



POLITECNICO di TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale In Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

HBIM e VR per il patrimonio culturale: il caso studio del Castello di Serralunga d'Alba

Relatrice: Prof.ssa Anna Osello

Co-relatore: ing. Pablo Angel Ruffino

Candidato: Giacomo Damiani

[matr.221731]

A.A 2017/2018

INDICE

Abstract	9
1. BIM	11
1.1. Definizioni e Introduzione	11
1.2. Il Passaggio dal CAD al BIM	13
1.3. Stato dell'arte e diffusione del BIM	16
1.3.1 Il BIM nel mondo	17
1.3.7 Il BIM in Italia	20
1.4. Interoperabilità, formati standard di scambio e software parametrici di modellazione informativa	23
1.5. LOD	27
1.6. HBIM	30
2. Virtual Reality e Augmented Reality	32
2.1 Strumenti di visualizzazione VR	35
3. Caso Studio: Il Castello di Serralunga d'Alba	37
3.1. Inquadramento Territoriale	37
3.2. Indagini Storiche	39
4. La modellazione tridimensionale informativa	43
4.1. La modellazione architettonica	44
4.1.1. Creazione del DTM (Digital Terrain Model)	46
4.1.2. Componenti orizzontali: i pavimenti	47
4.1.3. Componenti verticali: le murature	49
4.1.4. Collegamenti Verticali	51
4.1.5. Infissi: porte e finestre	53

4.1.6. Decorazioni murarie	58
4.1.7. Comignoli	61
4.1.8. Tetti	62
4.2. Gestione delle texture	67
5. Soluzioni di visualizzazione applicate al caso studio	70
5.1. Cl3ver	71
5.2. Enscape	75
5.3. Autodesk Live	79
5.4. Autodesk A360	83
6. Gestione ed estrapolazione dei dati	87
6.1. Abaco dei Locali	90
6.2. Abaco delle Murature	91
7. Conclusioni	92
Bibliografia	97
Sitografia	98
Indice delle figure	100

Abstract

Il lavoro di tesi nasce al fine di valorizzare mediante strumenti e metodologie BIM (*Building Information Modeling*) un bene storico-architettonico trecentesco quale il Castello di Serralunga d'Alba, situato nella *core zone* del patrimonio UNESCO dei Paesaggi Vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato.

La comunità scientifica ed in particolare Maurice Murphy hanno definito come HBIM (*Historical Building Information Modeling*) l'applicazione della metodologia BIM per la valorizzazione e la gestione del patrimonio culturale esistente. Questo nuovo approccio con cui si sta interfacciando oggi il mondo dell'edilizia si basa sull'interoperabilità di un modello tridimensionale informativo con altri software compatibili a seconda delle diverse necessità prestabilite.

In collaborazione con la Soprintendenza ai Beni Culturali della regione Piemonte e con l'Associazione per il patrimonio dei Paesaggi Vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato di Alba, si è individuata come necessità quella di poter rendere il castello fruibile a tutti, anche a distanza, superando, anche se solo virtualmente, quelle barriere architettoniche che lo rendono inaccessibile agli utenti con limitate capacità motorie. Il modello informativo BIM, dunque, è stato utilizzato per testare la creazione di un tour virtuale mediante l'utilizzo di quattro differenti software VR/AR (*Cliver*, *Enscape*, *Autodesk Live e Autodesk A360*) che collaborano con il software di modellazione, utilizzando strumenti come i visori HTC Vive e Oculus Rift per la visualizzazione. I test effettuati, sono serviti sia per valutare l'interoperabilità tra i software oggetto di studio sia per valutare la facilità di utilizzo e la restituzione grafica della soluzione sviluppata.

La metodologia BIM, inoltre, sarà utile anche per la classificazione e differenziazione dei locali che compongono il caso studio attraverso l'estrapolazione di abachi e database dal modello, offrendo così alla Soprintendenza un nuovo approccio alla gestione dei beni architettonico/culturali che si spera possa essere esteso a tutti i castelli del territorio delle Langhe.

1. BIM

1.1. Definizioni e Introduzione

Nella letteratura scientifica internazionale, l'acronimo BIM assume diverse accezioni a seconda del campo di applicazione. L'espressione è stata coniata dal prof. *Charles M. Eastman* del *Georgia Institute of Technology* nelle sue pubblicazioni di fine anni Settanta del Novecento ed ha come significato principale quello di *Building Information Modeling* ossia *“una metodologia di management sviluppatasi nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (Architecture, Engeneering and Costruction, AEC) che consente di costruire digitalmente accurati modelli virtuali di un edificio a supporto di tutte le fasi del processo edilizio permettendo un'analisi e un controllo più efficienti rispetto ai processi tradizionali. Una volta completati, questi modelli contengono in modo preciso la geometria e i dati necessari alla fase di progettazione, di scelta del contraente, di realizzazione e successivamente di gestione della vita utile dell'edificio”*¹.

Altra accezione che può essere data all'acronimo BIM è quella di *Building Information Model*, in questo caso però si fa riferimento esclusivamente al “prodotto” ossia al modello informativo tridimensionale del manufatto comprendente le sue caratteristiche fisiche e funzionali. Tale rappresentazione digitale comprende la composizione geometrica dei singoli elementi realmente costituenti il manufatto (come muri, porte, finestre ecc.) a cui sono associate informazioni, attributi e proprietà.

L'acronimo BIM può avere ancora, il significato di *Beyond Information Management* o *Building Information Management* cioè *“l'organizzazione a livello di policies e il controllo del Buisness process utilizzando informazioni nel prototipo digitale per effettuare lo scambio di informazioni sull'intero ciclo di vita di un bene. I vantaggi includono la comunicazione centralizzata e visiva, l'esplorazione preliminare di opzioni, la sostenibilità, una progettazione efficiente, l'integrazione di discipline, il controllo del sito, la documentazione as built, ecc. – in sintesi uno sviluppo efficace di un processo del ciclo di vita e un modello digitale dal concepimento alla dismissione finale dell'edificio”*².

¹ Eastman Chuck, Teicholz Paul, Sacks Rafael, Liston Katleen, (edizione italiana a cura di Di Giuda Giuseppe M. e Villa Valentina), 2017

² Osello, 2012

In sostanza quindi, il BIM è una metodologia che si avvale di strumenti interoperabili tra di loro e che permettono la progettazione, l'analisi, la costruzione e la gestione di un edificio partendo dal suo modello tridimensionale informativo, il quale è composto da ogni singolo elemento costituente il manufatto rappresentato con oggetti parametrici digitali dotati di una propria rappresentazione grafica e contenente gli attributi che ne specificano le proprietà e le caratteristiche.

Questo nuovo approccio con cui si interfaccia oggi il mondo dell'edilizia è ancora in fase di sviluppo soprattutto in Italia, in cui viene principalmente utilizzato durante la fase di progettazione mentre, nelle fasi di realizzazione e gestione, l'utilizzo del BIM è ancora in fase di sviluppo, in ritardo rispetto alle altre nazioni europee e non, che invece utilizzano questa metodologia ormai da più di un decennio. Con l'approvazione del *Nuovo codice degli appalti*, si spera che questa nuova era di digitalizzazione prenda piede anche in Italia andando così ad ottimizzare le varie fasi del processo di costruzione diminuendo gli sprechi di denaro, dovuti agli errori, sin dalla fase di progettazione.

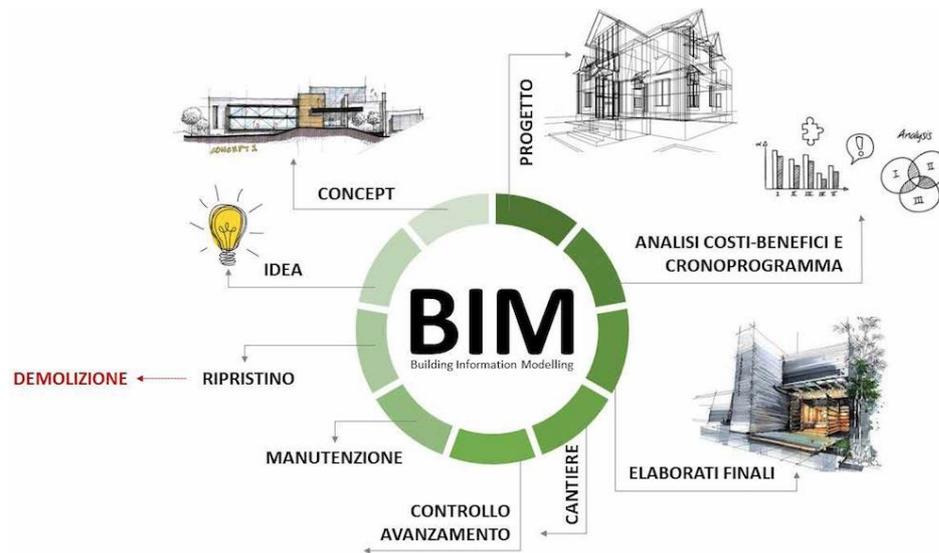


Figura 1: Schema generale della metodologia BIM³

³ <https://www.youbuildweb.it/2017/09/29/bim-progettazione-integrata/>

1.2. Il Passaggio dal CAD al BIM

Dalla seconda metà degli anni 1980, col suo esordio sul mercato, il **CAD** (*Computer Aided Design*) ha monopolizzato il mondo della rappresentazione grafica, sostituendo il disegno manuale, inizialmente producendo disegni in formato raster e successivamente generando file in formato vettoriale composti da linee a cui sono associati dei layer per l'identificazione. I seguenti sviluppi di questi software hanno portato all'introduzione di nuove funzioni ed anche, la possibilità di modellare in tre dimensioni dando così la possibilità di rappresentare elementi e superfici complesse.

Sistemi CAD sempre più avanzati e la digitalizzazione sempre più massiccia hanno portato alla necessità di condividere i dati associati ad uno specifico progetto spostando così l'attenzione dai disegni e dalle immagini tridimensionali alle informazioni. Si è cercato quindi un nuovo metodo che permettesse di supportare viste differenti in formato 2D e 3D e dati. La crescita sul mercato dei software CAD è continuata fino agli anni '80 del Novecento, quando sono subentrati due nuovi e fondamentali metodi che hanno rivoluzionato la visualizzazione grafica e la registrazione delle informazioni: la rappresentazione geometrica dei solidi e la rappresentazione dei "contorni": i cosiddetti *boudary*.

Dagli anni '90 poi, grazie alla crescita ed al continuo sviluppo dei software, è stato possibile integrare il modello tridimensionale con analisi e simulazioni per produrre informazioni riguardanti le performance dell'edificio e di come esse varino a seconda delle condizioni al contorno (come ad esempio materiali, geometria o orientamento).

La svolta è avvenuta con l'introduzione dei primi software parametrici, adoperati per apportare cambiamenti in modo interattivo andando a modificare solo i vincoli preimpostati. Il concetto di "oggetto parametrico" è fondamentale per cogliere a pieno il senso di un *Building Information Model* e di come esso sia diverso dagli antecedenti modelli bidimensionali e tridimensionali. Un oggetto parametrico è composto da un insieme di definizioni geometriche alle quali poi sono associate regole e dati. Questo comporta che ogni volta che viene effettuata una modifica al modello, l'insieme dei dati collegati ad esso si modifica nello stesso modo seguendo le regole imposte e viceversa.

Il progressivo sviluppo di questi software ha favorito dunque la nascita del **BIM** che forniva un modello informativo dell'edificio contenente informazioni utili a tutte le discipline che intervengono nel processo edilizio.

Nel 1986 la *Graphisoft*, una software house ungherese con sede a Budapest, introdusse il primo software per il *Virtual Building Solution: ArchiCAD*. Questo programma consentiva al progettista di

creare una rappresentazione virtuale tridimensionale del manufatto avendo così la possibilità di raccogliere una grande quantità di informazioni all'interno di un modello: dai dati spaziali, alla geometria dell'edificio fino alle proprietà dei materiali utilizzati e le relative quantità.

L'avvento del BIM, dunque, ha creato un solco importante col passato. Con la progettazione bidimensionale e tridimensionale al CAD (*Computer Aided Design*), infatti, il progettista si limita a scomporre la realtà attraverso proiezioni ortogonali e a riprodurla su carta; le informazioni vengono fornite a chi legge il progetto attraverso segni e convenzioni standardizzate note solo ai professionisti del settore. Con il BIM invece, non abbiamo un semplice modello tridimensionale, poiché al suo interno sono memorizzate digitalmente tutte le informazioni relative al manufatto che permettono agli attori del processo edilizio di collaborare tra loro attraverso una comunicazione più efficiente, ottimizzando tutte le fasi: dall'idea fino al termine del ciclo di vita utile dell'edificio.

Le informazioni prodotte attraverso un *Building Information Model*, potranno essere così utilizzate da tutte le figure che ruotano attorno al progettista stesso per una gestione ottimale del manufatto e della fase di demolizione.

Al giorno d'oggi, la documentazione riguardante il patrimonio edilizio è in gran parte in formato CAD o addirittura in formato cartaceo, presentando elaborati bidimensionali scollegati tra loro. Attraverso la metodologia BIM, invece, è possibile ottenere un modello informativo completo dell'edificio che vada oltre la rappresentazione grafica.

Risulta quindi necessario il passaggio dai dati CAD al BIM per la gestione di qualsiasi tipo di edificio che sia di nuova costruzione o esistente, soprattutto per quelli di valenza storico-artistica. In questo contesto si inserisce questo lavoro di ricerca che cerca di fornire agli enti preposti alla valorizzazione e alla gestione di un bene storico e architettonico come il Castello di Serralunga d'Alba, un *Building Information Model* che sia utile al monitoraggio del bene nel tempo.

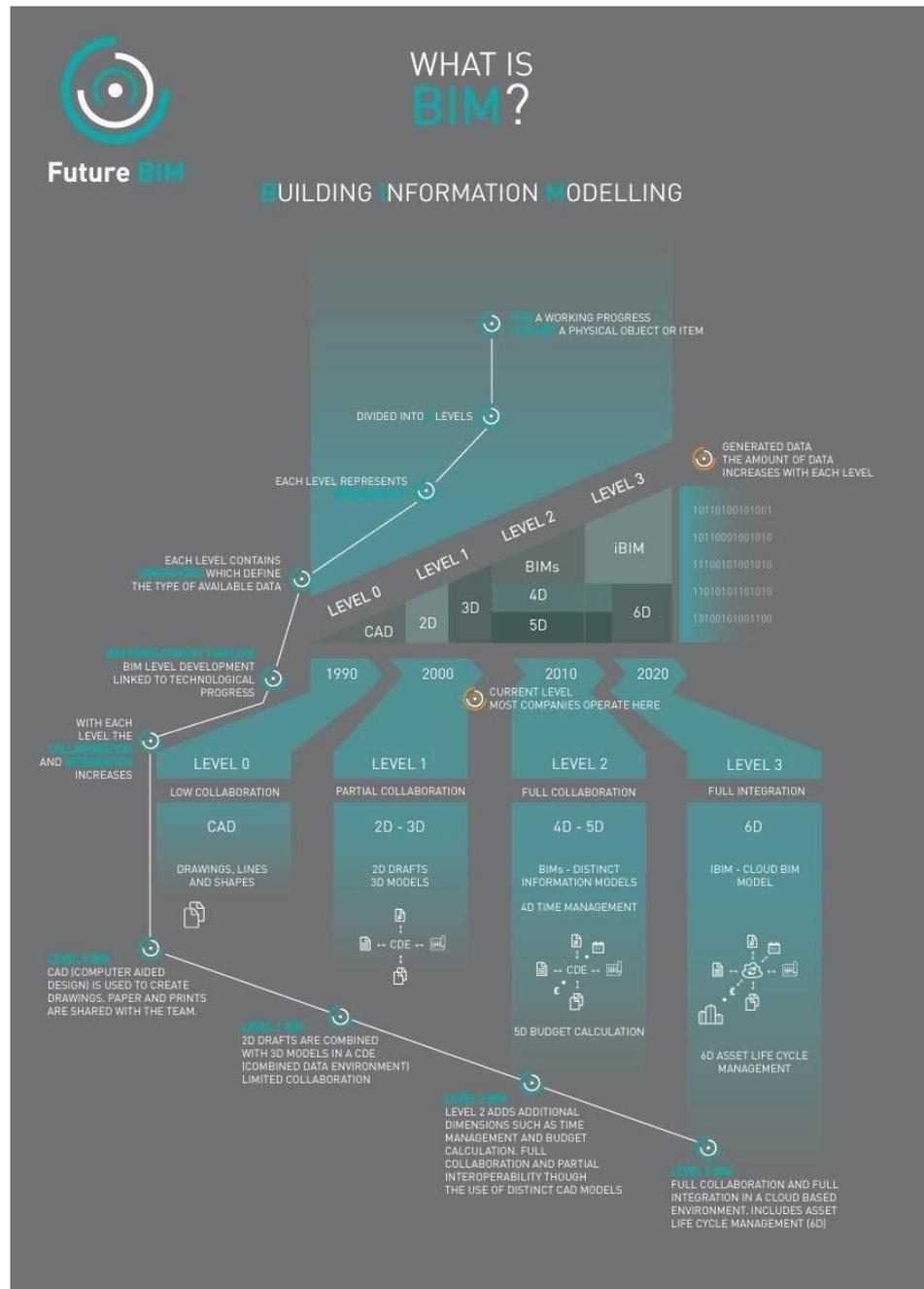


Figura 2: Schema riassuntivo della metodologia BIM⁴

⁴ <https://www.fbim.co.uk/>

1.3. Stato dell'arte e diffusione del BIM

A livello internazionale, l'utilizzo del BIM nel settore dell'AEC (*Architecture, Engineering and Construction*) è molto diffuso e necessita quindi di protocolli standard ben definiti e soprattutto di un linguaggio comune che definiscano il tipo di informazione e le modalità di interscambio evitando così errori e perdite di dati. A tal proposito, un'organizzazione senza scopo di lucro fondata nel 2001 sotto il nome di *International Alliance for Interoperability* (IAI) rinominata poi **buildingSMART** nel 2007, ha orientato le sue ricerche principalmente su tre temi fondamentali come i *Data Model* (IFC), i *Data Dictionary* (IFD) e sui *Processes* (IDM) tracciando le linee guida per la definizione degli standard utili ai modelli e ai processi destinati alle applicazioni BIM.

Obiettivo principale di questi studi è quello di definire il tipo di informazione che tutti gli attori del processo edilizio dovranno elaborare e le modalità di condivisione della stessa all'interno del team di lavoro al fine di evitare errori e perdite di dati durante tutto l'intero ciclo di vita dell'opera.

A livello internazionale, gli Stati Uniti sono il paese leader a livello di ricerca, sviluppo e utilizzo della metodologia BIM ma negli ultimi anni altre nazioni come Regno Unito e Paesi Scandinavi in Europa, Canada in America Settentrionale, Australia in Oceania e Singapore in Asia stanno indirizzando sempre di più i loro interessi verso il tema del BIM.

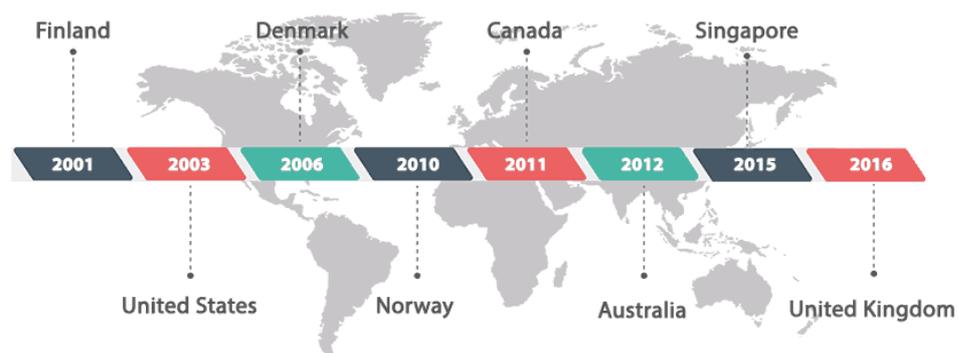


Figura 3: Timeline della diffusione del BIM ⁵

⁵ <http://specifiglobal.com/learning/building-information-modeling/>

1.3.1 Il BIM nel mondo

Gli **Stati Uniti**, ed in particolare la zona ovest, sono il paese più all'avanguardia nel campo del BIM con un tasso di adozione che oscilla, a seconda delle zone, tra il 70% e il 77%. In queste zone, l'adozione del BIM è cominciata sin dai primi anni del nuovo millennio, registrando un picco tra il 2009 e il 2010.

Nel 2003, *“la GSA (General Service Administration) attraverso il Public Building Services (PBS) Office of Chief Architect (OCA), ha stabilito il programma nazionale per il 3D-4D-BIM, pubblicando delle guide che descrivono la metodologia di lavoro nell'industria delle costruzioni.*

La GSA ha richiesto, inoltre, a partire dal 2007, l'uso del BIM per la spatial program validation prima di presentare un progetto in gara d'appalto”⁶ questo ha fatto sì che i componenti del team di progettazione del GSA possano valutare, in sede di gara d'appalto, il rispetto dei requisiti dello “spatial program” in modo più preciso e veloce rispetto all'approccio tradizionale in due dimensioni, incentivando così i progettisti ad utilizzare il metodo BIM 3D e 4D in tutte le fasi di progettazione.

In **Svezia**, il documento che regola fin dal 1991 le metodologie BIM è il *Bygghandligar 90*⁷. Questo documento, pubblicato dal SIS (Swedish Standard Institute), è costituito da otto parti che delineano le specifiche per la realizzazione dei modelli e della documentazione di progetto. La parte 8, *Digital Deliverables Construction and Facilities Management*, è sicuramente la più importante poiché viene descritta la possibilità di interscambio di informazioni tra i vari attori del processo costruttivo.

Nel 2007, in **Danimarca**, il governo ha reso obbligatorio l'utilizzo del BIM come requisito di progetto mentre nel 2011, il parlamento danese ha esteso l'obbligo di adozione del BIM a tutti i progetti locali e regionali di valore superiore a 2.700.000 €. Il *bips*⁸, un organismo guida per gli utenti BIM, ha specificato, a tutti gli attori del processo edilizio, come creare modelli informativi tridimensionali e come riutilizzarli durante tutto il ciclo di vita utile. Questi requisiti, i *Digital Construction*, sono andati poi ad integrare i requisiti BIM nei progetti governativi.

Nel 2007, in **Finlandia**, è stato pubblicato il *BIM Requirements 2007*, un documento contenente un elenco dettagliato dei requisiti utili allo sviluppo di modelli BIM conformi agli standard IFC, rendendo

⁶ Eastman, et al., 2015

⁷ <https://www.bygghandlingar90.se/>

⁸ <https://bips.dk/>

obbligatoria l'adozione di questi strumenti sin da subito. Questo documento, è frutto del lavoro di sperimentazione della *Senate Properties* che dal 2001 ha condotto progetti pilota che potessero verificare la validità e la produttività delle metodologie BIM e dei formati IFC. Nel 2012, il *BIM Requirements 2007* è stato aggiornato e sostituito a livello nazionale dal *COBIM (Common BIM Requirements 2012)* che precisa i metodi di modellazione di tutte le fasi del processo costruttivo.

A partire dal 2010, anche in **Norvegia** è richiesto l'uso dello Standard OpenBIM (IFC) per tutti i progetti sia in fase di progettazione sia in fase di gestione durante tutto il ciclo di vita utile del manufatto, cambiamento promosso dalla società immobiliare *Norwegian Directorate of Public Construction and Property (Statsbygg)*⁹.

Al Giorno d'oggi, nel **Regno Unito**, sono disponibili le *AEK (UK) CAD Standard Basic Layer Code*, un documento redatto nel 2001 ed aggiornato prima nel 2002 con un *Advance Code* e poi nel 2009 con l'*AEK (UK) BIM Standard*¹⁰ per far fronte al crescente bisogno di definire uno standard unificato di progettazione BIM. Questi documenti vanno ad aggiornare le linee guida definite dal *Construction Project Information Committee (CPIC)* in cui sono definiti standard scaturiti da precedenti esperienze internazionali come quella della National BIM Standard (NBIMS) e da protocolli aziendali già esistenti.

Nel 2011, invece, la *UK Government Construction Strategy*¹¹ ha realizzato, grazie al lavoro del gruppo di lavoro della *BIM Task Group*, un documento contenente tutti gli standard da rispettare in sede di appalto di edifici pubblici, richiedendo (obbligatoriamente dal 2016) tutte le informazioni, la documentazione e i dati di un progetto in formato elettronico utilizzando gli strumenti e le metodologie BIM.

Nel 2011, il **Canada BIM Council (CanBIM)** ha avviato una collaborazione con il comitato *AEC (UK)* al fine di redigere un protocollo basato su quello Britannico andando a applicare migliorie a quello già esistente e pubblicando infine nel 2012 l'*AEC (CAN) BIM Protocol*. Questo documento fornisce degli standard per l'adeguamento del mondo delle costruzioni canadese alle metodologie BIM in particolare in fase di progettazione e in fase di condivisione dati.

Nel 2010, In **Australia**, viene pubblicato l'*Issue Paper: Digital Modeling and the Built Environment* nato dalla collaborazione tra un organo consuntivo del governo, il *Build Environmental Digital Modeling Working Group* e l'*Information Technology Industry Innovation Council (ITIIC)*. Questo documento tratta principalmente il tema della modellazione digitale informativa all'interno del mondo

⁹ <http://www.statsbygg.no/>

¹⁰ <https://aecuk.wordpress.com/>

¹¹ <https://cabinetoffice.gov.uk/>

dell'AEC Australiana, in particolare soffermandosi sulla progettazione, realizzazione e gestione di edifici commerciali e residenziali, ambienti urbani e extraurbani e infrastrutture.

A **Singapore**, nel 2012, l'agenzia del Ministero dello Sviluppo, la *Building and Construction Authority (BCA)* ha pubblicato la *Singapore BIM Guide*, un documento fondamentale per gli utenti BIM poiché contiene tutte le informazioni per poter realizzare un modello digitale informativo con tutte le specifiche per la condivisione e definisce inoltre le responsabilità delle diverse figure BIM all'interno di un team di progettazione.

Nel 2015, la stessa *Building and Construction Authority* ha richiesto, per la presentazione di tutti i progetti architettonici, strutturali ed infrastrutturali, l'approvazione sul portale *CoRENet e-Submission*¹², una piattaforma web in cui tutti i professionisti del settore delle costruzioni possono caricare i propri progetti per la validazione degli stessi da parte degli enti preposti, eliminando così la mole di documenti cartacei che venivano presentati e con la possibilità che gli scambi possano avvenire anche tra professionisti possano avvenire in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo. Questo ha velocizzando tutto l'iter burocratico di approvazione ed ha di conseguenza migliorato il servizio pubblico offerto.

