

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Sessione di Laurea Novembre 2022

Heritage Digital Twin. L'ambito urbano di Palazzo Carignano

Relatore:

Anna Osello

Candidata:

Elisa Dapino

a.a. 2021/2022

Sommario

Introduzione – Oggetto e obiettivi della tesi	
HBIM	7
Stato dell'arte	9
Obiettivi della tesi	10
Workflow	11
Palazzo Carignano alla scala urbana	12
Attività di ricerca	12
La prima fase — Il corpo principale — 1706/prima metà dell'Ottocento	13
La seconda fase – La manica laterale – 1852	16
La terza fase – La demolizione della manica laterale – 1863/1869	
La quarta fase – L'ampliamento – 1871/Oggi	
Lo sviluppo del cortile	19
Palazzo Carignano alla scala edilizia	
Attività di ricerca	
Storia di Palazzo Carignano	
Creazione del Digital Twin	
LOD – Level of detail/development	
Palazzo Carignano alla scala urbana	
Le nuvole di punti	
Le fasi e la gestione del modello	51
Palazzo Carignano alla scala edilizia	58
Le famiglie di Revit	60
L'identificazione delle tipologie di famiglie nel caso studio di Palazzo Carignano	60
Scan to BIM e le Mesh	63
L'importazione della nuvola di punti nelle Famiglie di Revit	64
La metodologia di creazione delle Famiglie – Scan to BIM	
La metodologia di creazione delle Famiglie – Le mesh	75
Il digital twin di Palazzo Carignano alla scala edilizia	80
Analisi e Usi del Modello	83
Analisi dell'affidabilità del modello – LOR	83
Analisi dell'interoperabilità del modello – Infraworks	87
Usi del modello	92
Il Catasto Digitale	94
La piattaforma Cesium	

Conclusioni	
Bibliografia e Sitografia	
Bibliografia	
Bibliografia immagini	
Sitografia	106

Introduzione – Oggetto e obiettivi della tesi

La presente tesi si propone come obiettivo la realizzazione di un digital twin di Palazzo Carignano, edificio di importanza storica e culturale del comune di Torino, al fine di poter utilizzare il modello per svariate applicazioni, tra i quali la creazione di una "biblioteca digitale" di famiglie, utilizzo per tour virtuali e l'applicativo per un nuovo prototipo di catasto.

Attraverso la metodologia dell'HBIM e grazie all'adozione di una precisa nuvola di punti, è stato parzialmente realizzato un digital twin del Palazzo, concentrandosi cioè solo sull'involucro esterno, escluso il cortile. In un primo momento è stato sviluppato a scala urbana, concentrandosi sulle fasi storiche e, perciò, sull'evoluzione del complesso negli anni (sia per quanto riguarda l'espansione del Palazzo, sia della variazione del suo giardino retrostante, ora Piazza Carlo Alberto), e in seconda lettura a scala edilizia, soffermandosi sulla caratterizzazione dell'edificio e delle proprie peculiarità.

Le informazioni per realizzare il digital twin sono state ricavate dalla consultazione di mappe storiche negli archivi comunali, con le quali è stato possibile ricreare una linea temporale della storia di Palazzo Carignano, da quella di libri storici, grazie ai quali si è potuto scendere ad una scala di dettaglio maggiore, concentrandosi perciò su particolari visivi e tecnologici.

L'obiettivo finale è stato appunto la creazione di una biblioteca di famiglie editabili e della creazione di un nuovo prototipo di "Catasto del futuro", utilizzando la metodologia HBIM per poter fornire al fruitore una serie di informazioni di carattere storico, visivo e tecnologico in più rispetto a qualsiasi sistema GIS, sensibilizzando l'utente al patrimonio culturale grazie alle nuove tecnologie.





HBIM

L'HBIM è l'acronimo di Heritage Building Information Modeling ed è un processo che implementa le funzionalità della metodologia BIM basandosi sulla creazione di modelli digitali del patrimonio esistente.

Il termine Heritage Building Information Modeling è stato utilizzato la prima volta nel 2009 in un articolo scientifico del professore Maurice Murphy, e dei suoi colleghi, del Dublin Institute of Technology. Con questo termine si indica un nuovo modo di modellare gli organismi edilizi esistenti utilizzando un processo BIM e generando dei modelli intelligenti che possono contenere e gestire informazioni, comprendendo oltre a quelle geometriche ed identificative anche tutte le proprietà fisiche, e non solo.

L'obiettivo del processo HBIM è quello di generare un modello informativo congruente e geometricamente coerente alla realtà, dove sono contenute la maggior parte delle informazioni raccolte fino a quel momento, come se fosse un "catalogo" digitale da poter interrogare in caso di necessità.

Per la raccolta di informazioni nell'HBIM vengono utilizzate le tecnologie della fotogrammetria digitale ad alta definizione e la rilevazione laser scanner (terrestri o aree con l'impiego di droni), che anche grazie alla possibilità di associare le informazioni geometriche a immagini consentono di ottenere un modello virtuale particolarmente fedele alla realtà. Il rilievo laser scanner nel tempo potrà facilitare i vari interventi successivi, perché è in grado di mettere a disposizione tutte le informazioni e di tracciare la storia del manufatto. I metodi di rilievo ad alta definizione consentono di generare nuvole di punti a elevata risoluzione.



Figura 1 Esempio creazione nuvola di punti

Una seconda fase di raccolta di informazioni avviene secondo l'indagine di informazioni storiche. Attraverso la fusione dei dati viene così costruito un modello HBIM, che racchiude tutte le informazioni relative alla storia dell'edificio, dal quale deriverà la produzione di disegni tecnici, documentazione in 3D, proiezioni ortografiche, sezioni, dettagli e abachi. Inoltre, è possibile arricchire il modello inserendovi all'interno informazioni di tipo storico/documentale.

Tutti i dati che vengono inseriti nel modello 3D devono poter essere fruibili da una serie di figure diverse in modo semplice e intuitivo. Si tratta di informazioni che devono essere utilizzabili per tutto l'arco di vita dell'edificio e devono servire a conoscere e conservare al meglio il patrimonio architettonico.

I modelli geometrici ottenuti attraverso i rilievi devono costituire degli indici di contenuti, con dati consultabili che riguardino storia e caratteristiche tecniche dei singoli componenti, stato di degrado delle diverse parti dell'opera. Un ampio ventaglio di informazioni, quindi, tutte inserite in un database nel tempo sempre implementabile. Il BIM, applicato all'esistente, può rendere sempre più agevole la divulgazione del patrimonio costruito, migliorando sia i metodi di acquisizione dei dati sia il processo di modellazione e restituzione digitale dell'oggetto.

Gli obiettivi che ci si pone con l'HBIM sono essenzialmente quelli di poter ottenere dei modelli BIM di edifici esistenti, costituiti da oggetti intelligenti che contengano informazioni di qualsiasi genere che possano essere aggiornate, sostituite e aggiunte.

Tenuto conto della vastità del patrimonio architettonico e culturale italiano, questa metodologia, correttamente utilizzata, potrebbe esprimere numerose potenzialità; dalla creazione di un archivio digitale del patrimonio alla gestione dello stesso, dall'utilizzo per interventi di recupero e restauro ad uno strumento di fruizione per celebrare le realtà esistenti nel nostro territorio.

Stato dell'arte

Dalla letteratura scientifica si desume che gli utilizzi principali della metodologia dell'HBIM siano perlopiù indirizzati a una scala edilizia.

Le prime sperimentazioni finalizzate a restituire un modello BIM di un edificio esistente si sono svolte su manufatti storici e monumentali: l'obiettivo principale era creare un database dove inserire i modelli creati contenenti una serie di informazioni tecniche e divulgative. Dall'elaborazione in base ai dati del rilievo si passa, in seguito, alla creazione di librerie con oggetti parametrici che rappresentano tutte le componenti dell'edificio. Nel bagaglio storico dei manufatti edilizi sono rare le casistiche in cui si presenti lo stesso tipo di elemento. Infatti, un pilastro non può essere considerato un'unica entità, ma sarà necessario suddividerlo in base, fusto e capitello. Quest'ultimo, a sua volta, verrà ripartito in relazione ai singoli elementi che lo compongono e che magari lo differenziano da un altro capitello. Per questo nasce la necessità di mappare tutte le casistiche in una libreria di oggetti parametrici.

Oltre alla creazione di una libreria di oggetti parametrici, l'HBIM fu utilizzato principalmente per effettuare interventi di recupero e affinché un intervento fosse il più possibile rispettoso delle caratteristiche architettoniche, strutturali e della storia di un edificio, era necessario acquisire il più elevato numero di dati e informazioni specifiche. L'edilizia storica, infatti, è il risultato di diverse stratificazioni e modifiche architettoniche nel corso degli anni, che diventano il focus e la base da cui partire per poter utilizzare il modello per effettuare interventi di recupero. Successivamente, a seguito delle indagini storiche si attuavano quelle diagnostiche, realizzando, infine, il modello digitale. Per progettare il recupero o il restauro di una struttura storica, infatti, l'approccio in ottica Bim segue un percorso diverso rispetto a quello tradizionale: si parte dall'approfondita conoscenza della storia e dell'evoluzione che ha avuto nel tempo ogni singola caratteristica dell'edificio e, in seguito, si passa alla fase della modellazione. Inoltre, la possibilità di poter utilizzare un modello dell'esistente creato su una piattaforma HBIM per poter valutare diverse ipotesi di intervento sullo stesso edificio.

L'HBIM non è soltanto un modello o una rappresentazione di un manufatto esistente, ma è anche utilizzato come base di partenza per indagare le caratteristiche strutturali, tenuto conto che si tratta di costruzioni che nel tempo possono aver subito traumi.

Da letteratura risulta che gli utilizzi di un modello HBIM sono anche indirizzati alla gestione del manufatto stesso. Quando si tratta di edifici di importanza storica la gestione di tipo tradizionale può causare un alto rischio di perdita di dati importanti necessari nelle successive fasi di intervento. Al contrario, seguendo questa metodologia, si può avere a disposizione, in maniera rapida ed efficiente, documentazione che potrebbe riguardare la diagnostica di un edificio storico fatta nel corso degli anni, o gli interventi di consolidamento fatti negli anni precedenti. È possibile, infatti, gestire molti dati ed informazioni in modo coordinato tra vari professionisti ed ottimizzare le risorse e i costi.

Usi meno comuni sono stati individuati nella possibilità di utilizzare il modello per cambiamenti di destinazioni d'uso (casistica meno riscontrata in quanto quando si parla di HBIM ci si riferisce in particolar modo ad edifici e monumenti storici, per i quali un cambio di destinazione d'uso durante il corso degli anni risulta difficile), gestione dell'efficienza energetica e l'utilizzo dei modelli per scopi didattici.

Obiettivi della tesi

L'obiettivo principale della tesi è stato quello di creare un digital twin di Palazzo Carignano con lo scopo di realizzare un database di famiglie delle parti decorative delle facciate, rendendole editabili ed applicabili, perciò, ad altri edifici sia di carattere storico che meno. La necessità di mappare tutte le casistiche di elementi in una libreria di oggetti è scaturita dal fatto che in Italia il patrimonio storico e culturale sia di notevole rilevanza, se non che una delle caratteristiche più peculiari del nostro territorio. L'obiettivo di valorizzazione di queste entità, con uno sguardo agli sviluppi futuri della tecnologia, risulta un obiettivo sempre più attuale e attrattivo.

Oltre a questo specifico obiettivo, la realizzazione di un modello digitale di un'opera di rilevanza storica e culturale è stata anche attuata con l'ottica di poterlo utilizzare per scopi futuri ed implementabili come tour virtuali, sensoristica atta a segnalare flussi di persone, e studi sullo stato di fatto di un'opera storica e culturale di rilevanza.

Come accennato nel capitolo precedente, la maggior parte degli utilizzi della metodologia HBIM è indirizzata a scopi incentrati alla scala edilizia.

Tuttavia, focalizzando l'attenzione su una scala più vasta, quella urbana, la letteratura scientifica riporta pochi esempi dell'utilizzo di questa metodologia, la maggior parte fa riferimento all'impiego del sistema GIS.

La possibilità di utilizzare la metodologia HBIM per mappare la città in un catasto del futuro risulta essere, perciò, uno degli scopi della presente tesi, finalizzata a creare un nuovo prototipo di catasto che riporta modelli tridimensionali aventi non solo delle proprietà geometriche ma anche e soprattutto delle informazioni che possono avere un retaggio in parte storico e in parte culturale, oltre che tecnico e scientifico (non sviluppate, però, nella presente tesi).

