016 95*

*Fig 3.14 Analisi altimetrica dei punti ad una determinata sezione - Autodesk ReCap 2016 95*

*Fig 3.15 Visualizzazione web su Browser, in questo caso FireFox, di Scene per il web con tutte le stazioni visibili, selezionabili e scaricabili. 96*

*Fig 3.16 Macchina fotografica utilizzata per il rilievo fotogrammetrico - Nikon D3100 obiettivo Nikon 18-55 mm 99*

*Fig 3.17 Serie di scatti della Rocca di Reggiolo, lato Est e Nord, per la successiva elaborazione fotogrammetrica. 100*

*Fig 3.18 Punti riconosciuti su una singola foto, in blue, e solo presunti, in grigio - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 104*

*Fig 3.19 Nuvola sparsa di punti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 104*

*Fig 3.20 Nuvola densa di punti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 105*

*Fig 3.21 Nuvola sparsa e foto allineate - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 105*

*Fig 3.22 Point Mark e Scale bar sulla cima della torre- Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 120*

*Fig 3.23 Superficie (mesh) dell'esterno della Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 109*

*Fig 3.24 Nuvola densa interno Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 110*

*Fig 3.25 Mesh densa tessitura dell'esterno della Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 110*

*Fig 3.26 Superficie (mesh) tetto torre senza tessitura - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 120*

*Fig 3.27 Superficie (mesh) tetto torre con tessitura - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 111*

*Fig 3.28 Foto reiterate sulla mesh (texturing) - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 112*

*Fig 3.29 Nuvola sparsa intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 112*

*Fig 3.30 Nuvola densa intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 113*

*Fig 3.31 Superficie (mesh) con tessitura intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 113*

*Fig 3.32 Superficie (mesh) senza tessitura intera Rocca, chunk uniti - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 115*

*Fig 3.33 Foto reiserite sulla mesh (texturing) intera Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 115*

*Fig 3.34 Point mark e scale bar intera Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 116*

*Fig 3.35 Nuvola sparsa torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 116*

*Fig 3.36 Nuvola densa torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 117*

*Fig 3.37 Superficie (mesh) con tessitura torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 117*

*Fig 3.38 Superficie (mesh) senza tessitura torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 118*

*Fig 3.39 Foto applicate alla superficie (texturing) torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 118*

*Fig 3.40 Facciata sud in vista ortografica torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 120*

*Fig 3.41 Ortofoto calcolata prospetto sud torre Rocca - Elaborazione fotogrammetrica con Agisoft Photoscan. 120*

*Fig 3.42 Drone quadricottero DJI Phantom 3 Advanced - vista del modello e in azione sul campo. 125*

*Fig 3.43 Porzione del filmato eseguito con il drone con indicazioni in sovraimpressione dei dati di volo. 125*

*Fig 3.44 Tabella riassuntiva di confronto - Russo M., Guidi G., Remondino F., (2011) Principali Tecniche e Strumenti per il Rilievo Tridimensionale in ambito archeologico. 130*

*Fig 3.45 differenza tra accuratezza e precisione - Elaborazione S. Garagnani 132*

*Fig 4.01 Schema di molti dei software di modellazione BIM attualmente disponibili. 140*

*Fig 4.02 Pagina iniziale di lavoro - Autodesk Revit 2016. 162, 163*

*Fig 4.03 Inserimento livelli nel modello nel prospetto sud - Autodesk Revit 2016. 163*

*Fig 4.04 Inserimento livelli nel modello nel prospetto sud - Autodesk Revit 2016. 163*

*Fig 4.05 Assi fissi in vista di pianta sulla nuvola di punti - Autodesk Revit 2016. 163*

*Fig 4.06 Pareti inserite sulla nuvola di punti - Autodesk Revit 2016. 166*

*Fig 4.07 Vista delle pareti del modello - Autodesk Revit 2016. 166*

*Fig 4.08 Masse concettuali costruite sulla nuvola di punti - Autodesk Revit 2016. 167*

*Fig 4.09 Linea di costruzione della massa concettuale locale definita sulla nuvola di punti - Autodesk Revit 2016. 167*

*Fig 4.10 Masse locale e loro elementi della torre centrale e dei torrioni lato nord- Autodesk Revit 2016. 169*

