

CANDIDATO: Simone Scovazzo S263107 RELATORE: Prof. Filiberto Chiabrando CO-RELATORE: Dott.ssa Alessandra Spreafico

LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE



A.A. 2019/2020

L'ESPOSIZIONE UNIVERSALE DI TORINO 1911: RILIEVO FOTOGRAMMETRICO E MODELLAZIONE 3D PER APPLICAZIONI DI REALTÀ VIRTUALE

SIMONE SCOVAZZO

L'ESPOSIZIONE UNIVERSALE DI TORINO 1911: RILIEVO FOTOGRAMMETRICO E MODELLAZIONE 3D PER APPLICAZIONI DI REALTÀ VIRTUALE





Link di collegamento al video oggetto di tesi

"In un paese qualunque, fuori del mondo! gridava Baudelaire al fiaccheraio sbigottito; all'Esposizione, si gridava noi balzando in una pubblica carrozza dopo una giornata di studio meditativo¹."

¹ Guido Gozzano, 1911, *Un vergiliato sotto la neve,* La Lettura: rivista mensile del Corriere della Sera

INDICE

| INTRODUZIONE | 4 | |
|---|---------------|--|
| DALLA DOCUMENTAZIONE STORICA ALLA REALIZZAZIONE | | |
| DEI MODELLI TRIDIMENSIONALI | 9 | |
| Disegni storici come base per la modellazione 3D | 9 | |
| Fonti individuate e loro utilizzo per la modellazione | 12 | |
| Importazione dei disegni nei programmi di modellazione | 14 | |
| APPROCCI ALLA MODELLAZIONE, PARAMETRICA O NON PARAMETR | ICA 17 | |
| Principali differenze tra le due tecnologie | 17 | |
| Normative e sviluppi previsti del BIM | 21 | |
| Il BIM come scelta primaria | 24 | |
| Interoperabilità dei modelli | 27 | |
| Fotogrammetria e SfM per la modellazione 3D | 33 | |
| La fotogrammetria | | |
| I principi geometrici della fotogrammetria | | |
| Structure from Motion (SfM) | | |
| ArchiViz | 44 | |
| Tipologie e differenze della visualizzazione architettonica | 44 | |
| Real time Rendering, un'importante svolta | 47 | |
| Virtual Reality: cenni storici ed applicazioni nell'Archiviz | 53 | |
| IL CASO STUDIO DI TORINO 1911 | 58 | |
| Il sito e il tema dell'Esposizione | | |
| Fonti storiche | 62 | |
| I padiglioni di Città di Torino, Ungheria, Francia e il Ponte | | |
| Monumentale | 66 | |
| Selezione delle fonti per la modellazione | 73 | |

| DAL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO AL MODELLO 3D DEL PARCO | 78 |
|--|-----|
| Acquisizione dei dati | 78 |
| Elaborazione dei dati | |
| Generazione della mesh | |
| Texturizzazione | 85 |
| DAI MODELLI GEOMETRICI ALLA PARAMETRIZZAZIONE | 92 |
| Modifiche ai modelli non parametrici | 92 |
| Importazione dei modelli in BIM | 95 |
| Problemi di importazione | 101 |
| Arricchimento informativo degli elementi geometrici | 103 |
| Modellazione parametrica BIM | 108 |
| Preparazione dell'ambiente di lavoro | 111 |
| Modellazione | 117 |
| Approccio alla modellazione a grandissima scala | 125 |
| Realtà Virtuale applicata all'edizione del 1911 | 128 |
| Obiettivi | 128 |
| Importazione e visualizzazione dei modelli in UE4 | 129 |
| Blueprints | 133 |
| Materiali | 135 |
| Gestione dei parametri generali del progetto, luci e riflessioni | 138 |
| Collisioni e navigabilità | 143 |
| Preparazione alla realtà virtuale | 147 |
| CONCLUSIONI | 156 |
| Ringraziamenti | 162 |
| BIBLIOGRAFIA | 163 |
| Sitografia | 167 |
| LISTA DELLE IMMAGINI | 170 |

INTRODUZIONE

L'impossibilità di fruizione del patrimonio storico-architettonico non più esistente è senza dubbio un grande limite in quella che è la nostra conoscenza del passato.

Nonostante questo limite possa risultare parzialmente superabile per gli esperti in materia attraverso lo studio di documentazione originale, principalmente conservata in archivi e composta da disegni, fotografie e fonti scritte, lo stesso non si può dire per la maggior parte delle persone che non possono comprendere appieno i tecnicismi del disegno in due dimensioni e non avendo la possibilità di fruire comodamente di quelle che sono immagini d'epoca; la possibilità di vedere grandi opere del passato come se ancora esistessero è di grande interesse anche per i non esperti.

La [fig. 1], ad esempio, mostra la copertina della monografia illustrata del Touring Club Italiano per l'esposizione, contente il catalogo dell'esposizione con le planimetrie in scala 1:5500.

Negli ultimi decenni, lo sviluppo della tecnologia legata alla visualizzazione di oggetti tridimensionali ricreati digitalmente, ha reso possibile la creazione di immagini e video virtuali che hanno supportato i meno esperti.

Il limite di questa tecnologia può però essere individuato nell'impossibilità del soggetto di immergersi all'interno della scena, nonostante la qualità di questi contenuti abbia ormai raggiunto limiti tendenti al puro fotorealismo.

Il passo successivo è stato compiuto grazie all'avvento di due nuove tecnologie, Virtual Reality (VR) ed Augmented Reality (AR), in grado di sfruttare ambienti ed oggetti virtuali per aumentare l'immersività del contenuto riprodotto. Nonostante lo sviluppo di queste tecnologie sia in atto da tempo, soprattutto per quanto riguarda il mondo dei videogiochi, la grande rivoluzione è avvenuta con l'avvento degli smartphone in quanto essi consentono la riproduzione di questi contenuti senza la necessità di numerosi accessori esterni.

Si pensi ad esempio alla possibilità, fotografando un semplice codice QR, di vedere una serie di modelli tridimensionali completamente navigabili che ne descrivono le trasformazioni nel tempo e le caratteristiche; tali modelli digitali consentono a tutti gli effetti di apprendere nozioni che altrimenti non sarebbe possibile conoscere.

La comodità di fruizione dell'AR e l'immersività della VR hanno fatto di queste due tecnologie la nuova frontiera della visualizzazione architettonica, portandola dall'essere una comodità di interazione tra professionisti del settore ad uno strumento conoscitivo di massa.

L'obiettivo che ci si pone in questa tesi è proprio quello appena descritto, ovvero la volontà di rendere fruibile a tutti la magnificenza delle opere architettoniche del passato: nello specifico verrà analizzato il caso dell'Esposizione Internazionale dell'Industria e del Lavoro di Torino 1911.

Nel primo capitolo della tesi verranno analizzate le tecnologie che saranno utilizzate ai fini della realizzazione dell'obiettivo preposto, sia relativamente alla modellazione che alla creazione del mondo virtuale.

Oltre alla parte relativa alla modellazione parametrica dei padiglioni dell'esposizione sarà introdotta anche la componente legata alla fotogrammetria aerea, tecnologia che è stata indispensabile per la creazione del modello del terreno; l'intero Parco del Valentino è il risultato della generazione di una nuvola di punti, creata partendo da una serie di fotografie aeree, che ha permesso la costruzione della mesh triangolare del sito.

In seguito a questa parte, nel secondo capitolo, una breve introduzione storica aprirà la strada a quella che è la spiegazione effettiva dei processi utilizzati per la modellazione e, infine, verrà descritto il processo necessario alla creazione di un ambiente virtuale.

Questo progetto risulterà essere fruibile grazie ad un visore per la realtà virtuale e rappresenterà il sito dell'esposizione, il Parco del Valentino, ed alcune delle più grandi ed importanti opere costruite appositamente per l'occasione.



1- Torino Esposizione 1911: Monografia Illustrata edita della Direzione Generale del Touring Club Italiano, fonte: World's fairs Italian style, http://www.italyworldsfairs.org

DALLA DOCUMENTAZIONE STORICA ALLA REALIZZAZIONE DEI MODELLI TRIDIMENSIONALI

Disegni storici come base per la modellazione 3D

Analizzando progetti di opere architettoniche non più esistenti si incorre nell'impossibilità di eseguire rilievi degli stessi; oltre a questo, se le opere prese in considerazione risalgono, come nel caso esaminato, a più di un secolo fa, la ricerca di documentazione di rilievo delle stesse può risultare molto complessa.

Le fonti conoscitive principali risultano quindi essere gli archivi storici, privati o pubblici, all'interno dei quali è possibile trovare tavole disegnate a mano descrittive del progetto.

L'utilizzo di disegni d'archivio [fig. 2] per la modellazione tridimensionale risulta essere non solo una delle uniche vie per dare forma ad architetture non più esistenti ma anche la migliore in quanto è possibile, tramite la digitalizzazione dei documenti, utilizzare misure metriche corrette per la realizzazione del modello.

La difficoltà nell'utilizzo di questa tecnologia è legata alla difficile reperibilità dei documenti in quanto un grande numero di archivi privati non sono ancora stati digitalizzati e di conseguenza non possono essere ricercati online.

Qualora la documentazione cartacea venisse reperita si rischia comunque di incorrere in una serie di altre problematiche, come ad esempio la possibile mancanza di una scala metrica o grafica nel disegno, la certa presenza di pieghe o strappi che non ne consentono una corretta lettura o l'impossibilità di scansionare alcune tavole a causa delle grandi dimensioni del foglio.

Dopo una selezione della documentazione utile, la digitalizzazione dei documenti può avvenire tramite due diverse modalità:

- L'utilizzo di uno scanner tradizionali o a rullo, con conseguente riscontro diretto dell'immagine scannerizzata su pc
- L'utilizzo di una camera per fotografare i fogli



2- Ipotesi esedra nel complesso delle Industrie Artistiche, Scala 1:100 da Archivio Stefano Molli, SM159

Utilizzando lo scanner il risultato diretto sarà utilizzabile per lo scopo prefissato, previa possibile modifica all'interno di un software come, ad esempio, Photoshop per migliorarne la qualità. La stessa cosa non si può dire del secondo metodo in quanto, la fotografia, oltre a non appianare le pieghe del foglio, si porta dietro la possibilità di errori di scala e prospettiva. Risulta quindi necessario un controllo relativo alle deformazioni subite dal foglio durante il processo di scansione o le deformazioni del foglio al momento della fotografia.

Nel tentativo di aumentare il dettaglio e la precisione dei modelli è inoltre possibile, come vedremo nel caso studio di questa tesi, affiancare ai disegni storici una serie di fotografie storiche e cartoline dell'epoca che consentano di vedere tridimensionalmente gli elementi, così da poter chiarire alcuni dubbi derivanti dall'interpretazione di disegni bidimensionali.

Fonti individuate e loro utilizzo per la modellazione

L'utilizzo dei disegni di archivio risulta però complesso in quanto la precisione degli stessi, non potendo essere paragonabile a quella di un disegno digitale, porta ad incongruenze tra le diverse tipologie di elaborati (piante, sezioni, prospetti, dettagli) [fig. 3].



3- Pianta piano terra, scala 1:100, padiglione francese, fonte: Archivio Stefano Molli, SM159

Per permettere l'utilizzo di questi documenti come base per la modellazione tridimensionale, date le grandi dimensioni dei fogli, possono essere impiegate diverse tecniche, come ad esempio la fotogrammetria digitale o la digitalizzazione attraverso scanner digitali piani o a rullo; questa seconda tecnica consente di spianare maggiormente le pieghe dei documenti.

I disegni sono stati posti su una superficie piana cercando di spianare le pieghe, sono stati posizionati dei righelli (per il successivo dimensionamento del modello digitale) e infine sono state acquisite immagini con principi fotogrammetrici.

Successivamente le immagini sono state elaborate con software che hanno consentito il raddrizzamento e il dimensionamento in scala dei diversi disegni.

Nonostante questo procedimento porti ad ottimi risultati per risalire alle dimensioni di massima di un edificio, risulta praticamente impossibile considerare gli stessi come una base affidabile nella gestione dei dettagli costruttivi.

Si può chiaramente vedere nell'esempio in figura 3 come il disegno originale, nonostante risulti perfettamente leggibile, presenti una serie di difetti riconducili al metodo di conservazione nel tempo; le pieghe, ad esempio, non permettono di poter risalire alle dimensioni esatte del disegno in quanto influenzano di molto le misure, considerando anche il fatto che trattandosi di disegni in scala che si trasformano in modelli con dimensioni reali l'errore viene moltiplicato.

Importazione dei disegni nei programmi di modellazione

L'immagine corretta può essere importata nei diversi programmi tramite due diverse tipologie di workflow, differenti in base alla tipologia di tecnologia di modellazione che si andrà ad utilizzare, all'importazione della stessa all'interno del software scelto per la modellazione:

> Nel caso si stia utilizzando un software CAD (Computer Aided Design) l'immagine dovrà essere precedentemente importata in un programma di progettazione bidimensionale per poter procedere al ridisegno della stessa; si importerà successivamente il risultato di ricalco all'interno del software di modellazione tridimensionale e si procederà con la riproduzione del modello.

Le insidie di questo approccio sono relative all'errore di tracciamento delle linee durante l'operazione di ricalco, che possono portare a diversi errori di dimensionamento degli elementi tridimensionali durante la modellazione

 Nel caso si stia utilizzando un software BIM (Building Information Modelling) il processo, che può sembrare semplice, nasconde diverse problematiche la cui soluzione determinerà la buona riuscita o meno della modellazione. È necessario quindi porre molta attenzione al fine di evitare errori di scala nelle immagini, allineamenti errati tra i diversi piani delle piante dell'edificio e le sue sezioni corrispondenti, ed alle modalità di visualizzazione che vengono scelte in quanto possono causare incomprensioni nel corretto ricalco dell'immagine.



4- Visualizzazione multipla degli elaborati in Archicad

La tecnologia BIM, nonostante porti ad altri problemi nella gestione della modellazione di un edificio storico, semplifica molto questo processo; la possibilità di visionare in qualsiasi momento i diversi elaborati di progetto con disegni storici associati, porta ad un netto miglioramento ed a una più semplice gestione del modello tridimensionale [Fig. 4].

Approcci alla modellazione, parametrica o non parametrica Principali differenze tra le due tecnologie

Nel paragrafo precedente sono state elencate due principali categorie di tecnologie; come diverse soluzioni per la modellazione architettonica.

La prima ed attualmente più diffusa è denominata CAD, Sigla dell'inglese Computer Aided Design, indicante una classe di metodologie nell'ambito delle quali lo sviluppo di un progetto industriale, scientifico, economico, ecc. viene realizzato interattivamente con un elaboratore elettronico². Questa tecnologia basa il suo funzionamento sulla costruzione geometrica di elementi bidimensionali, vettori che generano superfici a loro volta bidimensionali.

Le premesse originali dei sistemi CAD erano quelle di automatizzare il lavoro del disegno. Pertanto, l'obiettivo originale delle applicazioni CAD, era la rappresentazione 2D delle geometrie utilizzando elementi grafici come linee, archi, simboli ed altro.

Allo stesso modo, la comparsa del CAD 3D all'inizio si focalizzò quasi interamente sulla creazione di elementi geometrici in supporto alla visualizzazione, e gli sviluppi successivi si concentrarono sulla creazione di rendering realistici ed effetti luce o anche filmati³.

² CAD, Enciclopedia Treccani, vocabolario online, 15/09/2020 Disponibile in: www.trec-cani.it/vocabolario/cad

³ Osello, A. (2012). Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, The future of Drawing with BIM for Engineers and Architects. *Palermo: Dario Flaccovio Editore*

Il processo di modellazione si sviluppa tramite l'estrusione di queste superfici, piane o curve, trasformandole così in elementi solidi tridimensionali.

Le potenzialità di questa tecnologia sono pressoché infinite, in quanto, seguendo questo schema di estrusione, possono essere creati oggetti di qualsiasi tipologia, dimensione e complessità; vengono infatti utilizzati programmi CAD in molte discipline diverse, dalla meccanica di precisione al design di oggetti alla progettazione architettonica.

La motivazione per la quale, negli ultimi due decenni, si è cercato di sviluppare una tecnologia alternativa è l'assenza di possibili sviluppi dal punto di vista della modellazione ai fini dei progetti architettonici; nonostante sia estremamente funzionale alla creazione e visualizzazione di modelli mostra diverse lacune in quella che è la gestione del progetto, dai conteggi dei materiali costruttivi, alla tipologia degli infissi, all'assegnazione di informazioni ai singoli elementi di un edificio ed infine alle gestione del workflow di lavoro [fig. 5].