Workflow

Di seguito si propone il workflow schematizzato seguito per la realizzazione della presente tesi.



Figura 2 Workflow

Palazzo Carignano alla scala urbana

Attività di ricerca

La prima fase di ricerca è iniziata con la consultazione di mappe catastali d'epoca dell'archivio storico del comune di Torino per analizzare le modifiche nel corso del tempo di Palazzo Carignano e delle sue persistenze alla scala urbana.

Il catasto della città ha origini antiche. Il comune di Torino possiede "Registra" catastali dall'anno 1349, inizialmente solo con funzione descrittiva, che suddivideva la città in quattro quartieri. Con la catastazione napoleonica anche a Torino si forma il catasto geometrico, che con successivi rifacimenti e aggiornamenti, offre varie possibilità d'uso. Infatti, l'elenco delle varie proprietà e delle relative mutazioni, l'indicazione della natura dei beni registrati e delle loro rendite fanno dei registri una sicura fonte di ricerca e di studio tale da soddisfare qualunque esigenza conoscitiva, permettendo anche attendibili ricostruzioni del tessuto urbano.

Palazzo Carignano venne realizzato su progetto del Guarini tra il 1679 e il 1683, costituito da una conformazione a "C", aperto sul giardino, di fronte alle scuderie (collocate nella sede attuale della Biblioteca Nazionale e divenute tali nel 1844).

L'intenzione di Guarino Guarini era quella di collocare il corpo principale del palazzo di fronte a una nuova piazza collegata assialmente alla via nuova mediante una piccola via.

Il proposito di Guarino Guarini era quello di realizzare per il corpo principale del palazzo una conformazione originale mediante una parte centrale curva e due parti laterali dritte.

Palazzo Carignano iniziò ad avere un'importanza politica con la decisione di Carlo Alberto di offrire la sala centrale del palazzo per farne la sede del parlamento subalpino.

L'accresciuta importanza della zona di palazzo Carignano indusse proprietari delle case prevalentemente ancora di impianto sei - settecentesco ad ampliarle ed aggiornarle nei decori esterni del gusto tardo neoclassico di quegli anni.

Nell'Ottocento il tessuto edilizio Sei – Settecentesco subì diffuse modificazioni. Tra le più importanti quelle che riguardarono il complesso di piazza Carlo Alberto, caratterizzata dall'inserimento di importanti edifici di governo della capitale.

Nella seconda metà dell'Ottocento vennero elaborati vari progetti di trasformazione dei giardini di palazzo Carignano in una piazza dedicata alla memoria del re scomparso.

Nel 1860 si collocò sull'asse di via Carlo Alberto l'attuale monumento equestre.

Nello stesso anno venne iniziata la costruzione di una grande sala provvisoria destinata ad ospitare il Parlamento collocata nel vecchio cortile di palazzo Carignano. Le discussioni per il progetto della nuova sede parlamentare si protrassero per un paio d'anni e, nonostante il trasferimento della Capitale, il governo decise di proseguire la realizzazione del maestoso palazzo che avrebbe caratterizzato il lato sull'attuale piazza Carlo Alberto. Il progetto di gusto classico internazionale redatto da Gaetano ferri e Giuseppe Bollati aveva il corpo principale avanzato sulla piazza. Le discussioni sulle nuove destinazioni da dare all'edificio si protrassero per un paio d'anni e vennero concluse da Quintino Sella che decise di farne un grande polo scientifico. Dal 1876 si collocarono i musei di Zoologia, Mineralogia, Geologia, Paleontologia e Anatomia comparata.

Piazza Carlo Alberto ha avuto una storia particolarmente ricca di realizzazioni e trasformazioni successive condotte nell'arco di circa due secoli, per questo è stato necessario individuare nella documentazione ritrovata

quali dati fossero di rilievo e quali un'ipotesi di progetto, oltre a ciò che fosse stato indicato come fedelmente rilevato da quanto invece fosse stato semplicemente indicato in modo approssimativo.

La prima fase — Il corpo principale — 1706/prima metà dell'Ottocento

La prima rappresentazione ritrovata è una mappa delle fortificazioni di Torino nel 1706, dove Palazzo Carignano è rappresentato in modo schematico, e ad un livello di dettaglio molto basso; la sagoma dell'edificio occupa infatti il doppio di quanto effettivamente occupasse all'epoca, e la facciata curva del Guarini è rappresentata solamente da un incavo nella facciata.



Figura 3 Mappa delle fortificazioni di Torino - 1706

Rappresentazioni più precise sono state riscontrate in altre mappe delle fortificazioni della città, risalenti alla fine del 1700, e in tutte è riportata la sagoma effettiva del palazzo.



Figura 4 Mappa delle fortificazioni di Torino nella fine del 700



Figura 5 Torino nella fine del 700

Anche nella prima metà dell'Ottocento l'impronta dell'edificio rimane la stessa.



Figura 6 Torino nel 1840



Figura 7 Torino nella prima metà dell'800

La seconda fase – La manica laterale – 1852

Due testimonianze differenti, entrambe datate 1852, riportano la presenza di un fabbricato rettangolare posto perpendicolarmente a Palazzo Carignano. Purtroppo, non sono state rinvenute ulteriori documentazioni sull'esistenza di questo fabbricato, per questo motivo non è dato sapere il motivo della realizzazione, la sua funzione, e effettivamente dopo quanto tempo fu demolito.



Figura 8 Torino nel 1852 - aggiunta fabbricato



Figura 9 Torino nel 1852 - aggiunta fabbricato

La terza fase – La demolizione della manica laterale – 1863/1869

Documentazioni successive riportano la scomparsa della manica laterale e il ritorno del singolo corpo principale. Come precedentemente riportato, non si ha idea di quando la manica venne demolita, ma sicuramente dal 1863 la sua presenza non è più riportata nelle mappe dell'epoca.

Dettaglio che salta all'occhio è la presenza della statua equestre nella piazza retrostante a Palazzo Carignano realizzata nel 1849 e che è ancora presente tuttora.



Figura 10 Torino nel 1863



Figura 11 Torino nel 1869

La quarta fase – L'ampliamento – 1871/Oggi

Nel 1864 venne approvato il progetto per la realizzazione dell'ampliamento di Palazzo Carignano, i cui lavori terminarono nel 1871. In queste rappresentazioni del 1876 è raffigurato in due differenti livelli di rappresentazione il corpo a "C" aggiunto specchiato a quello principale. Nella prima planimetria troviamo un dettaglio più accurato della volumetria; si coglie, infatti, una divisione degli spazi. Nella seconda il livello di dettaglio è meno accurato in quanto è rappresentata un'unica impronta, ma risulta comunque veritiero.



Figura 12 Torino nel 1876



Figura 13 Torino nel 1876

Lo sviluppo del cortile

Differenti sono le rappresentazioni del cortile / giardino del retro di Palazzo Carignano. L'organizzazione del verde risulta più volte mutata durante gli anni; perciò, questo dettaglio nella documentazione ritrovata potrebbe non essere effettivamente veritiero, in quanto presumibilmente considerato come elemento secondario e non altrettanto importante. E' dunque un motivo di incertezza questa parte dell'edificio di seguito trattata.

Una prima raffigurazione del giardino di Palazzo Carignano la si ritrova in questo stralcio di mappa datato 1656, dove si nota una ricca vegetazione composta da due file di alberi ai confini del giardino e 4 grandi aiuole simmetriche rispetto all'asse contrale a due a due.



Figura 14 Torino nel 1656

In questa rappresentazione del 1790 sembra siano spariti le doppie fine di alberi al delimitare la proprietà, ma è incerto sapere se sia una documentazione veritiera o solamente una semplificazione del rilievo.



Figura 15 Torino nel 1790

Nelle tre rappresentazioni successive, rispettivamente del 1795, 1796 e del 1801, il giardino è semplicemente abbozzato ma rimanda alla disposizione precedentemente descritta. Manca la distinzione tra le due aiuole ma si ritiene che ciò sia perché ci troviamo ad un altro livello di rappresentazione, in cui non ci si è soffermati sui particolari del cortile.



Figura 16 Torino nel 1795



Figura 17 Torino nel 1796



Figura 18 Torino nel 1801

Circa trent'anni dopo il cortile del Palazzo si rinnova e la collocazione e dimensione delle aiuole cambiano venendo disegnate di uguali proporzioni a forma pressoché quadrata.



Figura 19 Torino nel 1823



Figura 20 Torino nel 1827



Figura 21 Torino nel 1831

Si riporta un dettaglio della disposizione della vegetazione del giardino, rappresentazione che si ritiene tra le più veritiere in quanto si passa dalla scala urbana a quella edilizia, e avendo riportato anche la collocazione degli

spazi interni sia del Palazzo che delle Scuderie si nota un livello di dettaglio rispetto le precedenti rappresentazioni.



Figura 22 Particolare del giardino di palazzo Carignano nel 1822

Palazzo Carignano alla scala edilizia

Attività di ricerca

Palazzo Carignano fu eretto tra il 1679 e il 1683. Sono stati individuati diversi studi di progetto, sia per quanto riguarda i prospetti che le piante.



Figura 23 Foto storica Palazzo Carignano



Figura 24 Foto storica facciata su Piazza Carlo Alberto



Figura 25 Proposta di pianta per l'ampliamento Ottocentesco

Tra le varie ipotesi di progetto, per quanto riguarda il prospetto del fronte principale, la partitura architettonica corrisponde a quella realmente eseguita, tuttavia in una prima ipotesi di progetto, il fronte appare coronato da una balaustra con all'estremità e al centro elementi sopraelevati con la forma di timpani curvi che probabilmente erano stati pensati per celare l'andamento della copertura. Unico parzialmente preservato è stato il timpano centrale.



Figura 26 Ipotesi di progetto fronte su Piazza Carignano

Oltre ai prospetti esistono anche varie stesure di pianta; una prima planimetria generale dell'edificio di forma piuttosto squadrata che riporta una corte interna.



Figura 27 Ipotesi pianta totale del Palazzo

Di seguito una planimetria della costruzione dell'intero palazzo, di cui poi è stata inizialmente realizzata solo la parte verso piazza Carignano, e due studi di progetto dell'atrio con il doppio scalone.



Figura 28 Prima ipotesi pianta Palazzo lato Piazza Carignano



Figura 29 Seconda ipotesi pianta Palazzo lato Piazza Carignano



Figura 30 Terza ipotesi pianta Palazzo lato Piazza Carignano

Le notizie in merito alle condizioni dell'edificio in epoca settecentesca sono piuttosto scarse; tuttavia, è stato ritrovato un disegno del cancello del giardino fatto da Bernardo Vittone. Fedelmente realizzato in legno, separava il cortile del palazzo dal giardino seguendo un andamento semicircolare.



Figura 31 Prototipo cancello cortile

Si riporta una planimetria generale dello stato di fatto di palazzo Carignano nella metà del 1700, in cui sono parzialmente riportate anche le scuderie. Di rilevanza il ricco giardino che risulta essere stato rappresentato in modo minuzioso con il disegno ad arabeschi che caratterizza due lunghe aiuole affiancate.



Figura 32 Stato di fatto del giardino nella metà del 1700

Il prospetto principale di Palazzo Carignano è sicuramente quello più conosciuto e famoso. Per ricavarne informazioni sulle variazioni subite nel tempo da questa facciata, in mancanza di prospetti, ci si deve affidare a disegni e incisioni. La più antica risale al 1730 ed è di F. B. Werner che propone una vista frontale. Tuttavia, in questa rappresentazione risultano sproporzionate sia il corpo cilindrico finestrato sia il tetto. Concentrandosi in particolar modo su quest'ultimo, si può pensare che la parte centrale del tetto fosse stata effettivamente realizzata a posteriori e che inizialmente fosse adibita a terrazzo piano.

Una seconda incisione di Giovanni Battista Borra del 1749 inquadra il palazzo in una visione di scorcio e le partiture in altezza appaiono sensibilmente diverse dalle proporzioni reali.



Figura 33 Incisione di Giovanni Battista Borra del 1749

Beltramo Antonio Re, nel 1753, propone una rielaborazione del disegno di Guarini, la cui differenza fondamentale sta nel volume emergente.