*Fig 4.11 Masse locale della torre centrale e dei quattro torrioni- Autodesk Revit 2016. 169, 170, 173, 174*

*Fig 4.12 Masse locale della torre centrale e piani di massa- Autodesk Revit 2016. 170*

*Fig 4.13 Masse locale dei muri nord e ovest e dell'edificio a Est - Autodesk Revit 2016. 170*

*Fig 4.14 Vista in sezione delle masse locali a confronto con la nuvola di punti - Autodesk Revit 2016. 173*

- Fig 4.15 Massa concettuale di tutta la Rocca - Audodesk Revit 2016. 173, 174*
- Fig 4.16 Massa concettuale di tutta la Rocca a confronto con la nuvola di punti - Audodesk Revit 2016. 174*
- Fig 4.17 Muri di superficie creati sulla massa locale - Audodesk Revit 2016. 174*
- Fig 4.18 Vista di sezione dei muri da superficie - Audodesk Revit 2016. 175*
- Fig 4.19 Vista di sezione dei muri da superficie e nuvola di punti - Audodesk Revit 2016. 175*
- Fig 4.20 Assonometria con ombre della muratura completa della Rocca - Audodesk Revit 2016. 176*
- Fig 4.21 Assonometria con ombre della muratura completa della Rocca in aggiunta alla nuvola di punti - Audodesk Revit 2016. 176*
- Fig 4.22 Sezione della muratura completa della Rocca - Audodesk Revit 2016. 177*
- Fig 4.23 Editor di famiglie e scelta tipologia - Audodesk Revit 2016. 182*
- Fig 4.24 Vista di pianta ed assi - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 182*
- Fig 4.25 Inserimento parametri - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 183*
- Fig 4.26 Assi in prospettiva e parametri verticali - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 183*
- Fig 4.27 Inserimento di regole e vincoli - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 184*
- Fig 4.28 Creazione solido di estrusione - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 184*
- Fig 4.29 Creazione parametri dello sguincio e di quota - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 185*
- Fig 4.30 Impostazione limiti di foratura - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 185*
- Fig 4.31 Vista assonometrica foratura del muro - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 187*
- Fig 4.32 Variazione di parametri e modifiche corrispondenti - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 187*
- Fig 4.33 Creazione solidi per l'infisso - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 188*
- Fig 4.34 Definizione spessore per l'infisso - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 188*
- Fig 4.35 Creazione ante finestra - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 189*
- Fig 4.36 Vincoli e parametri dell'anta - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 189*
- Fig 4.37 Inserimento del vetro - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 190*
- Fig 4.38 Modifica parametri e cambio della conformazione - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 190*
- Fig 4.39 Finestra parametrica e reale a confronto edificio est piano terra - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 192*
- Fig 4.40 Finestra parametrica e reale a confronto Torre piano primo - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 192*
- Fig 4.41 Finestre con sguincio muro lato sud - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 194*
- Fig 4.42 Finestre parametriche vista esterna d'insieme lato Sud Est - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 194*
- Fig 4.43 Finestre parametriche vista di sezione della Torre - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 195*
- Fig 4.44 Finestre parametriche vista di sezione della Torre posizionamento sulla nuvola di punti - Famiglia finestra - Audodesk Revit 2016. 195*
- Fig 4.45 Porte parametriche in vetro edificio sud - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016. 197*
- Fig 4.46 Porta parametrica ingresso delle mura a sud con proprietà - Famiglia porte -*

*Audodesk Revit 2016. 197*

*Fig 4.47 Porte parametriche edificio sud con proprietà - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016. 198*

*Fig 4.48 Porta parametrizzata in vetro edificio sud - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016. 198*

*Fig 4.49 Porta parametrica ingresso della Torre con proprietà - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016. 199*

*Fig 4.50 Porta parametrica ingresso della Torre confronto tra il reale e il modello - Famiglia porte - Audodesk Revit 2016. 199*

*Fig 4.51 Muratura completa della Rocca vista ombreggiata da Sud - Audodesk Revit 2016. 201*

*Fig 4.52 Muratura completa della Rocca vista ombreggiata da Nord Ovest - Audodesk Revit 2016. 201*

*Fig 4.53 Tetto edificio Est, allineato con la nuvola di punti - Audodesk Revit 2016. 204*

*Fig 4.54 Tetti di tutti gli edifici della corte interna della Rocca - Audodesk Revit 2016. 204*