5- Comparazione tra flusso di lavoro tradizionale e con tecnologia BIM, elaborazione personale

L'obbiettivo del Building Information Modelling è proprio quello di ottimizzare progettazione, realizzazione e verifiche; il BIM, acronimo di Building Information Modeling, designa un processo che, supportato da un metodo e unitamente al computational design, permette di effettuare simulazioni progettuali di un manufatto edilizio in ambito digitale, quindi computabili, tese ad assicurare la coerenza tra i diversi elementi che lo compongono, secondo un approccio in grado di anticipare e rispondere ai possibili fenomeni che potrebbero verificarsi in ogni fase del suo ciclo di vita⁴. Consente quindi ai progettisti di integrare tutte le informazioni di un progetto all'interno di un unico database digitale [fig. 6].



6- Schema funzionale per la comprensione della tecnologia BIM, fonte: syncronia, www.syncronia.com

Questo database è una descrizione completa dell'edificio e del luogo in cui esso è inserito e contiene tutti gli oggetti descritti da un modello tridimensionale geometrico comprensivo degli

⁴ BIM, Enciclopedia Treccani, Enciclopedia Italiana, 15/09/2020, Disponibile in: www.trec-cani.it/enciclopedia/bim

attributi che determinano la descrizione dettagliata di ogni parte dell'edificio e della relazione tra i diversi elementi che lo costituiscono⁵.

A differenza di quello che avviene nella tecnologia CAD, gli oggetti non sono più il risultato tridimensionale dell'estrusione di superfici ma sono dei veri e propri contenitori di informazioni relative al progetto; è infatti possibile assegnare ad ogni oggetto una serie di parametri che lo definiscano o descrivano in ogni suo aspetto.

I parametri in questione sono di diversa tipologia e si differenziano in base alla loro importanza. I parametri primari si riferiscono alle dimensioni degli oggetti, quali altezza, larghezza e lunghezza e sono intrinseci all'oggetto stesso in quanto ne definiscono le dimensioni.

I parametri secondari definiscono invece delle proprietà dell'oggetto, che posso variare dalla tipologia del materiale costruttivo alla funzione strutturale, al periodo di costruzione dell'elemento. Ogni oggetto viene quindi riconosciuto per quella che è la sua funzione all'interno dell'edificio; i muri, ad esempio, non saranno più semplici estrusioni geometriche, ma oggetti parametrizzati in ogni aspetto, con altezze e stratigrafie ben definite ed utili alla comprensione della funzione degli stessi. Se non dovesse essere sufficiente la moltitudine di informazioni già presente sarebbe inoltre possibile ricorrere all'inserimento di informazioni descrittive, sotto forma di commento, che vadano ad aiutare gli altri attori del progetto alla comprensione di quello specifico dettaglio architettonico.

⁵ Osello, A. (2012). Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, The future of Drawing with BIM for Engineers and Architects. *Palermo: Dario Flaccovio Editore*

Le motivazioni sopra elencate ed il bisogno di creare un workflow di lavoro univoco tra i vari attori di un progetto architettonico, professionisti del settore ed amministrazioni, hanno portato allo sviluppo del BIM. Questa tecnologia, nonostante non sia più innovativa nell'idea di base, comincia ad essere sempre più presente ed importante nel settore architettonico tanto da divenire, dal 2/01/2019, obbligatoria nei progetti pubblici di importo superiore ai 100 milioni di euro⁶.

Il DM 560 del 1° dicembre 2017, soprannominato decreto BIM, ha infatti stabilito i tempi della progressiva obbligatorietà nella modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione, gestione e verifiche [fig. 7].

Lo step finale è previsto per il 2025, anno in cui tutte le opere di nuova realizzazione, a prescindere dall'importo del lavoro, dovranno essere progettate in ogni loro aspetto tramite un software BIM.

La normativa che ha avuto la capacità di introdurre il BIM in Italia è la UNI 11337, la prima vera norma tecnica italiana su questa tecnologia; questo è il primo concreto passo verso quello che è il processo di digitalizzazione che, si spera, porterà ad un netto miglioramento della qualità progettuale di gestione, progettazione e costruzione dell'opera.

⁶ Marra, A. (2019). Obbligo del BIM in vigore per gli appalti pub-blici dai 100 milioni di euro in su, 17/07/2020, Disponibile in:

https://www.edilpor-tale.com/news/2019/01/normativa/

L'idea è che questa norma possa essere applicabile a qualsiasi tipo di prodotto (edificio, infrastruttura, ecc.) e processo (ideazione, produzione, conservazione, ecc.).

Vengono inoltre introdotte in Italia le figure di coordinatore delle informazioni, gestore delle informazioni e modellatore delle informazioni, corrispondenti italiani di BIM coordinator, BIM manager e BIM specialist⁷.

L'art. 3 del decreto indica inoltre gli adempimenti preliminari delle stazioni appaltanti, definendo le condizioni che devono sussistere contemporaneamente, affinché le Stazioni Appaltanti possano utilizzare i metodi e gli strumenti di cui all'articolo 23, comma 13 del Codice dei Contratti Pubblici.

In particolare, è prevista l'adozione di8:

- un piano di formazione del proprio personale in relazione al ruolo ricoperto, con particolare riferimento ai metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture;
- un piano di acquisizione o di manutenzione degli strumenti hardware e software di gestione digitale dei processi decisionali e informativi, adeguati alla natura dell'opera, alla fase di processo ed al tipo di procedura in cui sono adottati;

⁷ UNI-11337

⁸ Furcolo, N. (2018). Decreto BIM: le regole e le scadenze per gli appalti pubblici, 03/10/2020, Disponibile in: http://biblus.acca.it/pubblicato-il-decreto-bim-le-nuove-regole-entrano-vigore-tra-15-giorni/

- un atto organizzativo che espliciti il processo di controllo e gestione, il gestore del dato e la gestione dei conflitti.



7- BIM negli appalti pubblici, fonte: Tesi A. Arcuti-A. Bonasia⁹

⁹ Arcuti, A., Bonasia, A. (2019). Il fascicolo del fabbricato digitale. Metodologie in ambito BIM come strumento strategico per le implementazioni delle piattaforme collaborative di asset management (polimi.it), Rel.: Alberto P.

Le differenze tra l'importazione in BIM di un modello geometrico e la modellazione diretta nel software sono principalmente legate alla quantità di informazioni assegnabili ad un elemento, molto più nel secondo caso, in quanto sarà possibile assegnare informazioni descrittive ad un oggetto importato, ma esso non risulterà modificabile nella sua componente geometrica attraverso i parametri del programma. Dal punto di vista della gestione del progetto architettonico la differenza è notevole: il modello tridimensionale non è più un mezzo derivante da disegni bidimensionali con la funzione di comprensione spaziale e creazione di immagini, ma diventa un vero e proprio centro di controllo.

La [fig. 8] rappresenta la visualizzazione della pianta di un edificio, alla quale non è ancora stata fatta nessuna modifica dal punto di vista estetico.



8- Organizzatore progetto in Archicad

Dal modello, se ben organizzato, possono essere esportati in un brevissimo lasso di tempo tutti i disegni quotati utili alla presentazione del progetto, come piante, sezioni e prospetti, a diverse scale e con conseguenti livelli di definizione, il tutto da un solo programma e senza l'obbligo di revisione su diversi software. Tramite l'organizzatore di progetto, posto sulla destra dello schermo è possibile spaziare in tempo reale dal modello tridimensionale a tutte le piante, le sezioni, i prospetti e gli abachi.

Nella parte alta dell'organizzatore è inoltre possibile creare delle viste con proprietà specifiche da inserire poi in tavola. Il tutto può essere gestito in un solo software ed ogni modifica ai disegni di base risulta essere retroattiva su tutti quelli che sono gli elaborati che ne derivano.

Il secondo grande vantaggio è il workflow del progetto, che tramite un solo programma consente la realizzazione di un modello in grado di fornire le informazioni necessarie a passare da una preliminare fase di concept architettonico a quella relativa agli elaborati definitivi di progetto. Il modello risulta quindi essere una vera e propria banca dati del progetto, contenente informazioni su tutti gli aspetti dello stesso, in quanto permette di realizzare computi metrici di massima. Il tutto grazie al calcolo automatico delle cubature dei diversi materiali costruttivi e del numero e tipologia degli infissi, il tutto automaticamente organizzato in tabelle personalizzabili a piacimento.

Come ogni tipologia di software, anche il BIM presenta però alcune lacune, la più rilevante delle quali è relativa alla modellazione di forme particolari che non abbiano un comando dedicato. Il problema non sorge nella realizzazione di nuove architetture, in quanto gli strumenti di modellazione geometrici per le forme libere all' interno dei software sono ormai arrivati ad un ottimo livello di potenzialità; il discorso, invece, cambia molto quando si parla di rilievo e modellazione di architetture storiche, in quanto esse presentano spesso oggetti e ornamenti molto particolari che non possono essere modellati direttamente in un programma che ha come base l'impiego di parametri.

Risulta quindi inevitabile affidarsi ad un software di modellazione geometrica da utilizzare parallelamente per modellare questi dettagli, che possono successivamente essere importati all'interno del proprio progetto grazie a diversi plugin interni al programma.

Interoperabilità dei modelli

L'interoperabilità è definita come:

"Capacità di due o più sistemi, reti, mezzi, applicazioni o componenti, di scambiare informazioni tra loro e di essere poi in grado di utilizzarle¹⁰."

Nel tentativo di spiegare al meglio le possibilità di utilizzo di diversi software di modellazione in un solo progetto, verranno ora analizzate le possibilità di interscambio di informazioni tra programmi basati su tecnologie differenti, ovvero le importazioni ed esportazioni CAD verso BIM e BIM verso CAD. Dopo aver terminato la creazione dell'oggetto nel programma di modellazione geometrica è utile ottimizzare l'oggetto per prepararlo all'esportazione.

Le regole da seguire riguardano la sua composizione, deve preferibilmente essere un'unica mesh, ovvero un oggetto solido, deve essere composta dal minor numero di possibile di poligoni e deve essere nota la sua posizione all'interno del sistema di coordinate.

Dopo aver trasformato tutte le superfici in una singola mesh si possono seguire due diversi workflow; il primo consiste nel porre la stessa nello zero di progetto, risultando così al centro del sistema di coordinate.

Il secondo metodo consiste nel porre la mesh nella posizione

¹⁰ Interoperabilità, Enciclopedia Treccani, enciclopedia della scienza e della tecnica, 18/06/2020, Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/interoperabilita

giusta rispetto alle coordinate del nostro modello principale, importando nel software scelto per la modellazione geometrica un punto noto del modello parametrico, così che esso si posizioni automaticamente in modo corretto nel software in cui verrà importato; seguendo il primo metodo avremo un'importazione che ci porterà a dover riposizionare, tramite una roto-traslazione, l'oggetto mentre nel secondo caso esso si posizionerà direttamente nel punto corretto, ma risulterà più complicato il successivo processo di parametrizzazione.

Poiché i tradizionali approcci di condivisone delle informazioni di progetto attraverso la scambio di file nel formati con .dxf, .dwf, .dwg e .pdf non trasferiscono adeguati livelli di intelligenza degli oggetti da un modello ad un altro, occorre perseguire nuovi approcci finalizzati ad uno scambio di dati più intelligente, necessariamente con l'impiego di nuovi formati. Sulla base di queste necessità è stata sviluppata un estensione denominata .IFC; nel processo BIM, l'IFC supporta il flusso dei dati tra i progettisti e tra i software collegando il modello BIM con i modelli parziali delle discipline specialistiche.

L'obiettivo di consentire l'interoperabilità tra software vede uno dei primi tentativi di realizzazione nel 1995, quando viene fondata l'IAI (International Alliance for Interoperability), cioè un'organizzazione non a scopo di lucro che aveva come obiettivo quello di vedere in che modo le diverse applicazioni del settore edilizio potessero dialogare tra di loro e quale potesse essere il potenziale di questo progetto¹¹.

¹¹ Autodesk, (2016). Lo standard IFC: quando e come utilizzarlo, 01/10/2020, Disponibile in:

https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/do cs/livre-blanc-ifc-it.pdf

L'11 giugno 2008 l'IAI cambia nome e diventa BuildingSMART International¹², la parola "building" rappresenta l'intero ambiente di costruzione, mentre "SMART" rappresenta il modo si costruisce: l'intelligenza, l'interoperabilità, la in cui costruzione in team, la creazione e lo sfruttamento migliore di edifici.

Con l'avvio dello sviluppo dell'IFC è stata posata una vera e propria pietra miliare per l'openBIM.

L'implementazione negli standard europei ha consolidato l'importanza dell'IFC nella progettazione quotidiana. Coloro che oggi non dispongono di un'interfaccia IFC, e non sono quindi in grado di scambiare il proprio modello digitale tra i vari software, perderanno presto competitività¹³ [fig. 9].



9- Schema esemplificativo IFC¹¹

¹² https://www.buildingsmart.org/

¹³ Autodesk, (2016). Lo standard IFC: quando e come utilizzarlo, 01/10/2020, Disponibile in:

https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/do cs/livre-blanc-ifc-it.pdf

La normativa che attualmente regola la posizione dell'IFC nel mondo dell'edilizia è la UNI 16739-1 del 2020¹⁴; questa normativa è denominata "Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management" e include le definizioni che trattano i dati richiesti per l'intero ciclo di vita di un'opera edilizia, incluso le infrastrutture; l'IFC specifica quindi uno schema di dati e una struttura del formato di scambio file.

Esistono molte altre estensioni da tenere in considerazione quando si devono traferire dei dati tra diversi software, due tra le più utilizzate sono .obj (Wavefront obj) e .COLLADA (COLLAborative Design Activity).

La differenza più importante tra questi formati è il supporto per le informazioni sulla scena (ad esempio le sorgenti di luce) e le animazioni. Il formato di file OBJ non supporta le informazioni sulla scena e le animazioni, mentre COLLADA si.

Può codificare la geometria della superficie di un modello 3D e può anche memorizzare informazioni su colore e trama.

Questo formato non memorizza informazioni sulla scena (ad esempio la posizione della luce) o le animazioni.

Il grande punto di forza di questa estensione è la sua semplicità di codifica, grazie a questa sua caratteristica il file risultante avrà un peso decisamente minore rispetto allo stesso salvato con una diversa estensione¹⁵.

¹⁴ Ente Italiano di Normazione, UNI EN ISO 16739-1:2020

http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-16739-1-2020

¹⁵ ALL3DP. The OBJ file format and 3D printing go hand in hand. Find out all you need to know about OBJ file format for CAD and 3D printing in this guide, 05/08/2020, Disponibile in: https://all3dp.com/1/obj-file-format-3d-printing-cad/

L'estensione COLLADA [fig. 10] è stata invece creata per poter essere usata come trasportatore di informazioni tra diversi software, i punti forti di questo formato sono relativi al fatto che non presenta nessuna perdita di dati, è open source (quindi modificabile dall'utente), e rappresenta un archivio di tutte quelle che sono le informazioni nella scena (animazioni, oggetti e luci)¹⁶.



10- schema esemplificativo COLLADA, fonte: myschumi, https://myshumi.net/

¹⁶ KHRONOS group, Collada overview, 05/08/2020, Disponibile in: https://www.khronos.org/collada/

Fotogrammetria e SfM per la modellazione 3D

La fotogrammetria

La tecnica del rilievo fotogrammetrico è un metodo di rilievo 3D che impiega le immagini fotografiche dell' oggetto stesso.

Si parla di fotogrammetria terrestre e di fotogrammetria aerea (o aerofotogrammetria) a seconda che la camera fotografica sia posta in stazione sul terreno oppure sia montata su un aeromobile¹⁷.

La fotogrammetria è una tecnica ora molto diffusa per i rilievi architettonici ed ha in gran parte sostituito il rilievo topografico, ovvero una tecnica che prevedeva il rilevamento di una serie di punti caratteristici che venivano successivamente restituiti per via analitica.

Il primo ad indicare le basi della fotogrammetria, della quale viene considerato il fondatore, fu Aimé Laussedat che nel 1851 cominciò a sperimentare le misurazioni su fotogrammi, purtroppo soggetti alle distorsioni degli obbiettivi fotografici ancora non perfezionati.

Al fine di ridurre il margine di errore di questa pratica, Ignazio Porro nel 1865 introdusse un nuovo strumento, il fotogoniometro, che permetteva la misurazione degli angoli in direzione dal centro dell'obbiettivo ai punti dell'oggetto fotografato¹⁸.

¹⁷ Fotogrammetria, Enciclopedia Treccani, Enciclopedia online, 04/09/2020,

Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/fotogrammetria

¹⁸ Cannarozzo, R., Cucchiarini, L., Meschieri, W. (2012). Misure, rilievo, progetto, T1 pag 3, *Bologna: Zanichelli*

Ad inizio '900 la stereoscopia e il principio della marca mobile contribuiscono allo sviluppo della fotogrammetria, rendendo più precisa ed oggettiva l'individuazione di punti omologhi su due fotogrammi diversi.

Ciò permise a Eduard Von Orel¹⁹ di costruire lo stereoautografo, ovvero il primo restitutore analogico [fig. 11].



11- Stereo-autografo, fonte: Imperial War Museum, en.wikipedia.org/wiki/Stereoautograph

Con questo strumento si potevano eseguire le misurazioni sui fotogrammi e trasmettere meccanicamente ad un pantografo i comandi da eseguire, by-passando la fase analitica per ogni misurazione.