Figura 34 Proposta di Beltramo Antonio Re

Altre raffigurazioni del 1800 riportano informazioni non sempre coerenti tra loro, per questo l'interpretazione della situazione reale dell'epoca risulta difficoltosa e poco chiara.

Storia di Palazzo Carignano

Il palazzo era in origine di proprietà dei Carignano, che però con l'occupazione francese vennero allontanati e il palazzo fu occupato dal governo napoleonico che vi stabilì la Prefettura del Dipartimento di Po.

Dopo la Restaurazione la famiglia Carignano riprese possesso della propria residenza nel 1814 e vi rimase fino al 1831, anno dell'ascesa al trono di Carlo Alberto, dopodiché la proprietà passò al Demanio dello Stato che ne detiene tutt'oggi il titolo.

Nel 1848 vi fu la promulgazione dello Statuto da parte di Carlo Alberto. Torino diveniva il centro dell'attività governative; infatti, a Palazzo Carignano venne insediato il Parlamento Subalpino, i cui lavori vennero commissionati a Carlo Saba. Tuttavia, il mancato reperimento del progetto non consente di valutare la portata dei lavori in programma. Passanti ipotizzò che in quell'occasione sarebbe stata rifatta anche la volta che chiude lo spazio del nuovo Parlamento. La struttura fu influenzata da interventi consistenti come si può vedere dai sintomi di cedimento manifestati nelle murature.

Di significativa importanza è il disegno di Cantello datato 1807 che riguarda il prospetto verso Mezzogiorno in cui si ritrova le indicazioni di un muro di recinzione continuo che separava il giardino dalla strada, tra il Palazzo e le scuderie.



Figura 35 Disegno di Cantello del 1807



Figura 36 Pianta piano Terra Palazzo Carignano

Passando alla scala di dettaglio, significativi sono due disegni di Bonsignore che riguardano la ghiera di coronamento del portone d'ingresso riccamente decorata. Il primo riporta due versioni di progetto dove in uno vediamo inserite le iniziali di Carlo Alberto; il secondo riprende gli elementi decorativi usate da Guarini.



Figura 37 Ipotesi ghiera portone d'ingresso con le iniziali di Carlo Alberto



Figura 38 Portone d'ingresso con ipotesi ghiera

In una planimetria catastale del 1821 Sono illustrate le esatte dimensioni della piazza tra il palazzo e il teatro Carignano.

Nel 1831 ebbero inizio operazioni di adattamento della residenza nobiliare ad usi più appropriati che le nuove esigenze pubbliche andavano via via determinando sia all'interno dell'edificio (dove si istituì la sede del Consiglio di Stato), che nel giardino, i cui lavori iniziarono tra il 1832 e il 1833. Il cambiamento di ruolo dell'area favorì l'esigenza di realizzare il collegamento tra le strade laterali attraverso il giardino. Nel 1849 si innalzò un monumento in memoria di Carlo Alberto al centro tra Palazzo Carignano e le nuove scuderie, trasformando definitivamente il giardino in una piazza. Due proposte di progetto illustrano la trasformazione dell'area in funzione della collocazione del monumento e della conformazione della piazza.

La prima è stata presentata da Roberto D'Azeglio e prevedeva una piazza perimetrata da porticati raccordati in curva ai quattro angoli, con il monumento in posizione centrale. La seconda presentata da Gabriele cappello riporta il monumento collocato al di sopra di un portico.



Figura 39 Ipotesi di Roberto D'Azeglio per Piazza Carlo Alberto



MANES CALLS IN CASE 14

Figura 40 Statua Piazza Carlo Alberto



Figura 41 Seconda ipotesi per Piazza Carlo Alberto

Le proposte di una sistemazione più ambiziosa furono accantonate dallo spianamento dell'area attuato tra il 59 e il 60 che cancellò definitivamente la memoria del giardino dando luogo a una nuova piazza al cui centro è stato collocato il monumento dedicato a Carlo Alberto.

Nel 1860 molti progettisti si cimentarono a studiare diverse soluzioni per l'ampliamento del palazzo per la realizzazione definitiva della sede del Parlamento italiano.

Un primo progetto elaborato da Andrea Crida prevedeva l'occupazione totale della piazza e la demolizione della manica delle scuderie.


Figura 42 Pianta del progetto di Andrea Crida



Figura 43 Prospetto del progetto di Andrea Crida

Una proposta meno invasiva è stata attuata da Domenico Ferri, che proponeva semplicemente di raddoppiare il volume del palazzo.

Il progetto di Antonelli è di proporzioni maggiori; il nuovo fronte del palazzo avrebbe dovuto quasi raggiungere l'allineamento di via Carlo Alberto. Inoltre, all'interno erano state predisposte tre sale assembleari. Di seguito si riportano la planimetria e il prospetto.



Figura 44 Prospetto del progetto di Antonelli



Figura 45 Sezione del progetto di Antonelli

Nonostante le varie proposte progettuali, le opinioni sull'effettiva necessità di realizzare la nuova costruzione non erano concordi. Solo nel 1863 si prese una decisione definitiva sulla realizzazione della nuova volumetria di Palazzo Carignano.

Nel 1864 venne presentato approvato il nuovo progetto. Tuttavia, l'aula del Parlamento non entrò mai in uso perché Torino smise di essere la capitale del Regno d'Italia e per questo motivo la costruzione fu faticosamente portata avanti tra molte difficoltà. Nel 1871 vennero effettuati collaudi ma ci vollero ancora 12 anni per raggiungere la sistemazione definitiva della piazza Carlo Alberto.



Figura 46 Prospetto definitivo del fronte su Piazza Carlo Alberto

Con il cambiamento di capitale e il conseguente allontanamento delle camere da Torino nacquero i primi problemi di riutilizzo del palazzo che offriva ampi spazi per altre funzioni pubbliche. Disparate erano le proposte: la Borsa, la Camera di commercio, il Tribunale civile.. tuttavia, ogni proposta venne respinta perché in alcuni casi comportava importanti modifiche progettuali alla struttura, e in altri, invece, perché si voleva mantenere libero il grande spazio per manifestazioni municipali. Infine, si consolidò la proposta di Quintino Sella di destinare il palazzo a sede museale. A partire dal 1876 si insediarono nel palazzo i Musei di Zoologia e Mineralogia, Geologia, Paleontologia e Anatomia comparata. Il rilievo del 1874 di A. Sismonda e M. Lessona riporta le varie collocazioni delle destinazioni d'uso nei tre piani.



Figura 47 Pianta definitiva di Palazzo Carignano Piano Terra



Figura 48 Pianta definitiva di Palazzo Carignano Piano Primo



Figura 49 Pianta definitiva di Palazzo Carignano Piano Secondo

Interessante il documento fotografico che servì da supporto a Carlo Ceppi per l'intervento che coronò il fronte su piazza Carignano con lo stemma dedicato a Vittorio Emanuele II.



Figura 50 Decorazione sul fronte di Piazza Carignano

Nel 1937 il Museo del Risorgimento si trasferisce a Palazzo Carignano, occupando l'aula del Parlamento Subalpino e le sale circostanti.

Nel 1943 le incursioni aeree causano innumerevoli danni alla copertura, che generano fenomeni di infiltrazione in tutta la struttura, anche nel Parlamento Subalpino.



Figura 51 Danni delle incursioni aeree, 1943



Figura 52 Danni delle incursioni aeree, 1943



Figura 53 Danni delle incursioni aeree, 1943

Di seguito alcune rappresentazioni maggiormente dettagliate dello stato di fatto utili per lo sviluppo del digital twin.



Figura 54 Palazzo Carignano, stato di fatto



Figura 55 Palazzo Carignano, stato di fatto



Figura 56 Palazzo Carignano, stato di fatto



Figura 57 Palazzo Carignano, stato di fatto



Figura 58 Palazzo Carignano, stato di fatto

Creazione del Digital Twin

La creazione del digital twin di Palazzo Carignano si divide in due filoni legati a due scale di rappresentazione e di dettaglio diverse. Verranno trattati separatamente la realizzazione di due digital twin; uno alla scala urbana, basandosi sulla ricerca storica precedentemente riportata, con il focus di visionare i vari cambiamenti nel tempo del Palazzo, e uno alla scala edilizia, soffermandosi maggiormente nei dettagli dell'involucro esterno e modello stesso.

Per poter iniziare a comprendere la diversità tra i due modelli è necessario riportare una breve introduzione sul concetto di LOD.

LOD – Level of detail/development

Il termine LOD è definito come "livello di dettaglio" o "livello di sviluppo" di un elemento del modello BIM. I LOD hanno infatti il compito di definire con precisione il livello di approfondimento delle informazioni che sono contenute all'interno del modello.

Il livello di dettaglio di un modello BIM aumenta man mano che il progetto procede, spesso si basa in primo luogo sulle informazioni esistenti, per poi sviluppare da un semplice modello concettuale un modello di costruzione virtuale dettagliato, quindi un modello operativo.

Il committente può definire il livello di definizione che è necessario nei Requisiti di Informazione del Committente che fanno parte più in generale delle richieste del committente.

In UK sono stati definiti due componenti del livello di definizione:

- Livelli di geometria del modello (LOG), che riguarda il contenuto grafico di modelli.
- Livelli di informazioni del modello (LOI), che si riferisce al contenuto dei dati dei modelli.

I due sono strettamente collegati come è normale che il contenuto grafico e non grafico si sviluppano uno accanto all'altro.



Figura 59 LOD

L'American Institute of Architects (AIA) ha pubblicato un quadro LOD. Quest'ultimo si riferisce al 'livello di sviluppo' necessaria per i contenuti degli elementi del modello e si basa su una scala che va da LOD 100 a LOD 500.

- LOD 100: si riferisce a un modello elementare che può essere rappresentato graficamente nel modello con un simbolo o altra rappresentazione generica, ma non detiene nel modello alcuna informazione aggiuntiva.
- LOD 200: l'elemento del modello è rappresentato graficamente come un sistema generico, un oggetto o un assemblaggio con quantità approssimative, dimensione, forma, la posizione e l'orientamento. Possono anche essere collegate all'elemento informazioni non grafiche.
- LOD 300: l'elemento del modello è rappresentato graficamente all'interno del modello come un sistema specifico, un oggetto, o l'assemblaggio in termini di quantità, di dimensioni, di forma, di posizione e orientamento. Si ottiene quindi un'entità misurabile. Informazioni non grafiche possono anche essere collegate all'elemento del modello.
- LOD 400: L'elemento del modello è rappresentato graficamente all'interno del modello come un sistema specifico, assemblato o oggetto in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento con dettagli per la fabbricazione, l'assemblaggio, l'installazione e le informazioni. Informazioni non grafiche possono anche essere collegate agli elementi del modello.
- LOD 500: L'elemento del modello è una rappresentazione verificata in cantiere in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento.

Il modello italiano si basa sulla scala statunitense ma con alcune modifiche in quanto risentono di altre prerogative tipicamente nazionali, non presenti nell'uno o nell'altro dei sistemi anglosassoni, ed invece ritenute importanti per il nostro mercato;

• LOD A - oggetto simbolico;

le entità sono rappresentate graficamente attraverso un sistema geometrico simbolico o una raffigurazione di genere presa a riferimento senza vincolo di geometria. Le caratteristiche quantitative e qualitative sono indicative;

• LOD B - oggetto generico;

le entità sono virtualizzate graficamente come un sistema geometrico generico o una geometria d'ingombro. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono approssimate;

• LOD C - oggetto definito;

le entità sono virtualizzate graficamente come un sistema geometrico definito. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono definite in via generica nel rispetto dei limiti della normativa vigente e delle norme tecniche di riferimento e riferibili a una pluralità di entità similari;

• LOD D - oggetto dettagliato;

le entità sono virtualizzate graficamente come un sistema geometrico dettagliato. È definita l'interfaccia con altri sistemi specifici di costruzione, compresi gli ingombri approssimati di manovra e manutenzione;

• LOD E - oggetto specifico;

le entità sono virtualizzate graficamente come uno specifico sistema geometrico specifico. Le caratteristiche quantitative e qualitative sono specifiche di un singolo sistema produttivo legato al prodotto definito. È definito il livello di dettaglio relativo alla fabbricazione, l'assemblaggio e l'installazione compresi gli specifici ingombri di manovra e manutenzione;

• LOD F - oggetto eseguito;

gli oggetti esprimono la virtualizzazione verificata sul luogo dello specifico sistema produttivo eseguito/costruito. Le caratteristiche quantitative e qualitative sono quelle specifiche del singolo sistema produttivo del prodotto posato e installato. Sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione da eseguirsi lungo tutto il ciclo di vita dell'opera;

• LOD G - oggetto aggiornato;

gli oggetti esprimono la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto di una entità in un tempo definito. Sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione da eseguirsi lungo tutto il ciclo di vita dell'opera.