¹² <https://www.corenet.gov.sg/>

1.3.7 Il BIM in Italia

In Italia, la diffusione del BIM procede a rilento rispetto al panorama internazionale ma nell'ultimo periodo qualcosa si sta muovendo. Risale infatti al 26 febbraio 2014 la *Nuova Direttiva sugli Appalti Pubblici* lanciata dall'Unione Europea in materia di digitalizzazione dei progetti e del processo costruttivo, la quale richiedeva a tutti i paesi membri di recepirla entro due anni. L'Italia in un primo momento, a causa del Decreto Sblocca Italia del settembre 2014, non riesce a recepire la direttiva ed è solo il 15 gennaio 2016 che il Ministero delle Infrastrutture viene delegato a redigere il *Codice degli Appalti*.

Il 18 aprile 2016, il **Nuovo Codice degli Appalti**, *DL 18/04/2016 n.50* (più avanti denominato *Codice dei Contratti*) viene pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale e divenendo così legge. In questo documento il BIM viene definito come “metodi e strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture”¹³.

Nel luglio 2016 viene avviata la commissione BIM presieduta dall'ing. Pietro Baraton per redigere il Decreto Attuativo, la cui bozza viene pubblicata nel giugno 2017.

Nel luglio dello stesso anno, per valutare l'effettiva funzionalità del Building Information Modeling all'interno del mondo degli appalti pubblici, viene utilizzato come appalto pilota quello per il Ponte della Navetta a Parma. I riscontri positivi provenienti da questo “test” hanno portato alla firma da parte del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti Graziano Delrio del decreto, il quale viene definitivamente pubblicato sul sito del ministero il 12 gennaio 2018 come **DM 560 del 01/12/2017**¹⁴.

Il decreto entrerà definitivamente in vigore il 1° gennaio 2019 e interesserà dapprima le gare pubbliche con importi superiori ai 100 milioni di euro mentre negli anni successivi, la soglia si abbasserà sempre di più fino a renderla obbligatoria per qualsiasi tipo di gara dal 2025.

¹³ <http://www.gisinfrastrutture.it/2017/12/bim-il-decreto-e-firmato-lobbigo-a-partire-dal-2019/>

¹⁴ <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-560-del-01122017>

Il DM 560 è suddiviso in 4 sezioni¹⁵:

1. *Adempimenti Stazioni Appaltanti (Art. 3,4,5)* in cui vengono:

- Predisposti dei piani di formazione del personale
- Predisposti dei piani di acquisizione hardware e software
- Definiti i processi di controllo e gestione di dati e conflitti
- Previsti formati aperti ed un ambiente di scambio

È possibile richiedere l'uso del BIM negli appalti solo se si è adempiuto ai primi 3 punti

2. *Tempi di introduzione obbligatoria del BIM (Art.6)*:

- 1° gennaio 2019: lavori complessi con importo superiore ai 100 milioni di euro
- 1° gennaio 2020: lavori complessi con importo superiore ai 50 milioni di euro
- 1° gennaio 2021: lavori complessi con importo superiore ai 15 milioni di euro
- 1° gennaio 2022: opere di importo superiore alla soglia decretata dall'art.35 del codice dei contratti (soglie di rilevanza comunitaria – 5.225.000 euro per appalti riguardanti lavori pubblici)
- 1° gennaio 2023: opere di importo superiore al milione di euro
- 1° gennaio 2025: opere di importo inferiore al milione di euro

3. *Contenuti del Capitolato BIM (Art.7)*:

- Requisiti Informativi: livelli di definizione dei contenuti informativi (LOD)
- Requisiti di produzione, gestione e trasmissione dei contenuti informativi in connessione con gli obiettivi decisionali e gestionali.
- Anche subappaltatori e subfornitori concorrono nelle stesse modalità
- In via transitoria, la prevalenza contrattuale è elettronica
- Dall'introduzione dell'obbligo, la prevalenza contrattuale è elettronica

4. *Commissione di Monitoraggio (Art.8)*:

- Presso il Ministero delle Infrastrutture per monitorare gli esiti e le difficoltà incontrate nelle Stazioni appaltanti nell'applicazione del decreto

¹⁵ <http://www.gisinfrastrutture.it/2018/02/la-normativa-bim-per-la-pubblica-amministrazione-e-le-stazioni-appaltanti/>

Un altro riferimento importante per il mondo del Building Information Modeling in Italia è la **Norma UNI 11337:2017** "*Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni*"¹⁶ redatta da un gruppo di lavoro comprendente: enti pubblici, associazioni, aziende di progettazione e costruzione e aziende di sviluppo software. Questo documento, fondamentale per tutti gli utenti BIM, viene approvato nel dicembre del 2016 con le parti 1,3,4,5 e 6. Le successive parti verranno rilasciate nel corso 2018. La norma in dettaglio presenta¹⁷:

1. *UNI 11337-1*: interessa gli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel settore dell'AEC quali: modelli, elaborati ed oggetti.
2. *UNI 11337-2 ed aggiornamento UNI 11337-3*: interessa la codifica e la classificazione utilizzando strumenti informatici
3. *UNI 11337-3*: comprende schede informative sui LOI e LOG
4. *UNI 11337-4*: definisce il *LOD, Level of Development*, ossia il livello di definizione a livello informativo degli oggetti in base alla fase di lavoro.
5. *UNI 11337-5*: definisce le metodologie di gestione dei modelli e degli elaborati.
6. *UNI 11337-6*: contiene un esempio di capitolato informativo
7. *UNI 11337-7*: definisce i ruoli delle nuove figure professionali presenti nei team di lavoro che utilizzano gli strumenti BIM: BIM Modeler, BIM Specialist, BIM Coordinator e BIM Manager.
8. *UNI 11337-8*: definisce le linee guida per l'applicazione del BIM ai processi di gestione.
9. *UNI 11337-9*: definisce le nuove metodologie di rilievo digitale, le regole per la condivisione delle informazioni su "*piattaforme digitali di collaborazione*", le regole per la creazione di un "*Fascicolo del Costruito*" digitale e informazioni di "*Due Diligence*".
10. *UNI 11337-10*: tratta le nuove tematiche BIM in tema di gestione amministrativa.

Purtroppo, nel Decreto Ministeriale non si fa alcun riferimento alle norme UNI 11337:2017, in quanto incomplete al momento della scrittura del DM.

¹⁶ <https://www.uni.com/>

¹⁷ <http://www.gisinfrastrutture.it/2017/10/norma-uni-11337-sul-bim-in-arrivo-nuove-parti/>

1.4. Interoperabilità, formati standard di scambio e software parametrici di modellazione informativa



Figura 4: Interoperabilità tra software¹⁸

Nel mondo del BIM ricoprono un ruolo fondamentale i software per la modellazione parametrica informativa utili per la creazione dei *Building Information Model*. A livello internazionale, il mercato offre diversi tipi di software BIM, ma i più diffusi negli studi di progettazione sono sicuramente *Autodesk Revit*, *ArchiCAD*, *Allplan* e *Digital Project*. La scelta del software è subordinata sia alle funzioni che esso offre sia alla possibilità di cooperare e scambiare informazioni con altri software, al fine di applicare quei concetti di **interoperabilità** che sono alla base del Building Information Modeling. Risulta quindi importante anche conoscere i formati standard di scambio degli strumenti BIM utilizzati per ottimizzare il flusso informativo tra le diverse applicazioni e i diversi professionisti.

¹⁸ <https://www.buildingincloud.net/software-bim-guide/>

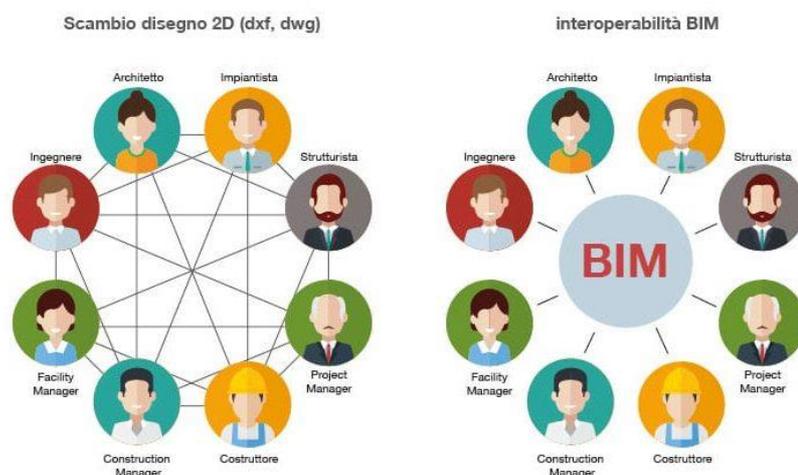


Figura 5: Concetto di Interoperabilità nel BIM¹⁹

Il termine Interoperabilità indica la possibilità di trasferire informazioni geometriche ed alfanumeriche attraverso un formato di scambio codificato e accettato dalla comunità internazionale. Questi formati di scambio, definiti *Open Standard*, sono quindi la chiave dell'interoperabilità. Ad oggi, il numero dei formati di scambio tende a salire, ma tra i più rilevanti troviamo:

- *Il Formato IFC (Industrial Foundation Classes)*: è un formato neutrale e aperto, non controllato da nessuna software house che consente di esportare modelli digitali informativi contenenti molteplici informazioni, da quelle geometriche a quelle informative, distinguendo tutte le entità dei componenti edilizi (muri, solai, finestre, porte, etc.) e importando tutte le informazioni ad essi associati (proprietà fisiche, quantità, classificazione, etc.) senza la perdita di alcun dato. Il formato è stato sviluppato dall'IAI (International Alliance of Interoperability) ora BuildingSMART e include più di 600 classi di oggetti e relative proprietà. Dato il rigido sistema di filtraggio dati, l'importazione e l'esportazione dei dati con questo tipo di formato non sono sempre corrette.
- *Il Formato FBX (Filmbox)*: è un formato file proprietario sviluppato da Kaydara e acquistato nel 2006 dalla Autodesk. Questo tipo di formato non è supportato da tutti i software, quindi il processo di interoperabilità risulta non sempre fattibile, tuttavia i risultati ottenuti attraverso esportazioni e importazioni in .fbx risultano comunque apprezzabili.

¹⁹ http://biblus.acca.it/wp-content/uploads/2017/02/grafico_IFC-e1486640213255.jpg

- *Il Formato gbXML (Green Building XML)*: è un formato file sviluppato dalla Green Building Studio Inc. ma acquistato dalla Autodesk. È stato ideato allo scopo di raccogliere dati numerici ed alfanumerici necessari allo sviluppo di simulazioni energetiche poiché permette di conservare le caratteristiche termiche dei materiali inseriti nel modello attraverso una propria libreria. Consente infatti ai progettisti di reperire informazioni a livello di consumo energetico degli edifici. Come per il formato .ifc, dato il rigido sistema di filtraggio dati è molto rigido per cui l'importazione e l'esportazione dei dati con questo tipo di formato non sono sempre corrette.

Una volta individuati i più importanti formati standard di scambio, possiamo ora vedere, come questi influiscono nella scelta del software di modellazione:

Come già accennato, **ArchiCAD**, è stato il primo software ad adottare le metodologie BIM. Sviluppato nel 1982 dalla Graphisoft, ArchiCAD è nato prima come un prodotto CAD capace di restituire disegni sia in due dimensioni che in tre dimensioni venendo definito come "software verticale". Successivamente viene implementato dando la possibilità agli utenti di inserire dei dati parametrici all'interno degli oggetti del modello creando così un vero e proprio edificio virtuale comprensivo di informazioni. ArchiCAD funziona su MacOS e Windows supportando le versioni a 32 e a 64 bit dei sistemi operativi. Ha un'interfaccia ben realizzata con cursori intelligenti che ne rendono semplice l'utilizzo. È possibile gestire facilmente tutte le tavole, le quali si aggiornano automaticamente in seguito alle modifiche che vengono apportate al modello dando la possibilità anche di inserire nel layout dettagli, sezioni e immagini 3D. Include, inoltre, la possibilità di modellazione su larga scala (permettendo la pianificazione di un sito), ma anche di dettaglio (permettendo la modellazione e l'organizzazione degli interni).

Introdotta sul mercato nel 2002 dalla Autodesk che ne acquista i diritti da una startup, **Revit** è sicuramente il software BIM più diffuso a livello internazionale. La software house, mette a disposizione un insieme di prodotti integrati che ad oggi include: *Revit Architecture*, *Revit Structure* e *Revit MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing)* che funzionano sia su Windows OS che su MacOS (in quest'ultimo utilizzando una partizione Windows creata con il plug-in BootCamp) e su sistemi operativi a 32 e a 64 bit.

AllPlan è un software prodotto dal gruppo Nemetschek che permette di costruire modelli digitali parametrici e presenta, come Revit, diversi moduli integrati: *AllPlan Architecture* (per la progettazione architettonica), *AllPlan Engineering* (per la progettazione strutturale e civile), AllPlan BCM (Building Cost and Management, per la pianificazione e analisi dei costi), *AllPlan Alfa* (per il Facility

Management FM). Punto di forza di questo software è la possibilità di modellare anche solidi avanzati grazie alla connessione diretta con Rhinoceros.

*“Sviluppato da Ghery Technologies, **Digital Project (DP)** è una personalizzazione elettronica e costruttiva di CATIA di Dassault, la prima piattaforma di modellazione parametrica al mondo per grandi sistemi dell'industria aerospaziale e automobilistica”²⁰. DP dunque è un software di modellazione molto potente, che ha bisogno di una piattaforma altrettanto potente per funzionare correttamente oltre che di una scheda grafica OpenGL. È supportato su hardware con sistemi operativi da Windows XP in poi sia a 32 che a 64 bit. È uno strumento molto complesso, non molto intuitivo, che ha bisogno di tempo e pratica per essere governato alla perfezione. Ha come punto di forza quello di poter sviluppare oggetti parametrici complessi, molto utile quindi per gestire e modellare elementi per la fabbricazione.*

²⁰ Eastman, et al., 2015

1.5. LOD

Come per il disegno in due dimensioni, in cui il livello di dettaglio aumenta in funzione della scala grafica, anche nel Building Information Modeling avremo una modellazione più o meno dettagliata in base al tipo di informazione che vogliamo comunicare. Questi standard quindi sono da definirsi fin dall'inizio, concordando con i vari professionisti qual è il livello di dettaglio sia geometrico che informativo da raggiungere, in modo tale da orientare la modellazione in quella direzione.

Per tale ragione, l'AIA (*American Institute of Architects*) ha introdotto il concetto di **LOD** nella doppia accezione di **Level Of Development** e **Level Of Details**. I LOD permettono quindi di stabilire la reale affidabilità delle informazioni inserite in un modello digitale.

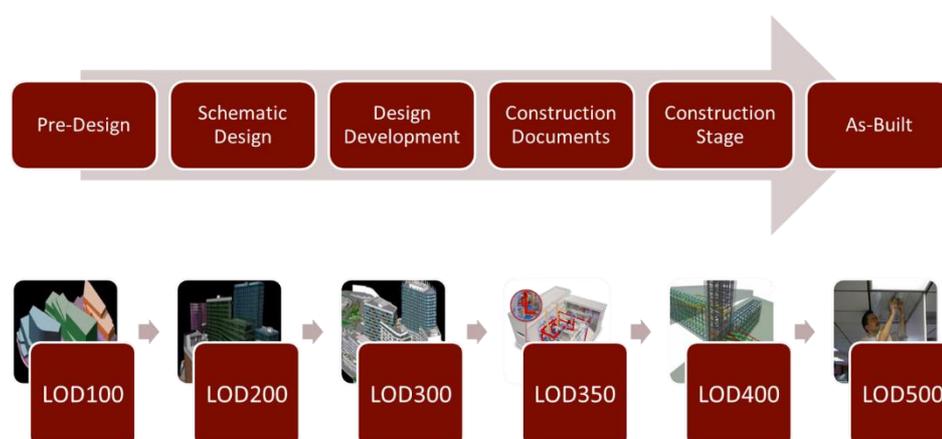


Figura 6: Schema dei LOD²¹

A livello normativo, l'unica fonte a cui possiamo fare riferimento per avere un quadro generale dei vari livelli è la norma *G202-2013, Building Information Model Protocol Form* elaborata dall'AIA e che suddivide i vari livelli LOD in questo modo: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400 e LOD 500 a seconda del crescente valore informativo e geometrico che si conferisce all'elemento.

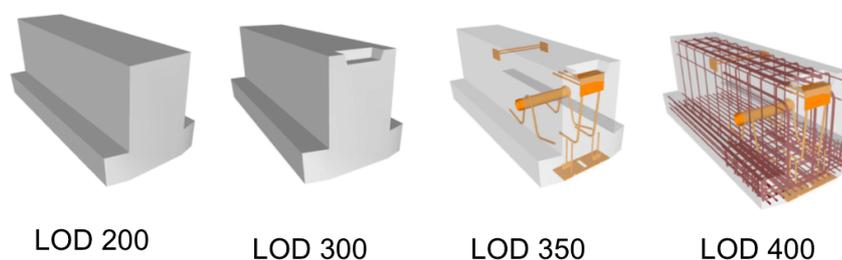


Figura 7: Esempio di LOD secondo la G202/2013 applicato ad una trave rovescia²²

²¹ <http://www.cmcs.co/wp-content/uploads/2016/01/ArticleSGBIMPLC.png>

²² <http://blog.areo.io/content/images/2016/12/LED-BIM-example.png>

Anche la normativa italiana dà una definizione ai vari livelli di dettaglio nella parte 4 della norma *UNI 11337-4* sulla falsa riga della normativa americana. In particolare, la norma UNI fa una distinzione di LOD (che in questo caso viene definito come *Livello di Sviluppo di un oggetto digitale*) per interventi di nuova costruzione o di restauro. Per gli **Interventi di nuova costruzione** abbiamo sette livelli di LOD che vanno da **A** a **G** a seconda del livello informativo e geometrico dell'elemento.

Per quanto riguarda invece la scala **LOD per il restauro e la conservazione di edifici esistenti di interesse culturale dichiarato**, il livello di dettaglio va definito a seconda del tipo di intervento che si va ad effettuare sul manufatto. Dato l'alto livello di dettaglio che caratterizza la modellazione informativa per il patrimonio culturale, possono tuttavia essere applicate delle semplificazioni per eventuali interventi che non necessitano di un alto livello di precisione geometrica. La norma a riguardo definisce (le seguenti definizioni sono prese dalla *Norma UNI 11337-4 pag.9*):

- **LOD A-E**: Per interventi di restauro i LOD da A a E non sono significativi se non per alcune opportune semplificazioni dei modelli di natura specialistica.
- **LOD F**: Gli oggetti esprimono la virtualizzazione verificata sul luogo dello specifico sistema produttivo eseguito/costruito (as-built). Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazioni, dimensione, forma, ubicazione, orientamento, costo, ecc.) sono quelle specifiche del singolo oggetto, identificando possibili astrazioni che consentano di raggruppare insieme di oggetti simili o aggregazioni di oggetti coerenti. Sono definiti per ogni singolo sistema produttivo del prodotto posato o installato. Sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione da eseguirsi lungo un arco temporale di programmazione.
- **LOD G**: Gli oggetti esprimono la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto di una entità in un tempo definito. Rappresentazione storicizzata allo scorrere della vita utile di uno specifico sistema aggiornato rispetto a quanto trattato o installato in un precedente intervento. Le caratteristiche quantitative e qualitative (prestazioni, dimensione, forma, ubicazione, orientamento, costo, ecc.) sono aggiornate rispetto ad un precedente stato di fatto. È annotato ogni singolo (e significativo) intervento di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione eseguito nel tempo, così come sono registrate le forme di degrado eventualmente in essere.

In conclusione, il LOD rappresenta sostanzialmente la quantità e la qualità delle informazioni inserite nel modello digitale parametrico sia a livello geometrico (*Level of Details*) sia a livello di sviluppo

(Level of Development) non per forza vincolati fra di loro, fornendo un grado di completezza su cui tutti i professionisti BIM possono fare affidamento. Va quindi definito l'obiettivo finale della progettazione e di conseguenza modellare con un LOD ben definito.

1.6. HBIM

Il patrimonio immobiliare italiano, è principalmente costituito da edifici storici che necessitano di interventi di manutenzione periodica, soprattutto quelli di importanza storica e monumentale. Questo implica non solo il rispetto, in tutti gli ambienti, degli standard di salubrità dell'aria, di sicurezza, di accessibilità e di decoro imposti dalla normativa, ma anche una particolare attenzione nella gestione dei documenti relativi ai manufatti al fine di controllare e conoscere adeguatamente lo stato di salute e conservazione degli edifici durante tutto il ciclo di vita utile dell'edificio.

In tal senso la comunità scientifica, ed in particolare Maurice Murphy della Dublin Institute of Technology, il primo a coniare l'acronimo, si sta occupando da alcuni anni di **HBIM (Historic Building Information Modeling)**²³ proponendo strumenti, approcci e metodi per la gestione del patrimonio culturale. Questo nuovo approccio andrà a migliorare le attività dei progettisti in materia di interventi di miglioramento, ristrutturazioni e restauri conservativi in quanto facilitano di molto il reperimento del materiale utile, sostituendo la moltitudine di documenti di rilievo non sempre precisi.

L'HBIM si differenzia dal BIM fondamentalmente per il tipo di informazioni contenute al suo interno e il tipo di approccio alla modellazione. Mentre il BIM aiuta i professionisti del mondo dell'AEC a coordinare le varie fasi del processo edilizio con i vari attori che inseriscono all'interno del modello le proprie competenze (architettoniche, strutturali ed impiantistiche), l'HBIM invece, si concentra sul rilievo finalizzato alla conoscenza dello stato di conservazione dei luoghi e dei materiali, fornendo al progettista uno strumento di conoscenza a supporto delle investigazioni diagnostiche e delle analisi per il recupero. È chiaro quindi che per rendere la conoscenza del manufatto architettonico completa, le due fasi fondamentali dell'HBIM sono il rilievo e modellazione.

Per quanto riguarda il rilievo, la ricerca si sta orientando verso sistemi all'avanguardia appoggiandosi a metodi di rilevamento accurati come le scansioni laser scanner terrestri o la fotogrammetria digitale ad alta definizione.

Anche la modellazione è importante, poiché *“per l'approccio HBIM [...] il modello geometrico costituisce “l'indice dei contenuti”, consultabile per raggiungere i dati ad esempio del singolo componente dell'impianto, del degrado del sistema strutturale o dell'impresa che da ultima ha eseguito un intervento, a seconda del livello di dettaglio raggiunto dal database”*²⁴. È utile, dunque,

²³ Murphy, McGovern, & Pavia, 2009

²⁴ <https://www.ingenio-web.it/4788-hbim-nellesistente-storico-potenzialita-e-limiti-degli-strumenti-integrati-nel-recupero-edilizio>

comprendere le finalità del nostro modello digitale informativo e orientare la modellazione di conseguenza, poiché questo tipo di approccio prevede, una modellazione più laboriosa rispetto al BIM per la complessità che caratterizza i manufatti di importanza storico monumentale.

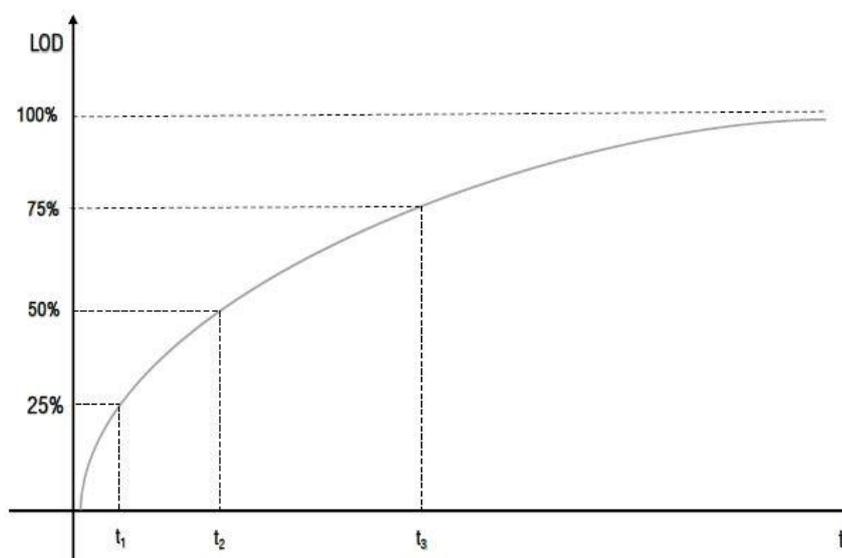


Figura 8: Grafico LOD-Tempo

“in generale le prospettive di ricerca nell’ambito dell’HBIM per i prossimi anni sono lo sviluppo di tutta la filiera di gestione del manufatto architettonico all’interno di un unico ambiente centralizzato e parametrico dalla fase di rilievo e conoscenza alla fase di cantiere, restauro e/o manutenzione, potendo creare precondizioni ed elaborati per la comunicazione e la valorizzazione del patrimonio costruito anche in ambienti di realtà virtuale e/o aumentata”²⁵.

²⁵ Continenza, Giannangeli, Quattrini, Trizio, & Tata, 2016

2. Virtual Reality e Augmented Reality

Al giorno d'oggi, tecnologie sempre più avanzate stanno rivoluzionando il nostro modo di vivere e lavorare. La rappresentazione dell'informazione sta subendo un processo di digitalizzazione attraverso lo sviluppo di software e hardware sempre più innovative che permettono di sovrapporre contenuti virtuali alla realtà. Recenti previsioni, asseriscono che *Realtà Virtuale (VR)* e *Realtà Aumentata (AR)* costituiranno una nuova ondata di crescita tecnologica, la quarta dopo l'arrivo del personal computer, la diffusione di internet e quella degli smart device.



Figura 9: VR e AR nell'edilizia²⁶

È necessario dunque definire cosa sono e quali sono le principali differenze tra *Virtual Reality (VR)* o *Realtà Virtuale* e *Augmented Reality (AR)* o *Realtà Aumentata*.

Per **Realtà Virtuale (VR)** intendiamo una metodologia capace di “replicare” la realtà nel modo più fedele possibile dal punto di vista sensoriale (nel campo visivo, uditivo e addirittura olfattivo) dando la possibilità di compiere azioni nello spazio virtuale creato, superando anche i limiti fisici. Le tecnologie VR utilizzano un sistema *immersivo* capace di “catapultare” l'utente in un'altra realtà completamente generata da un computer ma che mantenga le stesse caratteristiche.

²⁶ <https://cdn.redshift.autodesk.com/>

Queste tecnologie ben si prestano quindi con i modelli tridimensionali digitali di un progetto prodotte mediante le tecniche di *Building Information Modeling*, dando la possibilità all'utente di "entrare" nel modello, nel caso ad esempio di edifici di nuova costruzione, per verificare incongruenze di progetto o interferenze, prima ancora della messa in opera, limitando così gli errori e gli sprechi già in fase di progettazione.