¹⁹ Cannarozzo, R., Cucchiarini, L., Meschieri, W. (2012). Misure, rilievo, progetto, T1 pag 3, *Bologna: Zanichelli*
Le procedure analitiche vennero evitate, in quanto impossibili da effettuare manualmente, fino all'avvento dei calcolatori elettronici.

Grazie a questi era possibile un'impostazione analitica della fotogrammetria, poiché era possibile eseguire molti più calcoli in maniera automatica.

Il risultato non era più una proiezione disegnata al pantografo, ma un insieme di numeri, risultato di un certo numero di equazioni elaborate al computer²⁰.

Il passo successivo e finale consistette, nel periodo relativo alla fine degli anni '90 del 1900, nel passaggio dal supporto fotografico a quello digitale.

²⁰ Spanò, A. (2009). Fotogrammetria digitale: Generalità e principi. In *Dispense per il Workshop'' Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali'', Facoltà di Architettura, Torino* (Vol. 2010)

I principi geometrici della fotogrammetria

La fotogrammetria è basata sulle relazioni geometriche fra le posizioni tridimensionali dei punti dell'oggetto reale e le posizioni degli stessi sul piano fotografico. Come già accennato il fotogramma può essere considerato approssimativamente una prospettiva centrale, in virtù della quale i punti dello spazio oggetto hanno una relazione biunivoca con quelli omologhi dello spazio immagine²¹. I segmenti che li congiungono si incontrano tutti in un punto O, denominato centro di proiezione e posizionato all'interno dell'obbiettivo.

Un solo fotogramma non è però sufficiente a determinare la posizione e le dimensioni di un oggetto in quanto, ad un ipotetico punto "A" appartenente all'oggetto da rilevare, corrispondono una infinta serie di punti disposti sul raggio proiettante dalla camera al punto stesso [fig. 12].



12-fotogramma singolo 13-fotogramma doppio Fonte: tesi E. Borgogno, https://webthesis.biblio.polito.it/6337/

²¹ Spanò, A. (2009). Fotogrammetria digitale: Generalità e principi. In *Dispense per il Workshop'' Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali'', Facoltà di Architettura, Torino* (Vol. 2010)

Per risolvere questo problema sono quindi necessari almeno due fotogrammi, di cui si conoscono la posizione spaziale del piano fotografico e la posizione dei centri O₁ e O₂; il punto A è quindi definito geometricamente come intersezione dei raggi proiettanti r₁ e r₂ [fig. 13].

Quando però questa tecnica viene applicata ad un caso reale si incorre in una serie di problematiche di diversa natura.

Il centro di proiezione, per esempio, non è un punto dove effettivamente convergono tutti i raggi proiettanti, in quanto gli strumenti fotografici sono costituiti da un sistema di lenti che rifrangono diverse volte la stella proiettante. Inoltre, quest'ultima, non è costituita da rette poiché attraversando le lenti può subire deviazioni o distorsioni.

Tutte queste problematiche derivano però solamente dalla fase di acquisizione dei fotogrammi, prima di raggiungerla però è necessaria una fase di operazioni preliminari di orientamento²². Le tipologie di orientamento sono due:

- orientamento interno: riguarda la calibrazione della camera e prevede una serie di azioni che consentono di compensare errori dovuti a camera, obiettivo e fotogramma.
- orientamento esterno: serve a ricostruire la posizione spaziale dei fotogrammi al momento in cui sono stati scattati.

²² Borgogno, E. (2017). Virtual Heritage and Gamification Un Esperimento Di Realtà Virtuale per La Cappella Di S. Eldrado a Novalesa.

Relativamente all'orientamento interno della camera: "per ogni fascio di raggi proiettivi si dovrà inoltre determinare l'orientamento interno alla camera da presa, definito prendendo come centro di vista N" dell'obiettivo e come parametri le coordinate x e y misurate sulla superficie fotosensibile e la distanza dal punto principale P al punto nodale N" (distanza principale). Questi parametri sono tutti noti e sono specifici della macchina utilizzata²³"[fig. 14].



14- orientamento interno della camera, fonte: PoliBa, http://rilievo.poliba.it

In sintesi, l'orientamento si scinde in due fasi che permettono di ricostruire, rispettivamente, la posizione relativa tra i fotogrammi e la posizione nello spazio del sistema così formato.

Per effettuare l'orientamento bisogna conoscere le caratteristiche della macchina da presa (lunghezza focale e punto principale), le posizioni nello spazio dei punti nodali (centri di proiezione) e la direzione dell'asse principale (asse dell'obiettivo).

Questi parametri saranno successivamente utilizzati nel software di elaborazione per definire la posizione delle immagini e metterle in relazione tra loro.

²³ http://www.rilievo.poliba.it/studenti/aa04/marzocca/fotog/

Structure from Motion (SfM)

Negli ultimi anni, i passi in avanti negli ambiti relativi al rilievo ed alla documentazione, hanno portato alla possibilità di nuove applicazioni per la fotogrammetria.

Questo è stato possibile grazie a due principali fattori: la flessibilità degli strumenti utilizzati e la rapidità con cui essi riescono a raccogliere informazioni.

Prima dell'introduzione di questa tecnologia gli edifici del passato venivano spesso ricostruiti da varie fonti bidimensionali, come ad esempio piante ed immagini, che, però, potevano essere interpretate in diversi modi.

Il problema principale era quindi che la ricostruzione di singoli edifici era generalmente un'attività complessa e richiedeva molto tempo; pensare quindi alla ricostruzione di un'intera città o complesso era un evento raro ed estremamente difficile²⁴.

Dopo aver fornito la possibilità di raccogliere tanti dati in poco tempo è risultato necessario sviluppare questa tecnologia anche dal punto di vista analitico, questo ha quindi portate ad una serie di procedure automatiche, costituite da algoritmi di elaborazione, che riescono a restituire i dati di input lavorando in maniera univoca sull'orientamento dei fotogrammi e sulla restituzione degli stessi.

La [fig. 15] illustra come le diverse fotografie, scattate da diversi punti di vista, si sovrappongano; questa operazione risulta

²⁴ Bruschke, J., Maiwald, F., Münster, S., & Niebling, F. (2018). Browsing and Experiencing Repositories of Spatially Oriented Historic Photographic Images. *Studies in Digital Heritage*, 2(2), 138-149, https://doi.org/10.14434/sdh.v2i2.24460

essere molto importante nell'ottica dell'aumentare la precisione dei punti che verranno individuati.



15- viste convergenti, fonte: Advanced Geographic Research, http://adv-geo-research.blogspot.com/

Vengono di seguito elencate alcune delle fasi del processo fotogrammetrico digitale che hanno beneficiato della creazione di algoritmi appositi²⁵:

Feature Extraction / Image Matching (algoritmi di auto-correlazione): questo algoritmo è realizzato allo scopo di riconoscere forme e geometrie sulle immagini digitali attraverso operazioni statistiche di confronto.

²⁵ Einaudi, D. (2019). *Utilizzo di sistemi UAV multi-sensore per la modellazione 3d e la realtà virtuale* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino)

- **Operatori di Interesse**: permettono secondo criteri prestabiliti, di individuare su ogni fotogramma i punti che meglio si prestano ad una successiva correlazione.

Le operazioni di correlazione sono utili al riconoscimento su un'immagine di un'entità e sono governate principalmente da tre tipologie di algoritmo: Area Based Matching (ABM), Feature Based Matching (FBM) e Matching Relazionale.

L'ABM è la tecnica più utilizzata in fotogrammetria e basa il suo funzionamento sul confronto dei dati radiometrici tra le immagini utilizzando solitamente i livelli di grigio; questo tipo di algoritmo è basato sul confronto delle intensità di grigio tra i pixel nelle immagini analizzate.

In particolare, vengono analizzate piccole porzioni di pixel, note come image patches, estratte da immagini differenti. Una delle porzioni è definita matrice sagoma e viene tenuta fissa, mentre la seconda, detta matrice di ricerca, viene spostata sulla prima per trovare l'esatto punto di corrispondenza²⁶.

L'SfM basa il suo funzionamento su una serie di processi, il primo dei quali è definito Image Alignment, durante il quale vengono ricostruiti i parametri fotografici e vengono collimati i punti individuabili su più immagini, in modo tale da determinarne le coordinate spaziali [fig. 16].

²⁶ Einaudi, D. (2019). *Utilizzo di sistemi UAV multi-sensore per la modellazione 3d e la realtà virtuale* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino)



16- Image Alignment, fonte: GSP216, http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson8-2/SfM

La seconda fase viene invece definita Dense Image Matching e riguarda la generazione della nuvola di punti densa; in questa fase ogni punto della nuvola è costituito dalla trasposizione di un pixel, comune a più foto, avente gli stessi dati radiometrici e le stesse coordinate spaziali relative al punto oggetto²⁷.

A questo punto, la nuvola di punti potrà essere utilizzata come base per la costruzione di una mesh e la texturizzazione della stessa.

 ²⁷ Barrile, V., Bilotta, G., Lamari, D., Meduri, G. M., Monardi Trungadi, U., & Ricciardi,
A. (2015). Computer vision/structure for motion per la diffusione dei beni culturali. In
Atti della 19a Conferenza Nazionale ASITA

ArchiViz

Tipologie e differenze della visualizzazione architettonica

Viene definito con il termine ArchiViz²⁸ l'ambito relativo alla visualizzazione di modelli architettonici.

L'argomento relativo alla visualizzazione architettonica è di difficile comprensione per quasi tutti, non solo per i non addetti ai lavori, ma anche per molti professionisti del settore che hanno intrapreso percorsi diversi in relazione allo svolgimento dei proprio lavoro.

Oggi tutti i grandi studi di architettura, design ed ingegneria si affidano a delle figure specializzate, i 3D visualizer, che possono essere interni o esterni alla compagnia stessa; queste figure professionali hanno il compito di produrre materiale digitale come immagini (render), video ed animazioni di progetti altrui al fine di rappresentarli al meglio.

> "Il render, che costituisce solo una piccola parte dell'ArchViz, dunque è qualcosa che serve per rendere l'idea di ciò che sarà dopo la fine dei lavori, per presentare un progetto e tradurlo in una lingua più facilmente comprensibile a tutti, che non sia quella delle piante e sezioni, per interpretare un progetto trasmettendo un messaggio.

Sebbene l'industria dell'ArchiViz sia nata negli anni '90 e sia oggi in grande espansione, la

²⁸ Abbreviazione di Architectural Visualization

rappresentazione tridimensionale degli edifici, e non solo, è nata parallelamente alla codifica del metodo della prospettiva, il quale raggiunse la sua massima espressione nel '600 con il Caravaggio."²⁹

La visualizzazione architettonica relativa alla computer grafica è nata con l'intento, come visto precedentemente, di creare immagine di oggetti non esistenti al momento della presentazione.

La grande evoluzione degli hardware³⁰ e dei software³¹ ha portato negli anni alla possibilità di creazione di diverse tipologie di contenuti multimediali, come video ed animazioni, allargando il campo di utilizzo di queste tecnologie anche al mondo dei videogame e della pubblicità.

Originariamente la tecnologia di produzione di immagini digitali era relegata all'utilizzo di software che sfruttavano una tecnologia denominata "offline rendering" per calcolare la luce, i colori e le texture inserite all'interno del modello tridimensionale; questo procedimento si svolge attraverso un calcolo, spesso con tempistiche molto lunghe, realizzato attraverso

²⁹ Close up Engineering, Architetto visualizzatore, la professione del futuro?, 10/08/2019, Disponibile in: https://buildingcue.it/architetto-visualizzatore-la-professione-delfuturo/12430/

³⁰ "Termine usato nella tecnica elettronica per indicare, in contrapposizione a software, i componenti di base, non modificabili, di un apparecchio o di un sistema" da Enciclopedia Treccani, *vocabolario online*, http://www.treccani.it/vocabolario/hardware/

³¹ "Termine correntemente usato nella tecnica elettronica per indicare, in contrapposizione. a hardware, tutti i componenti modificabili di un sistema o di un apparecchio e, più specificamente in informatica, l'insieme dei programmi che possono essere impiegati su un sistema di elaborazione dei dati" da Enciclopedia Treccani, vocabolario online, http://www.treccani.it/vocabolario/software/

l'utilizzo di GPU³² (Graphic Processing Unit) e CPU³³ (Central Processing Unit- del computer) [fig. 17].

Le lunghe tempistiche di calcolo di questa tecnologia permettono però, ancora oggi, di mantenere un livello molto alto di fotorealismo e viene di conseguenza ancora utilizzata per progetti che non necessitano di un calcolo di produzione immediato, come rendering statici ed animazioni.

La svolta nel settore della visualizzazione è legata all'introduzione di una seconda tecnologia, denominata "real time rendering", in grado di calcolare istantaneamente luci texture ed oggetti nella scena e di conseguenza di accorciare tantissimo i tempi di produzione.



17- Comparazione render CPU-GPU, fonte: www.boxx.com, di: Joe Pizzini

³² Scheda grafica PC

³³ Processore del PC

Il rendering in real time sfrutta le stesse tecniche utilizzate dal rendering offline, legate alla modellazione, ai materiali ed alle luci, ma utilizza dei motori di rendering in grado di calcolare il tutto in tempo reale. Grazie a questa tecnologia si è in grado di visualizzare il risultato di ogni azione che viene fatta sul modello in una frazione di secondo, non limitandosi solo a mostrare i materiali o le luci nella scena, ma calcolando anche gli effetti audio-video che vengo aggiunti per rendere più fotorealistico il risultato finale; i tempi destinati al rendering finale sono quindi drasticamente diminuiti.

La figura mostra la stessa scena, trattata con due software appartenenti alle due diverse tecnologie, comparandone le tempistiche di elaborazione. La capacità di calcolare tutte le informazioni istantaneamente ha portato alla possibilità di sviluppo di una serie di nuove tecnologie, tra le quali spiccano:

- VR (Virtual Reality): "Simulazione all'elaboratore di una situazione reale con la quale il soggetto umano può interagire³⁴"
- AR (Augmented Reality): "Tecnica di realtà virtuale attraverso cui si aggiungono informazioni alla scena reale³⁵"

 ³⁴ Realtà Virtuale, Enciclopedia Treccani, lessico del XXI secolo, 11/06/2020,
Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/realta-virtuale
³⁵ Realtà Aumentata, Enciclopedia Treccani, lessico del XXI secolo, 11/06/2020,
Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/realta-aumentata

In quello che ormai può essere definito come un mercato di software ci sono delle soluzioni, nate per lo sviluppo di videogiochi e accostate negli ultimi anni anche alla sfera architettonica, che consentono di sfruttare i benefici della renderizzazione in real time senza dover rinunciare alla qualità assoluta dei software top di gamma.

I due programmi in questione sono Unity³⁶ –(Motore grafico sviluppato da Unity Technologies)- ed Unreal Engine³⁷ –(Motore grafico sviluppato da Epic Games):

- **Unity** sfrutta un sistema di programmazione per righe di codice in C++
- Unreal Engine è basato su un sistema proprietario, denominato Blueprints

In entrambi i casi si tratta di software molto complessi, sia nella loro interfaccia grafica che nella assegnazione di comandi, che consento, però, una completa gestione di tutti quelli che sono i parametri di visualizzazione del modello, come luci materiali e gestione delle mesh.

Il grande punto di forza di questi due software è relativo alla possibilità di sfruttare, nell'ambito della visualizzazione architettonica, la tecnologia VR; risulta quindi possibile la creazione di tour virtuali interattivi, visualizzabili tramite gli appositi visori, grazie ai quali è possibile consentire ai clienti di

³⁶ https://unity.com/

³⁷ https://www.unrealengine.com/en-US/

immergersi e modificare quello che sarà il futuro edificio raggiungendo livelli grafici di primissimo livello [fig. 18].



18- comparazione tra i due software, da: YouTube, di: UGuruz

Negli ultimi anni sono però comparsi nel mondo della visualizzazione architettonica diversi software in grado di sfruttare, seppur con diverse rinunce, questa tecnologia.

I più famosi, apprezzati ed utilizzati sono Lumion³⁸ -(Motore grafico sviluppato da Act-3D)- e Twinmotion³⁹ -(Motore grafico sviluppato da Ka-Ra e di proprietà di Epic Games)-, questi software fanno della loro semplicità d'uso il punto forte.

Nonostante sia quasi impossibile raggiungere con questi software risultati paragonabili a quelli ottenibili con i programmi tradizionali di offline rendering come Vray per 3DS max o cinema 4D, una grande fetta di studenti, liberi professionisti e studi di architettura ha virato sull'utilizzo degli stessi.

³⁸ https://lumion.com/

³⁹ https://www.unrealengine.com/en-US/twinmotion

La principale motivazione è il risparmio di tempo e di denaro, nonostante l'abbassamento della qualità, che, però, risulta spesso trascurabile soprattutto in fasi di progetto preliminari o in piccoli progetti con clienti privati.