*Fig 4.55 Solai edificio Est e Sud e del cortile interno - Audodesk Revit 2016. 205*

*Fig 4.56 Modifica del solaio interno edificio Sud - Audodesk Revit 2016. 205*

*Fig 4.57 Scale torrione Sud - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016. 208*

*Fig 4.58 Scale edificio Sud - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016. 208*

*Fig 4.59 Scale edificio Sud - Est interne - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016. 209*

*Fig 4.60 Scale Torre esterne - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016. 209*

*Fig 4.61 Scale Torre interne - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016. 210*

*Fig 4.62 Scale Torre interne vista di dettaglio - Famiglia scale - Audodesk Revit 2016. 210*

*Fig 4.63 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello - Audodesk Revit 2016. 215*

*Fig 4.64 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello visualizzazione di Render - Audodesk Revit 2016. 215*

*Fig 4.65 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello vista in sezione ortogonale - Audodesk Revit 2016. 216*

*Fig 4.66 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello vista in sezione ortogonale visualizzazione di render - Audodesk Revit 2016. 216*

*Fig 4.67 Ortofoto della facciata Sud della Torre applicata come tessitura del modello impostazioni generali delle proprietà - Audodesk Revit 2016. 217*

*Fig 4.68 Muri da superficie che non riescono a creare un giunto corretto - Audodesk Revit 2016. 219*

*Fig 4.69 Muri da superficie che non riescono a creare un giunto corretto, inclinazione troppo elevata - Audodesk Revit 2016. 219, 234*

*Fig 5.01 Schema delle potenzialità di un modello BIM, analisi e progetti. 223*

*Fig 5.02 Schema dei modelli di interscambio file nel modello BIM <https://thebimhub.com>. 225*

*Fig 5.03 Analisi solare Rocca solstizio d'estate - Audodesk Revit 2016. 234*

*Fig 5.04 Analisi solare Rocca solstizio d'inverno - Audodesk Revit 2016. 234*

*Fig 5.05 Analisi solare Rocca anno solare completo - Audodesk Revit 2016. 236*

*Fig 5.06 Interrogazione automatica dei locali presenti in una porzione della Rocca, vista di pianta - Audodesk Revit 2016. 236*

*Fig 6.01 Tempistiche a confronto per la modellazione dalla nuvola di punti al modello BIM in Revit 2016 248*

*Fig 6.02 Vista in Ambient Occlusion della Rocca ponte interno guardando verso sud -*

*Autodesk 3D Studio Max 2015 259*

*Fig 6.03 Vista in Ambient Occlusion della Rocca cortile interno guardando verso sud est - Autodesk 3D Studio Max 2015 259*

*Fig 7.01 Vista in Ambient Occlusion della Rocca sezione nord sud guardando verso Est - Autodesk 3D Studio Max 2015 263*

*Fig 7.02 Vista in Ambient Occlusion della Rocca vista generica da sud ovest - Autodesk 3D Studio Max 2015 263*

*Fig 7.03 Gestione manuale e olografica di un modello digitale - Immagine di fantasia dal film IronMan 2 270*

*Fig 7.04 Gestione manuale e olografica di un modello digitale - Immagine di fantasia dal film IronMan 2 270*

*Fig 7.06 Visualizzazione di un modello a realtà aumentata con l'utilizzo di occhiali di nuova progettazione - Hololens - immagine di fantasia applicata alla progettazione. 271*

*Fig 7.07 Visualizzazione di un monumento storico a realtà aumentata, per poterlo visualizzare in epoche diverse dall'attuale - disegno di indicazione schematica. 272*

# BIBLIOGRAFIA

## LIBRI

Bernabei M., (2004) Castelli e Corti Reggiane. Città Editore - Circuito Castelli Matildici & Corti Reggiane

Canova F., (2016) Rggiolo - La Storia 1° Parte. Amministrazione comunale Reggiolo

Deutsch R., AIA, LEED AP, (2011) BIM and Integrated Design - Strategies for Architectural Practice. Wiley Hoboken N.J.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R. e Liston K., (2011) BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley Hoboken N.J.

Karen M. K., (2014) Building Information Modeling. Routledge London and New York.

Krygiel E., Nies B. (2008) Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling. Wiley Hoboken N.J.