Figura 10: Virtual Reality²⁷

L'**Augmented Reality (AR)**, invece, nasce con l'intento di arricchire la nostra percezione sensoriale, aggiungendo vari livelli di informazioni che non sarebbero percepibili attraverso i cinque sensi. L'espressione fu coniata per la prima volta nel 1992 dal ricercatore *Thomas Preston Caudell* della *Boeing Caudell* e viene sviluppata inizialmente in campo militare per le simulazioni di guida assistita per poi estendersi successivamente ad altri campi come il marketing e il turismo fino ad arrivare ai videogiochi e al turismo.

"Le informazioni che aumentano la realtà percepita possono essere aggiunte sullo schermo di un computer o dispositivi mobili (smartphone, tablet, smart glass), tramite una webcam che riprende il mondo circostante e i relativi software, in grado di riconoscere appositi marcatori (AR Tag), che immediatamente sovrappongono all'immagine reale contenuti aggiuntivi come video, audio, oggetti

²⁷ <https://www.biblos.acca.it/>

3D e così via. È ad esempio possibile inquadrare un oggetto con il proprio cellulare e avere immediatamente informazioni di vario tipo su questo oggetto.”²⁸

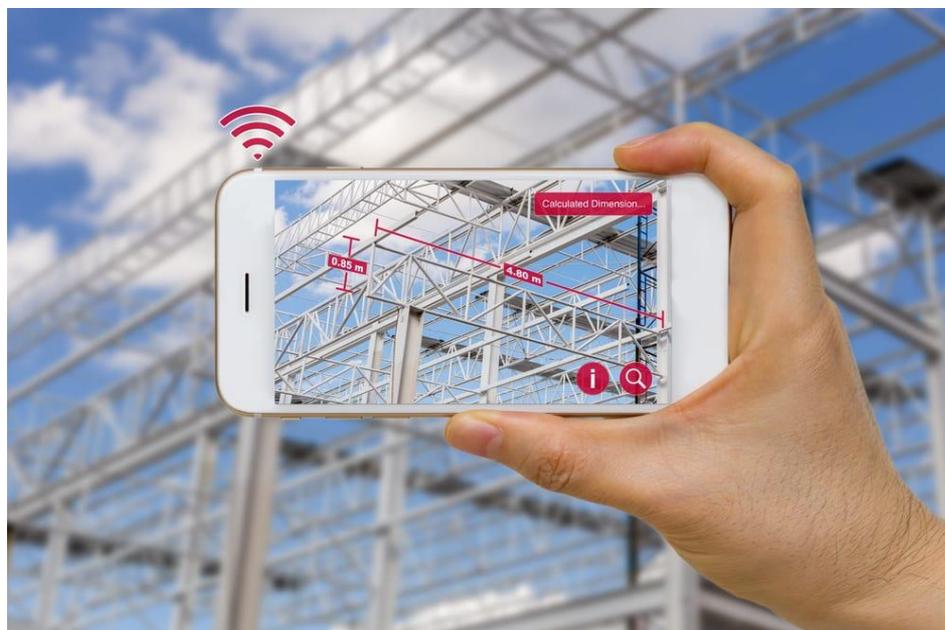


Figura 11: Esempio di Augmented Reality applicato all'edilizia

Negli ultimi anni, la realtà aumentata si sta sviluppando anche nel mondo dell'AEC poiché i dati e gli elementi di un *Building Information Model* ben si prestano alla possibilità di essere “aumentati” per dare una visione più ampia del progetto al progettista, al direttore dei lavori o al manutentore offrendo una consultazione delle informazioni inserite nel modello in maniera sovrapposta alla realtà, siano esse di carattere architettonico, strutturale o impiantistico.

Ad esempio, utilizzando queste tecnologie associate ad un *Building Information Model*, un manutentore potrebbe utilizzare un supporto digitale (tablet o smartphone) per geolocalizzarsi nell'edificio esistente, che possiede un suo modello BIM e consultare schede tecniche e schede di montaggio o per rilevare l'esatta posizione delle componenti dei vari impianti o addirittura inserire animazioni per mostrare le corrette operazioni di manutenzione da eseguire.

Per rendere possibile ciò, è indispensabile che venga creato un database delle informazioni relative alle componenti, individuando i diversi livelli di manutenzione e per ciascuno di essi definire i contenuti che devono essere visualizzati in realtà aumentata per facilitarne la manutenzione. Gli operatori potranno così connettersi con il loro supporto digitale alla rete aziendale e visionare i dati

²⁸ Acca Software, 2018

di cui necessitano per svolgere le operazioni di manutenzione eliminando così tutto il materiale cartaceo evitando così errori e sprechi di denaro.

2.1 Strumenti di visualizzazione VR

I device utilizzati per la visualizzazione, riescono a garantire un'esperienza più immersiva rispetto a quella offerta dai classici display, sfruttando un sofisticato sistema di lenti che ci consente di avere lo schermo a pochissima distanza dagli occhi, riuscendo a ricreare un'immagine completamente in tre dimensioni capace di dare una sensazione di totale immersione nel modello virtuale. Per questo motivo sono stati utilizzati, per aumentare l'esperienza immersiva dell'utente, due delle tecnologie VR presenti sul mercato: Oculus Rift e gli HTC Vive.

Oculus Rift è una tecnologia costituita da un visore che permette la visualizzazione virtuale (*HMD*, *head-mounted display*). È stato ideato principalmente per il *gaming*, per permettere una giocabilità quanto più realistica possibile, ma viene usato anche nell'ambito dell'AEC per fornire ai clienti esperienze coinvolgenti.

Le principali caratteristiche del dispositivo sono la bassa latenza ed un ampio campo visuale, comprendente una vista 3D stereoscopica, circa 100° di campo visivo, un giroscopio, un accelerometro ed un magnetometro per determinare l'orientamento dell'utilizzatore rispetto al mondo reale. La scena tridimensionale viene replicata in corrispondenza di ogni occhio offrendo una risoluzione di 1280x800 pixel a schermo intero e una risoluzione effettiva per occhio di 640x800 pixel. Le lenti grazie ad una distorsione a cuscino dell'immagine offrono un maggiore campo visivo.

Oculus offre molti formati di esportazione a seconda dello strumento utilizzato per la visualizzazione: Web Player, Pc Mac e Linux Standalone, Android, Google Native Client, iOS, Xbox 360, Playstation 3 e 4. Una volta creato il file per Oculus, è possibile aprire il modello con lo strumento di visualizzazione permettendo così all'utente di esplorare il modello attraverso il movimento della testa e muovendosi attraverso le frecce della tastiera²⁹.

²⁹ <https://www.oculus.com/rift/>



Figura 12: Oculus Rift

HTC Vive è una tecnologia composta da un visore per l'immersione virtuale, da due controller manuali e da due sensori (*base station* o *fari*) che hanno la funzione di individuare l'utente all'interno di un cubo virtuale compreso tra i due sensori posti agli antipodi della stanza. Gli HTC Vive supportano una distanza tra le base station massima di 5 metri sufficiente a coprire una stanza di 12 metri quadrati. Il visore HTC Vive dispone di due display OLED da 1080x1200 pixel per una risoluzione complessiva di 2160x1200 pixel³⁰.



Figura 13: HTC Vive

³⁰ <https://www.vive.com/eu/>

3. Caso Studio: Il Castello di Serralunga d'Alba

3.1. Inquadramento Territoriale

Serralunga d'Alba è un piccolo comune di 530 abitanti nella provincia di Cuneo, in Piemonte. Il comune si colloca nell'estremo lembo Nord – Occidentale del sistema collinare delle Langhe vantando un'estensione di 3.051 ettari di territori fulcro della produzione del vino Barolo. Insieme ai comuni di Barolo, Castiglione Falletto, Diano d'Alba, La Morra, Monforte d'Alba e Novello costituiscono la *Langa del Barolo*.



Figura 14: Langa del Barolo³¹

“Il paesaggio che caratterizza la “Langa del Barolo” è un paesaggio prevalentemente monoculturale, i vigneti si estendono con continuità sui pendii dei versanti collinari, intervallati qua e là da borghi di impianto medioevale dai quali spesso si ergono imponenti castelli. Il binomio che nasce dall'accostamento “vigneto – castello” contribuisce a rendere questo paesaggio unico e le architetture difensive diventano icone di un panorama collinare incomparabile. Numerosi sono i luoghi

³¹ <https://www.google.it/maps/>

*connessi alla produzione del Barolo, ne sono esempio le aziende vitivinicole storiche, la cui fondazione risale ad un tempo oramai a noi lontano, che hanno posto le basi per la creazione di un prodotto così singolare nel suo essere. Si citano i possedimenti della Tenuta Fontanafredda, appartenuti alla casa Reale dei Savoia, e le proprietà della Famiglia Falletti di Barolo*³².

Le Langhe, per la bellezza dei paesaggi caratterizzati principalmente dai vigneti, sono sito patrimonio mondiale dell'UNESCO ed in particolare, l'**Associazione per il Patrimonio dei Paesaggi Vitivinicoli di Langhe Roero e Monferrato** di Alba, è la referente principale per la moltitudine di soggetti coinvolti in un territorio patrimonio dell'UNESCO come quello delle Langhe, incaricata dell'attuazione delle strategie e dei progetti del piano di gestione del sito candidato e del relativo Piano di Monitoraggio.

Gli obiettivi primari dell'associazione riguardano l'approfondimento della conoscenza del patrimonio culturale e paesaggistico che caratterizza il sito, la sua valorizzazione, la promozione e la sensibilizzazione, insieme alla ricerca di uno sviluppo socio-economico integrato dei territori, in coerenza con i valori della candidatura, creando una rete di realtà impegnate nella promozione e valorizzazione del territorio, nonché nello sviluppo di turismo culturale e sostenibile.

In particolar modo, nel 2006 è stata emanata la **Legge n. 77 Misure speciali di tutela e fruizione dei siti italiani di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella Lista del Patrimonio Mondiale, posti sotto la tutela dell'UNESCO**, una legge fondamentale per il lavoro di valorizzazione delle Langhe Roero e Monferrato, poiché per la prima volta si stabiliva normativamente che *"i siti UNESCO, per la loro unicità, sono punti di eccellenza del Patrimonio culturale, paesaggistico e naturale italiano, nonché elementi fondanti della rappresentazione del nostro Paese a livello internazionale. La Legge 77, che prevede anche interventi finanziari a sostegno delle attività di valorizzazione, comunicazione e fruizioni dei siti stessi (art. 4), ha inoltre formalmente riconosciuto i Piani di gestione richiesti dall'UNESCO quali strumenti atti ad assicurare la conservazione dei siti e a creare le condizioni per la loro valorizzazione (art. 3)"*³³.

Questa legge, quindi, diventa un riferimento fondamentale per gli enti preposti alle attività di tutela, conservazione e valorizzazione o che sono soggetti di riferimento per le azioni legate alla conoscenza, alla sensibilizzazione, alla promozione economica dei siti UNESCO Italiani.

³² <http://www.paesaggivitivinicoli.it/patrimonio/la-langa-del-barolo/>

³³ <http://www.paesaggivitivinicoli.it/associazione/legge-77/>

3.2. Indagini Storiche

Il Castello di Serralunga d'Alba, nella sua forma attuale, è il risultato delle varie trasformazioni susseguitesi nel corso dei secoli. Sono state dunque necessarie delle indagini storiche e sopralluoghi per comprendere al meglio la nascita e le varie fasi costruttive di questo castello.

Grazie all'accesso all'archivio permessomi dall'*Associazione per il Patrimonio dei Paesaggi Vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato*, è stato possibile constatare l'evidente assenza di sostanziale materiale storico e bibliografico e il poco materiale recuperato ha permesso solo una parziale ricostruzione delle vicende storiche e costruttive legate al castello.



Figura 15: Castello di Serralunga d'Alba³⁴

Il **castello di Serralunga d'Alba**, in provincia di Cuneo, è da molti oggi considerato uno degli esempi meglio conservati di castello nobiliare trecentesco del Piemonte. Il bastione, che sovrasta il paese, sorge sul crinale del colle, a 415 metri sul livello del mare a dominio del caratteristico borgo e delle sue famose vigne, che rendono il territorio uno dei comprensori turistici più interessanti e di maggior sviluppo della regione.

“L'antico maniero è simbolo indelebile di questo paesaggio, colpendo immediatamente per lo slancio e la verticalità della sua architettura gotica. Nel XII secolo – epoca in cui i discendenti di Bonifacio del Vasto, Bonifacio Minore e Ottone del Carretto, erano i signori del luogo – una torre sovrastava e difendeva il borgo. Dopo essere stato acquistato nel 1190 da Manfredo di Saluzzo, il feudo pervenne

³⁴ <https://www.langhe.net/>

ai Falletti di Barolo, importante famiglia signorile delle Langhe: nel 1340 Petrino Falletti fece abbattere la torre, che lasciò il posto all'attuale castello.



Figura 16: Foto scattata durante il rilievo al portone d'ingresso del castello

*Dal tempo della sua costruzione ad oggi pochissimi rimaneggiamenti sono stati apportati all'edificio, che non subì gravi fatti d'armi e non fu mai trasformato in sede di villeggiatura, mantenendo dunque inalterata la struttura di una roccaforte medioevale. Il castello svolgeva, più che un ruolo militare, una funzione di controllo delle attività produttive locali, come dimostra la sua stessa struttura, estremamente slanciata e tesa a sottolineare in questo modo il prestigio della famiglia Falletti. Caso unico sul territorio italiano di **donjon** alla francese, esso consta di diverse parti, tra cui il Palacium, blocco compatto e allungato costituito da vaste sale sovrapposte, una torre cilindrica che presenta i caratteri più innovativi dell'architettura militare del Trecento, una torre quadrata ed una cappella, piccolo ambiente con volta a botte e affreschi databili alla metà del XV secolo che raffigurano il Martirio di santa Caterina d'Alessandria. All'interno, alcuni camini di notevoli dimensioni e soffitti lignei sono le uniche testimonianze rimaste degli arredi originali³⁵.*

Il castello fu, infine, acquistato dallo Stato nel 1949 per volere del Presidente della Repubblica Luigi Einaudi, originario di queste terre e l'anno successivo vennero avviati i primi importanti lavori di

³⁵ Moro, 2018

restauro dalla **Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici del Piemonte**, a cui esso viene affidato.



Figura 17: Foto scattata durante il rilievo di uno degli ambienti interni del castello

Nell'ambito della partecipazione al bando di finanziamento della *Legge n. 77/2006* con il progetto **Land(e)scape the disabilities - Un paesaggio per tutti** sono stati organizzati diversi sopralluoghi presso gli enti presenti su tutto il comprensorio di Langhe-Roero e Monferrato, per attestarne l'accessibilità degli spazi.

Durante i sopralluoghi sono stati effettuati dei rilievi, mediante distanziometro laser, degli accessi, dei collegamenti verticali (scale e rampe), dei collegamenti orizzontali, dei servizi e di alcuni ambienti interni. Alla fine del rilievo, è stato compilato un questionario per l'attestazione dell'accessibilità degli spazi.

Tra i diversi sopralluoghi effettuati c'era anche quello del Castello di Serralunga d'Alba, il quale è stato molto importante perché ha sancito un primo contatto diretto con il caso studio e inoltre, in seguito al rilievo, è stata constatata l'inaccessibilità dello stesso da parte degli utenti con disabilità motorie, dando un riscontro positivo al lavoro di tesi che vede lo sviluppo della realtà virtuale all'interno del modello BIM del castello come mezzo per renderlo accessibile a tutti anche se solo virtualmente.



Figura 18: Foto scattate durante il rilievo dell'ultimo piano, quello maggiormente interessato dagli interventi degli anni '50



Figura 19: Foto scattata durante il rilievo del piano nobile del castello con affresco sulla sinistra

4. La modellazione tridimensionale informativa

La prima, fondamentale, fase del lavoro è stata quella del reperimento del materiale sul castello e data la presenza di un precedente rilievo dello stesso effettuato dallo studio *Geomar*, è stato possibile ottenere i file in formato .dwg, gentilmente concessi dalla Soprintendenza ai Beni e alle Attività culturali nelle figure degli architetti Laura Moro e Silvia Valmaggi.

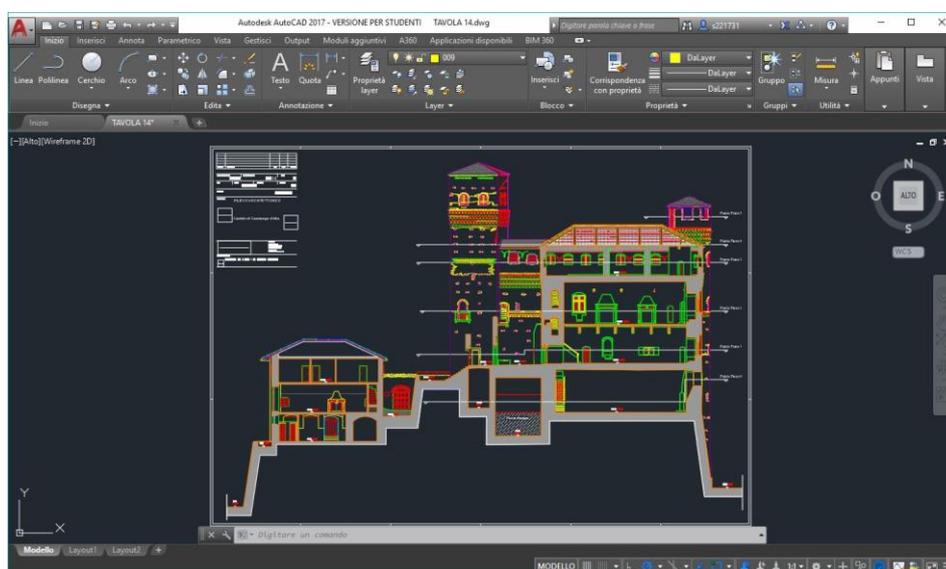


Figura 20: File .dwg di una sezione del castello

Ottenuta la base di partenza, è stato possibile passare alla fase di **modellazione parametrica tridimensionale** ossia a definire una qualsiasi forma tridimensionale in uno spazio virtuale e ad inserire dei parametri che tendono a definire la forma e le funzioni che essi assumono all'interno di un progetto.

Il fine della modellazione del castello, come detto in precedenza, è quella di fornire agli enti preposti alla sua valorizzazione: *l'Associazione dei Paesaggi vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato* e la *Soprintendenza ai Beni Architettonici e Paesaggistici*, un modello BIM che possa essere utilizzato sia per la creazione di un tour virtuale al suo interno sia come base per futuri piani di gestione in linea con le nuove direttive del *Codice degli Appalti Pubblici*. In base all'obiettivo prefissato, si decide che tipo di modellazione parametrica tridimensionale utilizzare tra: *Modellazione Architettonica*, *Modellazione Strutturale* e *Modellazione MEP*. Date le scarse informazioni strutturali e impiantistiche sul castello, si è optato per una *modellazione Architettonica*.

4.1. La modellazione architettonica

Questo tipo di modellazione riguarda elementi tridimensionali di tipo architettonico come: muri, infissi, solai, scale, volte, coperture, serramenti vari e morfologia del territorio. Trovandoci a dover modellare un edificio storico, rientriamo nel campo dell'**HBIM**, con tutte le peculiarità del caso come ad esempio la difficoltà di modellazione data dai continui dislivelli, dalle sezioni irregolari dei muri sia in spessore che in altezza con stratigrafie sconosciute e da particolari architettonici di difficile modellazione.

Bisogna quindi adottare un tipo di modellazione che permetta di ottenere un Building Information Model quanto più possibile vicino alla realtà, sfruttando le potenzialità dei software di modellazione parametrica che permettono l'utilizzo di tecniche come ad esempio la creazione di **Famiglie Parametriche Adattive** (come le volte) che usano i *punti di riferimento* per "adattarsi" ad ogni superficie o spazio. Grazie a questi punti, se dovesse essere apportata una modifica ad una delle superfici su cui poggia il punto di riferimento, questo automaticamente si sposta, riadattando l'elemento adattivo alla nuova configurazione. Queste tecniche possono risultare molto utili quando ci si appropria ad una modellazione HBIM, anche per quanto riguarda l'ottimizzazione dei tempi di lavoro (vedi grafico LOD-tempo di Figura 8).

Il software scelto per la modellazione parametrica è **Autodesk Revit** poiché il più adatto alle esigenze del lavoro di tesi, in quanto questa scelta porterà dei vantaggi in termini di interoperabilità con i software VR/AR.



Prima di partire con la modellazione, è stato necessario elaborare i file CAD forniti dalla Soprintendenza mediante il software **Autodesk AutoCAD**, al fine di ottenere una buona base di partenza. Ad esempio, si è resa necessaria la creazione di un file *.dwg* delle curve di livello, poiché, nel file fornitoci dalla Soprintendenza, le curve non possedevano le quote altimetriche ma solo le quote planimetriche, per questo motivo si è proceduto a fornire ogni curva della sua coordinata z in modo da poter ottenere un **Modello Digitale di Terreno** (DTM) una volta importato il file *.dwg* in Autodesk Revit.

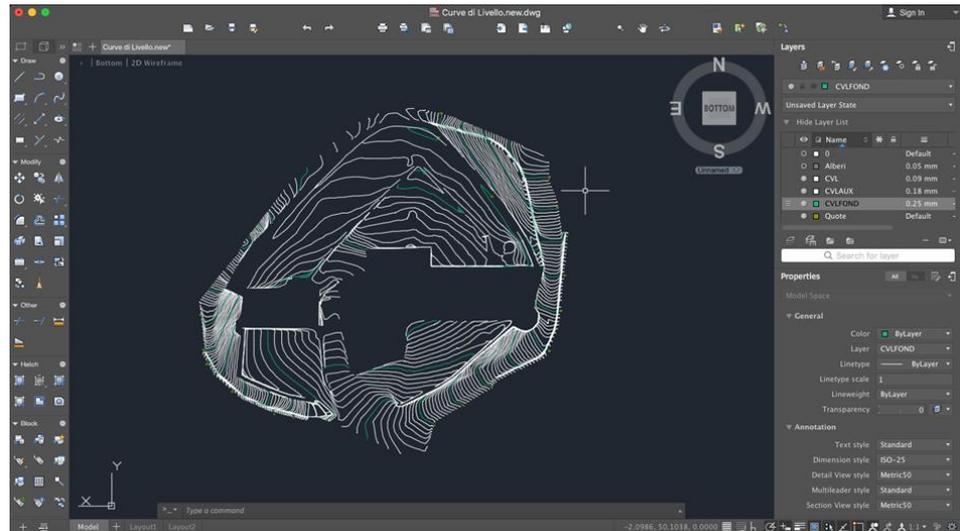


Figura 21: File .dwg delle curve di livello

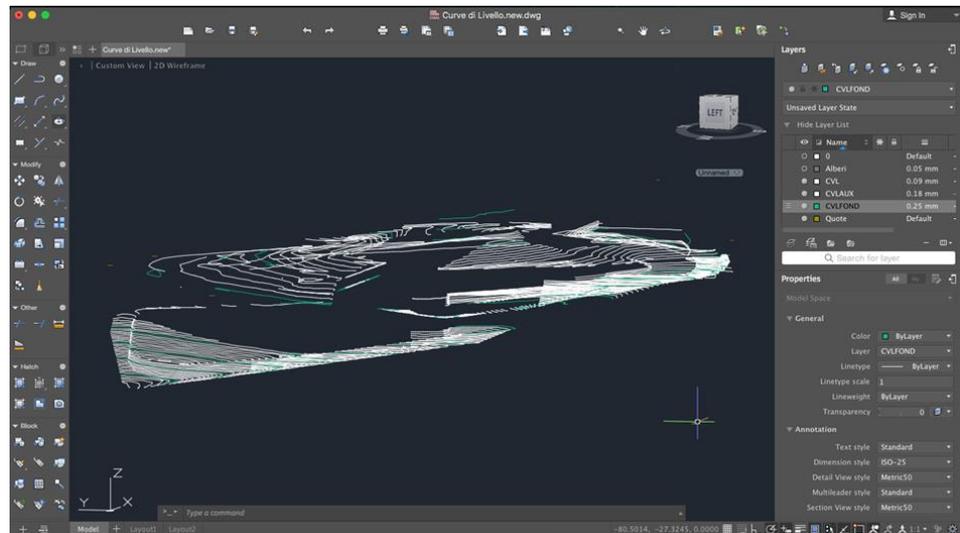


Figura 22: File .dwg delle curve di livello aggiornate con le relative quote dei punti

4.1.1. Creazione del DTM (Digital Terrain Model)

Una volta ottenuto il file di partenza delle curve di livello, si è potuto passare alla creazione del **DTM** in Autodesk Revit utilizzando una “superficie topografica creata con l'importazione del file .dwg delle curve aggiornato, mediante interpolazione delle quote delle curve di livello.

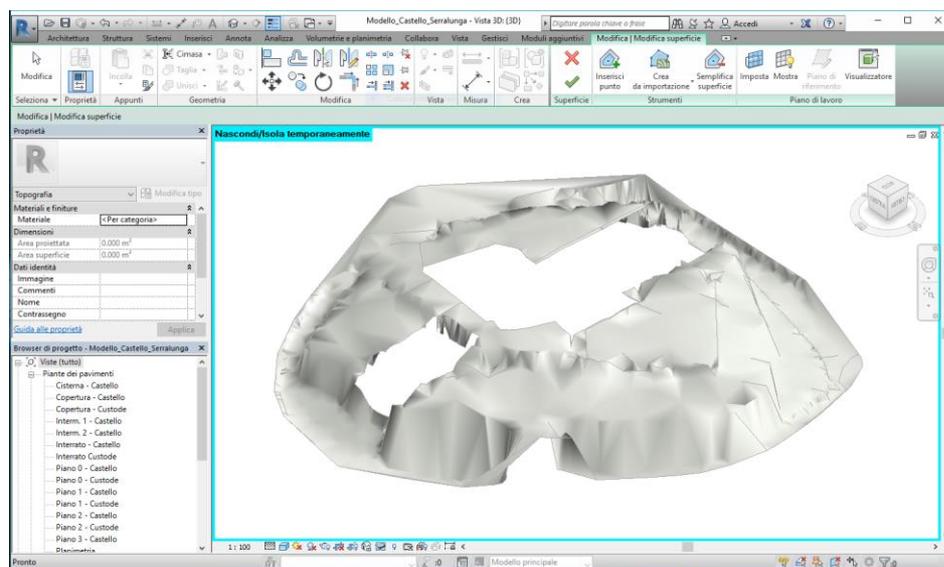


Figura 23: Creazione della superficie topografica (in modalità editing) mediante l'importazione delle curve di livello

Questo strumento, ha quindi fornito un valido punto di partenza per la modellazione, in quanto ci fornisce le corrette quote di partenza delle varie parti che costituiscono tutto il complesso del castello di Serralunga d'Alba. Tuttavia la superficie creata presenta imperfezioni in corrispondenza di alcuni cambi repentini di quota.