La scelta della tecnologia, in questo progetto, è ricaduta sul rendering in real time tramite l'utilizzo di Unreal Engine 4, necessario se si punta alla creazione di un ambiente virtuale navigabile.

Unreal Engine 4 è un software sviluppato dalla casa Epic Games per la creazione di videogiochi in 2D e 3D e una parte della sua fortuna è dovuta alla scelta della casa produttrice di renderlo disponibile gratuitamente, chiedendo agli sviluppatori un supporto economico in percentuale sui guadagni futuri, riuscendo così a costruire una grandissima community di appassionati e professionisti che si aiutano a vicenda.

Il grande punto di forza di UE4 risulta essere il marketplace, un vero e proprio mercato nel quale è possibile acquistare script, materiali ed oggetti realizzati da altri utenti.

Negli ultimi anni lo sviluppo del programma ha portato all'implementazione della VR e della AR e ne ha reso interessante l'utilizzo anche in campi diversi da quello dei videogiochi, come ad esempio l'architettura; la difficoltà ad imparare il software UE4 da autodidatti, unita al grande dispendio di tempo causato dalla complessità del workflow, porta la maggior parte dei professionisti ad utilizzare alternative più semplici come Twinmotion. Questo software, acquistato da Epic Games dopo un paio di anni dal suo sviluppo, punta a diventare uno dei capisaldi della visualizzazione architettonica, unendo il motore di rendering di UE4, un pieno supporto al BIM⁴⁰, una grande semplicità d'uso e, soprattutto, l'implementazione alla realtà virtuale; nonostante tutte le potenzialità il software necessita di ancora diversi anni di sviluppo per poter produrre risultati paragonabili a quelli del suo fratello maggiore.

L'utilizzo di queste tecnologie ha portato allo sviluppo di una serie di progetti riguardanti la riproposizione in realtà virtuale o aumentate di edifici storici, come ad esempio il progetto Romereborn⁴¹ che si occupa, divulgandolo tramite il sito internet, della modellazione e visualizzazione delle grandi architetture antiche della città, il progetto delle OGR (Officine Grandi Riparazioni) di Torino⁴² o, più in grande, il progetto HitsStadt4D.

Quest'ultimo progetto citato riguarda la volontà, da parte di un team, di andare oltre alla semplice rappresentazione in VR o AR dell'oggetto, inserendo all'interno del sito anche una serie di materiali, quali mappe e fotografie.

Il lavoro fotogrammetrico e geo-informativo serve come base tecnica per un WebGIS 3D e molteplici applicazioni AR/VR, che richiedono immagini orientate spaziali, coordinate degli oggetti e ulteriori dati spaziali [fig. 19]

Nel paper ufficiale del progetto⁴³ è possibile capire l'intenzione che i ricercatori si sono dati già dalle prime righe:

⁴⁰ La licenza di Twinmotion è gratuita se associata a quella di Archicad

⁴¹ https://romereborn.org/

⁴² https://tour.ogrtorino.it/

⁴³ Bruschke, J., Maiwald, F., Münster, S., & Niebling, F. (2018). Browsing and Experiencing Repositories of Spatially Oriented Historic Photographic Images. *Studies in Digital Heritage*, 2(2), 138-149, https://doi.org/10.14434/sdh.v2i2.24460

"The project HistStadt4D aims to investigate and prototypically develop access to such repositories via a spatio-temporal location of historical photographs and maps within a 3D model of the city center of Dresden/Germany as well as to assess usage options and cultural implications. The central component is a web-based 4D browser, which takes into account temporal information in addition to the 3D spatial information on the media and building objects. The spatial visualization of location-based media and objects via a 3D city model is intended to enable an extended circle of users accessing urban history information as simply and intuitively as possible"



19- Visualizzazione di fotografie storiche in AR, fonte: geo-information technologies

Virtual Reality: cenni storici ed applicazioni nell'Archiviz

Le prime tracce relative ad un dispositivo in grado di avvicinarsi al concetto di realtà virtuale risalgono al 1962, quando Morton Heilig presentò il Sensorama [fig. 20], un progetto frutto di anni di sviluppo in grado di offrire al soggetto uno spettacolo di cinema immersivo, dal creatore definito come il "teatro dell'esperienza"⁴⁴.



20- Locandina pubblicitaria del Sensorama

Il dispositivo era in grado di mostrare diversi film in visione stereoscopica, coinvolgendo però, oltre alla vista, anche udito, olfatto e tatto.

⁴⁴ Borgogno, E. (2017). Virtual Heritage and Gamification Un Esperimento Di Realtà Virtuale per La Cappella Di S. Eldrado a Novalesa.

La grande svolta, dopo una serie di tentativi falliti negli anni precedenti, si ebbe però nel 1991 quando la Sega (società multinazionale che produce videogiochi) investì nella creazione del Sega VR, un visore "head mounted" che sfruttava schermi e cuffie integrate per riprodurre videogiochi.

Da questo momento in poi diverse compagnie cominciarono lo sviluppo di visore per la realtà virtuale, che furono però per lo più progetti fallimentari, fino a quando nel 2012 Palmer Luckey lanciò una campagna kickstarter per finanziare il suo progetto di visore.

Venne quindi in breve lanciato il primo modello di Oculus Rift⁴⁵ [fig. 21], al prezzo di 350 dollari, giustificato dal fatto che questo dispositivo risultava essere esageratamente avanti rispetto a qualsiasi prodotto della concorrenza; l'enorme successo della campagna kickstarter porto Mark Zuckerberg, inventore e CEO di Facebook, ad acquistare il progetto dopo solo 600 giorni dal lancio, per la cifra record di 2 miliardi di dollari⁴⁶.

L'unica azienda in grado contrastare lo strapotere di Oculus negli ultimi anni è stata HTC⁴⁷ (compagnia di Taiwan produttrice di prodotti tecnologici), che dopo aver visto il successo ottenuto da Palmer Luckey, decise di investire nella novità tecnologica del momento arrivando a presentare, dopo quattro anni e innumerevoli tentativi, l'unico vero rivale dell'Oculus, l'HTC Vive⁴⁸ [fig. 22].

⁴⁵ https://www.oculus.com/rift/?locale=it_IT

⁴⁶ Giuseppe, C. (2018). Oculus rift: la storia, 24/07/2020, Disponibile in:

https://paladintrue.com/it/blog/oculus-rift-la-storia/

⁴⁷ https://www.htc.com/it/

⁴⁸ https://www.vive.com/sea/



21- Oculus Rift



22- HTC Vive

Nonostante le potenzialità, questa tecnologia fatica attualmente ad affermarsi per una serie di problemi, principalmente riassumibili nel grande costo dei dispositivi di produzione e riproduzione e nella scarsa conoscenza dell'uso dei software necessari.

La tecnologia legata a realtà virtuale e realtà aumentata sta cominciando ad essere impiegata in una serie di campi diversi. Come è stato dimostrato da dei sondaggi effettuati nel 2018, gli investimenti programmati per queste tecnologie si concentrano principalmente nel settore dei videogame, dell'educazione, della sanità e del marketing; sono inoltre presenti, oltre alle categorie appena citate, previsioni di investimento in altri campi come gli sport, i concerti, le attività militari ed il cinema⁴⁹. Il successo multidisciplinare di questa tecnologia ha quindi portato ad investimenti multimiliardari in questo campo; il valore degli investimenti nel 2016 era di 2.6 miliardi di dollari mentre è prevista un capitale investito di circa 81 miliardi per il 2022.

Questo perché oltre alla visualizzazione ed interazione con il mondo virtuale è possibile anche, tramite uno sviluppo

⁴⁹ Özenen, M., Cabuk, S. (2019) *Innovative methods in industry: VR applications.* Paper presented at INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY in ŞANLIURFA

software, progettare e testare dei prodotti senza la necessità di produrne un prototipo.

L'utilizzo di modelli BIM associati alla VR per la simulazione architettonica, può essere utile come mezzo per comunicare più della semplice struttura fisica di un edificio. Potenzialmente anche le interazioni invisibile che si svolgono all'interno dell'architettura possono essere comunicate con queste tecnologie.

La neurologia sta inoltre cercando un nuovo metodo per indagare su come architettura e percezione si intreccino. Diversi studi indicano che il cervello umano ha bisogno di meno memoria di lavoro per poter percepire modelli nella realtà virtuale rispetto al vedere modelli bidimensionali sullo schermo di un computer.

Questo avviene grazie alla riduzione della complessità di elaborazione celebrale in quanto non necessita di una traslazione della geometria bidimensionale in quella tridimensionale. Allo stesso modo, la valutazione di un piccolo gioco di realtà virtuale in HMD (head mounted display) e su uno schermo piano, ha mostrato che la realtà virtuale induceva meno dispendio cognitivo sul cervello rispetto a quello richiesto utilizzando lo schermo di un computer⁵⁰.

⁵⁰ Hermund, A., Klint, L., & Bundgård, T. S. (2018). BIM with VR for architectural simulations: Building Information Models in Virtual Reality as an architectural and urban designtool. In *ACE 2018 Singapore: ACE 2018*

IL CASO STUDIO DI TORINO 1911

Il sito e il tema dell'Esposizione

L'esposizione universale di Torino, tenutasi dal 29 aprile al 19 novembre 1911, fu organizzata in occasione del cinquantenario dell'Unità d'Italia e vide un afflusso di circa 7 milioni di visitatori. Tale esposizione venne programmata in concomitanza con le esposizioni di Roma e Firenze, scegliendo dunque di realizzare tre esposizioni in quelle che si susseguirono nel ricoprire il ruolo di capitale del Regno d'Italia. La motivazione di questa divisione si può ritrovare nel pensiero di Secondo Frola ed Ernesto Nathan⁵¹:

> "Alla metropoli del forte ed industre Piemonte spetta raccogliere in una Esposizione Internazionale industriale le manifestazioni varie dell' attività economica: a Roma, faro del pensiero italiano, spetta riassumere con le esposizioni patriottiche, storiche, artistiche, il concetto che a quelle attività economiche presiedette⁵²."

Il sito scelto per l'evento fu il Parco del Valentino [fig. 23], in quanto spazio pubblico già utilizzato come sede di precedenti esposizioni che offriva anche la possibilità di sfruttare strutture

⁵¹ Secondo Frola ed Ernesto Nathan furono due importanti politici italiani dell'epoca. Secondo Frola fu Presidente del Comitato Generale dell'Esposizione Internazionale di Torino 1911, mentre Ernesto Nathan ricoprì la carica di sindaco di Roma dal 1907 al 1913. ⁵² Treves, G. (1911). Le Esposizioni del 1911: Torino, Roma, Firenze. *Milano: Fratelli Treves*

precedentemente realizzate per le esposizioni del 1884 e del 1898 come il Borgo Medievale e la Fontana dei Dodici Mesi.



23- Mappa dell'esposizione53

L'esposizione del 1911, denominata "Esposizione internazionale dell'industria e del lavoro", venne organizzata a Torino in quanto in quegli anni era la città italiana di maggior importanza dal punto di vista industriale; il numero di dipendenti e la concentrazione di fabbriche nel territorio l'avevano portata a diventare, nel 1906, la sede della Confederazione italiana dell'industria.

Parteciparono all'evento 31 nazioni di diversi continenti e furono creati all'interno del Parco una serie di padiglioni e strutture tra cui il Ponte monumentale sul Po, la Fontana monumentale sulla collina adiacente al ponte con il piazzale d'onore, il Padiglione dell'Ungheria, quello della città di Torino, quello della Francia e il complesso sportivo Stadium, costruito nel cuore del quartiere

⁵³ (1911), Guida pratica per visitare la Esposizione internazionale delle industrie e del lavoro indetta in Torino per celebrare il 50° anniversario della proclamazione dell'unità d'Italia con Roma capitale: aprile-novembre 1911,*Torino: Ajassa e Ferrato*, Disponibile online

http://www.museotorino.it/view/s/34b956eefd2440ef97e1b7a11334848f

della Crocetta (dove sarebbe poi sorto successivamente il Politecnico di Torino); vennero inoltre realizzate infrastrutture per la fruizione dell'esposizione, si ricordano principalmente la monorotaia e la funicolare elettrica [fig. 24].



24- Funicolare elettrica di collegamento tra le due sponde del Po⁵⁴

A partire dal 1912 quasi tutte le strutture ed infrastrutture furono smantellate; il processo fu molto semplice, in quanto esse furono progettate come strutture effimere, realizzate in legno e gesso e quindi di veloce montaggio, smontaggio e comodo smaltimento volto al fine di poter riportare facilmente tutto allo stato originario. La particolarità dell'esposizione fu l'allontanamento da quello che era il classico stile fieristico del tempo, ovvero un ammasso di diverse tipologie architettoniche che non comunicavano tra loro; l'organizzazione dell'evento, contrariata da questa caratteristica

⁵⁴ Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911,

https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/

vista fino a quel momento nelle altre esposizioni, decise di richiedere uno stile architettonico unificato, molto legato al Barocco torinese, e più nello specifico legato a quelli che erano i dettami del design architettonico di Filippo Juvarra⁵⁵.

Diversamente dalle esposizioni precedenti quella di Torino consentì di rispondere anche ad un'altra questione che si era manifestata in Italia per diversi anni, cioè quella della mancanza di uno stile nazionale.

L'Esposizione di Torino propose il Barocco torinese come modello da seguire per far apparire lo Stato come unificato non solo per vezzo estetico, ma anche per rispondere alla richiesta dall'intera classe politica dell'epoca che mirava a rappresentare il valore e le ambizioni dello Stato.

La tesi si colloca all'interno del progetto "Torino 1911", portato avanti dalla University of California San Diego (UCDS) in collaborazione con il Politecnico di Torino. Il progetto consiste nella ricostruzione multi-scala di strutture non più esistenti per una metratura superiore al 400.000 m², per creare una visualizzazione virtuale ed immersiva della "Favolosa Esposizione" di Torino 1911⁵⁶.

⁵⁵ Della Coletta, C., (2006). World's Fairs Italian-Style: The Great Exhibitions in Turin and Their Narratives, 1860-1915. University of Toronto Press, Toronto, ON, Canada. ⁵⁶ Chiabrando, F., Coletta, C. D., Sammartano, G., Spanò, A., & Spreafico, A. (2018). " TORINO 1911" PROJECT: A CONTRIBUTION OF A SLAM-BASED SURVEY TO EXTENSIVE 3D HERITAGE MODELING. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42(2).

Fonti storiche



25- Copertina del giornale ufficiale illustrato dell'esposizione, fascicolo nº 20

Seguendo una tradizione risalente al 1851 i visitatori avevano la possibilità di visitare, all'interno della fiera, il Padiglione del giornale; all'interno del padiglione vi era la possibilità di visionare e consultare la rivista dell'esposizione dal titolo "L'esposizione di Torino 1911: Giornale ufficiale illustrato dell'esposizione internazionale delle industrie e del lavoro⁵⁷", l'unica pubblicazione ufficiale della fiera [fig. 25].

All'interno della rivista erano descritti tutti gli aspetti architettonici della fiera, dalle diverse facciate dei padiglioni ai più generali stili appartenenti ai diversi paesi; una corposa parte era però riferita ad una presentazione generica della città di Torino, esaltandone i monumenti storici, oltre ovviamente alle fabbriche.

Il Giornale ufficiale risulta essere la guida più importante di tutte quelle pubblicate riguardanti l'esposizione; conteneva infatti, oltre ad un gran numero di fotografie, anche informazioni relative al cantiere.

Nonostante quella appena descritta sia stata l'unica pubblicazione ufficiale dell'Esposizione, essa viene descritta in una serie di altre fonti che possono essere divise in due categorie:

 Fonti primarie: ovvero le fonti dell'epoca.
Oltre al Giornale ufficiale sono infatti state pubblicare anche diverse guide all'esposizione; le guide contenevano mappe tutte diverse tra loro, brevi descrizioni dei vari padiglioni ed itinerari di visita per la città di Torino

⁵⁷ (1911). L' Esposizione di Torino 1911. Giornale ufficiale illustrato dell'Esposizione Internazionale delle Industrie e del Lavoro, *Torino: Guido Momo*

 Fonti secondarie: sono tutte le fonti più moderne; le fonti secondarie rielaborano le primarie per fornire informazioni sull'Esposizione.

L'archivio dal quale sono stati estrapolati la maggior parte dei disegni utili alla realizzazione del progetto è di proprietà della Fondazione Marazza di Borgomanero; nello specifico si tratta dell' Archivio Stefano Molli.

La documentazione tecnica, inoltre, è stato affiancato da una serie di cartoline e fotografie al fine di modellare alcune parti della struttura non definibili dai disegni; queste immagini sono state reperite dall'album fotografico "c'era una volta Torino 1911" di Giorgio Pelassa, visionabile sulla sua pagina di Facebook⁵⁸, e dal testo "Guida pratica per visitare la Esposizione internazionale delle industrie e del lavoro indetta in Torino per celebrare il 50° anniversario della proclamazione dell'unità d'Italia con Roma capitale: aprile-novembre 1911"⁵⁹.