Sono state definite le scale di LOD specifiche per diverse casistiche quali la nuova costruzione ed il recupero, il territorio e le infrastrutture, i mezzi, il restauro ed i beni vincolati.

I LOD, quindi, permettono a tutti i soggetti coinvolti nel progetto di specificare e articolare la costruzione di un modello BIM con un elevato grado di chiarezza e dettaglio.

La diversità tra i livelli di dettaglio dei due modelli sviluppati (il modello urbano e quello edilizio) è data dall'obiettivo da perseguire singolarmente per ciascun modello.

Palazzo Carignano alla scala urbana

Il primo modello realizzato è stato il Palazzo alla scala urbana. Scala urbana intesa come visione generalizzata del territorio (in questo caso del quartiere), con un livello di dettaglio che si basa sulla delineazione degli ingombri fisici e spaziali.

Possiamo definire perciò, un livello di dettaglio di rappresentazione di questo modello pari a un LOD compreso tra 200 e 300 nella scala statunitense e pari a un LOD C per quella italiana. Questo perché il modello in sé risulterà poi molto scarno, comprensivo solamente delle geometrie visualizzate come masse che approssimano la reale configurazione delle facciate del monumento, riprendendo solo elementi caratterizzanti quali la non linearità della facciata su Piazza Carignano.

Le nuvole di punti

Il punto di partenza per la creazione del modello sono state le nuvole di punti fornitemi; una del contesto prossimo a Palazzo Carignano, una del Palazzo stesso e una del cortile interno. Le nuvole erano in formato ".las", editabili perciò in un software di elaborazione di nuvole di punti quali CloudCompare.

Le tre nuvole avevano dei campionamenti diversi tra loro, la nuvola del contesto era stata campionata a 5 cm e le altre a 1 cm. Le nuvole, perciò, si presentavano molto dense e pesanti; entrambi questi attributi non consentivano un facile utilizzo del materiale perché, come definito prima, il fine di questo modello era quello di avere un dettaglio non con una precisione massima, ma di definire solamente le proporzioni e gli ingombri fisici.

Perciò, dopo averle contemporaneamente aperte sul software, le tre sono state unite in un'unica nuvola e questa è stata sottocampionata a 5 cm, per ottenere una nuvola più leggera.

Le nuvole prima del sottocampionamento si presentavano in questo modo. Si può notare come la densità dei punti del palazzo sia diversa rispetto a tutto il contesto circostante.



Figura 60 Nuvola di punti

nethod	Space	•
arge		smal
min. space betweer	points 0.5000	-
Use active SF		
SF value	Spacing value	
min 0	0.500000	* *
max 2	0.500000	*

Figura 61 Sottocampionamento nuvola di punti

Dopo il sottocampionamento si può notare come ora anche il Palazzo risulti essere denso tanto quanto il contesto.



Figura 62 Nuvola di punti sottocampionata

La nuvola successivamente è stata salvata in formato ".e57" perché questo formato permette alla nuvola di essere ancora più leggera ed è stata importata e salvata in Recap nel formato ".rcp". Con questa estensione, infatti, è stato possibile importare la nuvola sul software Revit utilizzato per la creazione dei modelli sia alla scala urbana che a quella edilizia.



Figura 63 Importazione in Recap

Le fasi e la gestione del modello

Prima di iniziare con la modellazione per masse del contesto è stata effettuata su Revit la suddivisione delle fasi. La metodologia delle fasi è stata utilizzata per poter evidenziare, appunto, le fasi storiche dell'edificio in accordo con la ricerca storica precedentemente riportata.

Revit permette, infatti, di eseguire i progetti per fasi, ciascuna delle quali rappresenta un periodo distinto della vita del progetto. Il programma consente di tenere traccia delle fasi in cui le viste o gli elementi vengono creati o demoliti e per controllare il flusso di dati del modello di edificio nelle viste e negli abachi sono disponibili dei filtri di fase.

Nel caso in esame le fasi ipotizzate sono state quattro, corrispondenti a quelle ritrovate nella ricerca storica:

i d	el progetto Filtri delle f	asi di lavoro Sostituzioni grafica	
		PASSATO	Inserisci
	Nome	Descrizione	Inserisci prima
	FASE I	Il corpo principale (1706 - prima metà dell'Ottocento)	Insenser prima
2 FASE II		La manica laterale (1852)	Inserisci dopo
	FASE III	Demolizione della manica laterale (1863 - 1869)	
4	FASE IV	L'amplaimento (1871 - Oggi)	Combina con:
			Precedente
			Successiva
			Duccosita.
		FUTURO	

Figura 64 Fasi del modello

Ogni fase è stata associata a un colore utilizzando i filtri di sistema. Il corpo principale azzurro, la manica laterale verde e l'aggiunta Ottocentesca in arancione.

Dopo questo passaggio e l'importazione della nuvola di punti nel modello, si è provveduto alla creazione di masse per identificare i vari fabbricati. In particolare, per il Carignano sono state definite tre masse diverse per gli elementi che lo compongono, perché costruiti in epoche storiche differenti e quindi differenziati dalle fasi. Le masse definite cercano di delineare la forma esterna di Palazzo Carignano; per questo sono stati modellati anche i tetti. Le masse sono state modellate come modelli generici; per il fabbricato in elevazione è stata utilizzata l'estrusione, mentre per dare una conformazione ai tetti l'unione.



Figura 65 Massa Corpo principale di Palazzo Carignano

E' stato modellato anche un minimo di contesto e l'output ricavato, suddiviso per fasi storiche, risulta essere il seguente:



Figura 66 Prima fase



Figura 67 Seconda fase



Figura 68 Terza fase



Figura 69 Quarta fase

Di seguito si riporta la sovrapposizione definitiva tra nuvola e modello.



Figura 70 Sovrapposizione nuvola e modello

Dopo aver eseguito la modellazione semplificata del caso studio, l'incognita per cercare di traguardare l'obiettivo prefissato è stata capire di quali informazioni si necessitasse per fare in modo che il modello diventasse la base di una consultazione finalizzata a un catasto digitale. Sono stati inseriti dei parametri nel modello, come le coordinate, l'altitudine, la nazione, regione e città di appartenenza, la tipologia dell'edificio e le visure catastali.

Tutti i dati inseriti come parametri sono stati compilati ad eccezione delle ultime visure catastali.

Proprietà					×
R					Ŧ
Modelli generici	(1)	~	88 N	lodific	a tipo
Fase di demol	Nessuno				^
Dati					*
COORDINATE	N 45° 4' 8.538'' - E	7	° 41'	12.566'	· 🔲
ALTITUDINE	239m slm				
NAZIONE	ITALIA				
REGIONE	PIEMONTE				
CITTA'	TORINO				
TIPOLOGIA E	PUBBLICO				
VISURE CATA					
Guida alle propri	<u>età</u>			Арр	olica

Figura 71 Parametri inseriti nel modello urbano

La possibilità di inserire tutti gli elementi che possono essere di facile consultazione tramite i parametri fa sì che sia possibile la libera aggiunta o modifica di questi, implementando il patrimonio di dati per la corretta fruizione del modello.

Infine, sono stati creati altri due parametri denominati "immagine" per poter prevedere un caricamento delle immagini delle planimetrie d'epoca per ogni fase del modello.

mmagine raster	Nome	Conteggi	Percorso	Tipo di percorso	^
	Immagine2.png	5	C:\Users\dapin\Documents\MAG ISTRALE\TESI\Revit\01_SCALA URBANA\02_IMMAGINI PARAMETRO\FASE I\Immagine2.png	Assoluto	
	C:\Users\dapin\Documents\MAI ISTRALE\TESI\Revit\01_SCALA Immagine3.png P RAAMETRO\FASE I\Immagine3.png		3 Assoluto		
	Immagine4.png	0	C:\Users\dapin\Documents\MAG ISTRALE\TESI\Revit\01_SCALA URBANA\02_IMMAGINI PARAMETRO\FASE I\Immagine4.png	Assoluto	
	Immagine5.png	0	C:\Users\dapin\Documents\MAG ISTRALE\TESI\Revit\01_SCALA URBANA\02_IMMAGINI PARAMETRO\FASE I\Immagine5.png	Assoluto	
	Immagine6.png	1	C:\Users\dapin\Documents\MAG ISTRALE\TESI\Revit\01_SCALA URBANA\02_IMMAGINI PARAMETRO\FASE	Assoluto	~
Aggiungi	Elimina		Mostra Ricarica d	a Ricarica	

Figura 72 immagini inserite nel modello urbano

Dopo la compilazione di questi due parametri, si è notato come la creazione di un abaco per individuare e suddividere le immagini per fasi risultasse pressoché impossibile in quanto non è stato possibile associare l'immagine a una fase oppure alla massa in una data fase, in quanto preservava il proprio parametro per tutte le fasi. Sarebbe stato necessario creare una massa e demolirla in ogni fase per poter inserire come parametro di quella massa diverse immagini, ma questo non sarebbe stato in linea con l'idea del modello urbano che si voleva ottenere. Questa è stata una delle prime criticità del modello stesso.

In seguito a ciò sono stati individuati dei layer per le vie, piazze e corti comuni, nell'ottica di indirizzarsi verso la realizzazione di un 3D catastale.



Figura 73 Modello urbano



Figura 74 Modello urbano



Figura 75 Planimetria modello urbano

Dalla planimetria si evincono gli ingressi principali della struttura e il flusso di percorrenza, oltre ai diversi colori in cui sono suddivise le vie, in giallo, le piazze pubbliche in rosa, e le corti interne in arancione. Gli edifici risultano campiti da diagonali e il porticato di palazzo Carignano, dalla parte di piazza Carlo Felice, è campito sia dal riempimento del palazzo, sia di quello della piazza, per far intendere una fruizione comune della zona.

Il modello urbano, in questo caso, risulta ultimato e nei prossimi capitoli sarà trattata la possibilità di utilizzo per il caricamento di questo in una piattaforma per la gestione dei dati geospaziali in 3D, Cesium.

Palazzo Carignano alla scala edilizia

Dopo aver ultimato il modello alla scala urbana, considerandone il contesto e inserendone tutti i dati consultabili da qualsivoglia fruitore, si passa ad analizzare il secondo modello, quello alla scala edilizia.

Il secondo modello realizzato è stato definito alla scala edilizia in quanto ci si concentra maggiormente sulla dovizia di particolari che si è voluto inserire sul modello stesso. Il LOD utilizzato per questo tipo di modello risulta ora pari a un LOD 300 per la scala statunitense e a un LOD D per la scala italiana.

L'obiettivo di questo secondo modello è quello di creare una libreria di famiglie utilizzabili da diversi fruitori, prendendo come spunto tutte le parti decorative presenti sulle facciate di Palazzo Carignano, rendendole editabili e modificabili da chiunque le voglia utilizzare diversamente. La creazione di queste famiglie è data anche dal fatto che l'obiettivo più generale che si vuole perseguire con la presente tesi è la creazione di un digital twin definito e con un livello di precisione abbastanza elevato del caso studio in esame, al fine anche di valutarne i pro e i contro della realizzazione di un modello eseguito con il grado di precisione riportato, oltre che i possibili utilizzi.

Il punto di partenza della creazione di questo digital twin è stata la realizzazione di un nuovo progetto in cui è stata importata la nuvola di punti, precedente pulita su Cloud Compare e importata e salvata su Recap per ottenere un'estensione importabile su Revit.

La pulizia della nuvola dei punti è stata effettuata in entrambi i software; in quanto solamente in fase di importazione su Recap si è notato come la pulizia della nuvola su questo software a volte risultava più veloce.



Figura 76 Importazione su Recap della nuvola del Palazzo



Figura 77 Nuvola di punti facciata su Pizza Carlo Alberto

Dopo aver ultimato l'importazione della nuvola del Palazzo si è cercato di capire il modo migliore e più dettagliato per procedere alla modellazione. Per mantenere tutte le caratteristiche architettoniche del palazzo, tra cui i pilastri, lesene, i decori delle finestre, le balaustre e ogni altro elemento, si è pensato di utilizzare le famiglie di Revit.