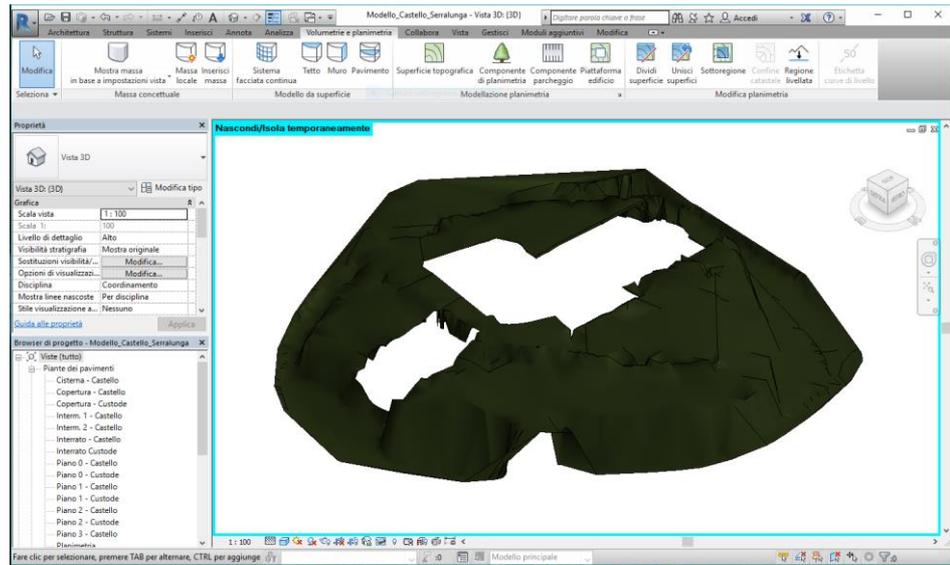


Figura 24: Superficie topografica ottenuta

4.1.2. Componenti orizzontali: i pavimenti

Una volta individuata la quota di partenza e definite le altre quote del progetto, si è passati alla modellazione dei solai. Revit, mette a disposizione diverse **Famiglie Pavimento di Sistema**, tuttavia, trattandosi del pavimento di un edificio storico non è stato possibile utilizzare un pavimento di sistema, per cui è stato necessario creare una Famiglia Pavimento.

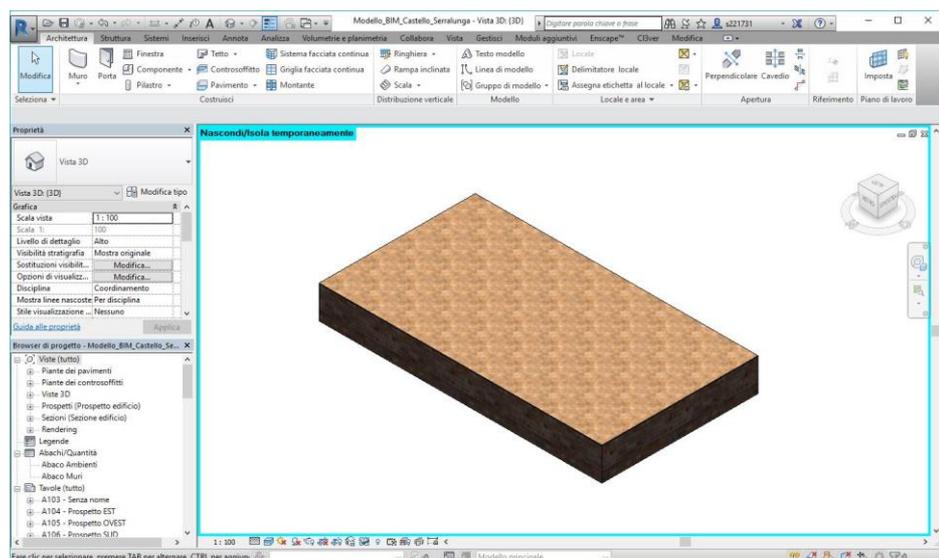


Figura 25: Creazione di un pavimento di sistema

Non essendo nota la stratigrafia del pavimento, ma solo le superfici di finitura, si è ipotizzato il mattone come materiale strutturale, in linea con le tecniche costruttive del tempo.

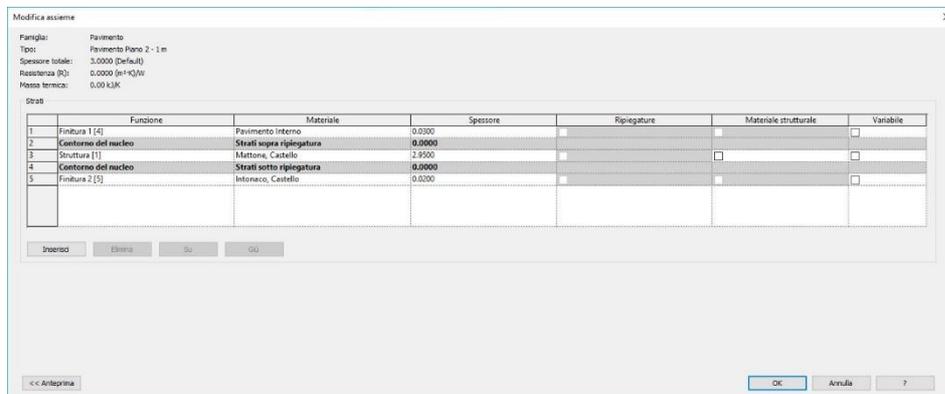


Figura 26: Finestra "modifica struttura"

4.1.3. Componenti verticali: le murature

Anche per quanto riguarda le murature, il software Revit mette a disposizione delle **Famiglie Muro di Sistema** o delle **Famiglie Locali**. Nel primo caso vengono generati, attingendo dalle diverse tipologie di muri predefiniti messi a disposizione dal software, degli elementi murari a sezione omogenea e perfettamente regolari per tutto il loro sviluppo. Le murature create come famiglie locali, invece, rispettano l'effettivo andamento del muro con tutte le sue irregolarità e risulta quindi la migliore soluzione per una modellazione HBIM, tuttavia sono poco gestibili all'interno del modello.

La scelta è quindi ricaduta sulla prima soluzione, trattando le irregolarità delle murature utilizzando dei vuoti generati attraverso dei "**modelli locali**", che vanno a sagomare la muratura a seconda delle esigenze. Le famiglie di sistema permettono, inoltre, di poter collegare ed integrare le informazioni del singolo muro all'interno del database utile alla fase di gestione.

Anche in questo caso, come per i pavimenti, le famiglie predefinite dei muri, non soddisfano a pieno le esigenze, per cui è possibile intervenire sui parametri costruttivi come la tipologia, la stratigrafia, il materiale e gli spessori degli strati e modificare la composizione del materiale.

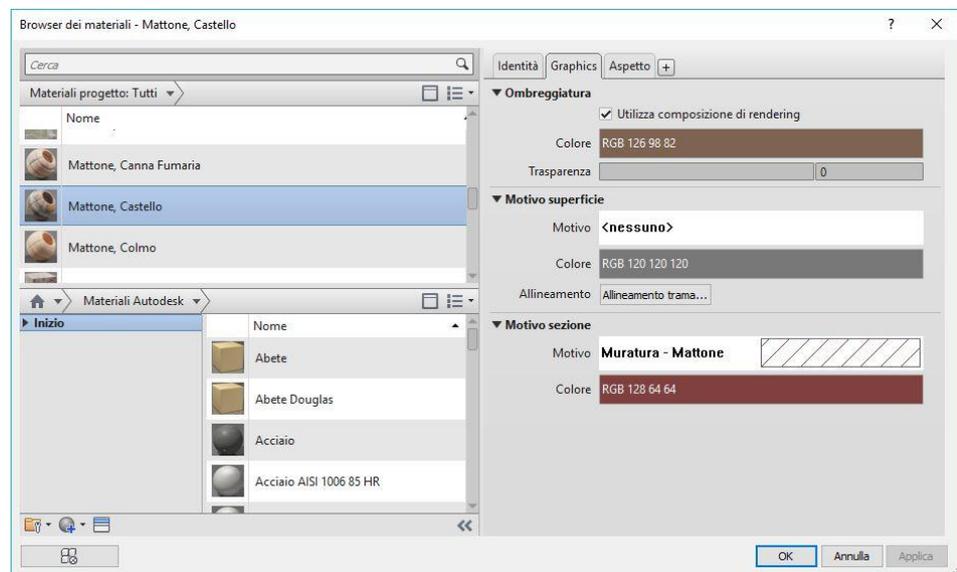


Figura 27: Finestra "Browser dei materiali" in cui poter selezionare i materiali da assegnare agli strati

Come è possibile notare nella figura 28, il software, in corrispondenza di parti sezionate di muri irregolari, presenta delle imperfezioni nella restituzione grafica evidenziando un limite del software.

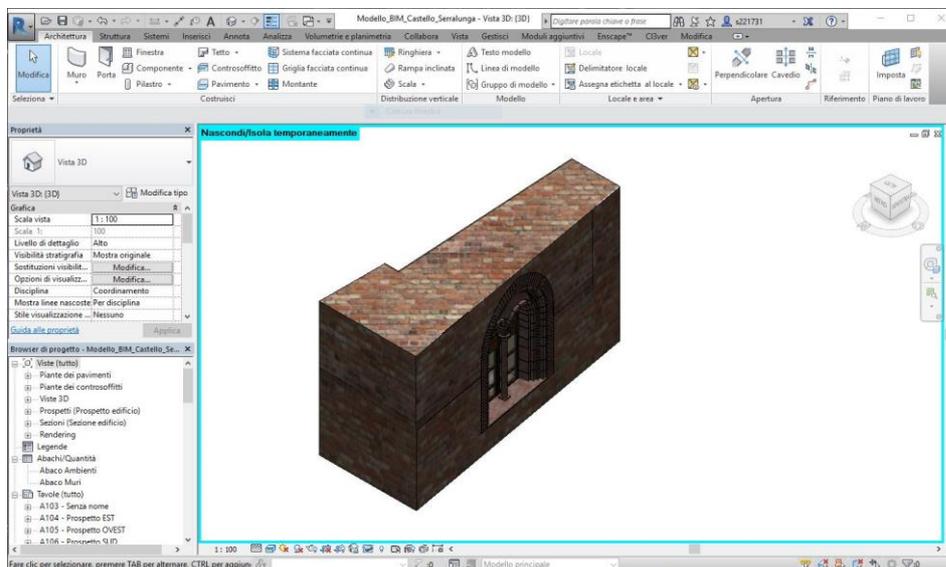


Figura 28: Generazione muro a sezione irregolare

4.1.4. Collegamenti Verticali

Una delle problematiche principali incontrate nella realizzazione del modello BIM del castello è stata la modellazione dei collegamenti verticali, in quanto molto irregolari e inseriti all'interno di murature.

In linea di massima, il comando “*scale*” è perfetto per creare collegamenti verticali di edifici di nuova costruzione poiché offre la possibilità di modificare le caratteristiche di alzata e pedata, il materiale, il piano di partenza e quello di arrivo, mentre per gli edifici storici è preferibile utilizzare il comando scala da disegno oppure creare un **modello generico metrico adattivo** se la scala è altamente irregolare.

L'adozione del solo strumento “*scala*”, in questo caso, non è sufficiente alla creazione di scale poste all'interno di una muratura, è stato quindi necessario innanzitutto creare la sede del collegamento verticale andando ad effettuare un’**estrusione di un vuoto su percorso**” andando a definire prima di tutto il percorso dell'estrusione e in seguito la sagoma da estrarre.

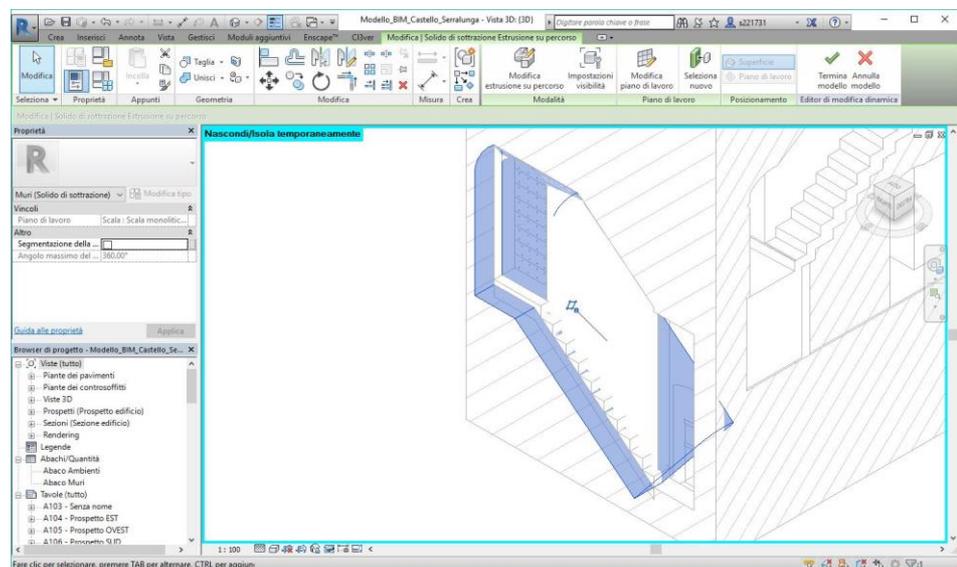


Figura 29: Estrusione su percorso

Una volta creata la sede, è stato possibile procedere con l'inserimento delle scale utilizzando la modalità “**scala da disegno**” del comando scale. Questa funzione permette di creare scale dalla sagoma irregolare in quanto è possibile disegnare, nella modalità di editing, sia il contorno (linee verdi, Figura 31) sia la posizione delle pedate (linee nere, Figura 31).

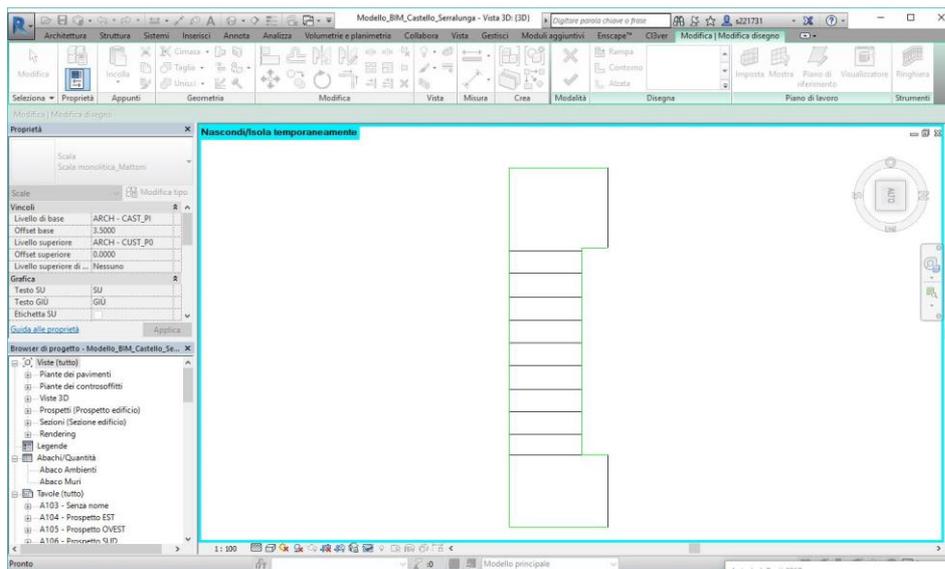


Figura 30: Scala da disegno

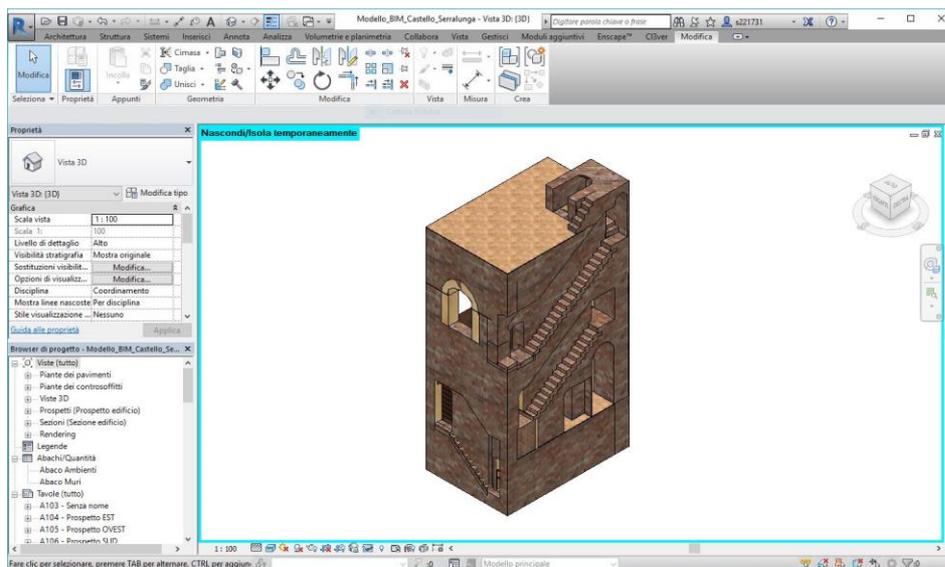


Figura 31: Sistema dei collegamenti verticali posti nella muratura

4.1.5. Infissi: porte e finestre

Anche nella modellazione di porte e finestre si sono riscontrate alcune difficoltà, dal momento che queste sono inserite all'interno di murature irregolari. I comandi Finestra e Porta di sistema, infatti, permettono di inserire degli infissi predefiniti che hanno come superficie di riferimento quella delle murature a sezione regolare.

Si è reso utile quindi creare delle **famiglie parametriche** degli infissi, ossia un gruppo di elementi con delle proprietà comuni chiamate parametri e una rappresentazione grafica correlata. Ogni famiglia è composta da diversi elementi che possono presentare valori diversi per alcuni o per tutti i parametri a seconda dell'*host* di riferimento. L'insieme dei valori, i nomi e le funzioni, sono uguali per tutti gli elementi invece e prendono il nome di **Parametri di famiglia** ossia dei parametri propri del tipo di famiglia.

Quando si crea un elemento con una famiglia e un tipo di famiglia specifici in un progetto, si sta creando un'*istanza* dell'elemento. Ogni istanza, include la possibilità di inserire dei parametri propri solo a quell'istanza, indipendente dai parametri di tipo. Queste proprietà sono dette appunto **Parametri di istanza**.

Modificando i *parametri di tipo*, quindi, le modifiche vengono applicate a tutte le istanze dell'elemento create con quel *tipo*, mentre applicando delle modifiche ai *parametri di istanza*, queste andranno ad interessare solo l'istanza, ossia il singolo elemento all'interno del progetto.

Sono stati utilizzati dei template "Porta metrica" e "Finestra metrica". Aperto il template, è opportuno decidere i parametri da impostare come ad esempio la distanza *filo muro-porta*, la *posizione della maniglia* ecc. questo procedimento è utile poiché, in questo modo, possiamo decidere quali parametri possono cambiare e quali no. Bisogna innanzitutto impostare i **piani di riferimento** (linee tratteggiate verdi, Figura 33) e bloccarne la posizione cliccando su un apposito lucchetto che compare una volta disegnato il piano. Successivamente, selezionando "*Annota*" nella barra degli strumenti in alto e cliccando sui due piani di riferimento di cui vogliamo definire la distanza, sarà possibile aggiungere quella distanza tra i *parametri di famiglia* e bloccarla utilizzando il lucchetto che appare. In questo modo, quella distanza diventerà un parametro e rimarrà tale per ogni *host* su cui andremo ad impostare l'infisso. Sarà possibile inoltre modificare il parametro manualmente entrando nel menù delle proprietà della famiglia e in questo caso la modifica sarà apportata a tutte le istanze di quella famiglia presenti nell'intero progetto.

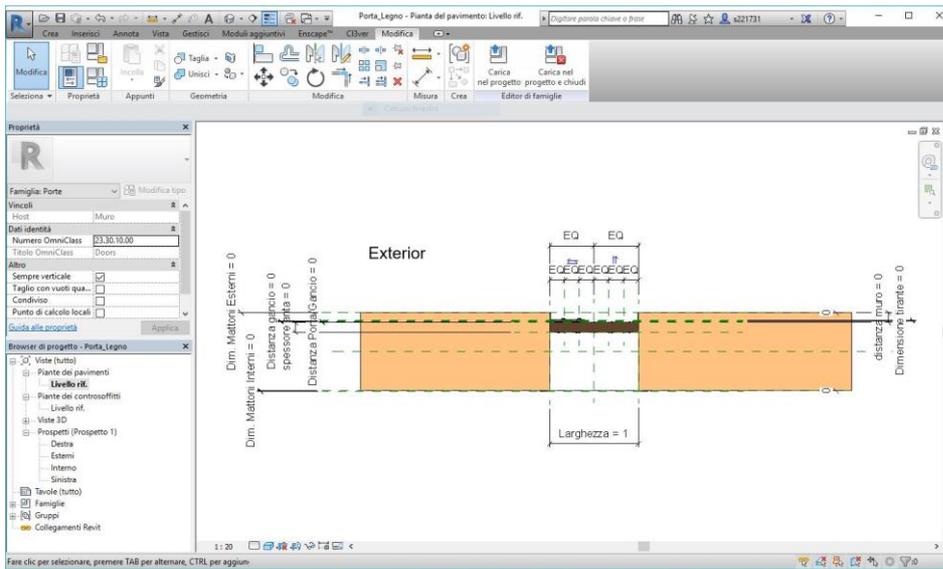


Figura 32: Impostazione piani di riferimento e parametri

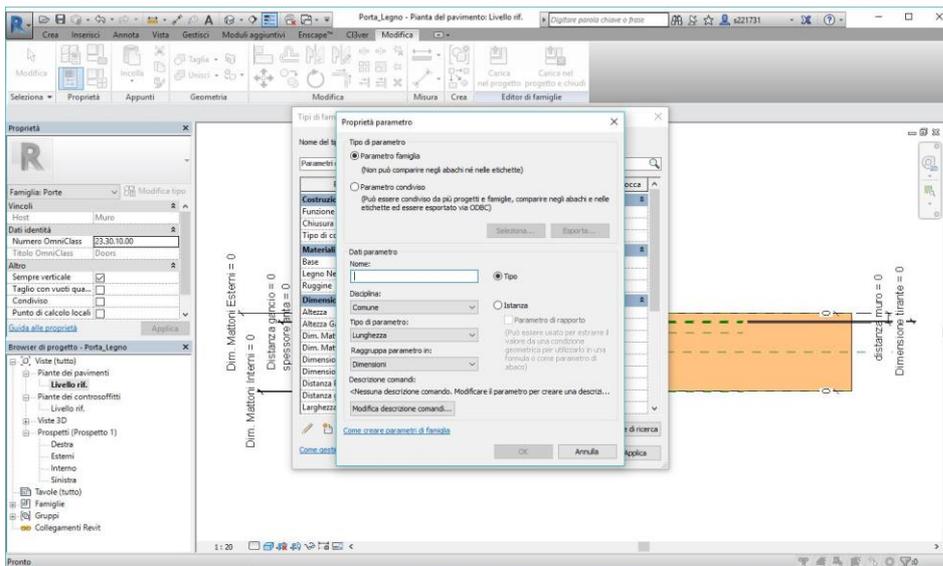


Figura 33: Creazione Parametro di Famiglia

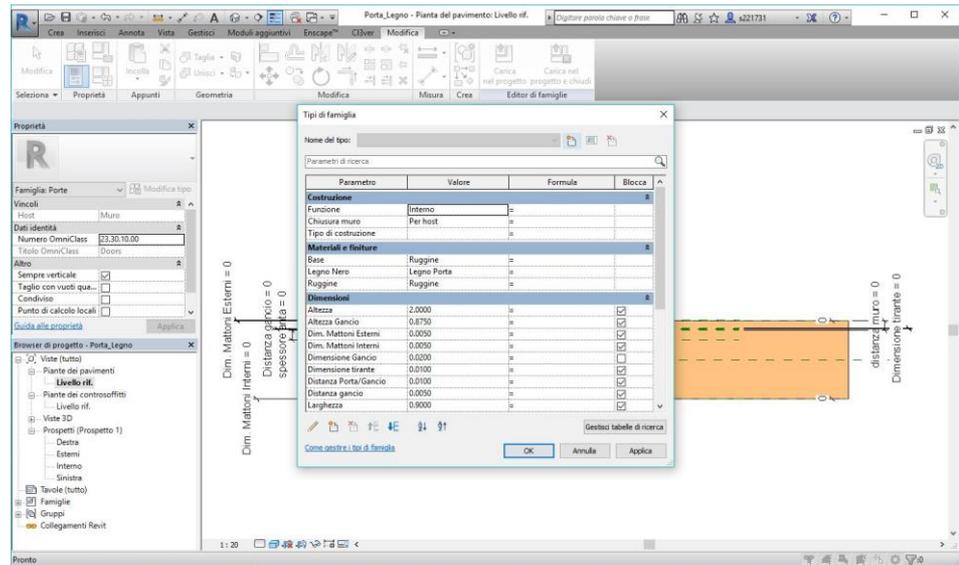


Figura 34: Elenco parametri della famiglia "Porta"

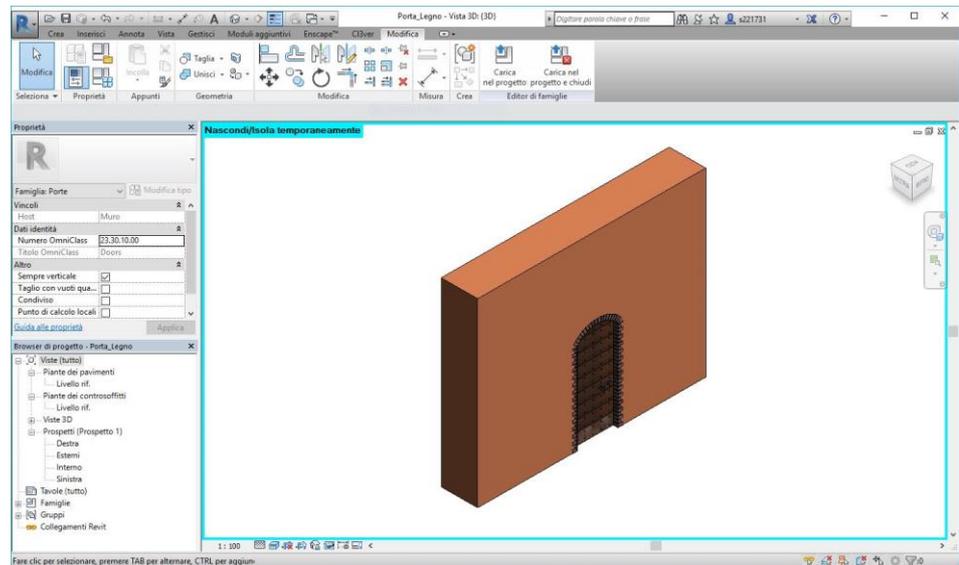


Figura 35: Famiglia "Porta"

Una criticità riscontrata nella modellazione delle famiglie parametriche è stata quella di inserire le famiglie all'interno di *host* a sezione variabile per tutto il suo andamento, in particolare su murature con intradosso lineare e estradosso obliquo. In questo caso si è reso necessario creare dei piani di riferimento obliqui (linee tratteggiate, figura 37) e su questi impostare i parametri con il procedimento visto in precedenza.