⁵⁸ Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911,

https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/

⁵⁹ (1911), Guida pratica per visitare la Esposizione internazionale delle industrie e del lavoro indetta in Torino per celebrare il 50° anniversario della proclamazione dell'unità d'Italia con Roma capitale: aprile-novembre 1911,*Torino: Ajassa e Ferrato*, Disponibile online www.museotorino.it/view/s/34b956eefd2440ef97e1b7a11334848f

I padiglioni di Città di Torino, Ungheria, Francia e il Ponte Monumentale

I quattro padiglioni che verranno analizzati più nello specifico, quella della Francia, dell'Ungheria, della Città di Torino ed il Ponte Monumentale, sono differenti tra loro in stile, dimensioni e funzione [fig. 26].

Come vedremo successivamente tutti i padiglioni, compreso il Ponte con il piazzale d'onore e la cascata, riprendevano elementi dello stile architettonico su cui era stata impostata l'Esposizione; l'unica eccezione a questa regola è rappresentata dall'Ungheria, che preferì presentarsi con un padiglione rappresentante un evoluzione dello stile nazionale.



26- Padiglione della Città di Torino (1), Padiglione dell'Ungheria (2), Padiglione della Francia (3), Ponte Monumentale (4), estratto rielaborato, fonte: Guida pratica per visitare la Esposizione internazionale, www.museotorino.it/view/s/

Il padiglione della **Città di Torino**⁶⁰ [fig. 27] occupava l'ultimo padiglione verso il viale dell'Orto Botanico; si componeva di una gran cupola alta 47.50 metri ed aveva uno sviluppo di 1400 metri quadrati.

La facciata principale del padiglione, rivolta verso il parco e verso il padiglione ungherese, era la più maestosa delle quattro.



27- Padiglione della città di Torino, fronte verso il parco e il padiglione dell'Ungheria⁶¹

La struttura era composta da un vasto salone a base quadrata circondato da una galleria, con quattro corpi avanzati al centro di ogni lato.

All'interno era ospitata una interessantissima mostra che aveva, come argomento principale, la grande espansione della città di Torino nei precedenti 50 anni, tenendo in considerazione quelli

⁶¹ Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911,

⁶⁰ (1911). L' Esposizione di Torino 1911. Giornale ufficiale illustrato dell'Esposizione Internazionale delle Industrie e del Lavoro, *Torino: Guido Momo*

https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/

che sono stati gli interventi che hanno reso possibile la risoluzione di problemi legati all'edilizia urbana, all'acqua potabile, alla fognatura ed in generale a tutte quelle opere utili all'espansione della città; tra i vari grafici ed albi esposti aveva una speciale importanza il plastico del bacino della Dora Riparia e del versante francese sino a Briancon e Modane.

L'imponente **padiglione francese**⁶² [fig. 28] fu posizionato sul lungofiume in prossimità del ponte monumentale e del relativo cortile. La mastodontica impronta che ebbe sulla fiera può essere intuita tramite un elenco delle sue dimensioni di massima; il fronte del padiglione era lungo 193 metri, si sviluppava su 3 diversi livelli e contava 13990 metri quadri.



28- Padiglione della Francia63

⁶² (1911). L' Esposizione di Torino 1911. Giornale ufficiale illustrato dell'Esposizione
Internazionale delle Industrie e del Lavoro, *Torino: Guido Momo* ⁶³ Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911,

https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/

Il centro del padiglione comprendeva un gran salone, coronato da una cupola alta 50 metri e con al centro una colossale riproduzione del *Pensatore* di Rodin, tramite il quale si passava ad un salone d'onore di forma ottagonale, con ai lati delle nicchie contenenti quattro soldati napoleonici risultanti dai calchi di quelli che coronano l'arco del Carousel di Parigi; passando al secondo livello del settore centrale troviamo una rotonda appoggiata su 16 colonne ioniche a cui corrispondono altrettante cariatidi.

Il ponte monumentale⁶⁴ [fig. 29], interamente ornato con statue alate che formano il coro delle Vittorie, era enorme e maestoso nelle sue proporzioni.

Il ponte si dirigeva dal centro del parco verso la collina, dove era possibile ammirare la gran fontana monumentale, innalzata sulla collina e realizzata nel grandioso stile delle fontane berniniane di Roma.

Tutto quello che era però esternamente visibile del ponte nascondeva l'altra identità dell'opera; le due scalinate laterali scendevano fino a raggiungere un gran salone sotterraneo, completamente decorato a stucchi, che nasconde quello che era lo scorrere incessante del tapis roulant che in un attimo trasportava i visitatori sull'altra sponda del fiume.

Il ponte si componeva di cinque arcate di 21.30 metri ciascuna, con una lunghezza totale di 106.30 metri ed una larghezza di 25 metri; le cariatidi sono invece dello scultore Alloati, i basamenti delle colonne dello scultore Del Santo e le vittorie dello scultore Sassi.

⁶⁴ (1911). L' Esposizione di Torino 1911. Giornale ufficiale illustrato dell'Esposizione Internazionale delle Industrie e del Lavoro, *Torino: Guido Momo*



29- Ponte monumentale e fontana65

Nonostante la grandezza dell'opera anche il ponte monumentale, come la quasi totalità degli edifici, fu costruito in legno e gesso in modo tale da poter essere smontato al termine dell'esposizione.

Il **padiglione ungherese**⁶⁶ [fig. 30] donava originalità nelle sue linee e grande valore artistico.

A seguito di un concorso nazionale tra i migliori architetti del paese venne scelto un progetto in grado di sorprendere gli ungheresi stessi; era infatti possibile ammirare elementi architettonici dell'Ungheria di mille anni prima, riproposti e reinterpretati in stile moderno appositamente per l'occasione.

Gli architetti vincitori del concorso, Emilio Töry e Maurizio Pogány, scelsero volontariamente di riprodurre nel loro edificio

⁶⁵ Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911,

https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/

⁶⁶ (1911). L' Esposizione di Torino 1911. Giornale ufficiale illustrato dell'Esposizione Internazionale delle Industrie e del Lavoro, *Torino: Guido Momo*
un quadro dell'antica vita nomade ungherese, ponendo il visitatore di fronte alle aguzze torri piramidali che, a prima vista, ricordano più un grande accampamento che un vero palazzo oltre a richiamare alla mente ricordi d'oriente.



30- Padiglione dell'Ungheria, fronte verso il Po⁶⁷

Il simbolismo storico era molto presente ed importante in questo progetto, oltre alle già affrontate torri, erano infatti presenti all'ingresso dei bassorilievi raffiguranti "le nozze di Attila" e "l'incoronazione di Santo Stefano re".

L'entrata, ricoperta da una cupola, era custodita ai lati dagli antichi Dei guerrieri barbarici in memoria di quelli che sono i grandi portali d'oriente conservatisi in Ungheria; entrando nel salone centrale, denominato "galleria delle feste", costruito a forma di navata centrale di cattedrale, si coglieva una luce particolare frutto dei vetri colorati posti nella parte alta della navata stessa.

⁶⁷ Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911,

https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/

Nel centro si potevano ammirare i busti di Francesco Giuseppe, re d'Ungheria, e di Vittorio Emanuele III, opera dello scultore Edoardo Telos; sorpassando le due statue reali e le cascate d'acqua poste dietro esse si arriva nel salone che accoglie la mostra della città di Budapest.

Selezione delle fonti per la modellazione

Il materiale di partenza per la realizzazione di questo progetto si divide principalmente in due categorie; in un primo caso è stato ereditato del materiale derivante da un progetto precedente a questa tesi, sviluppato dal Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Torino in collaborazione con l'Università della California di San Diego.

Durante questo studio sono stati modellati, partendo da documenti storici d'archivio, i padiglioni di:

- Ponte Monumentale [fig. 31]
- Ungheria [fig. 32]
- Città di Torino [fig. 33]

la finalità di questo primo progetto era la rappresentazione dei padiglioni attraverso una serie di render statici.



31- Render in sezione del Ponte Monumentale68

⁶⁸ Einaudi, D., Spreafico, A., Chiabrando, F., & Della Coletta, C. (2020). From Archive Documentation to Online 3d Model Visualization of no Longer Existing Structures: the Turin 1911 Project. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 837-844.



32- Render del padiglione dell'Ungheria



33- Render del padiglione Città di Torino

Nonostante il livello di dettaglio raggiunto in questi modelli sia molto elevato essi sono destinati alla sola visualizzazione ed alla creazione di immagini e video multimediali, ma a modelli così creati al momento non sono associati contenuti informativi; nasce da qui la necessita di utilizzare un software BIM in grado di parametrizzare i vari oggetti e di inserire informazioni relativi agli stessi.

Il lavoro di importazione dei modelli ereditati in un software BIM è stato svolto utilizzando inizialmente la tecnologia CAD, nello specifico il software Rhinoceros, utile ad ottimizzare gli elementi precedentemente realizzati attraverso Sketchup. La principale difficoltà del procedimento di importazione si è rivelata essere la gestione della rappresentazione degli oggetti all'interno del software BIM, in quanto non essendo nativi del programma essi vengono visualizzati correttamente nell'ambiente tridimensionale, ma, a causa della loro natura complessa di mesh triangolare, risultano difficilmente gestibili in foglio bidimensionale.

La seconda parte del progetto si è sviluppata tramite la modellazione diretta in BIM; sono stati utilizzati dei disegni d'archivio, estrapolati dall'archivio Stefano Molli, di proprietà della fondazione Marazza di Borgomanero⁶⁹, per consentire la realizzazione del padiglione della Francia [fig. 34] adiacente a quello del Ponte Monumentale [fig. 35].

L'importanza di utilizzare i disegni d'archivio è relativa alla possibilità, da questi fornita, di essere in possesso di dati metrici; la modellazione partendo da un disegno di base misurabile, rispetto a quella derivante dalle fotografie, risulta essere ovviamente molto più veloce e precisa.

L'obiettivo preposto, oltre alla volontà di creare un modello che potesse fungere da database di informazioni invece che da semplice base per la creazione di render, è stato quello di confrontare le possibilità che può fornire un modello geometrico trasformato in parametrico ed uno che invece già nasce tale.

⁶⁹ http://win.fondazionemarazza.it/web/archivio-stefano-molli.asp



34- sezione del padiglione della Francia, fonte: archivio Stefano Molli



35- planimetria raffigurante padiglione francese e complesso monumentale, fonte: archivio Stefano Molli

Dal rilievo fotogrammetrico al modello 3D del parco

Acquisizione dei dati

Per la creazione del modello 3D del Parco del Valentino sono stati utilizzati dei metodi di fotogrammetria digitale.

Il primo obiettivo da conseguire è stato quello relativo alla creazione della nuvola di punti, utile successivamente ad elaborare la mesh e la texture dell'area.

La necessità di ottenere un oggetto tridimensionale, raffigurante il sito dell'esposizione, è legata alla rappresentazione del progetto, ovvero alla volontà di mostrare, in modo quanto più fedele possibile, l'esperienza che provava il visitatore dell'esposizione più di un secolo fa. Il raggiungimento di questo obiettivo è stato possibile grazie all'utilizzo di una serie di fotografie, acquisite tramite un volo aereo sulla città di Torino, utilizzando una camera digitale; il volo, avvenuto nel 2018, è stato commissionato dalla città di Torino e realizzato dalla AVT Airborne Sensing GmbH⁷⁰ attraverso l'utilizzo di una camera digitale, montata sull'aereo, di nome UltraCam Eagle Mark 2 [fig. 36].

Le fotografie [fig. 37] sono state scattate ad una altezza di 1470 m dal terreno e sono successivamente state processate in Agisoft Metashape utilizzando come parametri la calibrazione della camera e la posizione della terra al momento della presa, fornite dalla ditta che ha realizzato il volo⁷¹.

⁷⁰ https://www.avt.at/avt-group/avt-airborne-sensing/#prev

⁷¹ Einaudi, D., Spreafico, A., Chiabrando, F., & Della Coletta, C. (2020). From Archive Documentation to Online 3d Model Visualization of no Longer Existing Structures: the Turin 1911 Project. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 837-844.

| · | SENSOR SYSTEM | | |
|---|---|----------------------------|--|
| ULTRACAM | PAN image size | 17,310 x 11,310 pixels | |
| | PAN physical pixel size | 6.0 µm | |
| | Color capability (multi-spectral) | 4 channels - R, G, B & NIR | |
| æ | Color image size | 5,770 x 3,770 pixels | |
| VEXCEL | Color physical pixel size | 6.0 µm | |
| The second se | Pansharpen ratio | 1:3 | |
| | Imaging sensor | CCD | |
| | Shutter (longlife central leaf) | 1/1000 to 1/64 | |
| | Forward-motion compensation (FMC) | TDI controlled | |
| | Maximum FMC capacity | 50 pixels | |
| | Frame rate (minimum inter-image interval) | 1 frame per 1.35 seconds | |
| | Dynamic range | > 72 db | |
| | Analog-to-digital-conversion at | 14 bits | |

36- UltraCam Eagle Mark 2 f100, fonte: vexcel-imaging, www.vexcel-imaging.com



37- Fotografia aerea realizzata con UltraCam Eagle durante il volo su Torino

Elaborazione dei dati

Dopo aver selezionato solamente le fotografie relative alla zona della città interessata, ovvero il Parco del Valentino e i suoi dintorni, le immagini sono state importate all'interno del software Agisoft Metashape per elaborarle con l'obiettivo di realizzare la nuvola di punti del parco [fig. 38]. Selezionando una qualsiasi delle foto importate è inoltre possibile vedere i dettagli della camera con cui essa è stata realizzata.



38- fotografie importate e visualizzate nel software

Successivamente a questa operazione si procede all'orientamento delle foto.

Per eseguire tale processo è necessario procedere con l'allineamento delle foto, che viene fatto utilizzando i parametri della camera e della posizione da cui sono state scattate; questa operazione culminerà nella creazione, da parte del software, di una prima nuvola di punti sparsa (nuvola di punti a bassa densità).

A questo punto, all'interno del menù workflow, è possibile trovare la voce Build Dense Cloud; questo comando permette di ricostruire una nuvola più densa della precedente tramite un calcolo automatizzato che sfrutta la profondità degli oggetti presenti nelle immagini, basando il suo funzionamento sull'allineamento delle immagini di cui si è parlato in precedenza.

La nuvola si presenta ora come nella figura sottostante [fig. 39].



39- visualizzazione della nuvola di punti

La nuvola di punti densa risulta ora modificabile, è quindi possibile, se dovesse risultare necessario, eliminarne degli elementi in eccesso; l'operazione è possibile tramite l'utilizzo di tre diversi comandi: rectangle selection, circle selection e freeform selection.

Terminata la parte relativa alla creazione della nuvola è possibile, direttamente dal programma, in questo caso Agisoft

Metashape, un report contenente una serie di informazioni sul file di progetto. Nelle [fig. 40/41], riferite alla creazione della nuvola del Parco del Valentino per questa tesi, vengono mostrati alcuni dei dati contenuti nel report.



40- Dati del rilievo



⁴¹⁻ Punti di controllo a terra

È quindi possibile controllare sia i dati tecnici della camera utilizzata che quelli del volo. Oltre a questo, è possibile controllare lo scostamento medio sui tre assi e l'errore totale generato sia dei punti di controllo che dei check point.

Generazione della mesh

Il passaggio successivo è consistito nella creazione della mesh che costituirà la base del mondo virtuale che verrà sviluppato; questa operazione è stata possibile grazie all'utilizzo del comando Build Mesh.

Dopo aver scelto i parametri di costruzione della mesh, che consistono in tipologia di superficie, fonte dei dati e numero massimo di facce delle superfici poligonali, si può avviare l'operazione, che viene portata avanti e terminata in automatico dal software.

Durante questa operazione è importante tenere in considerazione che una mesh molto dettagliata potrebbe influire negativamente sulle prestazioni hardware del dispositivo; a questo proposito è stato deciso di generare una mesh leggermente meno precisa dal punto di vista geometrico, puntando poi sulla qualità della successiva texturizzazione.

Il risultato di questa operazione è una mesh triangolare che può essere visualizzata e modificata all'interno di Agisoft Metashape se necessario [fig. 42].



42- visualizzazione della mesh precedentemente alla texturizzazione

Texturizzazione

L'ultimo procedimento svolto all'interno del software è legato alla texturizzazione della mesh, tramite il comando Build Texture all'interno del solito menu Workflow già utilizzato in precedenza. Tramite la finestra di dialogo che si apre azionando questo comando è possibile modificare una serie di impostazioni relative al texture; queste informazioni sono la modalità di mapping, la blending mode (determina come un pixel appartenente a più foto viene coordinato nel risultato finale), e la dimensione della texture. È inoltre possibile in questa fase attivare un'opzione in grado di chiudere gli eventuali buchi presenti all'interno della texture. La mesh a questo punto risulta essere completa e texturizzata, come è possibile vedere nell'immagine sottostante [fig. 43].