Le famiglie di Revit

Le "famiglie" sono semplicemente delle definizioni, degli insiemi raccolti, di tutti gli elementi e i dati elaborati bidimensionali e tridimensionali che sono utilizzati per comporre e definire un progetto. Con il termine di famiglia indichiamo quindi le raccolte complete suddivise per prodotti o elementi. Sono una delle risorse più importanti del software e la varietà di queste raccolte permette a Revit di essere adattabile a diversi ambiti della progettazione, siano essi di strutture o di impianti. Muri, solai, porte, tetti, finestre, arredi, quote, tutto quello che concorre a formare un progetto può rientrare all'interno della definizione di famiglia Revit.

È possibile individuare ed elencare quattro principali categorie di modellazione Revit:

- <u>Famiglie di sistema</u>: appartengono alle famiglie di sistema tutti gli elementi strutturali di un edificio, quindi muri, solai, tetti, scale, terreni, pilastri, travi e fondazioni. Tuttavia, in queste famiglie rientrano anche le impostazioni di sistema che influenzano il progetto, come livelli, griglie e tavole da disegno. Un'altra caratteristica delle famiglie di sistema è che esse sono predefinite in Revit, e che non possono essere caricate nei progetti da file esterni o salvate in percorsi esterni al progetto. Le famiglie di sistema sono le tipiche famiglie native interne a Revit.
- <u>Famiglie caricabili</u>: comprendono gli elementi non strutturali come porte, finestre, arredi, verde ed impianti di vario genere. Le famiglie caricabili, come intuibile dallo stesso nome, differiscono da quelle di sistema perché possono essere create in file esterni RFA e successivamente importate su Revit. Queste tipologie di famiglie sono quelle che permettono il grado più alto di personalizzazione.
- Famiglie specifiche o locali: sono elementi unici creati dall'utente quando si manifesta la necessità di creare un componente con caratteristiche particolari e univoche. Gli strumenti utilizzati per creare questi elementi sono gli stessi con cui si effettua la personalizzazione delle famiglie caricabili. sono oggetti unici modellati per un singolo progetto (ad esempio un pilastro particolare).
- <u>Famiglie nidificate</u>: Le famiglie nidificate sono degli elementi più complessi caratterizzate dalla presenza al loro interno di più famiglie collegate grazie a parametri e rapporti specifici. Queste categorie di famiglie sono estremamente utili in quanto consentono di aggiungere e implementare i progetti edili con elementi molto dettagliati capaci di supportare la creazione di progetti ancora più precisi e personalizzati

In questa tesi sono state utilizzate le famiglie specifiche o locali, in quanto la particolarità del caso studio rendeva necessario l'utilizzo di esse. La modifica di famiglie caricabili o di sistema risultava più onerosa e complessa di quanto non sia stata, invece, la creazione da zero delle famiglie.

L'identificazione delle tipologie di famiglie nel caso studio di Palazzo Carignano

A questo punto è stato esaminato il caso studio di Palazzo Carignano. L'edificio è stato dapprima suddiviso per facciate, valutando che le famiglie da realizzare si dovessero concentrare solamente nelle due facciate principali, escludendo quindi le laterali, per le quali sono state utilizzate le stesse create per la facciata su Piazza Carignano.

Si è passati poi ad esaminare le due facciate, suddividendole entrambe in tre fasce: una prima al piano terra, una al primo piano e una al secondo/sommità della facciata.

Per quanto riguarda la facciata su Piazza Carlo Alberto, le famiglie identificate, suddivise per fasce, sono state le seguenti:

Per la prima fascia caratterizzante il piano terra le famiglie individuate sono state cinque:

- 1: La doppia lesena che si può riscontrare alle due estremità della facciata;
- 2: La lesena singola che fornisce una data ritmicità alla facciata;
- 3: Il doppio pilastro che ritroviamo al centro della facciata;

- 4: I due ingressi decorativi;
- 5: Gli archi presenti in tutta la fascia.



Figura 78 Tipologie di famiglie prima fascia fronte Carlo Alberto

Della seconda faccia le famiglie sono:

- 1: La doppia lesena sulle due estremità della facciata, differente da quella del piano terra per quanto riguarda il capitello e l'assenza della bugnatura in rilievo, oltre al piedistallo;
- 2: La lesena singola che differisce da quella della precedente fascia per le stesse caratteristiche elencate precedentemente per la doppia lesena;
- 3: La doppia finestra che ritroviamo nelle parti laterali della facciata;
- 4: La finestra con una decorazione differente dalla precedente che ritroviamo tra le due doppie colonne;
- 5: La porta finestra nella zona centrale;
- 6: I doppi pilastri che anche in questo caso differisce da quello del piano terra per i motivi precedentemente elencati.



Figura 79 Tipologie di famiglie seconda fascia fronte Carlo Alberto

Infine, la terza fascia è caratterizzata dalle seguenti nuove famiglie:

- 1: Il pennacchio grande;
- 2: Il piccolo scudo decorativo;
- 3: Il pennacchio piccolo;
- 4: La statua seduta;
- 5: La statua nella nicchia;
- 6: La finestra;
- 7: Lo scudo decorativo centrale;
- 8: La balaustra.

Si precisa che le statue presenti sono tutte diverse tra loro, ma che per semplicità sono state integrate in due tipi di famiglia; quelle sedute e quelle integrate nella nicchia.



Figura 80 Tipologie di famiglie terza fascia fronte Carlo Alberto

Sono state identificate anche altre due famiglie, i cornicioni, uno per il cornicione tra il piano terra e il primo piano, e l'altro tra il piano primo e secondo, associati successivamente ai bordi di solaio di Revit.

Anche per la facciata verso piazza Carignano è stata effettuata un'analisi dei componenti della facciata in modo da individuare diverse tipologie di famiglie. in questo caso, invece, non si è provveduto a dividere la facciata in fasce, perché il numero delle famiglie è risultato inferiore.

Abbiamo, perciò:

- 1: La lesena con decorazioni in rilievo;
- 2: Il blocco delle due finestre, una più grande e l'altra notevolmente più piccola;
- 3: Il portone d'ingresso contornato dai doppi pilastri con decorazioni in rilievo;
- 4: La lesena a doppia altezza;
- 5: La finestra del primo piano decorata;
- 6: La finestrella decorata;
- 7: La piccola finestra senza alcuna decorazione;
- 8: La portafinestra del primo piano, anch'essa adornata dalla fila di colonne decorative;
- 9: La cupola al di sopra della portafinestra.



Figura 81 Tipologie di famiglie fronte Carignano

Come precedentemente definito, per le facciate laterali del palazzo sono state utilizzate alcune delle famiglie già realizzate per quest'ultima facciata.

Scan to BIM e le Mesh

Dopo aver individuato tutte le famiglie presenti nel progetto si è passati a capire come poterle rappresentare al meglio. La metodologia Scan to BIM e la realizzazione delle mesh sono risultati gli approcci atti alla creazione di elementi più verosimili alla realtà.

Scan to BIM è il processo che utilizza una qualsiasi scansione laser per creare modelli BIM 3D ad elevata precisione per progetti di riqualificazione, rinnovo e ristrutturazione. Una volta rilevata digitalmente la zona di interesse, la nuvola di punti ottenuta viene manipolatae si costruisce il modello BIM. Questo processo è indispensabile per intervenire in opere di interesse storico, per eseguire ristrutturazioni, per controllare lo stato avanzamento lavori nei cantieri e per la digitalizzazione di opere esistenti. Lo Scan to BIM è definibile come il primo passo nella modellazione del costruito.

La metodologia Scan to BIM si basa sul concetto di reverse engineering.

Il reverse engineering è un processo che, tramite una scansione 3D e la conseguente elaborazione da parte di un software CAD, permette di digitalizzare un oggetto fisico.

Lo Scan To BIM permette di ottenere nuvole di punti e mesh 3D che potranno essere utilizzate per ricostruire i vari elementi all'interno di un ambiente digitale conservandone tutte le caratteristiche strutturali, e di riutilizzarli nello sviluppo del progetto BIM.

La scannerizzazione laser di un ambiente fisico o di un edificio consente di raccogliere dei dati reali che vengono poi importati in un ambiente di modellazione 3D per creare una nuvola di punti da cui si possono realizzare dei modelli CAD e importarli in software BIM quali Autodesk Revit, oppure eseguire direttamente la modellazione 3D del manufatto.

Il funzionamento del laser scanner laser 3D si basa su un raggio laser che viene indirizzato verso l'oggetto di cui si vuole eseguire la misurazione. Quando colpisce una superficie solida, la posizione relativa allo scanner viene registrata come coordinata X, Y, Z, cioè un punto. Milioni di questi punti insieme costituiscono un'immagine digitale altamente accurata, chiamata nuvola di punti. Una volta che lo scanner ha raccolto i punti, catturerà le immagini a colori che verranno utilizzate per creare una rappresentazione 3D realistica della scansione.

Per ottenere una rappresentazione completa del progetto è necessario eseguire più scansioni da posizioni diverse in quanto il laser riesce a recepire solamente i punti che riesce a vedere.

I laser scanner sono in grado di rilevare un numero elevatissimo di punti e hanno un'elevata capacità di elaborazione dei dati raccolti, consentendo di ottenere file dettagliati ma al tempo stesso leggeri e facili da gestire. Si ottiene un modello contenuto in un unico file, con un notevole vantaggio in termini di gestione e rapidità dei flussi di lavoro. Di conseguenza, anche i costi di sviluppo del progetto si riducono.

Inoltre, lo Scan To BIM fornisce la garanzia di avere un controllo attendibile sul modello digitale del progetto.

Un'ulteriore operazione è la creazione di una mesh sulla base della nuvola di punti, ovvero di superfici composte da poligoni i cui vertici sono i punti stessi della nuvola e i lati sono i segmenti che li collegano; ciò permette di ottenere superfici che descrivono la forma dei manufatti rilevati, la cui risoluzione sarà tanto maggiore quanto più numerosi saranno i punti (e quindi i poligoni). È tuttavia possibile che la mesh presenti errori, difformità o ridondanze rispetto a quanto rilevato o a quanto richiesto, ma in ogni caso è comunque possibile intervenire manualmente per correggerli.

Sono state utilizzate queste due metodologie per la realizzazione delle nuove famiglie tenendo in considerazione però che l'utilizzo delle famiglie in cui è stata inserita una mesh è limitativo al caso studio preso in esame, e il loro utilizzo è dato dal primo fine, quello di realizzare un digital twin del Palazzo.

L'importazione della nuvola di punti nelle Famiglie di Revit

Il primo passo nella realizzazione di una famiglia di decorazioni è stato capire come importare la nuvola di punti. L'importazione della nuvola di punti nell'progetto famiglie risulta disabilitata; per questo in un primo momento si è provato a caricare la nuvola di punti su un nuovo progetto, misurando le caratteristiche geometriche della stessa e, nell'editor Famiglie, cercare di riproporla. Seguiva, a questo processo di misurazione e modellazione, il caricamento della stessa famiglia nel progetto in cui era stata inserita la nuvola per confrontare e controllare il modello. Il risultato è stato un processo macchinoso, difficile e di lunghe tempistiche, dovute a questo continuo passaggio della famiglia dall'editor di famiglie a quello di progetto in cui era inserita la nuvola. Il risultato, inoltre, era soggetto a una scarsa precisione per lo stesso motivo.

A seguito di ripetute ricerche, si è visto che i file di progetto di famiglie consentivano l'importazione di file ".dwg" e ".dxf" e d'altro canto il software Cloud Compare permetteva il salvataggio della nuvola in ".dxf".

Si è provveduto, perciò, a considerare ogni famiglia precedentemente descritta e a ritagliare dalla nuvola di punti la porzione d'interesse e a rifinirla eliminando i punti in eccesso.



Figura 82 Nuvola di punti ritagliata

È stato riportato a titolo esemplificativo il ritaglio effettuato su Cloud Compare per valutare essenzialmente due cose: la prima è il grado di dettaglio della nuvola; se si osserva bene si può notare anche la presenza di un monopattino elettrico che risulta essere molto definito. In secondo luogo, si vuole porre l'attenzione sul fatto che la nuvola risulta essere colorata. Questa constatazione è importante in quanto, dopo aver salvato la nuvola in formato ".dxf" una criticità che si riscontra è la perdita del colore della nuvola, sia in Cloud Compare che nella successiva importazione in Revit.