Nissim L., (2016) BIM: Modellazione elettronica delle informazioni edili per un'edilizia sostenibile. EPC editore.

Pro Loco e comune Reggiolo (Reggio Emilia), (1996) La Rocca e il Castello - Reggiolo nei secoli X-XX, Banca popolare dell'Emilia Romagna.

Zagni A., Malagoli U., Comitato Valorizzazione Turistica Aree Padane Emilia Romagna - EPT Reggio Emilia, Studenti liceo scientifico G. Passerini Guastalla (RE), (1982) Le piccole capitali del Po. Tecnograf RE.

## ARTICOLI

Apollonio F. I., Gaiani M., Sun Z., (2013) 3D MODELING AND DATA ENRICHMENT IN DIGITAL RECONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL HERITAGE. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2.

Arayici Y. (2008) Towards building information modelling for existing structures. Structural Survey 26.

Barazzetti L., (2016) Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds. Advanced Engineering Informatics 30.

Brilakis I., Lourakis M., Sacks R., Savarese S., Christodoulou S., Teizer J., Makhmalbaf A., (2010) Toward automated generation of parametric BIMs based on hybrid video and laser scanning data. Advanced Engineering Informatics 24.

Dankers M., Van Geel F., Segers N. M., (2014) A web-platform for linking IFC to external information during the entire lifecycle of a building. Procedia Environmental Sciences 22.

Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N., Attar R., (2011) Building Information Modelling and Heritage Documentation. Carleton Immersive Media Studio, Azrieli School of Architecture and Urbanism, Carleton University, Ottawa, Canada. Autodesk Research 210 King Street, Toronto, Canada.

Khodeir L. M., Aly D., Tarek S., (2016) Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) Tools in the Application of Sustainable Retrofitting of Heritage Buildings in Egypt. Procedia Environmental Sciences 34.

Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E., (2015) BUILDING INFORMATION MODELLING FOR CULTURAL HERITAGE: A REVIEW. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W3.

Megahed N. A., (2015) TOWARDS A THEORETICAL FRAMEWORK FOR HBIM APPROACH IN HISTORIC PRESERVATION AND MANAGEMENT. International Journal of Architectural Research 9.

Murphy M., Dore C., (2012) Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites. IEEE.

Murphy M., MCGovern E., Pavia S., (2013) Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 76.

Oreani D., (2013) From 3D Content Models to HBIM for Conservation and Management of Built Heritage. ICCSA 2013 Part IV.

Oreani D., Brumana R., Georgopoulos A., Cuca B., (2013) HBIM FOR CONSERVATION AND MANAGEMENT OF BUILT HERITAGE: TOWARDS A LIBRARY OF VAULTS AND WOODEN BEAN FLOORS. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W1.

Oreani D., Brumana R., Banfi F., Bertola L., Barazzetti L., Cuca B., Previtali M., Roncoroni F., (2014) Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS. EuroMed.

Oreani D., Brumana R., Della Torre S., Banfi F., Barazzetti L., Previtali M., (2014) SURVEY TURNED INTO HBIM: THE RESTORATION AND THE

WORK INVOLVED CONCERNING THE BASILICA DI COLLEMAGGIO AFTER THE EARTHQUAKE (L'AQUILA). ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5.

Russo M., Guidi G., Remondino F., (2011) Principali Tecniche e Strumenti per il Rilievo Tridimensionale in ambito archeologico. Archeologia e Calcolatori 22.

Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A., (2010) Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Automation in Construction 19.

Xiong X., Adan A., Akinci B., Huber D., (2013) Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. Automation in Construction 31.

## **SITI WEB**

[http://www.truecadd.com/news/using-point-cloud-for-revit-bim?utm\\_source=referrer&utm\\_medium=quora&utm\\_campaign=quora-CP](http://www.truecadd.com/news/using-point-cloud-for-revit-bim?utm_source=referrer&utm_medium=quora&utm_campaign=quora-CP) (09/2016)

<http://www.buildingsmartitalia.org/2016/04/22/i-livelli-di-sviluppo-lod-nel-progetto-digitalizzato-la-misura-dellinformazione-allinterno-del-percorso-bim/> (01/2017)