43- visualizzazione della mesh texturizzata

Si è inoltre deciso, nell'ottica di migliorare il risultato finale, di intervenire sulla mesh con una serie di modifiche prima dell'esportazione finale; le modifiche in questione, ottenute tramite il comando free-form selection, hanno riguardato la totale rimozione del fiume Po, in modo tale da poter ricreare l'acqua in movimento successivamente, e la cancellazione di alcuni dettagli attuali dal parco come alberi e case che avrebbero potuto interferire con il posizionamento dei padiglioni.

Nella [fig. 44] è possibile vedere la mesh modificata all'interno di Metashape.



44- ritaglio della mesh in corrispondenza dei padiglioni analizzati in Agisoft Metashape

Giunti a questo punto è stato possibile estrarre il report del modello, il procedimento è stato sviluppato sia sul modello integrale del parco che su quello ritagliato; nelle [fig. 45/46] è possibile vedere a confronto i due diversi dati di output. Dal report è emerso come, avendo ritagliato direttamente la mesh risultante dalla nuvola, il numero di punti della dense cloud sia rimasto invariato, ovvero pari a 182,052,114 punti. La sostanziale differenza si ha invece in quelle che sono le facce che compongono la mesh ed i suoi vertici; nel primo caso la mesh è composta da 4,089,147 facce ed ha 2,047,677 vertici mentre, la mesh ritagliata presenta 2,081,745 facce e 1,043,766 vertici.

| Processing Parai | meters | |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| | | and the second se |
| General | | |
| Cameras | 23 | -2.77e+003 km |
| Aligned cameras | 23 | |
| Markers | 21 | |
| Coordinate system | Local Coordinates (m) | |
| Rotation angles | Omena Phi Kanna | |
| Point Cloud | omega, rm, rappa | |
| Points | 63,104 of 68,165 | |
| RMS reprojection error | 0.0584909 (0.730016 pk) | |
| Max reprojection error | 0.180382 (18.8624 pix) | |
| Mean key point size | 7 21214 nix | |
| Point colors | 3 bands wint9 | |
| Key points | No | -2 7ke+003 km |
| Average tie point multiplicity | 2 52624 | |
| Alignment parameters | 2.52027 | |
| Argument parameters | High | |
| Generic proceduction | Vor | |
| Generic preselection | res | |
| Kererence preselection | 10 000 | |
| Key point limit | 40,000 | |
| lie point limit | 10,000 | |
| Adaptive camera model fitting | No | |
| Matching time | 1 minutes 45 seconds | |
| Alignment time | 16 seconds | |
| Depth Maps | | |
| Count | 23 | |
| Depth maps generation parameters | | |
| Quality | High | |
| Fitering mode | Mild | |
| Processing time | 15 minutes 52 seconds | |
| Dense Point Cloud | | |
| Points | 182,052,114 | |
| Point colors | 3 bands, uint8 | |
| Depth maps generation parameters | | |
| Quality | High | |
| Fitering mode | Mild | |
| Processing time | 15 minutes 52 seconds | |
| Dense cloud generation parameters | | |
| Processing time | 26 minutes 55 seconds | |
| Model | | |
| Faces | 4,089,187 | |
| Vertices | 2,047,677 | |
| Vertex colors | 3 bands, uint8 | |
| Texture | 8,192 x 8,192, 4 bands, uint8 | |
| Texturing parameters | | |
| Mapping mode | Generic | |
| Blending mode | Mosaic | |
| Texture size | 8,192 | |
| Enable hole filing | Yes | |
| Enable ghosting filter | No | |
| | | |

45- Parametri della nuvola intera



46- Parametri della nuvola tagliata

L'ultimo dato in cui può essere verificato un cambiamento è il tempo di mappatura della texture; il programma ha infatti elaborato la texture in 5 minuti e 17 secondi nel caso della mesh intera ed in 3 minuti e 13 secondi nel caso di quella ritagliata.

Nel 2010 Schindler e Dallaert hanno sviluppato un algoritmo in grado di dedurre e ordinare serie di immagini e dedurre i cambiamenti strutturali degli edifici nel tempo. Questo metodo probabilistico è basato sullo SfM e può anche produrre punti 3D e geometrie 3D di edifici; purtroppo, l'algoritmo è in grado di funzionare solo con immagini successive al 1950, questo avviene a causa dell'incapacità di setacciare informazioni dalle immagini storiche⁷².

Altre ricerche^{73,74} hanno poi dimostrato come fosse possibile estrarre informazioni tridimensionali anche da immagini storiche monocromatiche usando la fotogrammetria.

L'ultimo importante passaggio sul Metashape è stato l'esportazione della mesh nell'estensione .obj; tramite l'utilizzo di questa estensione il programma genererà di conseguenza anche un file contente la texture.

Dopo averla importata, per una prova preliminare, all'interno di UE4 si è però potuto vedere come la texture non migliorasse in alcun modo la mesh di base; la soluzione di questo problema è stata possibile grazie all'utilizzo di Photoshop, che consente di

⁷² Bruschke, J., Maiwald, F., Münster, S., & Niebling, F. (2018). Browsing and Experiencing Repositories of Spatially Oriented Historic Photographic Images. *Studies in Digital Heritage*, 2(2), 138-149, https://doi.org/10.14434/sdh.v2i2.24460

 ⁷³ Grün, A., Remondino, F., & Zhang, L. (2004). Photogrammetric reconstruction of the great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. *The Photogrammetric Record*, 19(107), 177-199
 ⁷⁴ Falkingham, P. L., Bates, K. T., & Farlow, J. O. (2014). Historical photogrammetry: Bird's Paluxy River dinosaur chase sequence digitally reconstructed as it was prior to excavation 70 years ago. PLoS One, 9(4), e93247

trasformale normali texture in normal map tramite il menu Filtro, 3D, Genera mappa normale.

Dalla tendina pop-up di controllo dei parametri e quindi stato possibile controllate sfocatura della mappa, scala, e dettagli del contrasto [fig. 47].



47- generazione della normal-map in Adobe Photoshop

Esportando infine la mappa ed associandola alla precedente si è potuto notare un netto miglioramento dei dettagli visualizzabili all'interno del software.

Questa operazione ha consentito di alleggerire il file di lavoro finale grazie al fatto che, i vari dettagli visualizzabili, vengono definiti dalla normal map e non da un grande numero di triangoli aggiuntivi nella mesh.

Dai modelli geometrici alla parametrizzazione

Il progetto di tesi ha come scopo la rappresentazione di alcuni padiglioni dell'Esposizione di Torino 1911, per poter raggiungere l'obbiettivo sono state utilizzate diverse strategie legate alle differenti situazioni di partenza; andremo quindi ora ad analizzare come questi due differenti metodi di modellazione, parametrica e tradizionale, si sono comportati nel nostro progetto di tesi.

Modifiche ai modelli non parametrici

Dopo aver studiato la composizione dei modelli, la scelta è stata quella di trasformare ogni oggetto in mesh, in quanto di più facile gestione rispetto alle superfici, e di lavorare successivamente sull'ottimizzazione delle stesse. Rhinoceros consente, tramite l'utilizzo di appositi strumenti, di unire tra loro diverse mesh, creandone una sola, e di gestire quella che è la sua composizione triangolare aumentando o riducendo il numero di triangoli per modificarne la qualità.

Dopo aver constatato che le dimensione dei modelli e la qualità delle mesh risultanti rendevano impossibile la possibilità di importare direttamente tutto il padiglione in BIM, è stato quindi utilizzato un metodo differente, lavorando sui singoli oggetti, in modo tale da poter meglio gestire ogni elemento.

Prendendo come esempio un elemento verticale delle balaustre viene mostrato come sono state organizzate le trasformazioni di ogni elemento all'interno del modello, nella [fig. 48] si può vedere come l'elemento sia composto da diverse mesh accostate e formate da un elevatissimo numero di poligoni; dopo aver unito le mesh in un singolo elemento si è deciso di procedere con una semplificazione dello stesso [fig. 49], in modo tale da avere una mesh leggermente meno definita ma decisamente di più facile gestione.

Ognuno di questi due passaggi consente di ridurre l'impatto che la mesh avrà sul calcolo del software in cui verrà importata considerando che, combinando l'unione delle mesh con la semplificazione delle stesse, il numero di triangoli che le compone si ridurrà notevolmente.



48- Mesh divisa in più parti



49- Unione delle parti

Dopo aver concluso la semplificazione di tutti gli elementi essi sono stati divisi in gruppi, composti dalla stessa tipologie di elementi, in modo tale da poter avere una più ordinata gestione degli elementi durante l'importazione.

L'esportazione è avvenuta, tramite l'utilizzo dell'estensione COLLADA, estensione già vista in precedenza nel capitolo relativo all'interoperabilità dei modelli.

Ogni elemento è stato esportato tenendo come punto di base lo stesso punto noto nel sistema di coordinate, in modo tale da semplificarne poi l'importazione.

Importazione dei modelli in BIM

Dopo aver esportato ed organizzato tutti gli elementi in base alla loro tipologia si è potuto procedere con l'importazione degli stessi in BIM, utilizzando in questo specifico caso Archicad⁷⁵. Il primo procedimento da attuare all'interno del software è il settaggio delle impostazioni di massima del progetto, vengono quindi scelte le unità di misura utilizzate, il numero di piani dell'edificio (e di conseguenza il numero delle relative piante) e la posizione del modello nel sistema di coordinate; nonostante questi procedimenti vengano attuati all'inizio del lavoro ogni impostazione, ad eccezione del sistema di coordinate, potrà essere modificata in corso d'opera.

Dopo aver impostato tutti i parametri di progetto si è potuto, a questo punto, procedere con l'importazione degli elementi; le possibilità fornite dal software con cui assolvere a questo compito sono diverse e portano a diversi risultati:

Il primo metodo, quello che è poi stato scelto per la realizzazione di questo progetto, consiste nella modellazione di tutta la parte strutturale degli edifici in BIM e nell'importazione dal programma geometrico delle decorazioni. sole Ouesto metodo consente non solo una più semplice gestione progetto dal punto di vista del della visualizzazione, ma anche di aggiungere informazioni native del programma a quelli

⁷⁵ Sviluppato e rilasciato dall'azienda Graphisoft

che sono i muri [fig. 50], i solai, le scale e gli infissi.

 Il secondo metodo prevede l'importazione di ogni elemento geometrico all'interno del software BIM, compresa la componente strutturale dell'edificio. Questo metodo, sebbene sicuramente molto più rapido rispetto al precedente si porta dietro una serie di problemi che, in base alla grandezza del modello e a quello che ci si vuole fare, sono più o meno importanti.



50- Parametri di un muro BIM

L'impossibilità, o comunque la grande difficoltà, di modellare oggetti con un elevato grado di dettaglio in un programma BIM ha portato alla scelta di importare gli oggetti precedentemente salvati dal programma di modellazione geometrica. Questa operazione può essere eseguita con diverse tecniche:

- Importazione come oggetto: l'elemento tridimensionale viene riconosciuto dal programma come un oggetto della libraria e non come singolo elemento. Questa pratica consente di aggiungere informazioni all'oggetto di base e copiarlo e incollarlo ovunque esso si trovi mantenendone i parametri. L'oggetto non potrà però essere modificato all'interno del software [fig. 51].
- Importazione come morph: l'elemento viene inserito nel progetto e trasformato in morph. A questo punto l'oggetto risulta essere una mesh modificabile, seppur con elevata difficolta, ma sarà di più complicata gestione la parametrizzazione dello stesso [fig. 52].

Risulta molto complesso scegliere ed applicare solamente uno dei due metodi in quanto ogni situazione richiede una soluzione diversa.

Nel nostro specifico caso è stato utilizzato un misto tra le due tecniche, nonostante il primo metodo risulti molto più utilizzato.



51- Parametri oggetto

| TORINOcompleto - ARCHICAD 24 EDU | | - c × |
|--|---|--|
| File Edit View Design Document Options Teamwork Window Help | | |
| 100 型メメ <u>ト・ビ・ト・</u> 井・ミミロ・台・2000×1 | Marph Selection Settings ? × | |
| Main Lager Gereatry Method | 1/2 + Selected 2 Editable 2 | Deutor: Soldty Soldty |
| An stroked 2 (Provide and a state and a state and a state a s | - DI GEOMETRY AND POSITIONING | Alt |
| R Cat Growd Root | | <u>نه</u> ، <u>م</u> د <u>ن</u> |
| | 421 • Water • | ✓ Ch TORNOcompleto |
| Desen | Homa Story: | v 🖺 Sories |
| | 3.9my V | - 4. Story |
| | lo Project Zero 🗵 | Livey To 1 See |
| | 3130 4 town reletions are not used | Ph 1.5ierr |
| | C. FLOOR PLAN AND SECTION | C Ground Roor |
| | * FLOOR PLAN DISPLAY | Dist.fem |
| | Show on Stories Homo Story Only III | ✓ |
| | Shew Projection Entre Bornert II | Cat theater pate relation |
| | CUT SURFACES | North Elevation (Auto-rebu |
| | Cuttine Seld the | Section Exercises (Instruments) |
| | - 🖉 MODEL | Interior Elevations |
| | Develop Educio | Worksheets |
| | Override Surface: | C Detais |
| | j 30 - GESSO B → 🕅 OHeden | T Disanth |
| | Testure manning | v □ v |
| | C + C Inc March Sectors | Generic Perspective |
| M. Current | Dise | |
| NU CONTRACTOR | Front Tocture | v EE Benerts |
| 18 | | Es or webscheday |
| | | |
| R | | 40 |
| 38 | | * Properties |
| Viespein | Cancel DK | derere ferspective |
| Documer D C Q Q R & Q NA → O> NA → III 1100 → | 🖉 Custom + 🖾 Entre Model + U CS Architectur + 🖃 CS Building Pia + 😭 | No Overnees + A Co Stew Al BL + Settings |
| | | GRAPHISOFT ID |

52-Parametri morph modificabile

Facendo riferimento all'importazione come oggetto, a questo punto, l'elemento non potrà più in alcun modo essere modificato e le uniche operazioni possibili saranno il riposizionamento e la modifica del materiale costruttivo, oltre ovviamente all'aggiunta di informazioni che non determinano dimensione e forma del modello.

Per poter rendere modificabile l'oggetto, esso deve essere trasformato in una morph, strumento in grado di gestire le forme complesse, e successivamente potrà quindi essere modificato nella sua componente geometrica, anche se con elevata difficoltà, oltre che nei suoi parametri d'informazione.

Come accennato nella parte introduttiva la più grande problematica dell'operazione di totale importazione è la rappresentazione bidimensionale dell'oggetto; nonostante gli elementi vengano ben riconosciuti nella loro componente tridimensionale.

Essendo delle mesh triangolari non native del software non sono però sezionabili perfettamente, causando una serie di problemi di visualizzazione nelle varie rappresentazioni bidimensionali.

Il secondo problema limitante è la pesantezza del file; a meno che non si abbiano a disposizione hardware molto importanti risulterà praticamente impossibile gestire un modello BIM creato totalmente tramite modellazione geometrica.

Questo succede perché le mesh, per quanto possano essere riconosciute, e tutto sommato gestite, non sono oggetti parametrici, e di conseguenza non possono essere riconosciute come un insieme di parametri matematici ma solo come un insieme di forme in uno spazio, aumentando notevolmente i calcoli necessari da parte del software.

L'importazione di un modello geometrico all'interno di un programma parametrico risulta quindi essere un procedimento molto dispendioso in termini di tempo, ma è importante capire quali siano i vantaggi e gli svantaggi di questa operazione.