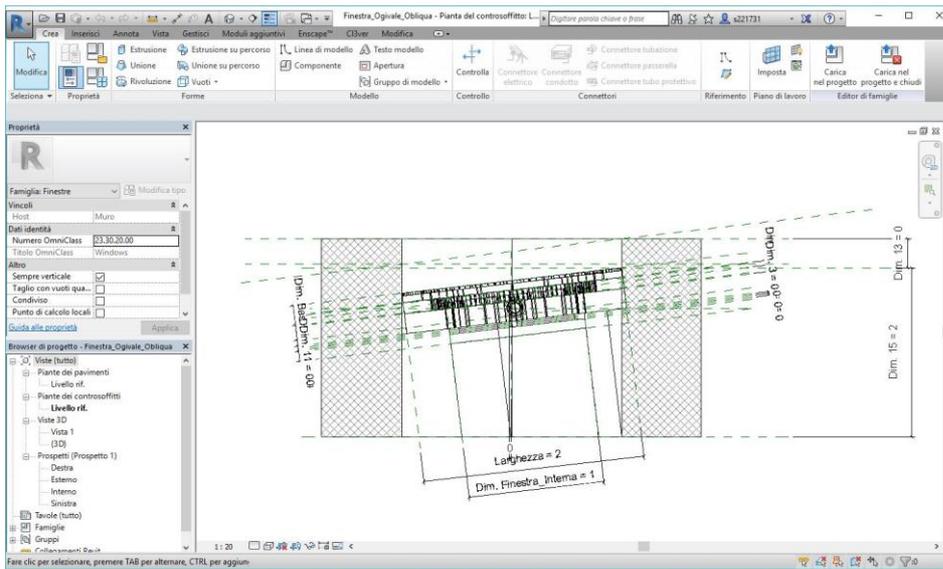


Figura 36: Piani di riferimento obliqui bifora ogivale

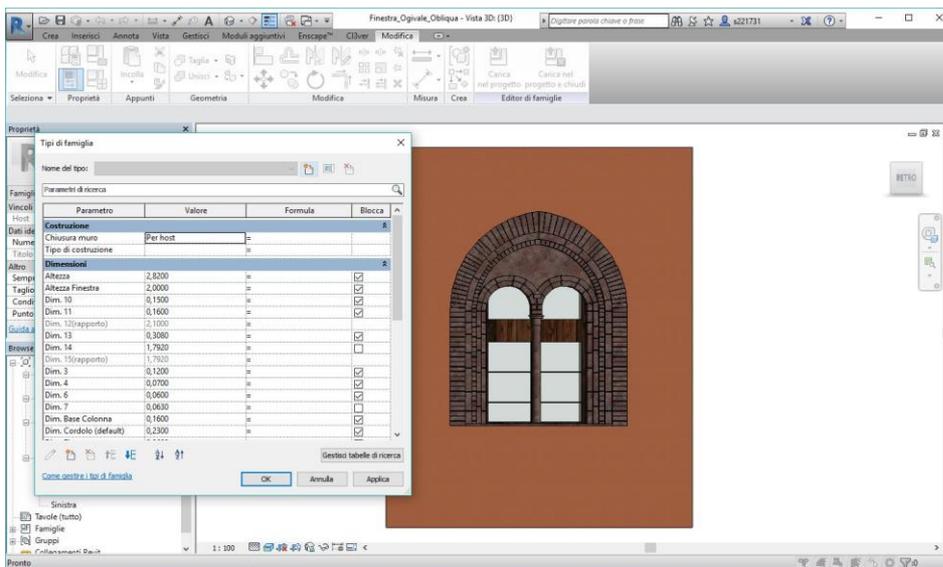


Figura 37: Parametri di Famiglia bifora ogivale

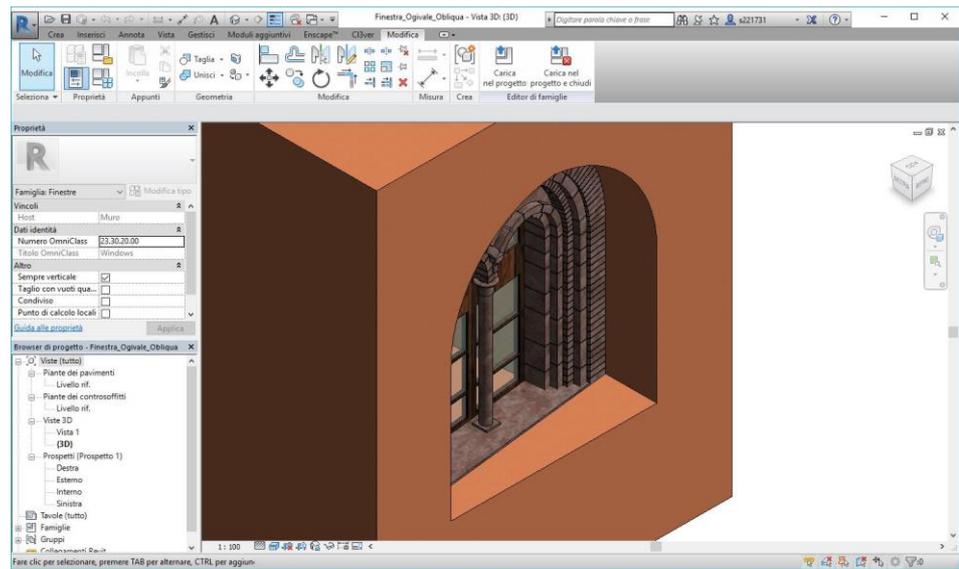


Figura 38: Bifora ogivale parametrica obliqua

4.1.6. Decorazioni murarie

Anche per quanto riguarda il posizionamento dei *merli ghibellini* e degli *archetti pensili* che caratterizzano il castello si è dovuto ricorrere all'utilizzo delle famiglie parametriche. In questo caso però è stato utilizzato un *template* di tipo **"Modello generico metrico basato su muro"** ossia una famiglia parametrica che ha come *host* principale un muro. Le decorazioni sono state modellate utilizzando delle **estrusioni di solidi**.

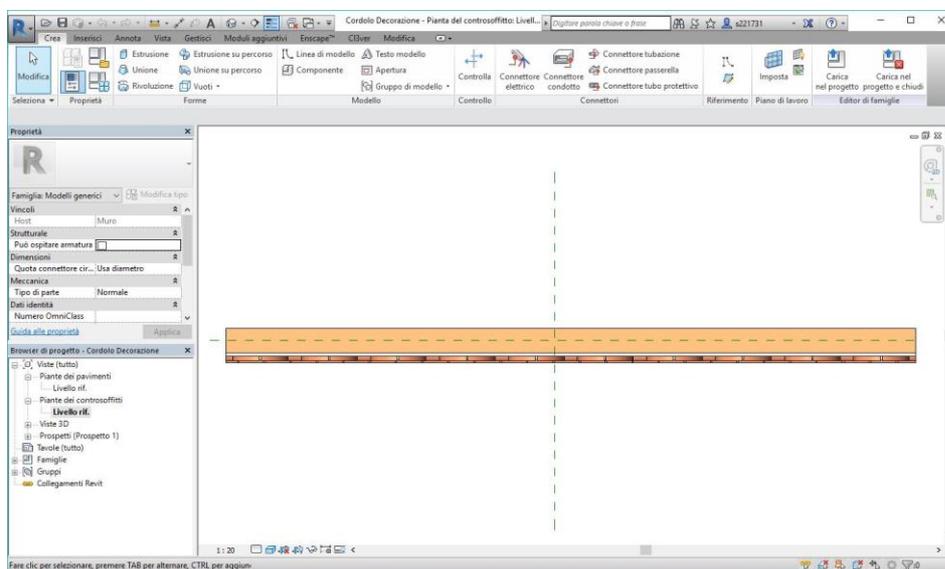


Figura 39:Famiglia parametrica " archetti pensili" in pianta

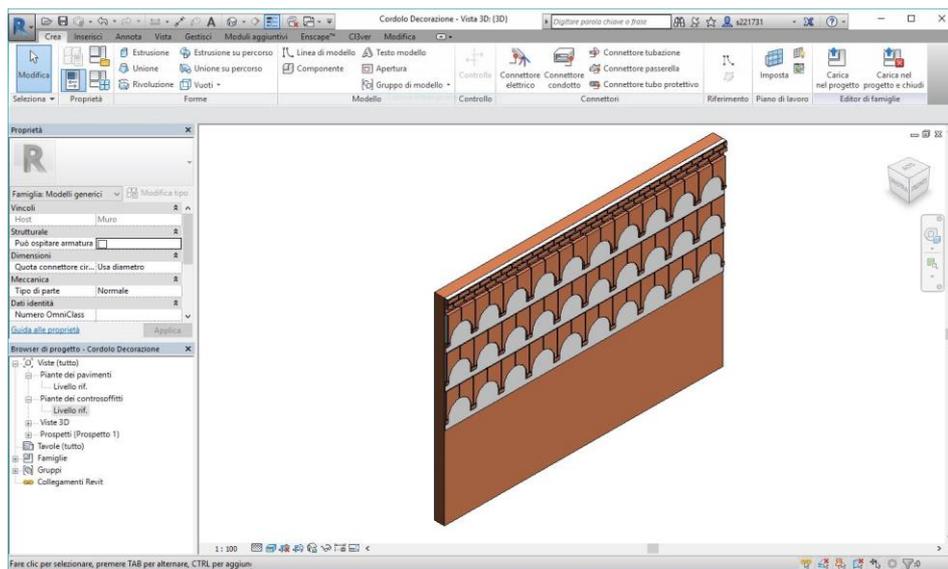


Figura 40: Famiglia parametrica "archetti pensili"

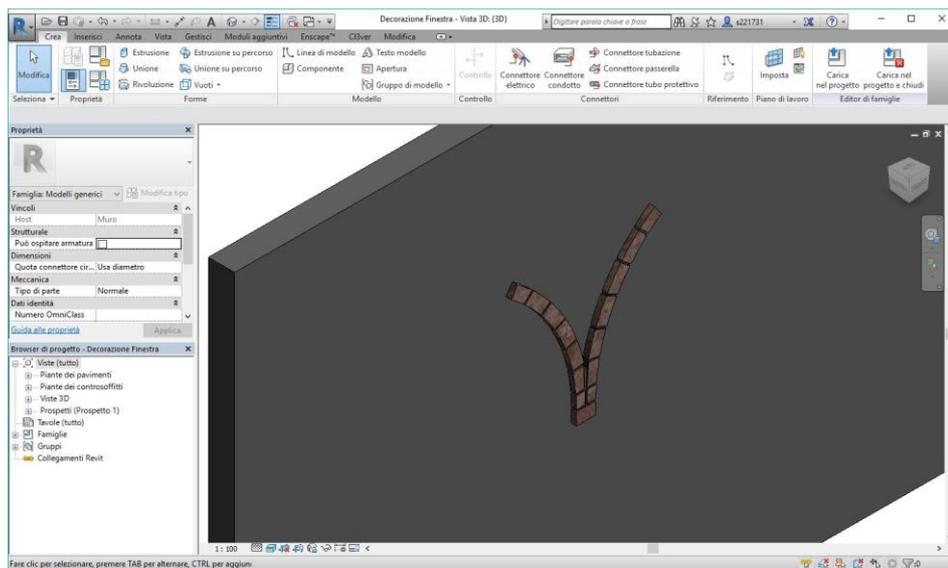


Figura 41: Modello generico "merlo ghibellino"

Anche nel caso delle decorazioni sono state riscontrate delle difficoltà di inserimento della famiglia su *host* a sezione irregolare e il procedimento utilizzato per sopperire a questa criticità è il medesimo utilizzato per gli infissi. In questo caso però è stata necessario creare un'*estrusione di vuoto* (area celeste, Figure 43 e 44) con la stessa inclinazione del muro nel progetto, per creare la sede adatta per posizionare la decorazione.

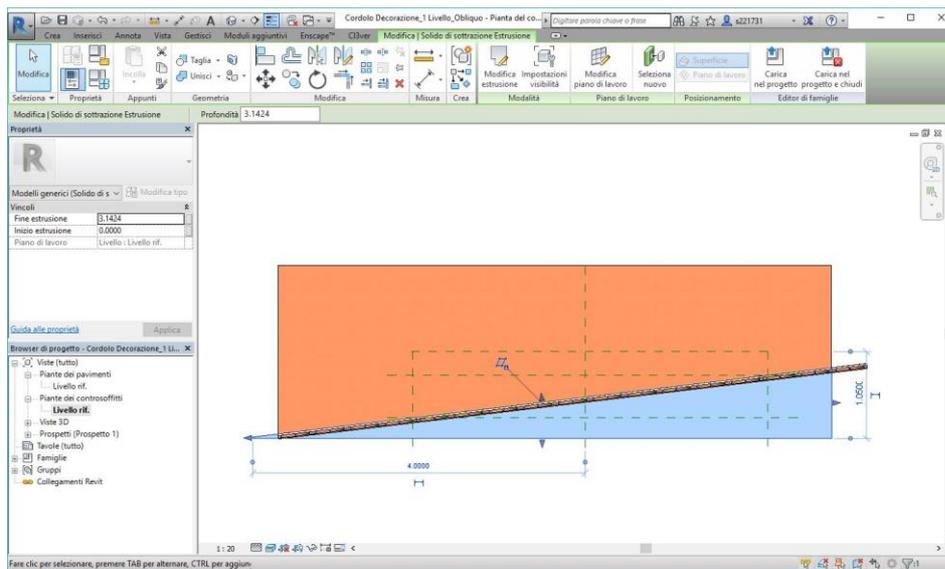


Figura 42: Modello generico di decorazione posta su muratura obliqua

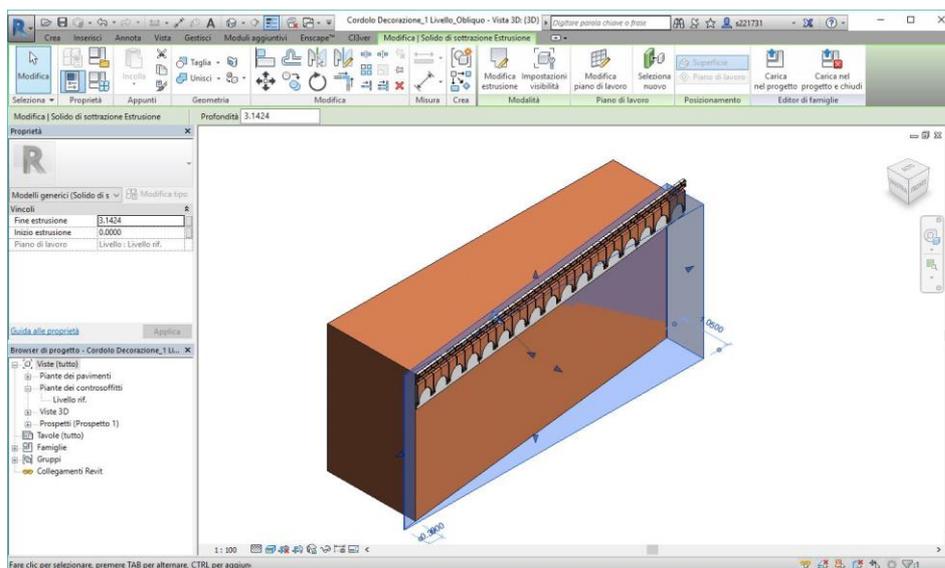


Figura 43: Modello generico "decorazione"

4.1.7. Comignoli

I comignoli, invece, sono stati modellati utilizzando il template “**modello generico su superficie**”. Questo tipo di famiglia ha come *host* principale una superficie che nel nostro caso sarà la parte terminale delle canne fumarie del castello. Il comignolo è stato modellato utilizzando delle *estrusioni di solido* e modificando il materiale dal menù “*proprietà*”.

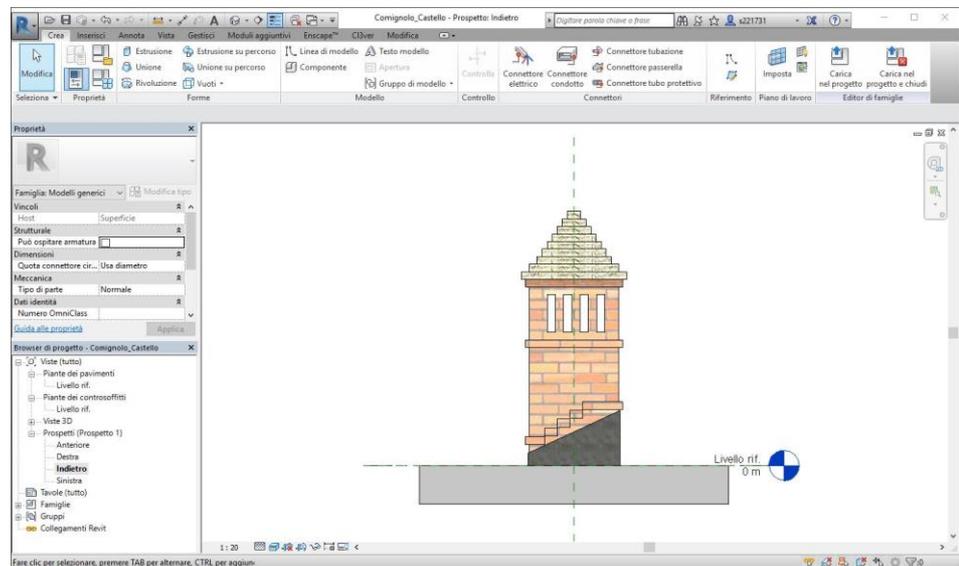


Figura 44: Prospetto modello generico "comignolo"

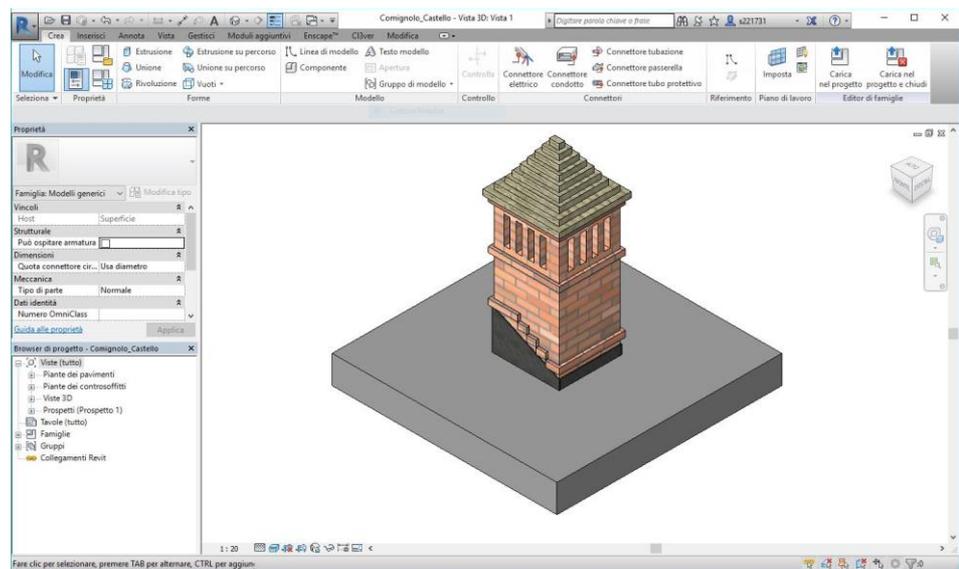


Figura 45: Modello generico "comignolo"

4.1.8. Tetti

Data l'impossibilità di accedere ai vari sottotetti, non è stato possibile avere un approccio diretto con la tecnica costruttiva utilizzata per ordire il tetto, tuttavia, grazie alle tavole di rilievo e a foto scattate dall'alto, è stato possibile risalire alla tipologia di struttura esistente. Si tratta di un'orditura alla lombarda con manto di copertura in tegole marsigliesi che poggiano direttamente sui listelli. Il tetto del castello in particolare presenta anche delle capriate lignee con monaco e saette di supporto alla struttura del tetto.

Revit presenta, tra le famiglie di sistema caricabili, anche delle famiglie di natura strutturale che ci permettono di ricreare l'intera orditura del tetto, utilizzando queste componenti per modellare: travetti di sostegno al *manto di copertura*, *travi di colmo* e *travi perpendicolari* ciascuna con dimensioni differenti.

La tecnica utilizzata prevede prima di tutto la creazione del manto del tetto utilizzando il comando **"tetto"** dal menu degli strumenti e selezionando la modalità **"tetto da perimetro"**. In questo modo è possibile disegnare, in modalità di editing, il perimetro del tetto e assegnare l'angolo d'inclinazione a ciascuna falda. Una volta ottenuta la base per poter ordire la struttura, si è passati alla modalità **"struttura"** nel menù in alto per poi selezionare il comando **"sistema di travi"**, in questo modo, selezionando il perimetro della falda su cui ordire il sistema, definendo l'*andamento dell'orditura* (verticale o orizzontale) e indicando la *spaziatura massima* è possibile creare in automatico il sistema di travi adattato alla falda selezionata. Ripetendo il procedimento sia per l'orditura orizzontale delle travi che per quella verticale dei travetti (modificando la famiglia di travi importata che non sarà più una trave ma un travetto) otterremo lo "scheletro" del tetto.

Successivamente, eliminando il manto in precedenza creato per posizionare il sistema di travi, si passa al posizionamento delle tegole sui travetti. La famiglia **tegole** è di tipo **"modello generico su linea"** e importandola nel modello, è stato possibile posizionarle in corrispondenza dei travetti creando così il vero manto in coppi del tetto.

Per quanto riguarda invece il tetto del blocco principale del castello, data la sua forma irregolare, è stato necessario creare un **"modello generico su superficie"** utilizzando le falde della capriata come base per impostare il sistema di travi.

Infine, a completamento del tetto, sono state posizionate le grondaie. Per questi elementi è stato utilizzato il template “**modello generico su linea**” e la modellazione è avvenuta utilizzando una *estrusione solida* modificando poi il materiale dal menù “proprietà”.