Figura 83 Nuvola di punti formato .dxf



Figura 84 Nuvola di punti in Revit

Come si denota dalle immagini, la perdita del colore dai file importati comporta una più difficile comprensione degli elementi che compongono l'elemento, in quanto le variazioni di geometria e la profondità degli oggetti è data solamente da dei punti di una tonalità grigia più scura degli altri. Questa difficoltà di lettura ha generato perciò, sicuramente delle incertezze, imprecisioni e a volte approssimazioni nella modellazione.

La metodologia di creazione delle Famiglie – Scan to BIM

Di seguito riportato l'esempio esplicativo della realizzazione delle famiglie secondo la metodologia Scan to BIM.

Prendendo in considerazione l'esempio utilizzato in precedenza, quello della doppia lesena addossata al muro, localizzata sulla facciata di Piazza Carlo Alberto, possiamo visionare come la famiglia sia composta da tre parti principali; il basamento della composizione architettonica, la lesena stessa (di cui ritroviamo la rappresentazione quattro volte) e il muro su ci si addossa.

Il basamento è stato realizzato come la composizione di due elementi, un'estrusione e un'estrusione su percorso.



Figura 85 Creazione basamento famiglia



Figura 86 Creazione profilo dell'estrusione su percorso

Anche il muro è stato creato come estrusione, considerando un unico parallelepipedo.

La lesena è stata realizzata in diverse parti, il fusto come estrusione, la base, le decorazioni bugnate e il capitello come estrusioni su percorso.



Figura 87 Creazione profilo dell'estrusione su percorso



Figura 88 Creazione profilo dell'estrusione su percorso



Figura 89 Creazione profilo dell'estrusione su percorso

Dall'unione delle lesene realizzate si viene a creare la prima famiglia realizzata tramite la tecnologia Scan to BIM. È necessario però affermare che il livello di precisione degli elementi non lineari, come il capitello oppure le cornici alla base della lesena hanno sicuramente un grado di precisione inferiore rispetto agli altri elementi in quanto si tratta di oggetti molto complessi e articolati.

Il risultato finale della prima famiglia realizzata è stato il seguente:



Figura 90 Famiglia doppie lesene prima fascia fronte Carlo Alberto

Come si può osservare è stato aggiunto anche un secondo pezzo di muratura per realizzare l'appoggio con un'altra famiglia realizzata; l'arco.

Altri esempi di famiglie realizzate con le stesse tecniche sono le seguenti:



Figura 91 Famiglia doppi pilastri prima fascia fronte Carlo Alberto



Figura 92 Famiglia arco prima fascia fronte Carlo Alberto



Figura 93 Famiglia doppi lesene seconda fascia fronte Carlo Alberto

Nella precedente famiglia, nella base delle lesene sono state realizzati i due incavi a parallelepipedo utilizzando dei solidi di sottrazione (vuoti) e le estrusioni su percorso per i capitelli risultano via via più complesse.



Figura 94 Profilo di estrusione su percorso



Figura 95 Famiglia finestra seconda fascia fronte Carlo Alberto



Figura 96 Famiglia finestra seconda fascia fronte Carlo Alberto

Per quanto riguarda le finestre e portefinestre realizzate con lo Scan to BIM abbiamo la definizione dei telai come estrusioni su percorso, affiancate alle decorazioni dell'elemento.



Figura 97 Famiglia balaustra terza fascia fronte Carlo Alberto

Gli elementi verticali della balaustra sono stati realizzati come elementi di rivoluzione intorno al proprio asse.



Figura 98 Famiglia pennacchio terza fascia fronte Carlo Alberto



Figura 99 Famiglia decoro centrale terza fascia fronte Carlo Alberto


Figura 100 Famiglia finestra fronte Carignano



Figura 101 Famiglia portone di ingresso fronte Carignano

La modellazione degli elementi in secondo piano e densi di informazioni risultava sempre più onerosa e difficilmente dettagliabile e precisa.



Figura 102 Famiglia finestra centrale fronte Carignano



Figura 103 Famiglia lesena fronte Carignano

Infine, sonos stati creati i cornicioni partendo dalla realizzazione di un profilo ricalcato dalla nuvola di punti e poi caricato nel progetto di Revit in modo che venisse utilizzato come bordo da solaio.



Figura 104 Profilo bordo da solaio

La metodologia di creazione delle Famiglie – Le mesh

Non tutte le famiglie sono state compiute con la metodologia Scan to BIM; alcune sono state realizzate integrando questo metodo con la creazione delle mesh.

L'utilizzo di questa tecnologia è stato dovuto al fatto che alcuni particolari architettonici (soprattutto di Piazza Carlo Alberto) erano talmente complessi da non riuscire a ricrearli con lo Scan to BIM, e perciò si è dovuto provvedere a questo secondo tipo di rappresentazione. Come riportato in precedenza, inoltre, l'utilizzo delle mesh fa si che le famiglie per sui si sono utilizzate siano fini a se stesse per l'utilizzo di questo specifico progetto, e non editabili e riutilizzabili per altri.

Sul software già utilizzato (Cloud Compare) è stato possibile ritagliare parte di nuvole di punti per realizzarne delle mesh triangolari tridimensionali. La creazione avviene prima creando le normali ai punti.

Local surface model	Triange	ulation		•
Neighbors				
use scan grid(s) whe	never possible	min	angle 1.00	*
Octree	radius 1	.492676	\$ Au	ito
✓ Orientation				
Use scan grid(s) whe	enever possible			
Use sensor(s) whene	ver possible			
Use preferred orienta	ation	+Z		Y
Use Minimum Spanni	ng Tree		knn = 6	

Figura 105 Creazione delle normali

Dopo aver normalizzato i punti, l'output che ne otterremo sarà di questo tipo:



Figura 106 Normali ai punti

In seguito, è stato utilizzato un plugin del software per elaborare la mesh secondo il metodo della ricostruzione delle superfici di Poisson. Con questo algoritmo, inftti, la mesh risulta più uniforme e inoltre è ancora possibile utilizzare le tecniche di pulitura (la segmentazione) in precedenza utilizzate per la nuvola dei punti. In questo modo, nel caso in cui nella mesh fossero risultate delle discrepanze, sarebbe stato sufficiente rifinire in un secondo momento le superfici della stessa, senza ripeterne il procedimento di creazione.



Le mesh su Cloud Compare risultano avere questa immagine:

Figura 107 Mesh scudo Cloud Compare



Figura 108 mesh nicchia con statua Cloud Compare

Le mesh che sono state realizzate sono state poi utilizzate o in accostamento con modelli realizzati tramite o Scan to BIM (come ad esempio alcune cornici di finestre), oppure utilizzate come famiglie a se stanti (come le statue). Anche per le mesh è stata necessaria l'esportazione dal programma Cloud Compare tramite l'estensione ".dxf" per poterle caricare tra le famiglie di Revit. Di seguito proposte alcune delle famiglie realizzate con mesh.







Figura 110 Meh cornice finestra Revit



Figura 111 Mesh cornice finestra Revit



Figura 112 Mesh scudo Revit



Figura 113 Mesh statua seduta Revit



Figura 114 Mesh nicchia con statua Revit

Sicuramente l'utilizzo delle mesh fa sì che la rappresentazione della famiglia sia più difficoltosa e anche a occhio umano risulta di meno facile comprensione a primo impatto. Tuttavia, si è voluto utilizzare entrambe le tecnologie per confrontarle sia in termini di utilizzo, sia di resa, che di interoperabilità.

Il digital twin di Palazzo Carignano alla scala edilizia

Dopo aver ultimato la spiegazione della realizzazione delle famiglie ci si concentra ora sulla vera e propria realizzazione del digital twin di Palazzo Carignano.

A seguito della pulitura della nuvola di punti, riportata agli inizi di questo capitolo, ne è stato previsto il caricamento su Revit.



Figura 115 Nuvola di punti Revit



Figura 116 Nuvola di punti Revit

Si è provveduto in seguito a realizzare solamente i muri e i tetti del fabbricato, iniziando in seguito ad importare le famiglie precedentemente concluse, individuandone la posizione precisa sulla nuvola di punti. Dopo aver ultimato questo passaggio, il gemello digitale risulta essere definito.



Figura 117 Sovrapposizione modello e nuvola di punti



Figura 118 Sovrapposizione modello e nuvola di punti



Figura 119 Modello Palazzo Carignano



Figura 120 Modello Palazzo Carignano

L'ultimo passaggio, per una definizione che inizia ad essere esaustiva della realizzazione di un digital twin, è stato il caricamento di immagini storiche di fonti di archivio associati all'entrata principale del Palazzo, dal lato di Piazza Carignano.



Figura 121 Immagini famiglie Revit

Naturalmente il modello è fatto in modo di essere implementabile in futuro con ulteriori dati e parametri come visto anche nei capitoli precedenti, riguardo la scala urbana.

Analisi e Usi del Modello

In seguito alla conclusione della realizzazione dei due modelli, sia quello urbano che quello edilizio sono state effettuate alcune considerazioni in merito ai digital twin.

In primo luogo, i due modelli risultano avere due pesi differenti, questo dato dal fatto della differenza della scala di dettaglio utilizzata per realizzarli. Il modello urbano ultimato occupa uno spazio pari a una quindicina di Megabyte, il modello edilizio, invece, ne occupa quasi 600. Il fatto di aver caricato nel modello una trentina di famiglie appesantisce il sistema e lo rende, seppur dettagliato, abbastanza ingombrante.

Le famiglie più pesanti, infatti, risultano essere di circa 30 MB, mentre le più piccole di mezzo MB. Importante è constatare che le famiglie realizzate in parte con le mesh non risultano essere le più pesanti per il sistema.

Analisi dell'affidabilità del modello – LOR

Dato il livello di dettaglio realizzato, si è deciso di verificare il discostamento tra nuvola di punti e modello, nonché il livello di affidabilità del sistema, il LOR.

La ricerca analizza potenzialità e aspetti critici conseguenti l'integrazione dei sistemi BIM nei processi di rilievo, comunicazione e gestione del patrimonio esistente. Nel passaggio da un modello numerico ad uno geometrico della realtà, la ricerca si concentra sulla necessità di misurare ed esplicitare il livello di affidabilità degli oggetti digitali, risultanti tutti da processi di analisi e rielaborazione critica. Dalla necessità di trasparenza nelle attività sul patrimonio culturale, nasce l'intuizione di introdurre e codificare un nuovo parametro, il Level of Reliability, che tenga conto sia della rispondenza geometrica che dell'affidabilità ontologica del modello rispetto alla realtà che intende descrivere.

Il livello di affidabilità di un modello dipende dall'interpretazione critica delle informazioni, da fattori che possono influenzare la modellazione e dall'affidabilità dei processi.

Il LOR si basa sull'analisi sia delle informazioni geometriche che di quelle analitiche. Nel nostro caso, il livello di affidabilità in campo geometrico è dato dal livello di discostamento tra nuvola dei punti e modello. In una prima ottica si voleva capire quanto fosse quello delle famiglie stesse, utilizzando un plugin di Revit, As-Built di FARO. Tuttavia, non è stato possibile verificare il LOR delle famiglie in quanto il controllo non era abilitato nei file di progetto di queste. Ciò risulta essere una prima grande pecca nel sistema di controllo dei dati, avendo basato la realizzazione del modello sulle famiglie stesse.

Ci si è dunque concentrati sull'intero modello, consci del fatto che analizzare il discostamento della nuvola di punti dall'intero modello e non sulle singole famiglie determinava un livello di accuratezza differente rispetto ad analizzarlo sulle singole famiglie.

L'analisi sull'intero modello è stata inoltre molto più dispendiosa in termini di tempo; il numero di punti relazionati al numero di facce da analizzare era veramente cospicuo. Date, inoltre, le dimensioni del modello e i parametri di analisi assegnati, questa è stata ripetuta diverse volte a causa di diversi blocchi del programma. Come parametri si è considerato di analizzare uno scostamento massimo del modello dalla nuvola di punti di 5 cm. Dopo diverse prove si è riusciti ad avere un'analisi del modello.