Puntando ad ottenere un database di informazioni sul modello, l'operazione di importazione risulta comunque essere importante in quanto è possibile, in breve tempo, ottenere un resoconto generico di tutti quelli che sono i disegni bidimensionali, i materiali costruttivi dei singoli elementi oltre alla tipologia ed al posizionamento degli elementi [fig. 53].

| 1 | Marga Uniform Bana | _ | | | | | | |
|---------------------|---|-----|----------------|-------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| Decion | Merge Union and | - | 1 10 1 20 1 30 | 40 50 60 | 70 ' 80 ' 90 | 100 1 110 1 120 1 130 1 140 1 152 | interior Elevations | |
| - | Show Headline | 1.1 | | Window Schedule | | | Worksheets | |
| 2 | Apply Format Options to: | 124 | Element ID | IND - 002 | WD - 003 | | () Details | |
| 0 | Entire Schedule | 8 | Dynamic ID by | 10.004 | 110 - 000 | | D 3D Documents | |
| 5 | | -1 | Classification | Window - 002 | Window - 003 | | ~ 🗍 10 | |
| ~ | Row Heights: M 4,00 mm | 2 | Opening Name | Half Round Window | Triple Window 24 | | Generic Perspective | |
| ~ | * Text St/le | 11 | Quantity | 4 | 26 | | Generic Anonometry | |
| $\langle A \rangle$ | 다. Decidentale ~ | -1 | From Zone | <undefined></undefined> | <undefined></undefined> | | 🗸 🏢 Schedules | |
| 51 | MT 141 mm H 4 | я | To Zone | <undefined></undefined> | <undefined></undefined> | | ✓ IIII Elements | |
| | | -1 | W x H Size | 8,600×4,300 | 1,180×2,550 | | ES-01 Wall Schedule | |
| 8 | B / U ∓ ¹⁰⁰ ¹ / ₂ [∞] | 2 | Orientation | | | | ES-02 All Openings Schedule | |
| FFF | | 11 | Sill height | 1,300 | 6,105 | | ES-03 Door Schedule | |
| FEE | | 1 | Head height | 5,600 | 8,655 | | IES 04 Window Schedule | |
| 0 | | 5 | | | | | ES-05 Object Inventory | |
| Ŀ | virep text | - 1 | | | | | ES-EX Default for BMIx output | |
| EB | > preview | 8 | 2D Symbol | | | | > 4th Components | |
| 5 | - Barder | | | | | | > 📩 Surfaces | |
| | CellBorder: III III | | | | | | ✓ Im Project indexes | |
| En | | 124 | | | | | Change List | |
| 125 | 50H0 UNC 1 01 1 ■ | 11 | | | | | Drawing List | |
| 100 | * Print Footer & Format Change | 8 | | - | $\Lambda \Lambda \Lambda$ | | libbue History | |
| | | | | | | | Sheet index | |
| 4 | Enade Prist Postar Edit | | 3D Back View | | | | Phy second lat | - |
| Rh | Undo/Redo | *I | | | 111 | | L | |
| 305 | Format Drange: B7 B7 | | | | | | * Properties | |
| | | 8 | | | the second s | | ET CO. AL Mandow Schedule | |

53- Esempio di un abaco riassuntivo degli infissi

La differenza rispetto ai modelli completamente realizzati in Archicad resta però enorme, in quanto, i parametri degli oggetti importati, non descrivendone la parte geometrica ma risultando solo essere un commento ad essi, non possono in alcun modo essere interpolati all'interno degli abachi riassuntivi del progetto.

Problemi di importazione

L'importazione, come visto nel paragrafo precedente, può fallire per diverse cause dovute a fattori legati alla loro composizione o al formato in cui sono salvati:

- Utilizzando il bridge classico tra i due software di riferimento, ovvero **l'estensione .3dm**, è posto un limite di numero di triangoli per mesh presenti nei file [fig. 54].
- Utilizzando altre estensioni, come quella effettivamente scelta **.COLLADA**, l'oggetto risulta essere non modificabile a meno che non venga trasformato in morph [fig. 55].
- Trasformando l'oggetto in morph esso sarà modificabile nella sua componente geometrica ma diventerà estremamente impattante dal punto di vista della pesantezza del file. La possibilità di comoda fruizione del modello sarà quindi legata al numero di morph presenti all'interno del modello [fig. 56].

| Close Project Ctrl+Shift+W | b Structural - Dearing | Reference Line Location: Structure: | Floor Plan and Section: |
|--|---|--|-------------------------|
| Leave Tearwork Project Save Ctrl+S Save as Ctrl+Shift+S Export to BIMcloud | X Action Center) | (10) / All | (South Elevation) |
| Send Changes Ctrl+Alt+S Create Travel Pack Publish BIMx Hyper-model. Interoperability External Content | | Warning The selected 3DM file could not be imported. Unable to successfully process the file, try checking wit original autor. | × th the |
| Libraries and Objects | Library Manager | ок | |
| Plot Setup Plot Page Setup Ctrl+Shift+P | Create Container Extract a Container Show in Library Manager | | |
| Brint Ctrl+P Exit Ctrl+Q | № New Object № Open Object Curi+Shift+O Save Selection as ↓ Shift>Open | | |
| ₽ □ | Import Blocks from DXF/DWG King and the state of | | |

54- Messaggio di errore dopo il tentativo di importazione in .3dm

| | Untitled - ARCHICAD 24 EDU | | | | | | | | | | |
|---------------|---|-----|---|------|------------------|----------------|-----------|--------|------------|----------------------|-----------------------------|
| File | File Edit View Design Document Options Teamwork Window Help | | | | | | | | | | |
| ۵ | New | • | 🔚 • # • 🛸 🗎 🗖 • 8 | - | 🚉 🖽 🗶 🖽 i | s • 🖗 | र 🚡 🗆 | + ¢* 🗗 | ∆ P | Fi 🔓 🗐 😤 | 何 • 🖶 |
| ß | Open P | e. | Geometry Met | hod: | | Reference Line | Location: | | Structure: | | Floor Plan and Section: |
| D. | Close Project Ctrl+Shift+W | | Structural - Bearing 🔹 📘 🕴 | Ð | | Core O | utside | • => | 11. | Generic Wall/Shell > | 1222 Floor Plan and Section |
| ĉ | Leave Teamwork Project | E | | | | | (T) | | | | 0 |
| B | Save Ctrl+S | ι. | <u>I:1</u> [Action Center | er] | | | U) (30 / | Allj | | L | [South Lievation] |
| B | Save as Ctrl+Shift+S | no | t for resale. Courtesy of GRAPHISOFT. | | | | | | | | |
| B | Export to BIMcloud | ι. | | | | | | | | | |
| \Rightarrow | Send Changes Ctrl+Alt+S | ι. | | | | | | | | | |
| ÷ | Create Travel Pack | Ŀ | | | | | | | | | |
| 6 | Publish BIMx Hyper-model | | | _ | | | | | | | |
| | Interoperability | 0.0 | Merge | 0-0 | Merge from File. | | | | | | |
| | External Content | 8 | IFC • | C | Merge from BIM | loud | | | | | |
| | Libraries and Objects | \$ | SAF | Г | | | | | | | |
| | Info | | DXF-DWG | Ŀ | | | | | | | |
| F | Plot Setup | | Classifications and Properties | Ŀ | | | | | | | |
| E | Plot | C | Import Point Clouds | Ŀ | | | | | | | |
| 8 | Page Setup Ctrl+Shift+P | e, | Place Mesh from Surveyors Data | L | | | | | - 1 | | |
| 8 | Print Ctrl+P | | Send Model to Google Earth | Ŀ | - | | | | | | |
| | Egit Ctrl+Q | Г | | - | | | | | | | |
| τ | J | | | | | | | | | | |
| E | E | | | | | | | | | | |

55- processo di importazione per estensioni diverse



56- Trasformazione in morph

Arricchimento informativo degli elementi geometrici

Gli oggetti, dopo essere stati importati, subiscono una parametrizzazione automatica da parte del programma che ne definisce le dimensioni di massima. Non essendo gli oggetti importati nativi del programma, le informazioni geometriche che lo descrivono non sono relative alla forma specifica dell'oggetto ma ad un "box" che li ingloba.

Come si può vedere nella figura 38 l'oggetto risulta essere inserito all'interno di una gabbia formata da dieci punti che rappresentano gli snap⁷⁶, ovvero i punti di controllo che permetteranno le roto-traslazioni e le trasformazioni dimensionali dell'elemento [fig. 57].



57- Parametri descrittivi in Archicad

Un qualsiasi elemento importato e parametrizzato può quindi essere modificato all'interno del programma BIM, ma non essendo un oggetto totalmente parametrico le modifiche

⁷⁶ Rappresentano i punti di controllo dell'oggetto

attuabili riguardano solamente le sue dimensioni, tralasciando quindi la possibilità di modificarne i dettagli.

Possono essere a questo punto inserite nell'oggetto una serie di informazioni utili alla comprensione da parte di terzi allo stesso; possiamo elencare tra i parametri disponibili:

- 1. Altezza verticale dell'elemento rispetto a livello a cui è legato
- 2. Livello in cui è posizionato l'oggetto
- Altezza verticale dell'elemento rispetto allo zero di progetto
- 4. Massima dimensione trasversale in pianta
- 5. Massima dimensione longitudinale in pianta
- 6. Altezza dell'elemento
- 7. Inclinazione rispetto alla all'asse x
- 8. Penne per gestire la visualizzazione tridimensionale dell'elemento
- 9. Penne per gestire la visualizzazione bidimensionale dell'elemento
- 10. Materiale costruttivo
- 11. Parametri descrittivi (tipologia, informazioni generali, commenti, ecc.)

Se si dovesse fare la scelta di trasformare l'oggetto in morph i parametri in gioco resterebbero gli stessi, l'unica differenza si avrebbe negli snap dell'oggetto stesso, in quanto esso non sarebbe più inserito in un box che lo ingloba ma i punti di controllo sarebbero direttamente legati alla superficie dell'elemento.

Il risultato finale, al termine dell'importazione di tutti gli elementi e della modellazione in BIM della macrostruttura del padiglione, è visibile in [fig. 58]; è inoltre possibile notare come, nella [fig. 59] ogni elemento nel modello risulti sezionato, nonostante alcuni di essi siano modelli geometrici importati e non nativi del programma stesso.



58- Padiglione della città di Torino importato in Archicad



59- Modello del padiglione sezionato
Modellazione parametrica BIM

Terminata l'importazione in BIM dei modelli geometrici ereditati il lavoro si è spostato sulla modellazione diretta all'interno del software parametrico.

Il modello in questione è relativo al padiglione della Francia, situato a lato e comunicante con il Giardino del Ponte Monumentale. La sfida intrapresa è stata quella di creare un modello parametrico in tutti i suoi aspetti, che potesse, oltre che essere utilizzato a scopi di rappresentazione, dare idea di quelle che erano le tipologie e le quantità dei materiali da costruzione utilizzati, della diversità e quantità e tipologia degli infissi presenti. Le maestose dimensioni del padiglione avrebbero reso lunga e difficile la strada della modellazione geometrica in quanto non sarebbe stato possibile in alcun modo confrontare i vari disegni storici in corso d'opera; proprio a questo proposito la scelta di orientarsi sulla modellazione BIM ha dato i suoi frutti, semplificando non di poco lo svilupparsi del modello grazie alla possibilità di importazione e visualizzazione simultanea dei disegni storici associati al progetto. Si è comunque deciso, come sarà possibile osservare meglio nei paragrafi successivi, di utilizzare parallelamente ad Archicad un programma di modellazione geometrica, in questo caso Rhinoceros, in grado di assolvere nettamente meglio al compito di modellare le parti più di dettaglio, come capitelli, basso rilievi e decorazioni varie. Anche nell'ottica di utilizzare il modello per la pura e semplice visualizzazione il BIM semplifica il lavoro in una serie molteplice di aspetti; la scelta di utilizzare Unreal Engine 4, che non comunica direttamente con un programma parametrico, non ha comunque compromesso l'utilità del BIM. Nonostante non esista un bridge di collegamento diretto tra i due software l'utilizzo di Archicad consente comunque di abbassare notevolmente le tempistiche in termine di creazione ed assegnazione delle texture, in quanto affidandosi alla mappatura già intrinseca agli oggetti esse si applicano senza dover pensare alle direzioni delle normali alle superfici⁷⁷.



60- Padiglione della Francia, fronte sul fiume Po

La [fig. 60] mostra il modello completo del padiglione all'interno del software di modellazione, dando un idea di massima di quella che fu la maestosità dell'opera, che sarà però più chiara e meglio esplicata nei paragrafi successivi.

Nelle seguenti immagini è invece rappresentata la struttura tramite:

- Un render mono-materico di una sezione prospettica [fig. 61]
- Un render mono-materico in assonometria [fig. 62]

⁷⁷ Le normali, nei programmi di modellazione e rendering, definiscono la faccia in vista della superfice



61- Sezione prospettica



62- Assonometria

Preparazione dell'ambiente di lavoro

La modellazione in BIM, a differenza della classica geometrica, necessita di un periodo di preparazione del software prima dell'inizio vero e proprio.

Dopo aver avviato il programma si dovranno quindi settare una serie di parametri, utili a definire le dimensioni del progetto e la tipologia di visualizzazione dello stesso per consentire di avere un pieno controllo su quello che è la creazione del modello tridimensionale.

In un primo momento saranno definite le unità di misura del progetto, nel caso specifico sono stati utilizzati i metri vista la del padiglione; è inoltre utile grandezza scegliere l'approssimazione delle stesse, in quanto se non verrà aggiunta la possibilità di utilizzare numeri decimali il software modificherà ogni misura approssimandola al numero intero più prossimo [fig. 63]. La seconda impostazione da modificare sarà relativa alle penne⁷⁸, la modifica di questo parametro consentirà di visualizzare nel modo corretto i disegni bidimensionali all'interno del progetto. Le penne possono essere modificate in ogni momento del lavoro, ma è pratica comune crearsi un set iniziale di massima che consenta di visualizzare nel modo giusto piante, prospetti e sezioni. Esistono dei preset già salvati all'interno del programma, che però, come la quasi totalità delle impostazioni predefinite, difficilmente sono adeguati a tutte le necessità; i set di penne possono inoltre essere salvati ed utilizzati in successivi progetti [fig. 64].

⁷⁸ Determinano spessore e colore di linea

| 🖉 Working Units | | | ? | \times |
|----------------------------|--|-----------------|------|----------|
| +1.2 Length Unit: | | meter | | ~ |
| Decimals: | | 2 ~ | 1,23 | |
| Area Unit: | | square meter | | ~ |
| Decimals: | | 2 ~ | 1,23 | |
| 🖉 Volume Unit: | | cubic meter | | ~ |
| Decimals: | | 2 ~ | 1,23 | |
| Δ ^α Angle Unit: | | decimal degrees | | ~ |
| Decimals: | | 0 ~ | 61* | |
| Layout Unit: | | millimeter | | ~ |
| Decimals: | | 0 ~ | 1234 | |
| 123 Numbers with | Numbers without Units (Font sizes, Pieces, etc.) | | | |
| Decimals: | | 2 ~ | 1,23 | |
| | | Cancel | ОК | |

63- Unità di misura

| Pens & Color (Model Views) | ? × |
|--|---|
| AVAILABLE PEN SETS | |
| Select a Pen Set for Model views: | |
| 07 Mechanical 08 Electrical 09 Color 10 Grayscale | ^ |
| 11 ArchiCAD 9 FRANCIA 100 | |
| Store as Rename | Delete |
| ▼ U FRANCIA 100 | |
| | Pen Weight: 0,10 ▶ mm Description: General - Drafting |
| | Cancel OK |



Vista la necessità di modellare seguendo dei disegni storici si può, a questo punto, procedere con l'importazione dei documenti all'interno delle varie viste di progetto.

In questa fase si dovrà porre molta attenzione alla scala dei disegni in quanto essi fungeranno da base per la creazione del modello; a questo proposito è stato preso come base di riferimento il modello precedentemente realizzato del ponte monumentale in quanto, la parte relativa al giardino, assolve la funzione di ingresso al padiglione.

Il portale di ingresso è quindi stato importato all'interno del software per essere usato come base per determinare le corrette dimensioni sulle quali scalare i disegni.

Tenuta in considerazione la possibilità di lavorare su più viste contemporaneamente offerta da Archicad, si è deciso di importare, come basi per il progetto, i disegni delle tre piante dell'edificio, i suoi due prospetti principali e le due sezioni a disposizione.

Allineando i disegni ai vari livelli impostati in nel software e scalandoli correttamente in modo tale da ottenere l'uniformità di scala è quindi stato possibile procedere con la modellazione. Di seguito le foto di alcuni dei documenti, scalati ed inseriti all'interno del programma:

- [fig. 65]: pianta del piano terra, importata nel corrispondente livello di Archicad
- [fig. 66]: prospetto, importato nella corrispondente sezione di Archicad
- [fig. 67]: sezione, importata in Archicad dopo aver creato la sezione corrispondente nel software



65- Pianta piano terra



66- Prospetto lungo Po



67- Sezione A-A

Dopo aver terminato l'importazione di tutti i disegni necessari si potrà procedere la creazione delle viste in pianta; questa operazione risulta essere necessaria in quanto, per permettere al software di elaborare autonomamente i disegni, esso deve sapere in che punto sezionare gli elementi; questa operazione viene svolta dalla sezione storie⁷⁹.

Seguendo come base di riferimento i disegni degli alzati si andranno a definire quelli che sono i livelli delle diverse piante dell'edificio; questa operazione oltre a risultare utile per la visualizzazione dei disegni bidimensionali consentirà durante la modellazione, di ancorare i diversi elementi costitutivi del modello a delle altezze predefinite che saranno solitamente, ma non necessariamente, quelle relative ai piani dell'edificio.

Come si può vedere nella [fig. 68] è necessario inserire, per ogni livello creato, due parametri che determineranno, nell'ordine, l'altezza dal livello zero di riferimento e l'altezza prima del livello successivo.