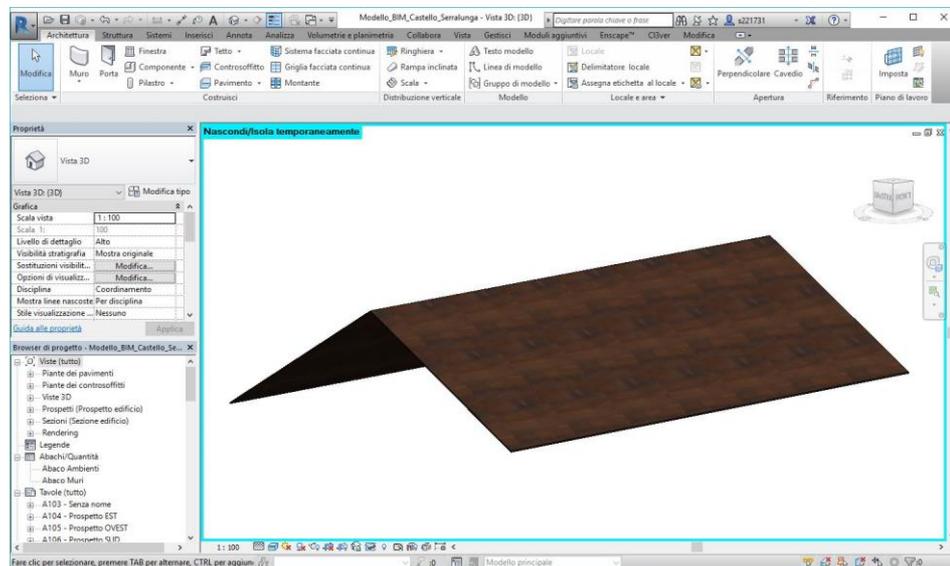


Figura 46: Creazione del manto

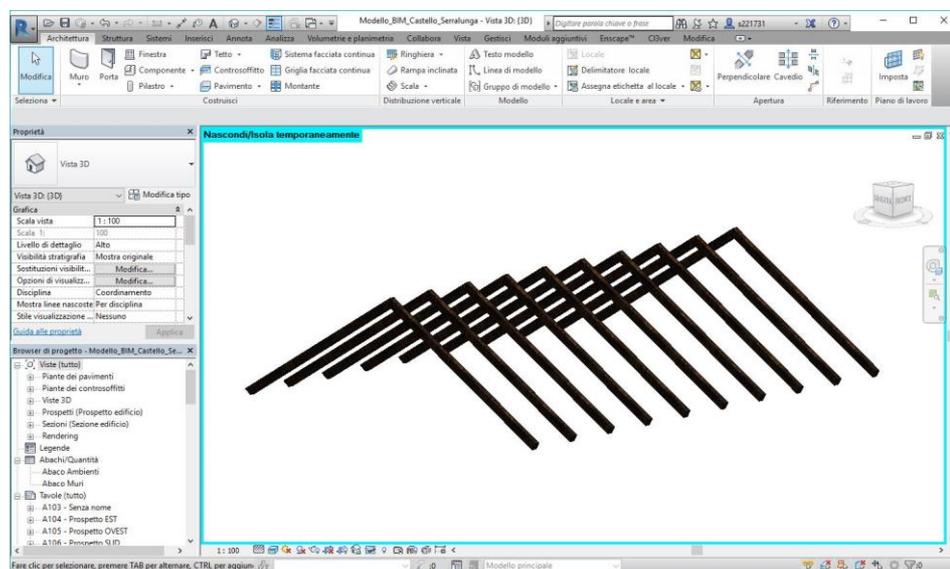


Figura 47: Posizionamento Travi

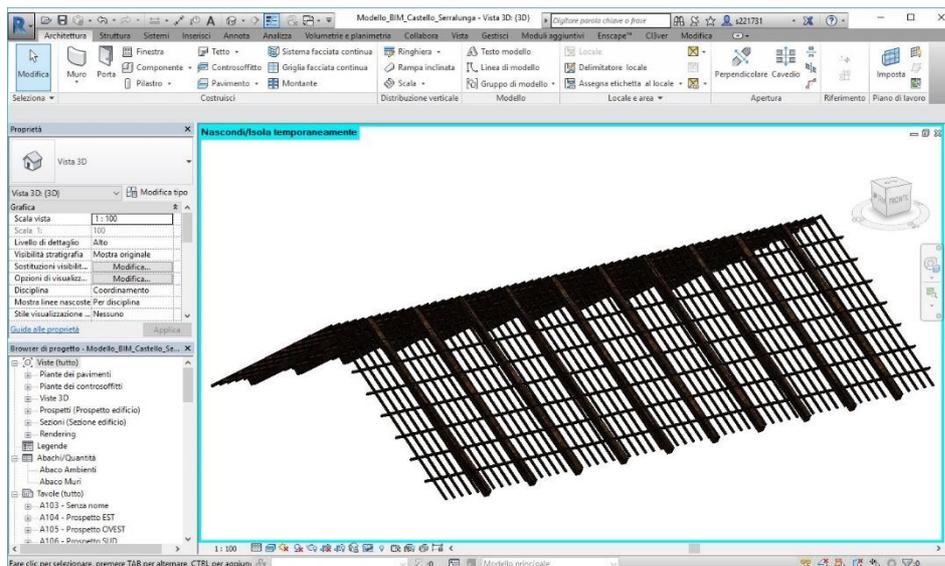


Figura 48: Posizionamento travetti longitudinali e trasversali

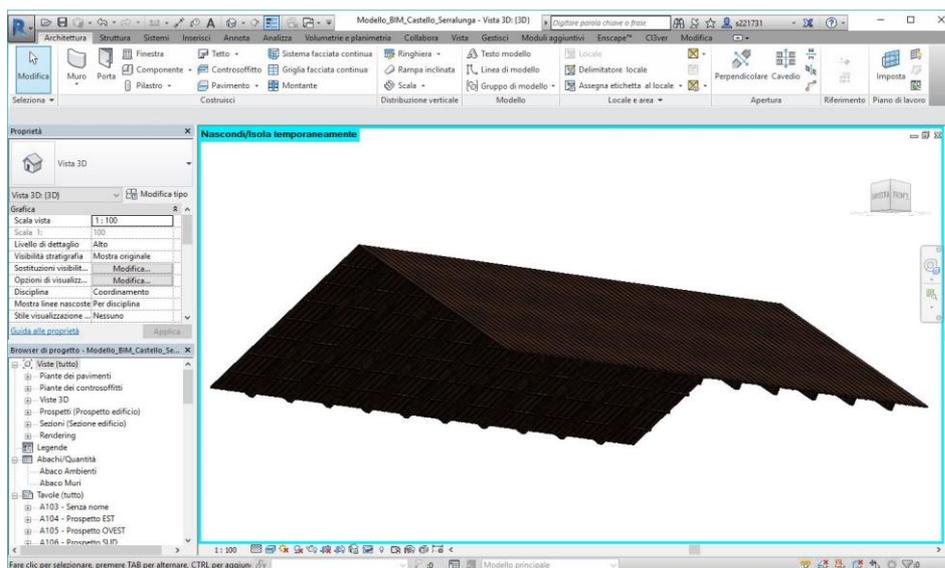


Figura 49: Manto completo di orditura

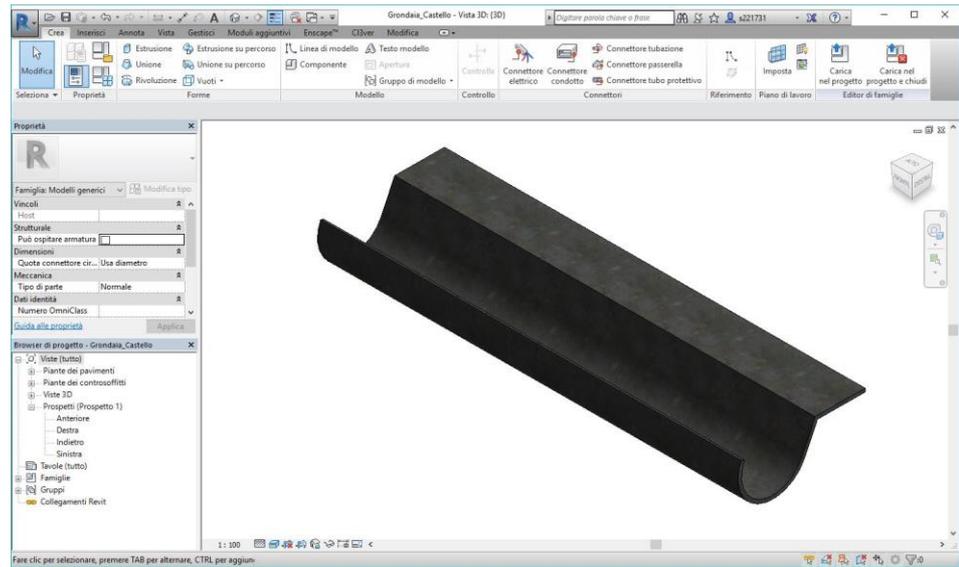


Figura 50: Grondaia

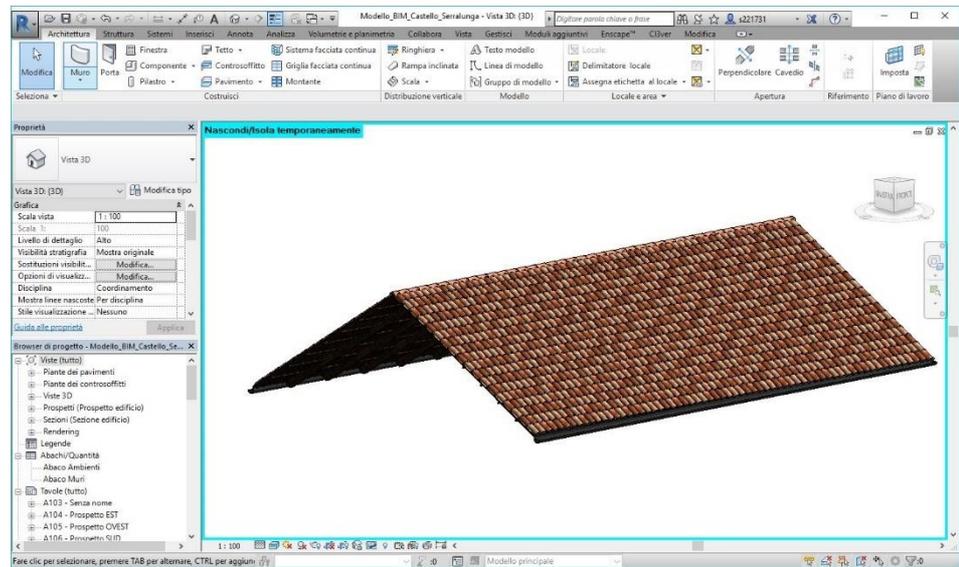


Figura 51: Posizionamento coppi e grondaia

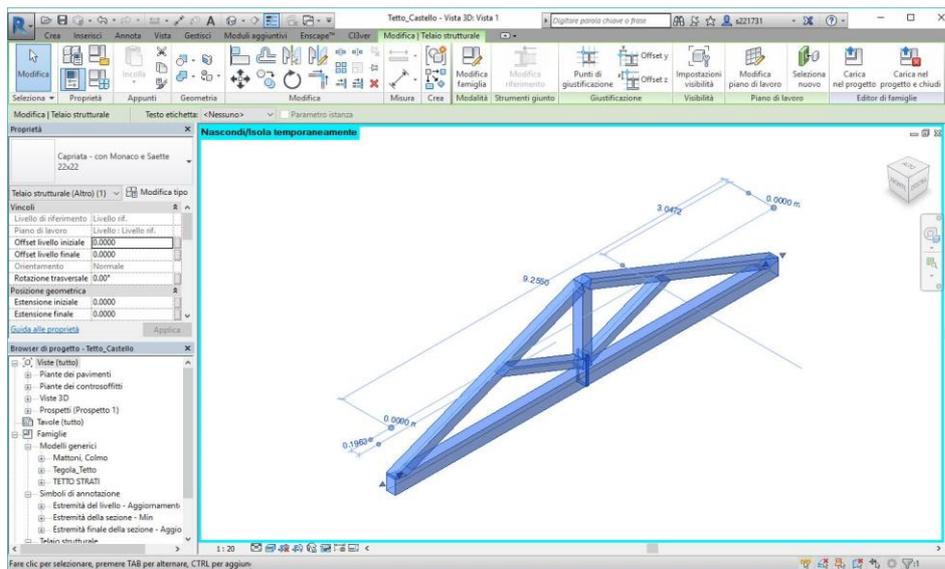


Figura 52: Capriata Ligneo del tetto del castello

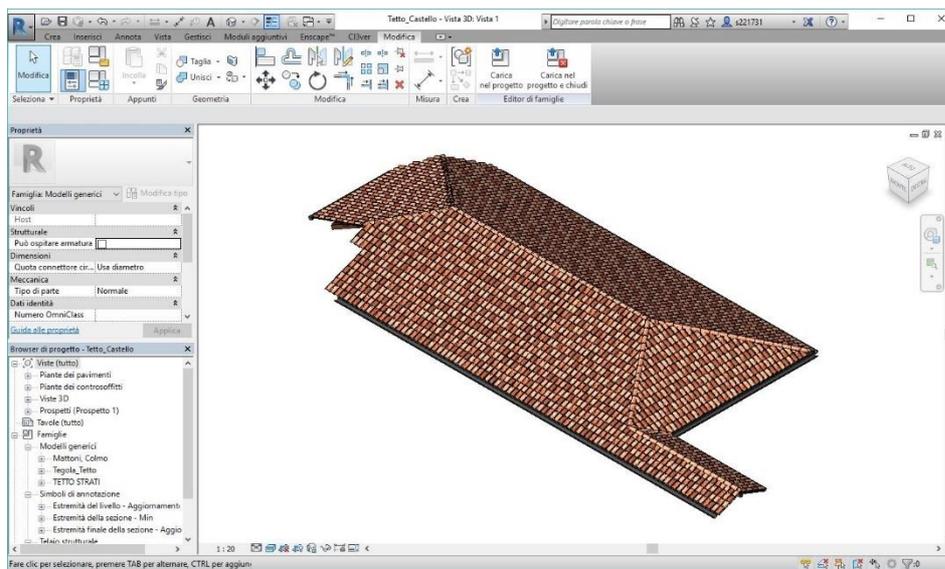


Figura 53: Tetto del castello

4.2. Gestione delle texture

Al fine di ottenere un'esperienza immersiva che dia la reale percezione di un tour all'interno del castello, su richiesta della *Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici del Piemonte*, è stata necessaria l'applicazione di **texture** che dessero un buon impatto visivo agli elementi.

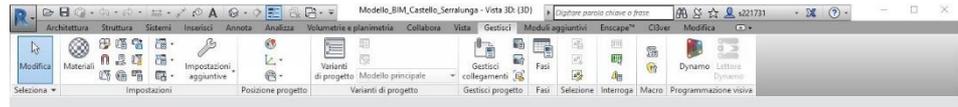


Figura 54: Barra dello strumento "gestione"

Revit permette la gestione dei materiali, selezionando nel menù in alto il comando “**gestisci**” e successivamente selezionando il comando “**materiali**” dalla palette degli strumenti si aprirà la finestra “**Browser materiali**”, dove, selezionando il materiale di cui vogliamo modificare la texture, ci darà la possibilità di inserire, cliccando nel riquadro “**immagine**”, il file della texture in formato .jpeg, .pdf o .png.

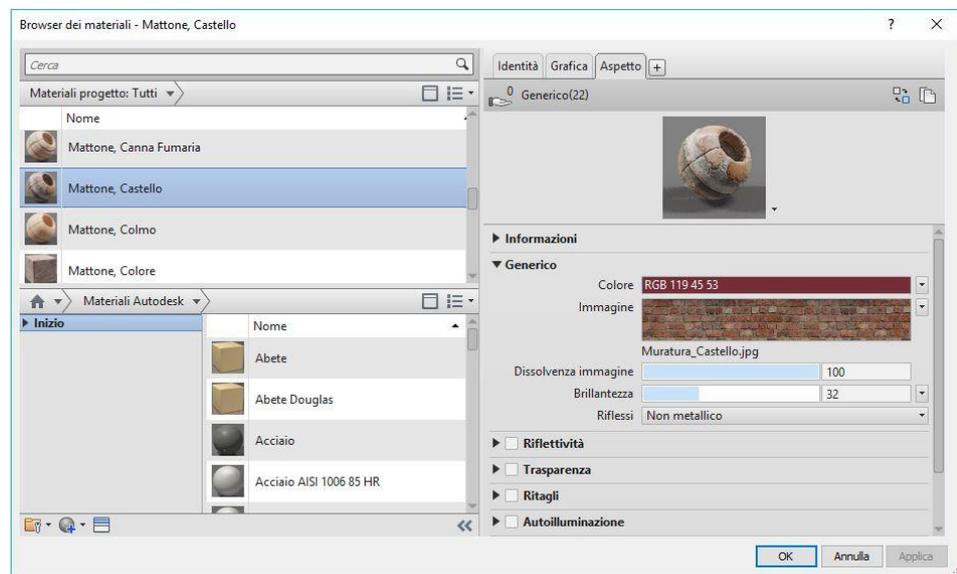


Figura 55: Finestra “browser dei materiali”

Una volta caricata la texture è possibile cliccare nuovamente nel riquadro immagine (dove ora apparirà la texture come in Figura 58) per aprire la finestra “**Editor trama**” (Figura 59) in cui sarà possibile modificare: luminosità, scala e posizione dell'immagine.

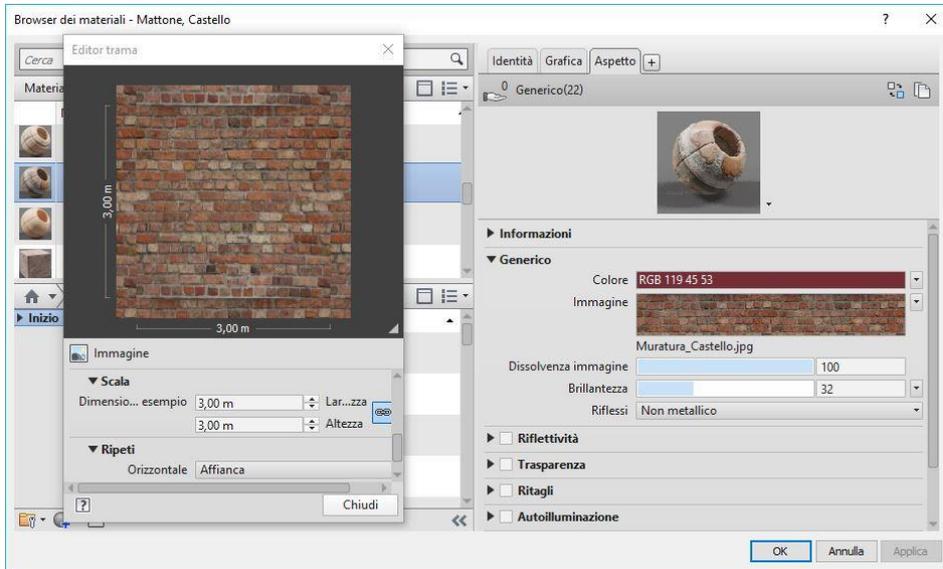


Figura 56: Finestra Editor Trama

Altra funzione che il browser dei materiali permette è quella di impostare la “**composizione in rilievo**” del tema, ossia, caricando un'immagine in questo campo, sarà possibile dare un motivo di rilievo alla texture che seguirà la composizione dell'immagine caricata.

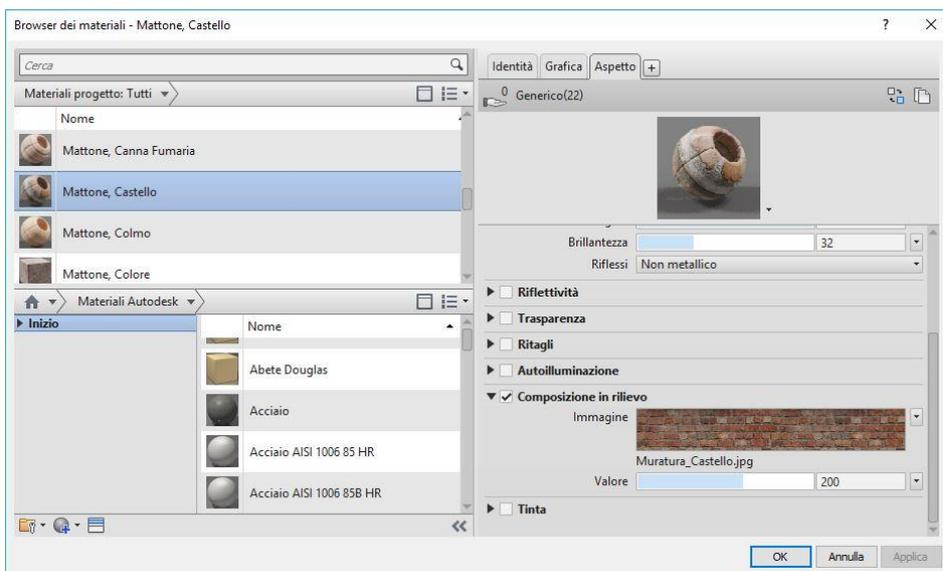


Figura 57: Composizione in rilievo

Per questo motivo, è necessario caricare nuovamente la texture utilizzata stando attenti ad impostare lo stesso fattore di scala così da far sovrapporre perfettamente la texture e il rilievo. Sarà poi possibile modificare anche il valore della “**composizione di rilievo**”, definendo cioè che tipo di “ruvidezza” dovrà presentare la texture nel progetto conferendo così un aspetto più realistico al materiale.

Le librerie di Revit offrono un ampio ventaglio di scelta per quanto riguarda i materiali e le relative texture, tuttavia, avendo attinto ad immagini esterne alla libreria, in quanto più vicine alla realtà, è stato necessario spostare le texture importate nella cartella delle librerie dei materiali di sistema.

Questo passaggio è assolutamente necessario in quanto le texture non posizionate all'interno della libreria dei materiali di sistema, non appariranno nel modello importato nei software VR, poiché quest'ultimi “attingono” dalla libreria di sistema i materiali.

5. Soluzioni di visualizzazione applicate al caso studio

La fase successiva di questo lavoro di tesi è rappresentata dall'utilizzo del modello informativo BIM del Castello di Serralunga d'Alba per testare la creazione di un tour virtuale. Per la scelta delle modalità di visualizzazione, è stata fatta una valutazione tra i vari software VR disponibili sul mercato cercando quelli che fossero innanzitutto open-source, che avessero una buona interazione col modello (e quindi con il software di modellazione) e che offrissero una buona restituzione grafica. La scelta è ricaduta su 4 software che collaborano in maniera diretta con Revit (in quanto plug-in) e che permettono un'ottima qualità di visualizzazione: **Cl3ver**, **Enscape**, **Autodesk Live** e **A360**. Purtroppo, nessuno di questi è open-source e quindi per i test, sono state utilizzate versioni trial che permettessero l'utilizzo di buona parte delle funzioni della versione completa. Gli strumenti di visualizzazione utilizzati invece sono i visori **HTC Vive** e **Oculus Rift**.

Interoperabilità				
Software di Modellazione	VR Software			
	Cl3ver	Enscape	Autodesk Live	Autodesk A360
Revit	(Plug - in) .rvt	(Plug-in) .rvt	(Plug - in) .rvt	(Plug - in) .rvt
Archicad	x	x	x	x
3Ds max	(Plug - in) .3ds	x	x	x
Sketchup	(Plug - in) .fbx	(Plug-in) .skp	x	x

Figura 58: Interoperabilità tra software di modellazione e software VR

Nell'effettuare i test, sono stati valutati: gli *strumenti di visualizzazione* (HTC Vive, Ololens, Oculus Rift) e i *formati supportati* dal software, *l'interazione col modello e la semplicità di utilizzo* oltre che una buona *restituzione grafica* e i risultati ottenuti sono stati raccolti nella tabella in figura 63.



5.1. CI3ver

Il primo di questi test ha interessato il software **CI3ver** molto semplice da utilizzare, in quanto la presenza di un *plug-in* diretto messo a disposizione dalla Autodesk permette un'ottima interazione col modello di Revit. È un buono strumento di rendering, che permette anche di visualizzare eventuali viste, in pianta e in sezione, già create su Revit.

Per utilizzare il plug-in di CI3ver è necessario iscriversi sulla piattaforma web del software e creare un profilo utente, successivamente sarà possibile scaricare il file .exe che una volta eseguito, presenterà il plug-in nella barra degli strumenti di Revit.



Figura 59: Plug-in di CI3ver nella barra degli strumenti di Revit

Questo presenterà dei comandi possibili che permettono di: caricare tutto il progetto o solo alcune viste, accedere alla modalità VR (che però non è utilizzabile nella versione di prova) e di accedere alla homepage del cloud di CI3ver.

Per caricare l'intero progetto, il plug-in rimanda al sito web, dove sarà possibile visionare il modello in realtà virtuale prima di caricarlo sul cloud di CI3ver. Questo passaggio è importante, perché l'esportazione del modello in formato .fbx da Revit comporta perdite di dati, soprattutto per quanto riguarda il caricamento delle texture il quale non avviene sempre perfettamente. È necessario quindi, che le nuove texture importate siano presenti nella cartella di sistema di Revit (come spiegato nel paragrafo 4.2), poiché altrimenti non saranno visibili nel modello.



Figura 60: Progetto caricato sulla piattaforma web di Cl3ver

Una volta constatata l'effettiva assenza di errori del modello sulla piattaforma web, è possibile caricarlo sul cloud di Cl3ver per poterlo condividere. In questo modo il modello in cloud potrà essere accessibile agli utenti con cui si è condiviso il progetto. Per la versione trial c'è la possibilità di caricare solo 3 progetti, per questo motivo è importante valutare la perdita di dati prima di caricare il modello in cloud perché poi non sarà più possibile modificarlo.

Una funzionalità molto importante di questo software è l'inserimento di note condivisibili, in questo modo l'utente potrà interagire col modello inserendo delle note con la possibilità di allegare al commento una foto. Questa funzionalità può essere sfruttata sia dal punto di vista del tour virtuale, poiché è possibile inserire note anche di carattere storico e paesaggistico (come in figura 68) accessibili cliccando sull'etichetta posizionata, sia dal punto di vista manutentivo poiché, ad esempio, è possibile inserire note riguardanti informazioni sullo stato di degrado di murature e infissi.

Queste informazioni vanno inserite però manualmente dal momento che non c'è la possibilità di interrogare gli elementi.



Figura 61: Posizione delle note inserite nel modello in Cloud

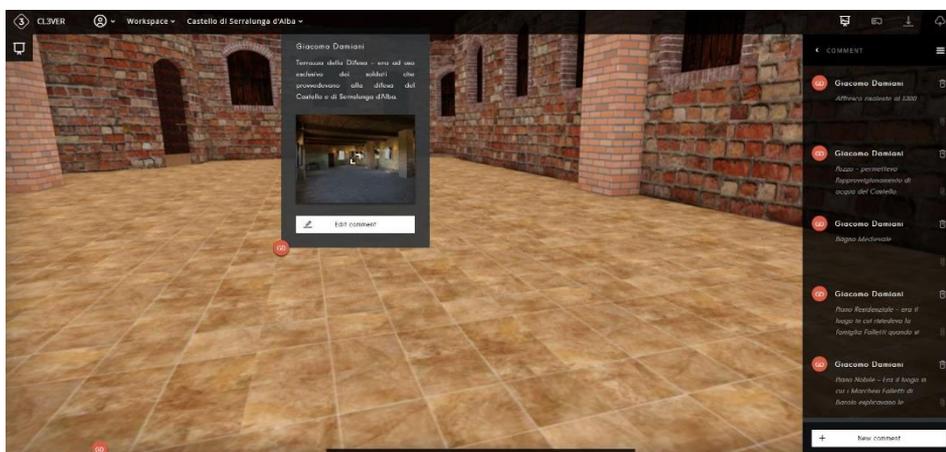


Figura 62: Esempio di nota con informazioni di tipo storico e foto allegata

Utilizzando il menu sulla destra, sarà possibile passare da una vista all'altra potendosi poi muovere liberamente nello spazio utilizzando il mouse. La navigazione del modello, tuttavia non è agevole in quanto non riconosce le superfici e quindi non è possibile utilizzare né la modalità “walk through” né la tastiera per muoversi.

Questo software, infine, non è molto adatto alla realizzazione di un tour virtuale poiché non offre una buona navigazione (la versione trial non permette neanche l'utilizzo di alcun visore per la navigazione) e non presenta una buona restituzione grafica poiché molto fedele alla modalità “realistico” di Revit. Nota positiva invece la possibilità di inserire note e immagini che può avere risvolti positivi all'interno del team addetto alla manutenzione.



Figura 63: Menù delle viste



Figura 64: Vista Piano Terra su CL3ver

5.2. Enscape

La seconda parte dei test è stata effettuata su **Enscape**, anch'esso un plug-in diretto che permette un'ottima interazione col modello Revit. È un ottimo strumento di rendering, che permette anche le **modifiche interattive istantanee**, in quanto tutte le modifiche apportate al modello Revit vengono istantaneamente replicate sul modello Enscape.

Per ricevere il Plug-in, bisogna registrarsi sul sito web e una volta avvenuta la registrazione si potrà scaricare l'eseguibile e usufruire di un periodo di prova di 14 giorni, esteso a 6 mesi per gli studenti certificati. Una volta installato, il plug-in apparirà nella barra degli strumenti e darà la possibilità di: *caricare il progetto* sulla piattaforma Enscape con il comando "start" (scegliendo eventualmente quale vista caricare), *attivare la modalità di navigazione mediante visori* (HTC Vive o Oculus Rift), *scaricare un file .exe del modello immersivo* di Escape, *registrare video* o *creare panoramiche* (queste ultime tre funzioni non sono disponibili nella versione trial).

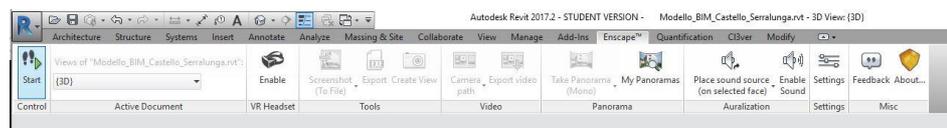


Figura 65: Plug-in di Enscape nella barra degli strumenti di Revit

Cliccando su start, il modello sarà aperto sulla piattaforma web di Enscape dove sarà possibile navigarci all'interno in modalità immersiva. Presenta un'ottima restituzione grafica (poiché viene utilizzato anche per il gaming) ed offre all'utente un tour virtuale molto realistico dal momento che permette di navigare sia in "Fly Mode" che in modalità "Walk through". Ottima anche la navigazione con i visori alla quale è possibile accendere direttamente mediante il comando "Enable".