[http://www.ingenio-web.it/Articolo/3236/HBIM\\_nell\\_esistente\\_storico.\\_Potenzialita\\_e\\_limiti\\_degli\\_strumenti\\_integrati\\_nel\\_recupero\\_edilizio.html](http://www.ingenio-web.it/Articolo/3236/HBIM_nell_esistente_storico._Potenzialita_e_limiti_degli_strumenti_integrati_nel_recupero_edilizio.html) (01/2017)

<http://www.agisoft.com/index.php?id=28> (02/2017)

<http://forums.culturalheritageimaging.org/index.php?/topic/455-orthophoto-from-photoscan/> (02/2017)

<http://www.tcproject.net/pivotx/?e=177> (02/2017)

<http://www.tcproject.net/pivotx/?e=156> (02/2017)

[https://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_the\\_best\\_open\\_source\\_finite\\_element\\_software\\_for\\_mechanical\\_problems](https://www.researchgate.net/post/What_is_the_best_open_source_finite_element_software_for_mechanical_problems) (01/2017)



# RINGRAZIAMENTI

I miei ringraziamenti vanno prima di tutto al mio relatore, il prof. ing. Fabio Remondino, che oltre a porre le basi per l'idea di questa tesi mi ha sempre dato ottimi consigli, soprattutto sulla parte del rilievo digitale, e ha guidato il mio lavoro nella giusta direzione.

Un ringraziamento sentito al mio correlatore, Simone Garagnani per avermi seguito sempre in tutto questo percorso e per avermi spronato giorno dopo giorno a proseguire in questo progetto, facendomi conoscere aspetti della progettazione e della modellazione che mai avrei immaginato, e mi ha fatto conoscere il mondo del BIM, lo ringrazio anche per la sua costante assistenza e per l'appoggio morale.

Un grazie al sindaco arch. Roberto Angeli, al vicesindaco Franco Albinelli e a tutti i componenti dell'ufficio tecnico del comune di Reggiolo (RE) per avermi concesso l'opportunità di accedere alla Rocca medievale situata nella città stessa, oggetto di questo mio studio.

Ringrazio i miei genitori, mio padre Roberto, i cui insegnamenti e la cui saggezza sono sempre stati per me fonte di ispirazione e mia madre Angela, la cui gentilezza, disponibilità e affetto nei miei confronti sono stati la miglior medicina contro la tristezza; loro hanno sempre creduto in me e mi hanno spronato giorno dopo giorno a seguire la mia strada e i miei sogni, sostenendomi sia moralmente che finanziariamente, senza di loro tutto ciò non sarebbe stato possibile, e ringrazio anche mia sorella Valentina, mia prima compagna di giochi, che mi ha sempre spronato a fare di più, anche nei momenti di maggiore difficoltà e insieme a lei anche Francesco (il suo ragazzo) che ha sempre avuto buoni consigli per me.

Ringrazio di cuore Jenny, la mia compagna di vita, che anche se è

arrivata quando il mio percorso di studi volgeva verso il termine mi ha sempre sostenuto con affetto, tirandomi su di morale durante i momenti di sconforto, credendo in me fino in fondo, e dandomi schiaffi morali quando serviva per farmi andare avanti, e tra momenti di grande gioia e altri più tristi mi ha seguito in ogni istante tenendomi per mano fino a questo momento, grazie di tutto.

Ringrazio anche i suoi nonni, Adriano e Franca, e sua madre Manuela, per essere stati sempre gentili, cortesi e ospitali con me e per avermi accettato con affetto nella loro famiglia.

Ringrazio i miei nonni, Valseno e Maria, che mi hanno cullato fin da piccolo, e hanno creduto fino in fondo a questo mio progetto di vita, ringrazio mia nonna Lina che ha sempre creduto che fossi un bravo studente e mio nonno Battista che se potesse vedermi oggi sarebbe davvero orgoglioso di me.

Ringrazio mia zia Ramona che ha sempre pensato che ce l'avrei fatta e Moreno che ha sempre avuto parole ricche di saggezza che mi hanno aperto la mente, e mio zio Claudio che se fosse qui oggi mi stringerebbe la mano con orgoglio; ringrazio anche i miei zii Danilo e Rossana che hanno sempre creduto che dopo lunghi sforzi sarei arrivato a questo traguardo.

Un grazie a mio cugino Cristian, e alla sua compagna Consuelo, che oltre ad avere sempre piena fiducia nelle mie capacità sono stati anche la mia guida durante questo percorso, ed è stata proprio Consuelo a indicarmi questo corso di laurea, che prima di allora non conoscevo; un grazie anche ai miei cugini Erik ed Aurora che sempre hanno visto in me una persona alla quale poter chiedere consiglio.