Figura 122 Analisi scostamento modello da nuvola di punti, riferiemento



Figura 123 Analisi scostamento modello da nuvola di punti



Figura 124 Analisi scostamento modello da nuvola di punti



Figura 125 Analisi scostamento modello da nuvola di punti

Come si può notare da questa immagine sono state considerate solo le superfici principali e non quelle di ogni singola famiglia perché l'analisi del modello avviene per facce; andando a considerare solamente le principali l'analisi è stata eccessivamente dispendiosa, se si fossero considerate anche le singole facce di ogni famiglia, considerando che ogni famiglia ne presenta in media circa una cinquantina, l'analisi sarebbe risultata impossibile. Si è pensato perciò di valutare solo l'insieme non scendendo nel particolare di ognuna per questo motivo.

Visionandone i particolari, però, si può notare che in alcuni punti vi è una discrepanza tra modello e nuvola:



Figura 126 Scostamenti maggiori nuvola di punti da modello



Figura 127 Scostamenti maggiori nuvola di punti da modello

Si denota come le zone soggette a più discrepanze siano la fascia superiore della facciata su Piazza Carlo Alberto e la facciata curva su Piazza Carignano. Nel primo caso l'errore è stato dato dalla posizione dei componenti, nel secondo, invece, dalla difficoltà di caratterizzare le famiglie che sono posizionate in queste pareti di un l'incurvatura che nella realtà è presente ma che nel modello non si è riusciti a rendere. Possiamo infine desumere che la dimensione del modello e il livello di dettaglio delle famiglie ha impedito un'analisi più completa del modello con gli strumenti a disposizione.

Analisi dell'interoperabilità del modello – Infraworks

Una volta ultimato, sono state eseguite delle analisi di interoperabilità del modello con l'utilizzo di Infraworks, un software BIM di Autodesk che ha come principale utilizzo la progettazione di infrastrutture. In questo programma è possibile ricercare un dato luogo e dopo la ricerca verranno forniti i modelli, visivamente realistici e completi in ogni dettaglio, costruiti utilizzando i dati GIS disponibili: modelli del terreno, ortofoto, dati di rilievi, ecc..

Dopo aver ricercato la località interessata, è stato inserito come fonti dati il modello con quattro differenti estensioni, .rvt, .ifc, .fbx, .dng.

Nonostante Infraworks sia di Autodesk, la stessa casa software di Revit, importando il modello in formato ".rvt" risulta esservi un problema in merito alla visualizzazione delle mesh, che vengono come "esplose" e traslate spazialmente, come si può evincere dalle immagini di seguito. L'importazione dei file in formato ".ifc" e ".fbx" risulta essere invece completa, e per questo motivo si può desumere che l'analisi di interoperabilità sia andata a buon fine. L'unica differenza tra i due formati è la risoluzione delle mesh, che nel caso dell".fbx" perdono la loro tridimensionalità e appaiono più bidimensionali. Al contrario, invece, il file importato con formato ".dng" non viene visionato dal programma, perciò in questo caso l'interoperabilità è fallita. Anche per queste casistiche sono riportate di seguito le immagini esplicative.



Figura 128 Importazione formato ".rvt"



Figura 129 Importazione formato ".rvt"



Figura 130 Importazione formato ".ifc"



Figura 131 Importazione formato ".ifc"



Figura 132 Importazione formato ".fbx"



Figura 133 Importazione formato ".fbx"



Figura 134 Importazione fallita formato ".dng"

Di seguito è stata inserita una tabella a colori riepilogativa dell'importazione suddividendo la visualizzazione delle famiglie secondo la metodologia scan to bim e le famiglie realizzate tramite mesh.

FORMATO ESTENSIONE	IMPORT MODELLO	VISUALIZZAZIONE FAMIGLIE SCAN TO BIM	VISUALIZZAZIONE MESH
.rvt			
.ifc			
.fbx			
.dng			

Figura 135 Tabella riepilogativa test interoperbilità

Usi del modello

Il livello di dettaglio scelto e successivamente realizzato, a questo punto, può essere un attributo di definizione degli usi del modello stesso.

La realizzazione di un modello BIM di Palazzo Carignano può comportarne l'utilizzo da parte di diverse tipologie di utenti finali. Come indicato tra gli obiettivi della tesi, uno dei goal prefissati era quello di creare una biblioteca di famiglie parametriche, i cui utilizzi possono essere finalizzati a persone con un determinato grado di conoscenza e con capacità che ne definiscono il possibile utilizzo di esse, dopo averle modificate adattandole al proprio caso studio.

La realizzazione di un digital twin comporta anche l'utilizzo per altri scopi, come ad esempio l'utilizzo come strumento di consultazione a diversi fini. Uno provato successivamente a sviscerare è stato quello di utilizzare il modello come punto di partenza di un catasto 3D, consultabili su piattaforme online da diversi tipi di utenti. In questo specifico caso l'utilizzo dei due modelli, sia quello a scala urbana che quello a scala edilizia possono andare incontro ad esigenze diverse da parte di persone diverse; chi utilizza la consultazione per scopi lavorativi e chi invece per scopi personali. La visione dello stato di fatto potrebbe interessare chi si occupa di attività di restauro, ad esempio, oppure a diverse figure professionali a cui basterebbe una semplice ricerca online per capire le condizioni dell'immobile nella sua interezza, avendo a disposizione un'unica piattaforma contenente l'interezza delle informazioni, senza dover eseguire un'ulteriore ricerca. La possibilità di avere da un'unica sorgente informazione di carattere storico, piuttosto che geometrico e tecnologico risulta un fine appetibile per il modello stesso.

Anche per quanto riguarda un pubblico non di professionisti potrebbe essere interessante riuscire a recepire tutte queste informazioni attraverso un digital twin facilmente consultabile. Ad esempio, per scopi personali, piuttosto che divulgativi o ai fini dell'insegnamento.

Nel capitolo successivo è tata analizzata la possibilità e i limiti di essa inserire il modello realizzato all'interno di un catasto digitale online.

Altri scopi ed usi del modello potrebbero essere quelli di poterlo utilizzare con il fine di realizzare dei tour virtuali, utilizzando la realità virtuale immersiva con strumenti come Oculus.

I fini di un digital twin potrebbero anche essere simulazioni di carattere energetico oppure, scavalcando i confini della classica edilizia, analisi dei flussi di persone (essendo anche questo il caso di un edificio di carattere storico e culturale).

Di seguito è riportato uno schema riassuntivo dei possibili usi di differenti utenti finali, analizzando come l'utilizzo del gemello digitale sia lo strumento più completo e versatile in base agli usi delineati.

UTENTI FINALI	USI	MODELLO 3D	NUVOLA DI PUNTI	DIGITAL TWIN
VENDITORI IMMOBILIARI	Analisi stato di fatto	х		
INGEGNERI	Tour virtuali			Х
	Misurazioni			х
GEOMETRI	Analisi energetiche			х
ARCHITETTI	Analisi strutturali		х	
DOCENTI/STUDENTI	Ricerca dati catastali			Х
RICERCATORI	Ricerca fonti di archivio			Х
	Attività di ricerca			Х
	Attività di restauro			Х
ALTRE CATEGORIE	Scopi personali	Х	Х	Х

Figura 136 Usi del modello

Il Catasto Digitale

Il secondo obiettivo di questa tesi era quello di creare un modello (in questo caso di un caso studio specifico) utile per capire in che modo implementare quello che è considerato il Catasto digitale.

Il Sistema Integrato del Territorio è considerato una sorta di anagrafe immobiliare integrata, grazie alla quale correlare automaticamente le proprietà immobiliari ai soggetti. Può contare su un contenuto informativo più ampio, articolato in più "livelli" e arricchito di precisi dettagli relativi agli immobili censiti in catasto, che partendo dalla localizzazione geografica arrivano fino a una puntuale descrizione delle caratteristiche fiscali degli stessi. Negli ultimi anni l'Agenzia delle Entrate ha realizzato specifici servizi e attivato canali dedicati, privilegiando in particolare quello telematico, garantendo la fruizione via rete dei servizi catastali e cartografici, con facilità di accesso e colloquio con il sistema, in particolar modo quelli di consultazione. Sono disponibili diverse tipologie di consultazione telematica per ottenere informazioni sugli immobili presenti nella banca dati catastale, quali la consultazione rendite catastali, le risultanze catastali, consultazione personale online e la visura catastale telematica.

Inoltre, si sta sviluppando la necessità di trasformare il catasto in maniera radicale, adeguandolo ai processi tecnologici, un nuovo tipo di catasto in 3D connesso, in ottica anche delle future smart city. Il fatto che si necessiti di un catasto iperconnesso fa sì che si evolva inevitabilmente verso la tridimensionalità dell'unità catastale, creando un collegamento tra la banca dati territoriale e quella amministrativa attraverso il numero univoco di particella.

Nell'ottica di andare incontro a queste nuove esigenze si è provato ad utilizzare i modelli precedentemente presentati per capire come poterli utilizzare.

La piattaforma Cesium

Cesium è una piattaforma open source su cui è possibile caricare dei 3D data. È stata scelta come software di prova per capire se il caricamento dei dati in precedenza creati (sia geometrici che informativi) potessero essere visionati come punto di partenza per variare la metodologia catastale.

Aprendo il programma si viene indirizzati su una schermata in cui è possibile visionare un luogo cercandolo nella barra delle ricerche. Nella parte sinistra dello schermo è possibile creare come una presentazione in base al luogo che viene scelto e fotografato.



Figura 137 Interfaccia Cesium

Nel caso in esame è stata cercata la città di Torino, che si presenta con questa visualizzazione grafica:



Figura 138 Interfaccia Cesium città di Torino



Figura 139 Interfaccia Cesium su Centro storico

Vi sono, come si può notare, dei fabbricati su cui sono stati sovrapposti degli elementi in bianco.



Figura 140 Interfaccia Cesium 3D

Andando sempre più nello specifico, notiamo che sono stati realizzati degli ingombri in 3D (che però non hanno tutti l'altezza veritiera) del tessuto urbano della città.

Si è provato in seguito a caricare i due modelli sulla piattaforma, ma è stata riscontrata una prima problematica. I modelli sono stasi entrambi esportati da Revit con l'estensione ".fbx", in quanto l'unica caricabile nella piattaforma. Tuttavia, non è stato possibile caricare il modello edilizio in quanto troppo pesante, ma solamente quello urbano.

CES	SIUM ion ⁻						💭 ElisaDapino 🗸	
Stories My Ass	sets Asset Depot Access Tokens Usage						What's new? Support Learn	
My Assets [®] Addidata		Search for		Q Someth	GETTO Adjust Til	eset Location sset. To report this issue, please email		
ID ¢	Name 🗢	Type 🗢	Date added 🕈	Size ≑	To help reso such as what	support@cesium.com with the asset ID: 1258006. To help resolve this faster, include any relevant information about your data, such as what software you used to export it.		
1258806 1258552	01_MODELLOURBANO	3D Tiles 3D Tiles	11/8/2022 11/8/2022	70.02 MB 4.21 MB				
96188	Cesium OSM Buildings Bing Maps Road	3D Tiles Imagery	1/5/2020 27/10/2016	-				
3 2	Bing Maps Aerial with Labels Bing Maps Aerial	Imagery	27/10/2016 27/10/2016	-		Information	Source Files	
1	Cesium World Terrain	Terrain	18/10/2016		Name 00_PROGE	тто	(ID: 1258806)	
		« Previous Next »			Description No descript Attribution No attribut Labels	n tion provided tion provided		

Figura 141 Caricamento modello edilizio

Una volta caricato il modello urbano è necessario posizionarlo nel punto corretto.



Figura 142 Caricamento modello urbano su Cesium, impostazione delle coordinate

Alla fine del procedimento, l'output che ne otterremo sarà il seguente:



Figura 143 Caricamento modello urbano su Cesium

Del modello caricato, tuttavia, rimangono visibili solamente gli elementi in 3D, che risultano però privi delle informazioni inserite nel modello in Revit. La perdita di tali informazioni è rilevante per l'obiettivo di realizzare un catasto del futuro, ma è anche importante considerare che questa possa non essere la piattaforma atta a perseguire tali scopi. Tuttavia, il caricamento del modello 3D che risulta essere privo della perdita di informazioni geometriche, è un buon punto di partenza per una ricerca che è solamente agli inizi.