Figura 66: Apertura del modello all'interno della piattaforma web di Enscape



Figura 67: Navigazione nel castello - Vista 1

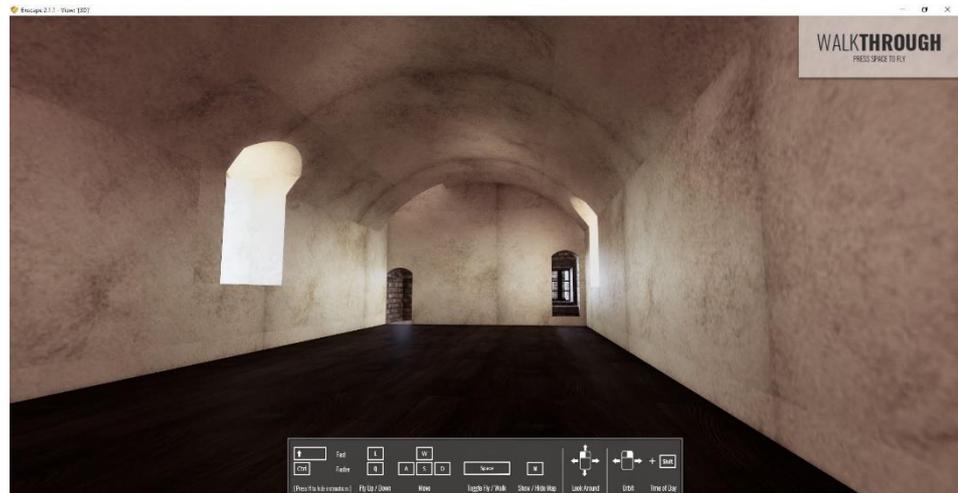


Figura 68: Navigazione nel castello - Vista 2



Figura 69: Navigazione nel castello - Vista 3

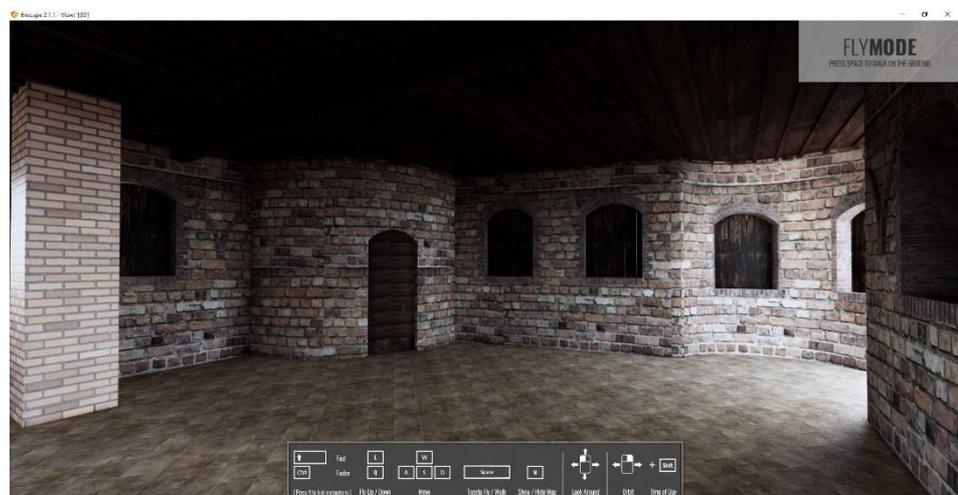


Figura 70: Navigazione nel castello - Vista 4

Nota negativa è l'impossibilità di interrogare gli elementi il che ne fa uno strumento molto utile alla creazione di un tour virtuale data l'alta qualità dell'ambiente virtuale, ma che poco si presta all'utilizzo per scopi manutentivi.

5.3. Autodesk Live

Autodesk Live, è il terzo plug-in su cui sono stati effettuati i test di navigazione immersiva. Si tratta di un servizio di cloud, prodotto dalla stessa Autodesk, che sta occupando un ruolo centrale all'interno delle strategie di visualizzazione in campo BIM, poiché permette di trasformare i modelli di Revit e Revit LT in ambienti virtuali 3D, navigabili in modo facile e realistico: come se si fosse all'interno di un videogioco. La versione trial ha la durata di un mese e dà la possibilità di caricare fino ad un massimo di 10 progetti.

È necessario, prima di tutto, possedere un account Autodesk e accedere alla pagina personale dove sarà possibile scaricare l'eseguibile che una volta installato farà apparire nella barra degli strumenti alla voce "*Moduli aggiuntivi*" il comando per la creazione del file **.lvsc** che saranno poi eseguiti sul software di lettura **Autodesk Live Editor** scaricabile insieme al plug-in.



Figura 71: Plug-in di Autodesk Live nella barra degli strumenti di Revit

Una volta scaricato il file e aperto con Live Editor sarà possibile navigare all'interno del modello in modalità immersiva, anche mediante l'utilizzo dei visori compatibili (HTC Vive e Oculus Rift). La navigazione è molto agevole in quanto è in grado di riconoscere le superfici e permette quindi le modalità "*Walk through*" e "*Fly mode*" mediante l'utilizzo del mouse e della tastiera. L'interfaccia è semplice e intuitiva e permette di modificare alcune impostazioni come ad esempio l'ora del giorno.

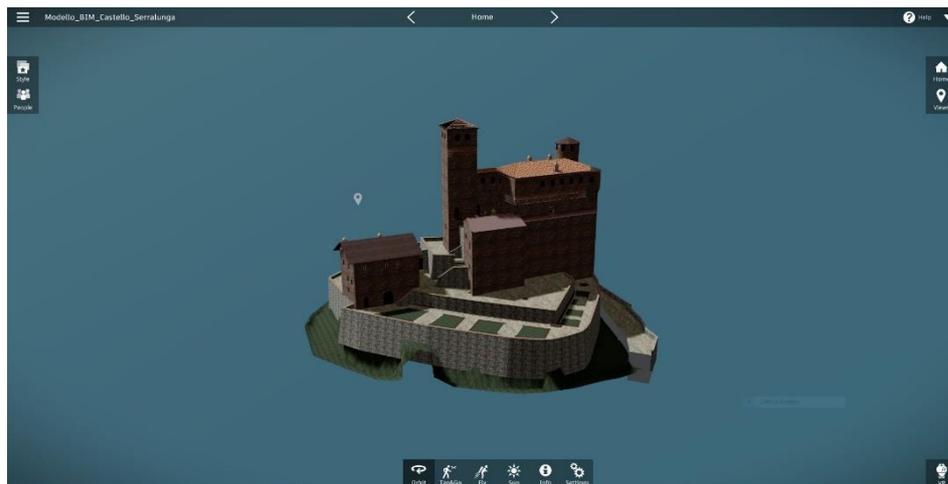


Figura 72. Caricamento progetto su Autodesk Live Editor

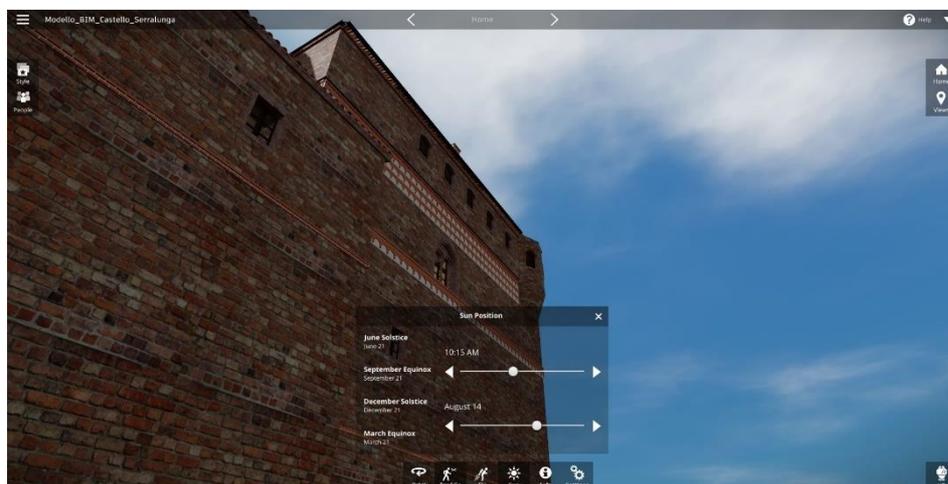


Figura 73: Interfaccia e impostazioni

La funzione più importante di Autodesk Live però è rappresentata dalla possibilità di interagire col modello per estrapolarne informazioni. È possibile infatti cliccare su un qualsiasi elemento e interrogarlo (come in figura 80 e 81), leggendone le caratteristiche tecniche e le informazioni, sia di istanza che di progetto, già preimpostate su Revit.

Note negative sono il non poter interrogare gli elementi in modalità immersiva e non poter intervenire sulle informazioni degli elementi, ma solo leggerle. Tuttavia, è possibile l'inserimento di commenti relativi all'elemento selezionato. Altro problema è la dimensione del file generato per la lettura su Live Editor.

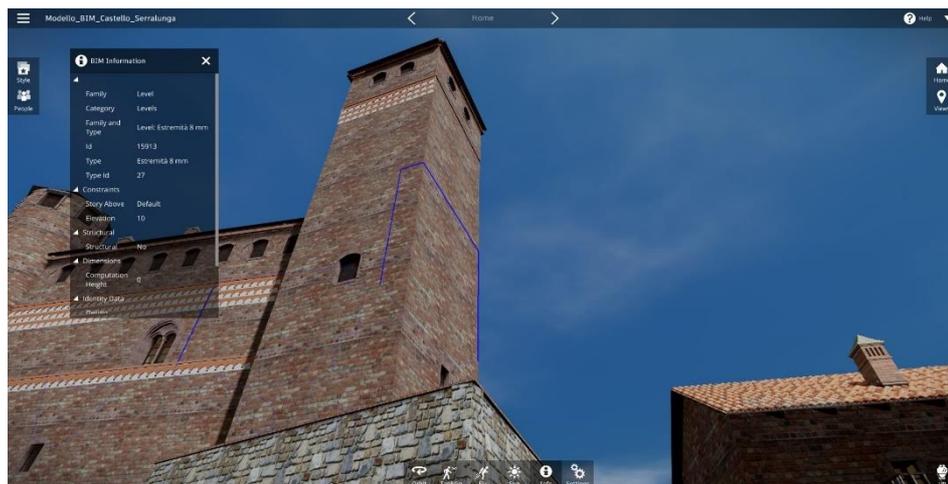


Figura 74: Interrogazione muratura su Autodesk Live

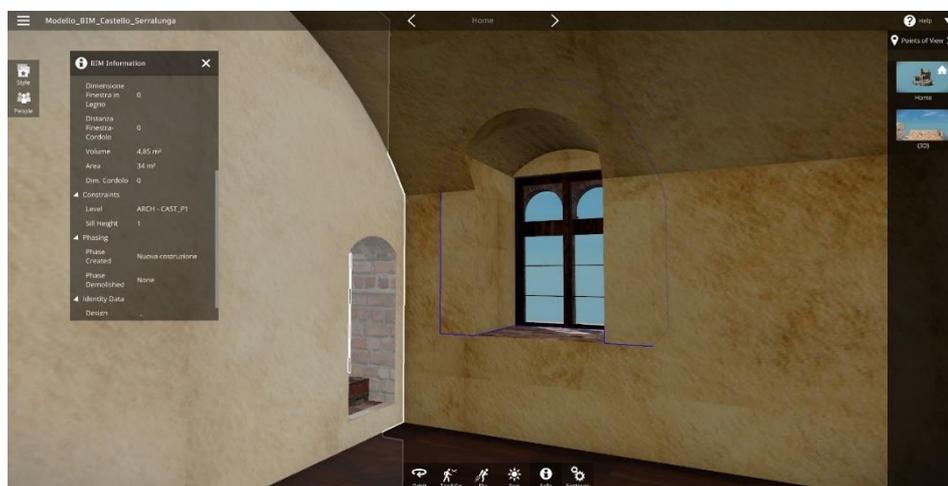


Figura 75: Interrogazione finestra su Autodesk Live

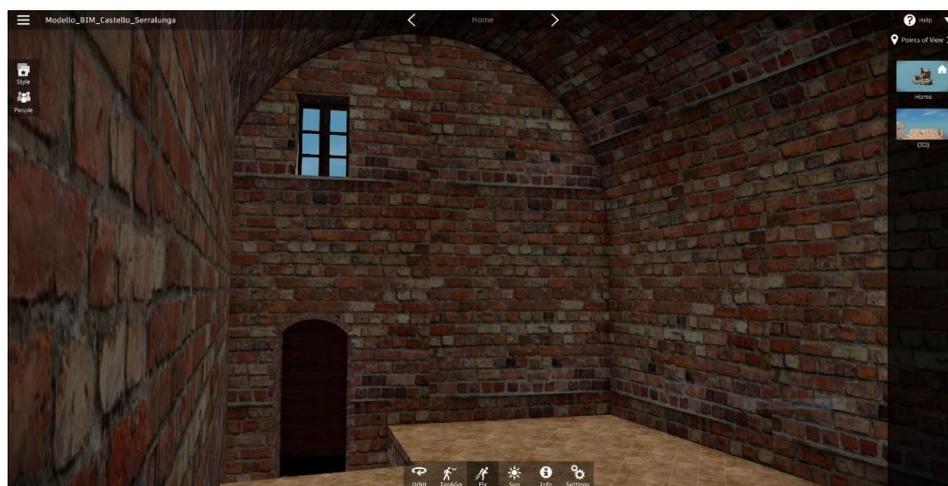


Figura 76: Navigazione all'interno del modello con Autodesk Live

Il software Autodesk Live, è il quello che ha meglio ha risposto alle nostre esigenze, poiché ha un'ottima interazione col modello e una buona risoluzione grafica che offre un'esperienza immersiva abbastanza realistica sia da pc che con il visore permettendo così la creazione di un buon tour virtuale. Anche dal punto di vista della manutenzione, Autodesk Live può essere considerato molto utile per l'esplorazione del modello, per l'interazione con esso e per la possibilità di inserire note condivisibili con il team di lavoro.

5.4. Autodesk A360

L'ultimo test, è stato effettuato su un semplice visualizzatore: **Autodesk A360**. Questa tipologia permette di "leggere" il modello sia in due dimensioni, con la possibilità di visualizzare delle tavole salvate sul modello, sia in tre dimensioni, mediante la possibilità di visionare le caratteristiche tecniche e le proprietà di ogni elemento, con la possibilità di inserire commenti dall'utente che ne usufruisce (come ad esempio il manutentore) o del BIM Manager, facilitando i lavori di gestione e agevolando, ad esempio, il controllo dei dati grazie ai parametri impostati in precedenza nel modello su Revit.

Per usufruire di Autodesk A360, bisogna per prima cosa registrarsi sul sito della Autodesk per accedere al cloud e successivamente caricare online il modello con tutte le eventuali viste e tavole preimpostate. Una volta effettuato il caricamento, la piattaforma lo elabora in modo tale che diventi leggibile e visualizzabile su A360. Il vantaggio di questa tipologia di visualizzazione è che il software è online e quindi non occupa memoria sul disco del computer. Allo stesso tempo, per ottenere una funzione ottimale del software bisogna essere provvisti di una buona rete locale per non rendere difficoltoso il caricamento, in quanto i file caricati su cloud sono in genere di grandi dimensioni.

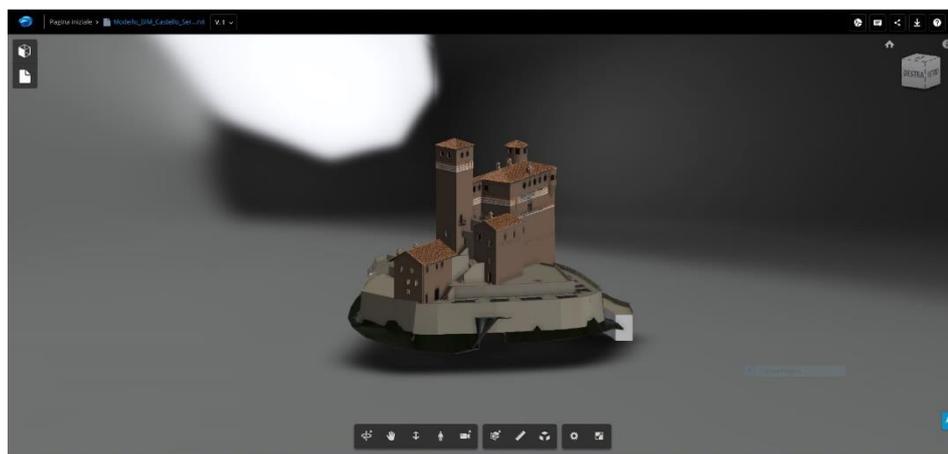


Figura 77: Interfaccia di Autodesk A360 web

Dopo aver caricato il file *.rvt* sul cloud di Autodesk, è possibile effettuare alcune azioni utili sul modello come ad esempio utilizzare la modalità "**misura**" utile per effettuare misurazioni sia lineari che angolari, utilizzando il mouse e cliccando sui due punti di cui vogliamo conoscere la distanza o l'angolo (come in figura 65).

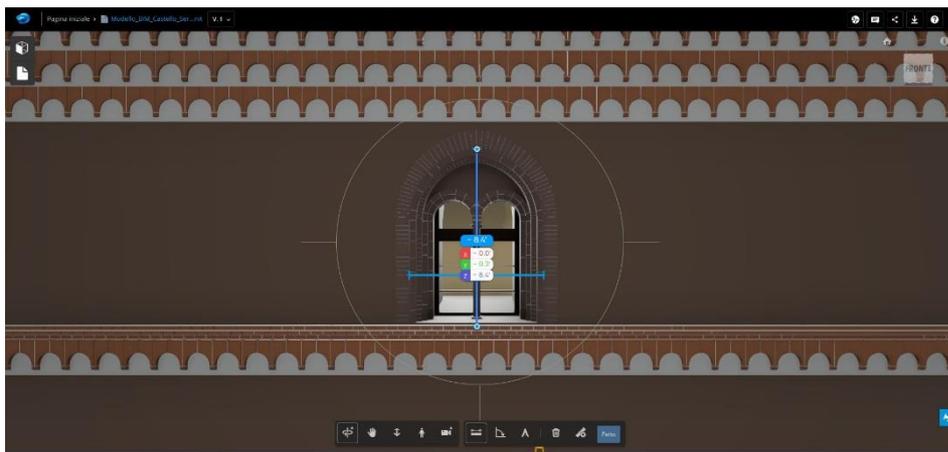


Figura 78: Inserimento misure su A360 web

Altra funzione molto utile, soprattutto per gli addetti alla manutenzione, è la possibilità di “interrogare” gli elementi, semplicemente cliccandoci su e evidenziandolo. Il software riconoscerà l’elemento e ne mostrerà le caratteristiche nella barra laterale. Questa funzione però permette solo la visualizzazione delle caratteristiche poiché non sono interattive, c’è comunque la possibilità di inserire delle note relative all’elemento selezionato per eventuali comunicazioni o annotazioni

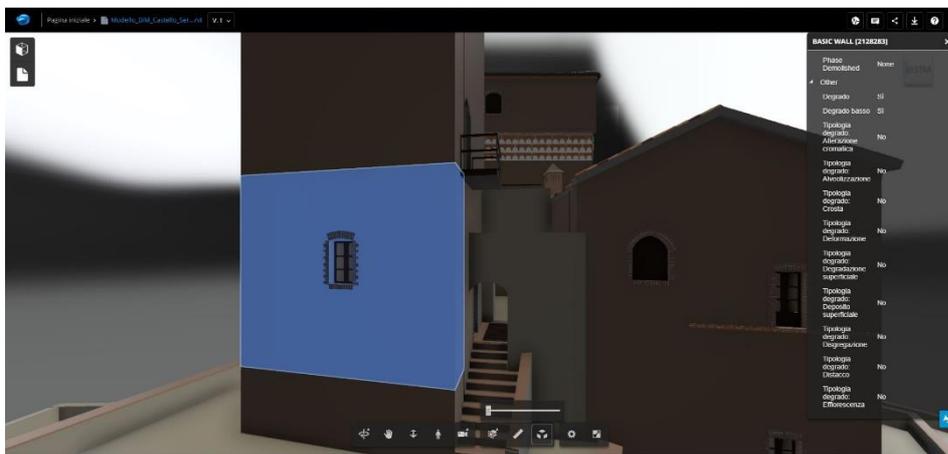


Figura 79: A360 web dà la possibilità di interrogare gli elementi, leggerne le proprietà e inserire note

Per facilitare la navigazione e l’individuazione di elementi particolari, Autodesk A360 web, permette anche l’“esplosione” del modello in tutte le sue componenti (come in figura 67), in modo tale da permettere la selezione di elementi di difficile raggiungimento.

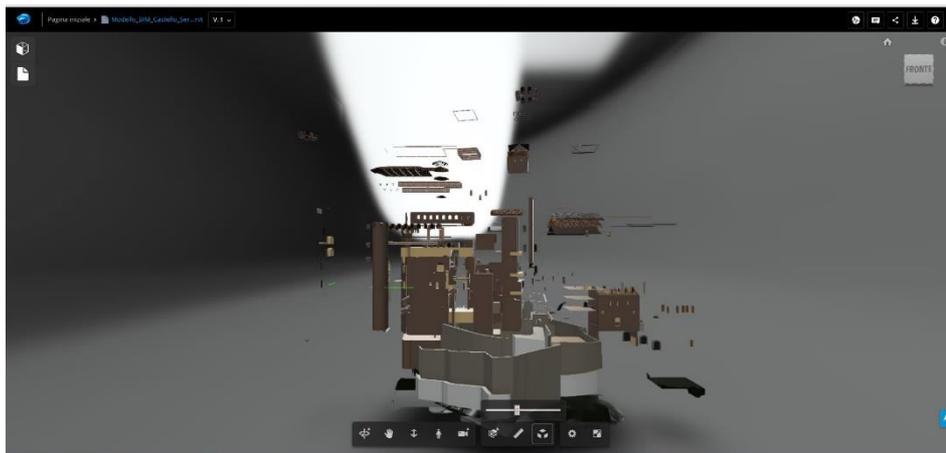
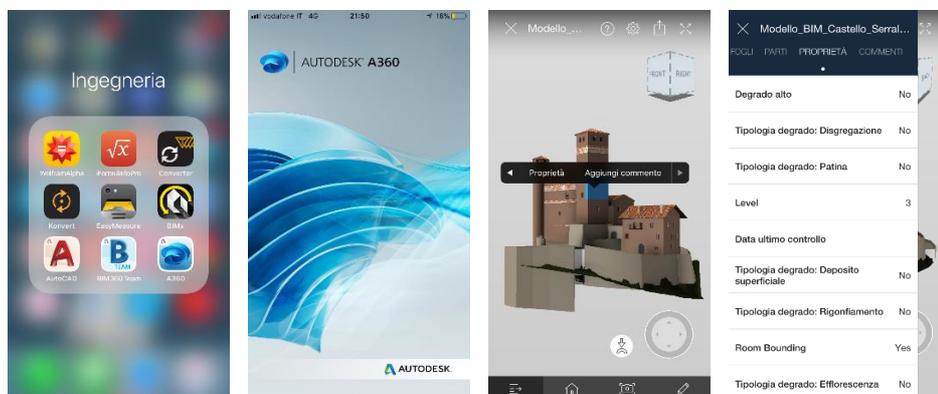


Figura 80: modello esplosivo su A360 web

Un'altra funzionalità che offre la Autodesk è la possibilità di scaricare l'app **A360** per dispositivi mobile sia iOS che Android. Questa applicazione dà la possibilità di visualizzare il modello tridimensionale completo, con i relativi dati, direttamente sul posto e di annotare ad esempio lo stato di *degrado delle murature*, il *tipo di intervento da effettuare* e le sue *tempistiche*. Anche per queste operazioni è necessario che il dispositivo mobile abbia una buona velocità di rete.



In definitiva, il software è ottimo come strumento di supporto alla manutenzione, sia per la possibilità di interrogare gli elementi e di effettuare misurazioni dirette sul modello sia per la praticità offerta dall'app mobile, ma non si presta alla creazione di un tour virtuale per l'impossibilità di dare un effetto realistico al modello con l'importazione delle texture e per la scarsa facilità di navigazione del modello.