Ringrazio anche Ivano e Maura, e tutta la loro famiglia, che hanno sempre

supportato con forza questo mio percorso e si sono sempre dimostrate persone squisite sulle quali poter sempre contare, e con loro anche mia cugina Elisabetta, che è stata sempre una guida per me nei momenti di bisogno.

Un grazie speciale ai miei compagni di università, detti in gergo gli IEA, che durante tutta questa lunga avventura hanno condiviso con me lunghe parti della loro vita, durante le infinite lezioni e gli ancora più interminabili progetti con relativi lavori di gruppo.

Un grazie davvero speciale ai GAME, Giulia, Alice ed Erica, che mi hanno supportato per infiniti lavori di gruppo, per ore ed ore di lavoro, ma anche, e soprattutto, per bellissimi momenti di vita passati insieme, avventure sia per mari che per monti, con loro sono cresciuto molto, e ho capito che anche dal lavoro e dalla fatica può scaturire la vera amicizia, grazie.

Un grazie anche a Claudia, Valeria e Alice che hanno ascoltato i miei deliri per lunghi mesi passati a studiare al Lazzaretto, e anche con loro ho fatto un grande passo in avanti per raggiungere questo traguardo.

Ringrazio Franco che ha sempre supportato i miei momenti di sconforto e che mi ha dato sempre buoni consigli per svolgere al meglio il mio lavoro in questi anni e con lui tutti coloro con i quali ho lavorato in gruppo, in questo lungo percorso formativo.

Un grazie a Federico (Millo) e Daniele (Colo) per la loro competenza e tranquillità che mi hanno trasmesso quando lavoravo con loro, un grazie a Valeria, Ennio, Martina, Francesco, Valentina e ancora a Giulia, Erica ed Alice per avermi sempre aiutato nei lavori di gruppo e sono tutte persone con le quali un domani vorrei trovarmi a lavorare insieme.

Un grazie a tutti coloro con i quali ho lavorato in questi anni di università, Davide, Pierluigi, Ilaria, Filippo e a tutti coloro che mi sono stati vicino

in questi lunghi anni come Elisabetta, Riccardo, Elena, Vanessa, Andrea (Ross), Luca (Belma), Greta ed anche Eleonora che ha accompagnato per i primi anni le mie lunghe passeggiate a Bologna dalla stazione alla facoltà.

Un enorme ringraziamento ai miei amici d'infanzia di Fabbrico, Sassi, Terzi e Belli che mi conoscono da quando ancora non sapevo camminare e mi hanno sempre accompagnato in tutte le avventure della vita, compresa questa, e anche se ora hanno preso strade diverse saranno sempre con me in questo percorso di vita, e un grazie speciale anche ad Enrica e Alice che sempre hanno creduto in me.

Un grazie anche ad Enrico (Olly), Marco (Mosca), Luca (Mosca), Luca (Mr) e ancora Sassi e Belli per essere stati oltre che buoni amici anche compagni di grandi avventure, e ringrazio anche, Elisabetta ed Elena che sempre hanno avuto buoni consigli per me.

Un grazie davvero sentito a Gianluca, Stefano, Eugenio, Marzia, Francesco (Taran) e di nuovo Jenny e Luca (Mosca) per essere oltre che grandi amici anche i miei più grandi compagni di avventure e di vita, con loro ho scoperto molto del mondo sia di questo che di altri di pura fantasia, un grazie anche a Marco (Bond), Marco (Bulga) e Martina anche loro compagni di avventura.

Un ringraziamento a tutti coloro che ho dimenticato, che probabilmente sono molti, ma non me ne vogliano, il mio affetto nei loro confronti non è minore, anzi per loro il grazie è ancora più sentito.

Ed infine ringrazio me stesso, per essere arrivato alla fine di questo lungo percorso e per non aver mollato mai anche nei momenti di maggior sconforto e per poter dire alla fine ce l'ho fatta e ci sono anche io.

# TAVOLE TECNICHE

Qui di seguito saranno allegate 16 tavole tecniche, con numerazione indipendente che illustrano con piante, prospetti e sezioni la conformazione della Rocca di Reggiolo.