Conclusioni

L'elaborazione dei dati nella realizzazione di un digital twin, sia nella sua consistenza geometrica che informativa, risulta essere la base, le fondamenta del processo stesso. I metodi di rilievo ad alta definizione consentono di generare nuvole di punti a elevata risoluzione. Questi strumenti consentono di evidenziare le diverse misure e la volumetria, rendendo più semplice la modellazione dei vari elementi e dei suoi componenti. Siccome i punti rappresentati sono tantissimi – si parla in questo caso di "nuvola densa" la percezione è estremamente realistica, molto più di quanto possa essere con le metodologie tradizionali.

Da questo deduciamo perciò che la nuvola di punti è di fondamentale supporto alla modellazione, in particolare nell'ambito dell'edilizia storica caratterizzata da una complessità di elementi, forme e particolari costruttivi intrinsecamente aggregati tra di loro. Dai dati non strutturati, come la nuvola di punti, il software genera dati strutturati, la mesh. In sostanza, da una miriade di punti si arriva alla definizione di superfici. In pratica, con la creazione delle mesh si passa da un insieme disordinato di punti a una superficie continua che compone il modello 3D vero e proprio.

Nel caso studio di un edificio di rilevanza storica come Palazzo Carignano, anche la ricerca dei dati da bibliografia e fonti di archivio, è stata essenziale per far recepire al fruitore un quadro che nell'insieme risulta essere così completo. La ricerca storica della creazione del Palazzo ha in parte giustificato anche il maggior grado di complessità della modellazione delle famiglie della facciata su Piazza Carlo Alberto, rispetto a quella su Piazza Carignano. Basti pensare alla presenza delle statue e degli elementi di maggior decoro come i capitelli dei pilastri e delle lesene.

Nella modellazione possiamo constatare che vi è una differenza di risultati visivi tra le famiglie eseguite con la tecnologia scan to bim e quelle realizzate con le mesh. Questo è dato dal fatto che una modellazione eseguita con la tecnologia dello scan to bim risulta essere più pulita e meno confusionaria. Inoltre, come si denota dai capitoli precedenti, la mesh risulta più chiara e definita su Cloud Compare che poi nelle famiglie di Revit.

Il modello realizzato può essere continuamente implementabile con l'aggiunta di ulteriori caratteristiche, che siano esse storiche o tecnologiche, grafiche e/o di contesto.

Tuttavia, la problematica principale riscontrata nella realizzazione di questo digital twin è stata il fatto che al termine dell'ultimazione del modello edilizio, questo, a causa del numero elevato di famiglie e di mesh, pesasse veramente molto. Questo fattore ha impedito in parte l'importazione in Cesium,, ed è stato un elemento limitativo del modello stesso. Anche per quanto riguarda il LOR del progetto utilizzando il plug in di Revit, As Built, è stata difficile l'individuazione semplicemente a causa delle ore di implementazione del programma a causa del peso del file. Invece, l'interoperabilità tra Revit ed Infrawork si è rivelata più che soddisfacente.

Nell'ottica di elaborare una matrice per la quale risulta esplicito il flusso evolutivo da modello catastale in 2D a modello per il catasto del futuro, sia in termini di evoluzione grafica che informativo si riporta il seguente grafico:



Figura 144 Matrice evoluzione modello

La matrice si sviluppa da sinistra a destra con in incremento del livello informativo utilizzato e dall'alto in basso con l'incremento di quello grafico. Si evince che due caselle non sono state ancora ultimate; questa potrebbe essere uno degli eventuali sviluppi futuri.

In ottica di queste conclusioni finali, altri sviluppi futuri della presente tesi potrebbero essere quelli di ricercare un modo per "snellire" le famiglie utilizzate e di conseguenza il file stesso, in modo tale che risulti più maneggevole, versatile e interoperabile.

Bibliografia e Sitografia

Bibliografia

Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Paolo Scarzella, "Torino nell'Ottocento e nel Novecento. Ampliamenti e trasformazioni entro la cerchia dei corsi napoleonici", Torino 1995

Luigi Cibrario, "Storia di Torino", Torino 1846

Ignazio Michela, "Progetto di Parlamento Nazionale", Torino 1851

Pietro Barrico, "Torino descritta", Torino 1869

Andrea Covino, "Torino. Descrizione illustrata", Torino 1873

Pietro Toesca, "Torino", Bergamo 1911

Giovanni Bragagnolo ed Enrico Bettazzi, "Torino nella storia del Piemonte e d'Italia", Torino 1919

Carlo Merlini, "Palazzi e curiosità storiche torinesi", Torino 1933

Mario Passanti, "Architettura in Piemonte da Emanuele Filiberto all'Unità d'Italia", Torino 1945

Marziano Bernardi, "Tre palazzi a Torino", Torino 1963

Ada Peyrot, "Torino nei secoli", Torino 1965

Maria Grazia Cerri, "Architetture tra storia e progetto", Torino 1985

A. Chenaux, M. Murphy, G. Keenaghan, J. Jenkins, E. McGovern, S. Pavia, "Combining A Virtual Learning Tool And Onsite Study Visits Of Four Conservation Sites In Europe", Ireland, USA

Ossama Salem, Immanuel John Samuel, and Song He, "Bim And Vr/Ar Technologies: From Project Development To Lifecycle Asset Management", USA

Maurice Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia, "Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture", Ireland 2013

Frosini Giulia, Biagini Carlo, Capone Pietro, Donato Vincenzo, Giusti Tommaso, "Hbim And Fire Prevention In Historical Building Heritage Management", Italia 2016

Conor Dore, Maurice Murphy, "Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling", Scotland 2012

Conor Dore, Maurice Murphy, "Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites", Scotland 2012

Laila M. Khodeir, DaliaAly, ShaimaaTarek, "Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) Tools in the Application of Sustainable Retrofitting of Heritage Buildings in Egypt", Egypt 2016

Conor Dore, Maurice Murphy, "Semi-Automatic Generation Of As-Built Bim Facade Geometry From Laser And Image Data", Scotland 2014

C. Dore, M. Murphy, S. McCarthy, F. Brechin, C. Casidy, E. Dirix, "Structural Simulations and Conservation Analysis -Historic Building Information Model (HBIM)", Spain 2015

Fassi F, Mandelli A., Teruggi S., Rechichi F., Fiorillo F., Achille C., "Vr for Cultural Heritage. A vr-web-bim for the Future Maintenance of Milan's Cathedral", Italia

Stefano Della Torre, "Un Bilancio Del Progetto Bhimm", Italia

Donatella Fiorani, "La Modellazione della Conoscenza nel Restauro: Uno Sviluppo per il BHIMM. Problematiche Generali e il Caso Studio Di San Saba In Roma", Italia

Bibliografia immagini

Figura 3: "Mappa delle fortificazioni di Torino – 1706", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 4: "Mappa delle fortificazioni di Torino nella fine del '700", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 5: "Torino nella fine del '700", **Paolo Scarzella**, "Torino nell'Ottocento e nel Novecento. Ampliamenti e trasformazioni entro la cerchia dei corsi napoleonici", Torino 1995

Figura 6: "Torino nel 1840", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 7: "Torino nella prima metà dell'800", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 8: "Torino nel 1852 — aggiunta fabbricato", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 9: "Torino nel 1852 — aggiunta fabbricato", **Paolo Scarzella**, "Torino nell'Ottocento e nel Novecento. Ampliamenti e trasformazioni entro la cerchia dei corsi napoleonici", Torino 1995

Figura 10: "Torino nel 1863", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 11: "Torino nel 1869", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 12: "Torino nel 1876", **Paolo Scarzella**, "Torino nell'Ottocento e nel Novecento. Ampliamenti e trasformazioni entro la cerchia dei corsi napoleonici", Torino 1995

Figura 13: "Torino nel 1876", **Paolo Scarzella**, "Torino nell'Ottocento e nel Novecento. Ampliamenti e trasformazioni entro la cerchia dei corsi napoleonici", Torino 1995

Figura 14: "Torino nel 1656", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 15: "Torino nel 1790", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 16: "Torino nel 1795", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 17: "Torino nel 1796", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 18: "Torino nel 1801", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 19: "Torino nel 1823", **Paolo Scarzella**, "Torino nell'Ottocento e nel Novecento. Ampliamenti e trasformazioni entro la cerchia dei corsi napoleonici", Torino 1995

Figura 20: "Torino nel 1827", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 21: "Torino nel 1831", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 22: "Particolare del giardino di palazzo Carignano nel 1822", Archivio Storico Comune di Torino

Figura 23: "Foro storica Palazzo Carignano", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 24: "Foto storica facciata su Piazza Carlo Alberto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 25: "Proposta di pianta per l'ampliamento Ottocentesco", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 26: "Ipotesi di progetto fronte su Piazza Carignano", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 27: "Ipotesi pianta totale del palazzo", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 28: "Prima ipotesi pianta Palazzo lato Piazza Carignano", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 29: "Seconda ipotesi pianta Palazzo lato Piazza Carignano", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 30: "Terza ipotesi pianta Palazzo lato Piazza Carignano", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 31: "Prototipo cancello cortile", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 32: "Stato di fatto del giardino nella metà del 1700", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 33: "Incisione di Giovanni Battista Borra del 1749", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 34: "proposta di Beltramo Antonio Re", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 35: "Disegno di Cantello del 1807", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 36: "Pianta piano terra palazzo Carignano", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 37: "Ipotesi ghiera portone d'ingresso con le iniziali di Carlo Alberto", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 38: "Portone d'ingresso con ipotesi ghiera", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 39: "Ipotesi di Roberto d'Azeglio per pizza Carlo Alberto", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 40: "Statua piazza Carlo Alberto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 41: "Seconda ipotesi per Piazza Carlo Alberto", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 42: "Pianta del progetto di Andrea Crida", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 43: "Prospetto del progetto di Andrea Crida", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 44: "Prospetto del progetto di Antonelli", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 45: "Sezione del progetto di Antonelli", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 46: "Prospetto definitivo del fronte su Piazza Carlo Alberto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 47: "Pianta definitiva di palazzo Carignano Piano terra", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 48: "Pianta definitiva di palazzo Carignano Piano primo", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 49: "Pianta definitiva di palazzo Carignano Piano secondo", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 50: "Decorazione sul fronte di Piazza Carignano", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 51: "Danni delle incursioni aeree, 1943", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 52: "Danni delle incursioni aeree, 1943", **Maria Grazia Cerri**, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 53: "Danni delle incursioni aeree, 1943", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 54: "Palazzo Carignano, stato di fatto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 55: "Palazzo Carignano, stato di fatto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 56: "Palazzo Carignano, stato di fatto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 57: "Palazzo Carignano, stato di fatto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Figura 58: "Palazzo Carignano, stato di fatto", Maria Grazia Cerri, "Palazzo Carignano. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni", Torino 1990

Sitografia

https://www.palazzocarignano.it

http://polomusealepiemonte.beniculturali.it/index.php/musei-e-luoghi-della-cultura/palazzo-carignano/

https://it.wikipedia.org/wiki/Palazzo_Carignano

http://www.residenzereali.it/index.php/it/residenze-reali-del-piemonte/palazzo-carignano

https://www.museorisorgimentotorino.it/

https://www.held-eventi.it/storia-e-curiosita-di-palazzo-carignano/

https://www.visitatorino.com/palazzi-di-torino/palazzo-carignano/index.html

http://www.parcopopiemontese.it/pun-dettaglio.php?id=1087

https://www.ansa.it/piemonte/notizie/2021/12/03/torino-al-via-la-gara-per-il-restauro-di-palazzo-carignano_f5d38a47-f6b2-431c-a33c-198402a36845.html

https://electomagazine.it/palazzo-carignano/

https://www.archi-blog.it/il-progetto-urbano-comprenderlo-conoscerlo.php

https://www.ibimi.it/lod-livello-di-dettaglio-per-il-bim/

https://www.orientatrium.net/bim/lod/#page-content

https://www.orientatrium.net/bim/scan-to-bim/#page-content

https://www.bimportale.com/scan-to-bim-dalle-nuvole-punti-al-modello-digitale-parte/

https://www.prosoftweb.it/post/scan-to-bim

https://it.wikipedia.org/wiki/Mesh_poligonale

https://www.fiscooggi.it/rubrica/immobili/articolo/catasto-digitale-nel-solo-2020-quasi-45-milioni-visure-online

https://www.ilsole24ore.com/art/fisco-grillo-lancia-riforma-catasto-3d-rimodulazione-aliquote-AEJkmccB?refresh_ce=1