Tool	Strumenti di Visualizzazione			Software di Visualizzazione				Pro	Contro
	Oculus	HTC Vive	Oculus	Interazione col Modello		Semplicità di Utilizzo	Open Source		
				Formati Supportati	Formati Supportati				
Cliver	no	no	no	<p>Buona interazione col modello, riconosce le texture dei materiali impostate nel modello, ma solo se queste sono inserite anche nella cartella Texture di Revit</p>	<p>Plug-in diretto a pagamento. Ma è disponibile una Trial Version che permette di caricare fino a 3 progetti in Cloud. App per smartphone per la visualizzazione gratuita</p>	<p>ifc, .rvt, .3ds, .fbx, .dwg, .dwt, .dxf</p>	<p>Interfaccia semplice ed intuitiva e i tutorial messi a disposizione della software house su youtube, rendono accessibile a qualsiasi tipo di utente.</p>	<p>Presenza di App per Smartphone; Plug-in per Revit. Possibilità di lavorare in cloud senza usare memoria;</p>	<p>Non mostra le informazioni degli elementi del modello BIM; Numero limitato di progetti caricabili e visualizzabili per ogni singolo account che non saranno più visibili al termine del periodo di prova</p>
Enscape	si	si	si	<p>Più che buona interazione col modello, riconosce le texture dei materiali impostate nel modello (ma solo se queste sono inserite anche nella cartella Texture di Revit) e riconosce le superfici per una perfetta navigazione.</p>	<p>Plug-in diretto a pagamento ma è disponibile una Trial Version della durata di 14 giorni oppure, per studenti, di 6 mesi.</p>	<p>.rvt, .skp</p>	<p>Interfaccia semplice e intuitiva e i tutorial messi a disposizione della software house su youtube, rendono semplice l'utilizzo. E' possibile inoltre muoversi all'interno del modello attraverso una palette di comandi a video che permettono anche l'utilizzo della tastiera per la navigazione.</p>	<p>Plug-in per Revit e Sketch Up, Riconoscimento dei materiali preimpostati; interfaccia semplice ed intuitiva; low cost</p>	<p>Licenza per studenti limitata a 6 mesi e con alcune funzionalità bloccate; impossibilità di post-produzione; Augmented Reality non supportata.</p>
Autodesk Live	no	si	si	<p>Ottima interazione col modello, riconosce le texture dei materiali impostate nel modello (ma solo se queste sono inserite anche nella cartella Texture di Revit) e riconosce le superfici per una perfetta navigazione.</p>	<p>Plug-in diretto a pagamento. Trial Version disponibile per 30 giorni con la possibilità di caricare fino a 10 progetti su Cloud</p>	<p>.rvt, .3ds</p>	<p>Anche in questo caso l'interfaccia è semplice e intuitiva, è possibile muoversi attraverso il modello con il mouse o con la tastiera. Riconosce le superfici e quindi è possibile la modalità "walk through"</p>	<p>Possibilità di scaricare il file del modello e di riprodurlo su apposito software, riconosce i materiali preimpostati, possibilità di interrogare i singoli elementi e di vederne le caratteristiche</p>	<p>Licenza limitata, numero di progetti caricabili in cloud limitato, file generati molto pesanti</p>
Autodesk A360	no	si	si	<p>Buona interazione col modello, non è possibile utilizzare la modalità "realistico" ma funziona solo in modalità "ombreggiato"</p>	<p>Funziona in ambiente cloud di Autodesk e quindi è gratuito</p>	<p>.rvt, .3ds</p>	<p>Interfaccia molto simile a quella di Autodesk Live. Difficoltà nella navigazione poiché non supporta il movimento con tastiera</p>	<p>Gratuito. Possibilità di osservare e interrogare il modello disponibile anche sui dispositivi mobili, il progetto non occupa memoria poiché caricato il cloud</p>	<p>Impossibilità di vedere il modello in modalità "realistico", navigazione non semplice</p>

Figura 81: Tabella riassuntiva del confronto tra software VR/AR

6. Gestione ed estrapolazione dei dati

Il modello digitale informativo modellato con metodologie BIM, come già affermato, contiene al suo interno un numero di dati e informazioni riguardanti il modello e i suoi elementi, tutti raccolti all'interno di un database. Il software Revit permette, una volta terminato il modello, di estrapolare e gestire queste informazioni attraverso la generazione di **abachi**.

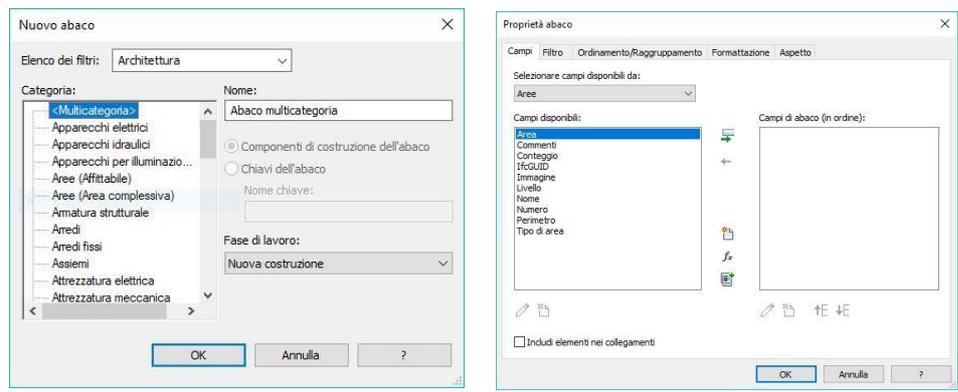
Questi abachi, danno la possibilità di generare tabelle contenenti le informazioni necessarie, raggruppandole a seconda delle necessità per:

- Nome
- Codice
- Livello
- Area
- Volume

A cui possono essere aggiunte informazioni specifiche ai fini manutentivi a seconda del tipo di elemento che si sta andando a tabellare, quindi, ad esempio, nell'**abaco delle murature** verranno inserite informazioni riguardanti il *degrado*, le *tempistiche* e le *tipologie di intervento*, mentre nell'**abaco degli ambienti** verranno inserite informazioni riguardati l'*accessibilità degli spazi* e la presenza o meno di *dispositivi per il superamento delle barriere architettoniche*.

Per la creazione degli abachi bisogna cliccare col tasto destro nella categoria "Abachi/quantità" nella finestra del "Browser di progetto" e selezionare "Nuovo abaco/quantità". A questo punto Revit ci darà la possibilità di scegliere la "Categoria" che si vuole tabellare (nel nostro caso *Ambienti e Muri*) e successivamente le proprietà di quella specifica categoria che dovranno apparire nell'abaco.

Nel nostro caso caso specifico, per gli ambienti sono state scelte le proprietà: *Nome, Codice, Edificio, Livello, Area, Volume, Accessibilità, Visitabilità e Dispositivi di superamento delle barriere architettoniche* mentre per le murature sono state scelte le proprietà: *Tipologia, Posizione, Area, Funzione, Finiture, Data ultimo controllo, Degrado (alto, medio, basso), Tipologia di degrado (Alterazione cromatica, Alveolizzazione, Crosta, Deformazione, Degradazione, etc.), necessità di intervento, Frequenza controllo e commenti*.



Una volta selezionate tutte le proprietà, verrà generato l'abaco che apparirà come una tabella composta da righe e da colonne in cui sarà possibile modificare tutti i campi e suddividerli per gruppi selezionando il comando "raggruppamento" dal menu delle proprietà. Una volta generato l'abaco, questo potrà essere esportato in formato .txt e aperto in Excel per eventuali modifiche o per la condivisione.

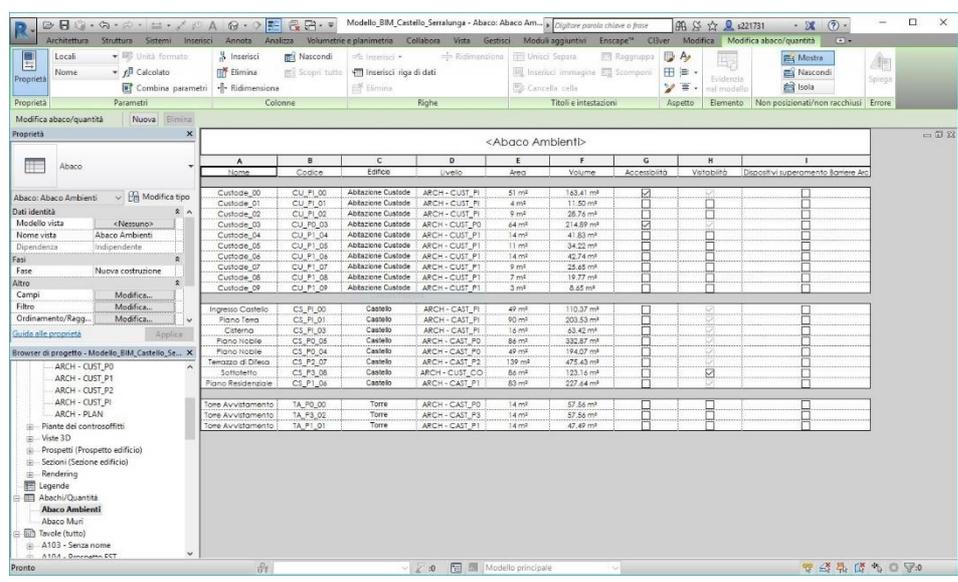


Figura 82: Generazione Abaco degli Ambienti

L'estrapolazione di dati dal modello, può agevolare notevolmente la fase di monitoraggio e gestione di un bene storico e architettonico come il castello di Serralunga d'Alba, in quanto, in questo modo sarà possibile condividere le informazioni con tutto il team e ogni utente potrà compilare ogni campo degli abachi (ad esempio in seguito ad un sopralluogo), in modo tale da controllare ed aggiornare continuamente le informazioni relative allo stato del bene.

Questo permetterà non solo un flusso di informazioni più veloce ma anche una sostituzione sostanziale della documentazione cartacea dimezzando anche le tempistiche di reperimento del materiale, avendo tutta la documentazione in un unico file.

6.1. Abaco dei Locali

Abaco Ambienti									
Nome	Codice	Edificio	Livello	Area	Volume	Accessibilità	Visibilità	Dispositivi superamento Barriere Arch.	
Custode_00	CU_PI_00	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	51 m ²	163.41 m ³	Si		No	
Custode_01	CU_PI_01	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	4 m ²	11.50 m ³	No	No	No	
Custode_02	CU_PI_02	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	9 m ²	28.76 m ³	No	No	No	
Custode_03	CU_PO_03	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PO	64 m ²	214.89 m ³	Si		No	
Custode_04	CU_PI_04	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	14 m ²	41.83 m ³	No	No	No	
Custode_05	CU_PI_05	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	11 m ²	34.22 m ³	No	No	No	
Custode_06	CU_PI_06	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	14 m ²	42.74 m ³	No	No	No	
Custode_07	CU_PI_07	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	9 m ²	25.65 m ³	No	No	No	
Custode_08	CU_PI_08	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	7 m ²	19.77 m ³	No	No	No	
Custode_09	CU_PI_09	Abitazione Custode	ARCH - CUST_PI	3 m ²	8.65 m ³	No	No	No	
Ingresso Castello	CS_PI_00	Castello	ARCH - CAST_PI	49 m ²	110.37 m ³	No		No	
Piano Terra	CS_PI_01	Castello	ARCH - CAST_PI	90 m ²	203.53 m ³	No		No	
Cisterna	CS_PI_03	Castello	ARCH - CAST_PI	16 m ²	63.42 m ³	No		No	
Piano Nobile	CS_PO_05	Castello	ARCH - CAST_PO	86 m ²	332.87 m ³	No		No	
Piano Nobile	CS_PO_04	Castello	ARCH - CAST_PO	49 m ²	194.07 m ³	No		No	
Terrazza di Difesa	CS_P2_07	Castello	ARCH - CAST_P2	139 m ²	475.43 m ³	No		No	
Sottotetto	CS_P3_08	Castello	ARCH - CUST_CO	86 m ²	123.16 m ³	No	Si	No	
Piano Residenziale	CS_P1_06	Castello	ARCH - CAST_P1	83 m ²	227.64 m ³	No		No	
Torre Avvistamento	TA_PO_00	Torre	ARCH - CAST_PO	14 m ²	57.56 m ³	No	No	No	
Torre Avvistamento	TA_P3_02	Torre	ARCH - CAST_P3	14 m ²	57.56 m ³	No	No	No	
Torre Avvistamento	TA_P1_01	Torre	ARCH - CAST_P1	14 m ²	47.49 m ³	No	No	No	

6.2. Abaco delle Murature

I pezzi di abaco seguenti, sono da intendersi come un'unica riga, sono da leggersi uno di seguito all'altro.

Abaco Muri										
Tipologia	Posizione	Area	Volume	Funzione	Finitura esterna	Finitura interna	Data ultimo controllo	Degradato	Degradato alto	Degradato basso
Muratura Torre - 1.10 m	ARCH - CAST_P2	48 m ²	52.83 m ³	Esterno	Mattoni, Castello	Mattoni, Castello				
Muratura Torre - 1.10 m	ARCH - CAST_P1	41 m ²	44.76 m ³	Esterno	Mattoni, Castello	Mattoni, Castello				
Muratura Torre - 1.10 m	ARCH - CAST_P0	33 m ²	35.94 m ³	Esterno	Mattoni, Castello	Mattoni, Castello		SI		SI

Abaco Muri											
Alterazione cromatica	Alveolizzazione	Crosti	Deformazione	Degradazione superficiale	Deposito superficiale	Disgregazione	Distacco	Efflorescenza	Estolizione	Fessurazione	Incrostazione

Abaco Muri												
Lacuna	Macchia	Patina	Patina biologica	Pellicola	Pitting	Polverizzazione	Presenza di vegetazione	Rigonfiamento	Scagliatura	Necessità di intervento	Frequenza controllo	Commenti

7. Conclusioni

Il lavoro è stato svolto seguendo due linee guida, entrambe accomunate dal modello BIM del Castello di Serralunga d'Alba. La prima portava alla creazione di un tour virtuale all'interno del castello, mentre la seconda portava a rendere funzionale il modello ai fini gestionali.

Per raggiungere entrambi gli obiettivi, è stato necessario documentarsi sulla metodologia BIM in generale e su quella HBIM in particolare per comprendere come meglio approcciarsi e quali software utilizzare per la modellazione, facendo ricadere la scelta su Revit Architecture poiché il più adatto alle nostre esigenze. Tuttavia, la **modellazione** su Revit si è rivelata difficoltosa soprattutto nella creazione di superfici complesse che sono una peculiarità dell'HBIM, portando l'utente all'utilizzo di masse che non sono parametrizzabili e quindi inutili ai fini della metodologia. I software di modellazione tridimensionale informativa infatti, sono stati pensati per modelli di manufatti di nuova costruzione e presentano quindi delle difficoltà in termini di modellazione di edifici di carattere storico. La scarsa quantità di informazioni utili ad una modellazione più completa, inoltre, non ha agevolato il lavoro di modellazione, dove elementi come i collegamenti verticali e le coperture hanno rappresentato una vera e propria **criticità** anche in termini di tempo. Altra problematica è rappresentata dall'utilizzo di texture diverse da quelle della libreria Revit che ha reso il file del modello di difficile gestione in quanto molto pesante in termini di dimensioni in memoria digitale e ciò ha comportato l'utilizzo di hardware e strumentazioni all'avanguardia per lavorare agevolmente.

Successivamente alla fase di modellazione, si è passati alla creazione del **tour virtuale**, per il quale è stato necessario documentarsi sulle nuove tecnologie di visualizzazione in realtà immersiva e sui software a supporto di questa. Il lavoro, è stato svolto seguendo due strade. La prima prevedeva la creazione di un tour virtuale finalizzato all'accessibilità e alla valorizzazione di un luogo di importanza storica e architettonica, mentre la seconda prevedeva l'utilizzo della realtà virtuale quale strumento di supporto agli enti preposti alla gestione del sito. Nella scelta dei software da utilizzare si è optato per piattaforme open source che avessero una buona interazione col modello e che offrissero un'ottima restituzione grafica. Per questo motivo sono stati individuati dei plug-in diretti che comunicano con Revit come: C13ver, Enscape, Autodesk Live e Autodesk A360. Tuttavia, la versione gratuita per questi software è temporanea e questo ha rappresentato una **criticità**, in quanto il tempo di utilizzo e i progetti caricabili sono molto limitati. Altra difficoltà, anche qui, è stata la gestione delle texture, poiché non sempre l'importazione dal software di modellazione è avvenuta in maniera

ottimale ed è stato necessario effettuare un ulteriore passaggio caricando le immagini all'interno della cartella delle texture di sistema.

I **risultati** ottenuti dai test effettuati, hanno dato un riscontro negativo per quanto riguarda la creazione del tour virtuale con i software: *C/3ver*, in quanto la navigazione all'interno del modello è poco agevole e la restituzione grafica non molto buona, oltre a non permettere l'utilizzo dei dispositivi di visualizzazione per la versione trial e con *Autodesk A360*, poiché permette di visualizzare i file solo in modalità "ombreggiato" e non in modalità "realistico" e anche qui la navigazione del modello è poco pratica. D'altro canto, però, i due software permettono di caricare il modello in cloud evitando così un largo utilizzo della memoria del disco.

Riscontro positivo, invece, è stato dato dai software: *Enscape*, il quale si è rivelato un'ottima piattaforma di visualizzazione in realtà immersiva in quanto la restituzione grafica offre un'ambientazione molto realistica e *Autodesk Live* che offre, anch'esso una buonissima restituzione grafica. Entrambi permettono un percorso agevole all'interno del modello dato dal riconoscimento delle superfici che consente una navigazione in modalità "walk through". Fa da contraltare il fatto che entrambi generino dei file eseguibili molto pesanti in termini di memoria su disco.

Per quanto riguarda il tema della realtà virtuale a servizio della gestione del sito, invece, i software *C/3ver* e *Enscape* poco si prestano a questa funzionalità, poiché non permettono la lettura delle caratteristiche di ogni singolo elemento del modello, mentre *Autodesk Live* e *Autodesk A360* permettono l'interrogazione degli elementi durante la navigazione (ma solo per la visualizzazione, non permettono azioni interattive sulle proprietà), l'inserimento di annotazioni e di effettuare misurazioni direttamente sul modello. Autodesk A360, inoltre, offre la possibilità di scaricare un'applicazione per la visualizzazione del modello caricato su cloud su dispositivo mobile il che permette di visualizzare e interrogare il modello anche durante i sopralluoghi.

Ultima fase del lavoro è consistita **nella gestione e nell'estrapolazione dei dati** dal modello. Sono stati creati due tipologie di abachi: un *abaco degli ambienti*, al fine di definirne caratteristiche geometriche, accessibilità, visitabilità e presenza di dispositivi per il superamento delle barriere architettoniche e un *abaco delle murature* in cui, oltre alle caratteristiche geometriche e di posizionamento, sono presenti informazioni riguardo al livello e alle tipologie di degrado e alle tempistiche di intervento. Questi abachi sono di supporto al lavoro di gestione, in quanto danno la possibilità di monitorare continuamente lo "stato di salute" dell'opera.

A conclusione del lavoro di tesi, è stato raggiunto l'obiettivo di concedere agli enti preposti alla gestione e valorizzazione del sito, uno strumento utile e condivisibile sfruttando le potenzialità offerte dalla metodologia BIM. Il progetto può essere considerato come un punto di partenza per un discorso di gestione e valorizzazione più ampio che interessi tutti i castelli del comprensorio delle Langhe,

offrendo alla *Soprintendenza ai Beni Culturali* un nuovo strumento di monitoraggio più efficiente, eliminando tutta la documentazione cartacea e concentrando tutte le informazioni all'interno di un *Building Information Model*.

Bibliografia

- Banino, M. (2017). *Tesi di laurea dal titolo: "HBIM: dal rilievo al monitoraggio degli interventi di restauro. Il caso studio della stazione ferroviaria di Garessio in Val Tanaro"*. Torino.
- Continenza, R., Giannangeli, A., Quattrini, R., Trizio, A., & Tata, A. (2016). HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvecchio Calvisio (L'Aquila). *Disegnarecon, volume 9, n.16*.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., Di Giuda, G. M., & Villa, V. (2015). *Il BIM: Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Milano: HOEPLI.
- Gazzetta d'Alba. (2007). *In volo sulle Langhe e Roero*. Alba: San Paolo.
- Granda. (2013). *La grande guida: Langhe e Roero*. Alba.
- Lauria, S., & Tarantino, T. (2017). *Tesi di laurea dal titolo: "BIM, Realtà Virtuale e aumentata per la gestione della manutenzione. Il caso studio: il Castello di Parella"*. Torino.
- (2006). *Legge n. 77 Misure speciali di tutela e fruizione dei siti italiani di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella Lista del Patrimonio Mondiale, posti sotto la tutela dell'UNESCO*.
- Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic Building Information Modeling. *Structural Survey*, 311-327.
- (2017). *Norma UNI 11337*.
- Osello, A. (2012). *Il futuro del disegno con il BIM per Ingegneri e Architetti*. Palermo: D. Flaccovio.

Sitografia

- (2018, Marzo 13). Tratto da You Build Web: <https://www.youbuildweb.it/2017/09/29/bim-progettazione-integrata/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Bim Lazzarini: <http://bim.lazzarini.com/en/bim-management>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Specifiglobal: <http://specifiglobal.com/learning/building-information-modeling/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Bygghandlingar 90: <https://www.bygghandlingar90.se/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Bips: <https://bips.dk/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Statsbygg: <http://www.statsbygg.no/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da AEC UK: <https://aecuk.wordpress.com/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da UK Government Costruction Strategy: <https://cabinetoffice.gov.uk/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Istitute for BIM Canada: <https://www.ibc-bim.ca/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da CoRENet: <https://www.corenet.gov.sg/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Gis & Infrastrutture: <http://www.gisinfrastrutture.it/2017/12/bim-il-decreto-e-firmato-lobbigo-a-partire-dal-2019/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-560-del-01122017>
- (2018, Marzo 13). Tratto da UNI: <https://www.uni.com/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Acca Software: http://biblus.acca.it/wp-content/uploads/2017/02/grafico_IFC-e1486640213255.jpg
- (2018, Marzo 2018). Tratto da Building in Cloud: <https://www.buildingincloud.net/software-bim-guide/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Ingegno: <https://www.ingenio-web.it/4788-hbim-nellesistente-storico-potenzialita-e-limiti-degli-strumenti-integrati-nel-recupero-edilizio>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Progetto Metrics: <http://www.progetto-metrics.it/frigento-hbim>
- (2018, Marzo 13). Tratto da CMCS: <http://www.cmcs.co/wp-content/uploads/2016/01/ArticleSGBIMPLC.png>
- (2018, Marzo 13). Tratto da Autodesk: https://cdn.redshift.autodesk.com/sites/6/2018/01/AR-VR-HumansMachinesUnite_Header.jpg
- (2018, Marzo 13). Tratto da Oculus Rift: <https://www.oculus.com/rift/>
- (2018, Marzo 13). Tratto da HTC Vive: <https://www.vive.com/eu/>

(2018, Marzo 13). Tratto da Territorio delle Langhe: <https://www.langhe.net/>

(2018, Marzo 13). Tratto da Associazione per il Patrimonio dei Paesaggi Vitivinicoli di Langhe-Roero e Monferrato: <http://www.paesaggivitivinicoli.it/patrimonio/la-langa-del-barolo/>

(2018, Marzo 13). Tratto da MiBACT: http://www.beniculturali.it/mibac/opencms/MiBAC/sito-MiBAC/Luogo/MibacUnif/Luoghi-della-Cultura/visualizza_asset.html?id=151363&pagename=157031

(2018, Marzo 13). Tratto da Future BIM: <https://www.fbim.co.uk/>

Indice delle figure

Figura 1: Schema generale della metodologia BIM	12
Figura 2: Schema riassuntivo della metodologia BIM	15
Figura 3: Timeline della diffusione del BIM	16
Figura 4: Interoperabilità tra software	23
Figura 5: Concetto di Interoperabilità nel BIM	24
Figura 6: Schema dei LOD	27
Figura 7: Esempio di LOD secondo la G202/2013 applicato ad una trave rovescia	27
Figura 8: Grafico LOD-Tempo	31
Figura 9: VR e AR nell'edilizia	32
Figura 10: Virtual Reality	33
Figura 11: Esempio di Augmented Reality applicato all'edilizia	34
Figura 12: Oculus Rift	36
Figura 13: HTC Vive	36
Figura 14: Langa del Barolo	37
Figura 15: Castello di Serralunga d'Alba	39
Figura 16: Foto scattata durante il rilievo al portone d'ingresso del castello	40
Figura 17: Foto scattata durante il rilievo di uno degli ambienti interni del castello	41
Figura 18: Foto scattate durante il rilievo dell'ultimo piano, quello maggiormente interessato dagli interventi degli anni '50	42
Figura 19: Foto scattata durante il rilievo del piano nobile del castello con affresco sulla sinistra	42
Figura 20: File .dwg di una sezione del castello	43
Figura 21: File .dwg delle curve di livello	45
Figura 22: File .dwg delle curve di livello aggiornate con le relative quote dei punti	45
Figura 23: Creazione della superficie topografica (in modalità editing) mediante l'importazione delle curve di livello	46
Figura 24: Superficie topografica ottenuta	47
Figura 25: Creazione di un pavimento di sistema	47

Figura 26: Finestra "modifica struttura"	48
Figura 27: Finestra "Browser dei materiali" in cui poter selezionare i materiali da assegnare agli strati	49
Figura 28: Generazione muro a sezione irregolare	50
Figura 29: Estrusione su percorso	51
Figura 30: Scala da disegno	52
Figura 31: Sistema dei collegamenti verticali posti nella muratura	52
Figura 32: Impostazione piani di riferimento e parametri	54
Figura 33: Creazione Parametro di Famiglia	54
Figura 34: Elenco parametri della famiglia "Porta"	55
Figura 35: Famiglia "Porta"	55
Figura 36: Piani di riferimento obliqui bifora ogivale	56
Figura 37: Parametri di Famiglia bifora ogivale	56
Figura 38: Bifora ogivale parametrica obliqua	57
Figura 39: Famiglia parametrica " archetti pensili" in pianta	58
Figura 40: Famiglia parametrica "archetti pensili"	59
Figura 41: Modello generico "merlo ghibellino"	59
Figura 42: Modello generico di decorazione posta su muratura obliqua	60
Figura 43: Modello generico "decorazione"	60
Figura 44: Prospetto modello generico "comignolo"	61
Figura 45: Modello generico "comignolo"	61
Figura 46: Creazione del manto	63
Figura 47: Posizionamento Travi	63
Figura 48: Posizionamento travetti longitudinali e trasversali	64
Figura 49: Manto completo di orditura	64
Figura 50: Grondaia	65
Figura 51: Posizionamento coppi e grondaia	65
Figura 52: Capriata Ligneo del tetto del castello	66
Figura 53: Tetto del castello	66

Figura 54: Barra dello strumento "gestione"	67
Figura 55: Finestra "browser dei materiali"	67
Figura 56: Finestra Editor Trama	68
Figura 57: Composizione in rilievo	68
Figura 58: Interoperabilità tra software di modellazione e software VR	70
Figura 59: Plug-in di Cl3ver nella barra degli strumenti di Revit	71
Figura 60: Progetto caricato sulla piattaforma web di Cl3ver	72
Figura 61: Posizione delle note inserite nel modello in Cloud	73
Figura 62: Esempio di nota con informazioni di tipo storico e foto allegata	73
Figura 63: Menù delle viste	74
Figura 64: Vista Piano Terra su Cl3ver	74
Figura 65: Plug-in di Enscape nella barra degli strumenti di Revit	75
Figura 66: Apertura del modello all'interno della piattaforma web di Enscape	76
Figura 67: Navigazione nel castello - Vista 1	76
Figura 68: Navigazione nel castello - Vista 2	77
Figura 69: Navigazione nel castello - Vista 3	77
Figura 70: Navigazione nel castello - Vista 4	77
Figura 71: Plug-in di Autodesk Live nella barra degli strumenti di Revit	79
Figura 72. Caricamento progetto su Autodesk Live Editor	80
Figura 73: Interfaccia e impostazioni	80
Figura 74: Interrogazione muratura su Autodesk Live	81
Figura 75: Interrogazione finestra su Autodesk Live	81
Figura 76: Navigazione all'interno del modello con Autodesk Live	81
Figura 77: Interfaccia di Autodesk A360 web	83
Figura 78: Inserimento misure su A360 web	84
Figura 79: A360 web dà la possibilità di interrogare gli elementi, leggerne le proprietà e inserire note	84
Figura 80: modello esploso su A360 web	85

Figura 81: Tabella riassuntiva del confronto tra software VR/AR	86
Figura 82: Generazione Abaco degli Ambienti	88