Si possono volendo creare infinite storie ma, come vedremo in seguito, è spesso più utile averne lo stretto indispensabile e compensare alle mancanze con altri parametri inseribili nel programma.

| No. Name | Elevation | Height to Next | <u>*</u> * |
|------------------------------------|-----------|----------------|----------------------|
| • 7 | 3940 | 1020 | \checkmark \land |
| • 6 | 2920 | 1020 | \checkmark |
| • 5 | 2385 | 535 | \checkmark |
| • 4 | 2095 | 290 | \checkmark |
| • 3 | 1250 | 845 | |
| • 2 | 1170 | 80 | \checkmark |
| • 1 | 630 | 540 | \checkmark |
| O Ground Floor | 0 | 630 | |
| • -1 | -645 | 645 | |

68- Organizzatore delle storie

⁷⁹ Le storie sono le altezze a cui il software creerà le piante

Modellazione

Dopo aver terminato la preparazione del file si può procedere con la modellazione. Osservando i disegni di base si può facilmente notare come sia presente una ben distinta maglia strutturale a colonne, presenti sia sulla facciata che nell'interno della struttura a sostegno non dell'edificio ma anche delle passerelle interne.

L'effettiva modellazione è iniziata dalla maglia strutturale dell'edificio, questo è stato necessario per poter avere un punto fisso dimensionale sul quale fare affidamento.

Inizialmente sono stati disposti tutti i pilastri presenti [fig. 69], ad ogni piano dell'edificio, utilizzando le altezze giuste grazie alla possibilità di ancoraggio alle storie create in precedenza ma senza tenere in considerazione la particolare forma degli stessi.



69- Maglia strutturale dell'edificio

Dopo aver terminato questa operazione preliminare sono stati presi un pilastro per piano, viste le differenti forme di basamenti a capitelli, e sono state modellate, tramite dei parametri diretti messi a disposizione dal software, le parti di dettaglio.

L'immagine 64 dimostra come la gestione di un progetto con la tecnologia BIM sia notevolmente migliore rispetto ai classici programmi di modellazione, la possibilità di isolare determinati elementi in base ad ogni loro parametro (tipologia, dimensione, posizionamento, materiale, ecc.) consente di ottimizzare i tempi di ricerca e modifica degli elementi.

Dopo aver isolato la maglia strutturale ed aver creato i pilastri di riferimento [fig. 70/71] è data dal software la possibilità di copiare e incollare i parametri da un elemento ad un altro, o addirittura ad un gruppo di altri oggetti.

Risulta necessario porre attenzione al fatto che, il comando che consente di copiare e incollare i parametri in serie non si limita a governare la parte estetica ma cambierà l'oggetto in ogni sua caratteristica.



70- Colonna in facciata



71- Colonna interna

Le colonne sono state realizzate tramite un apposito tool di Archicad che consente di creare comodamente le forme delle diverse parti dell'elemento.

È possibile creare elementi a base quadrata o rotonda, anche se essa può cambiare nelle suddivisioni successive, è possibile scegliere diversi materiali costruttivi e rivestimenti per le varie parti, oltre, ovviamente, ai classici parametri di dimensionamento ed ancoraggio di massima; le suddivisioni possono inoltre essere calcolate dal programma in percentuale rispetto all'altezza totale dell'elemento o avere dimensioni definite dall'utente.

La modellazione è proseguita attraverso la costruzione di solai, scale e muri; la costruzione degli elementi avviene tramite l'utilizzo degli appositi comandi che consentono, disegnando le direttrici e determinando tramite la scheda dei parametri altezza, stratigrafia e posizionamento, di creare elementi già parametrizzati. Giunti a questo punto può essere considerata terminata la modellazione della struttura dell'edificio [fig. 72], alla quale mancano da aggiungere le bucature con relativi infissi e dettagli.



72- Assonometria della struttura dell'edificio, sezionata al piano 0

Vista la difficoltà relativa al riuscire a far corrispondere i diversi elementi del modello, dovuta, come visto precedentemente, ai disegni di base, la scelta relativa agli infissi è stata quella di posizionare, inizialmente, le bucature.

Seguendo come base di riferimento per il posizionamento il disegno della pianta e modificando l'interasse per renderlo coerente alla maglia dei pilastri costruita, è stato possibile risalire a quello che era il corretto posizionamento degli elementi; spostandosi successivamente su una vista in prospetto sono state definite le dimensioni di larghezza e altezza. Dopo aver terminato il posizionamento delle aperture è stato preso come riferimento un infisso per ogni tipologia presente ed è stato inserito all'interno del progetto, modificandone la versione di base tramite i parametri [fig. 73].



73- Tendina dei parametri relativi agli infissi

Archicad fornisce un innumerevole numero di possibilità di modifica per gli infissi, i parametri in questione spaziano dalla modifica dei telai alla tipologia di vetro e dal posizionamento rispetto all'asse murario alle diverse tipologie di apertura, oltre al dimensionamento di massima e al posizionamento.

La libreria del programma contiene di default una serie di infissi che possono essere utilizzati, anche senza modifiche, nel progetto.

Tramite lo stesso metodo utilizzato in precedenza per le colonne sono poi state isolate le bucature tipologia per tipologia, utilizzando il selettore per parametri⁸⁰ [fig. 74] e sono state

⁸⁰ Strumento di selezione di Archicad

successivamente convertite, attraverso il copia e incolla parametri, nell'infisso di corrispondenza.

| FRAN | 3A - ARCHICAD 24 EDU | | | | | - 0 × |
|---------------------|---|-----------------------------------|--|--|---------------------|--------------------------|
| File Ed | View Design Document Options Teamwork Window Help | | 7010010 | 2 | | _0× |
| 27(3 | | | | Churt and Jacobs | 10 a | of Provides |
| | The second floor | Floor Plan and Section. | 🗢 🗈 🖻 🛱 | H-C 0 Sg Empty (| pering 🕢 🖓 | - 054 |
| - | | | h Election | Circuit Baldino Godinei | · | |
| R | | | in Elevanian) | Class earing score) | e., | <u>A</u> B 🗘 🕄 |
| \Box | | | | | Cast Elevation | n (Auto-rebuild Model) |
| Design | | | | | North cleval | ion (Auto-rebuild Model) |
| D | | d & Select | × | | C South Elevanti | on (Auto-rebuild Model) |
| Π | Crit | eria Set Name: Custom | v 🕨 | | West Elevation | In (Auto-rebuild Model) |
| 5 | Crit | eria Value | | | 2 Worksheets | |
| ~ | Eler | wert Type is Dopening | ^ | | () Details | |
| 25 | C+ | tent ID contai | | | 30 Documents | |
| $\langle A \rangle$ | | | ~ | | ✓ □ 30 | |
| \bigtriangledown | | Add * Remove | F 2 11 2 | | Generic Pers | pective |
| B | | | | | Generic Aste | rometry |
| a74 | Sele | ded 311 - Sele | tion + | | V E Florents | |
| FF- | E | 50F 311 | | | IES-01 Wal | I Schedule |
| H | | | | | ES-02 All 0 | Openings Schedule |
| EL . | | | | | ES-03 Doc | or Schedule |
| ₿ | | | | | IES-04 win | daw Schedula |
| Ð | | | | | E ES-05 OLS | ect inventory |
| 0 | | | | | > Alla Camponanti | and the prior prior |
| P25 | | | | | > 📩 Surfaces | |
| 2 | | | | | v 🔚 Project indexes | |
| 10 | | | | | 🔿 charge List | |
| 42 | | | | | CN Consideration | |
| Rh | | | | | | u 🖸 🔨 🔨 |
| :6: | | | | | Properties | Increasing |
| Viewpoin | | A Contrar A Republication and the | 10 (u) | | Generic | veryeoute |
| rocamar | Grociotiae ariante una silon titoti ilmon 1000 | • En Contra • Enter Model • Q | US ATTINICUT + [D] 03 Building I | arts of the constant a 1/3 on percential | 0 | GRAPHISOFT D |

74- Selettore per parametri

L'ultimo elemento modellato all'interno del software BIM è stato la cupola. Vista la difficoltà di gestire, tramite i parametri, elementi particolari, sono stati introdotti in Archicad una serie di appositi strumenti delegati alla gestione della modellazione geometrica.

Per la modellazione della cupola, nello specifico, è stato utilizzato uno strumento denominato shell, appositamente studiato per la realizzazione di elementi curvi.

Dopo aver costruito il tamburo della cupola esagonale, tramite il prospetto è stato definito il piano, sempre esagonale, che rappresenta il colmo della cupola; tramite l'utilizzo dello strumento shell è stato a questo punto possibile costruire gli spicchi che la costituiscono [fig. 75]. Il pennacchio, infine, è stato modellato tramite Rhinoceros e successivamente importato in Archicad seguendo le regole di importazione precedentemente viste e analizzate.

Oltre all'utilizzo dello strumento shell sarebbe stato possibile utilizzare anche lo strumento morph⁸¹, tramite il quale vengono creati la maggior parte degli elementi geometrici di dettaglio nel programma; questo strumento consente di utilizzare un flusso di lavoro molto simile a quello dei tradizionali software di modellazione, basando il suo funzionamento sulle estrusioni di superfici.



75- Spicchio di cupola modellato tramite gli strumenti geometrici

L'ultimo step della modellazione è stato quello relativo alle decorazioni, in questo specifico caso è stato deciso di utilizzare entrambe le tipologie di realizzazione possibili.

Alcuni elementi, come i cornicioni, i bassorilievi e le balaustre sono stati realizzati direttamente in Archicad in quanto gli

⁸¹ CadAcademy, Archicad 21: lo strumento forma, 10/06/2020,

https://www.cadacademy.it/archicad-21-strumento-forma/

strumenti geometrici del programma sono risultati più che sufficienti.

È stato invece necessario l'utilizzo di Rhinoceros per la realizzazione delle decorazioni più complesse come statue e capitelli. Prendendo come riferimento per il processo la realizzazione di un capitello è possibile notare come l'interscambio di informazioni tra i due programmi risulti funzionale.

Il file contenente l'elemento, salvato in estensione .3dm, è stato importato come oggetto all'interno di Archicad e successivamente modificato nelle sue dimensioni principali direttamente tramite i parametri del BIM per poter coincidere con le diverse dimensioni di colonna.

Approccio alla modellazione a grandissima scala

Riprendendo il discorso relativo alla modellazione dei dettagli, per questo progetto è stato deciso di utilizzare, in affiancamento ad Archicad, un programma di modellazione geometrica di nome Rhinoceros; la scelta del software è ricaduta sul programma sviluppato da Robert McNeel per una serie di motivazioni.

Innanzitutto, la capacità del software di lavorare con un numero praticamente illimitato di estensioni di file consente di importare qual si voglia risorsa di cui si è in possesso, in secondo luogo la capacità del software di gestire perfettamente elementi curvi ed infine la moltitudine di possibilità di modifica delle mesh, strumento necessario per la successiva esportazione e importazione in un altro programma.

Nonostante la quasi totalità dei dettagli dell'edificio sia stata comunque modellata tramite Archicad, è stato necessario elaborare con questo software i dettagli più complessi, ovvero le statue ed i vasi presenti nell'edificio e, soprattutto, i capitelli corinzi che si possono notare sulla facciata [fig. 76].

L'importazione di questi elementi ha portato ad un grande appesantimento del file di lavoro, dovuto, più che alle dimensioni effettive del file importato, al fatto che un software che si basa su elementi parametrici deve svolgere una grande quantità di calcoli per poter elaborare correttamente un oggetto geometrico.

La maggiore difficoltà di calcolo del programma si presenta quando viene richiamata una vista bidimensionale, come una pianta o una sezione, in quanto il software non è in grado di sezionare nel giusto punto gli elementi non nativi e di conseguenza li mostra tutti interamente.

Nonostante questo, la visualizzazione tridimensionale anche degli elementi più complessi, non presenta nessun tipo di problematica.



76- Capitello corinzio e parametri dell'oggetto

Come visto nel capitolo introduttivo, nella sezione relativa all'importazione di elementi non parametrici in un software BIM, anche in questo caso le diverse mesh che compongono l'oggetto sono state unite in un unico elemento; questo procedimento, seguito da una semplificazione della mesh finale, è stato fatto proprio per ridurre al minimo l'impatto che un gran numero di questi oggetti avrebbe avuto sulla comodità di navigazione nel modello.

Realtà Virtuale applicata all'edizione del 1911 Obiettivi

Come brevemente accennato nell'introduzione, l'obiettivo che ci si è posti in questa tesi è stato quello di capire come trasmettere, attraverso le tecnologie di realtà virtuale, elementi storicoarchitettonici non più esistenti al maggior numero di persone.

La strada scelta, tra le tanti disponibili in questo campo, è stata quella della realizzazione di un tour in, in VR, che permettesse al fruitore di visualizzare la grandiosità dell'Esposizione Universale dell'Industria e del Lavoro di Torino 1911.

Esaminando le varie possibilità la scelta è ricaduta sulla VR e non sulla AR in quanto, vista la grandezza dei padiglioni modellati, l'immersività garantita dalla prima si sposava meglio con l'intento della tesi; dopo aver scelto di utilizzare la realtà virtuale ci si è però trovati davanti a due possibilità, la creazione di immagini statiche da visualizzare nei visori o la possibilità di rendere navigabile il mondo attorno all'esposizione.

Grazie alla possibilità di utilizzare i voli fotogrammetrici della città di Torino, per realizzare una mesh rappresentante il Parco del Valentino, è stato scelto di dare la possibilità di movimento all'interno della scena, così da consentire allo spettatore di rendersi conto di quelle che furono le effettive dimensioni dell'evento.

Nei paragrafi successivi verrà quindi spiegato il processo che ha portato alla creazione di questo mondo virtuale, ponendo maggior attenzione su alcuni specifici temi fondamentali da conoscere quando ci si approccia a questa tecnologia e terminando poi con delle immagini illustrative del risultato.

Importazione e visualizzazione dei modelli in UE4

Dopo aver creato un nuovo progetto su UE4, si aprirà l'interfaccia effettiva del software; essa è composta, a grandi linee, da: una libreria dalla quale accedere alle varie funzionalità sulla sinistra, un organizzatore di progetto in basso ed una tendina di controllo degli elementi in scena sulla destra.

Da questo punto in poi si potrà procedere con l'importazione dei diversi file di lavoro che vogliamo nella nostra scena, partendo dalla base del mondo che stiamo andando a creare, ovvero la mesh del Parco del Valentino; l'elemento si presenta in formato .obj, con relativa texture e file di dimensionamento. Tramite il classico workflow di importazione comune a ogni programma potremo importare all'interno di UE4 l'oggetto, che risulterà essere già texturizzato, e scalato correttamente [fig. 77].



77- Mesh del terreno importata nel software

Se si volessero modificare i parametri di dimensione e posizionamento dell'oggetto è possibile farlo dalla tendina "details" in basso a destra.

Questa finestra di dialogo consente di modificare tutti i parametri relativi all'oggetto come appunto; dimensione, posizionamento, struttura, materiale, interazione con luci, collisioni con gli attori, ecc.

Possiamo a questo punto regolare leggermente le impostazioni del sole in modo tale ottenere l'effetto più opportuno in relazione al nostro terreno e, tramite il tasto build nella barra superiore, far calcolare al programma luci e riflessioni relative alla mesh.

Il passo successivo è stato l'importazione dei diversi padiglioni all'interno del mondo virtuale, procedendo tramite un workflow che consentisse al software di riconoscere modelli con così tanti dettagli.

Il metodo di importazione proprietario del software sfrutta un'estensione di file denominata .UDATASMITH⁸², sfortunatamente ancora non disponibile per Archicad ma in fase di sviluppo. La tecnologia Datasmith è stata creata per assolvere diversi compiti:

> Consentire l'importazione di scene grosse e molto pesanti all'interno del software senza doverle decomporre, come sarebbe invece necessario fare usando la classica importazione .FBX

⁸² https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Content/Importing/Datasmith/Overview/index

- Cercare di supportare la più ampia gamma di software, tra cui compaiono già 3DSmax, Revit, SolidWorks e Sketchup pro
- **Gestire al meglio le importazioni** e le successive modifiche dei materiali già impostati nei software di modellazione

Dopo aver utilizzato l'importazione tramite Datasmith è possibile vedere come il modello risulti perfettamente organizzato all'interno dell'asset, tramite una suddivisione di cartelle contenenti le geometrie, i materiali, i file temporanei e la "Datasmith scene", ovvero l'unione delle precedenti.

Dopo aver terminato l'importazione è possibile vedere, nella tendina dedicata al controllo degli elementi in scena, come essi vengano automaticamente suddivisi in base alla tipologia di elemento importato, risultando quindi più facilmente gestibili e riconoscibili.

Le tipologie di elementi riconosciute dal programma sono:

- Gli oggetti **Geometry** sono in genere rappresentati da attori mesh statici, che fanno riferimento alle risorse mesh statiche nel Browser dei contenuti
- Se la scena importata contiene luci, queste verranno in genere rappresentate utilizzando uno dei tipi di attore incorporati in Unreal, ad esempio una luce punto o una luce spot

- Le telecamere

Andando a modificare gli elementi e re importandoli in UE4 non si perderà nessuna modifica fatta in precedenza all'interno del programma e, se si volesse tornare alla prima versione importata, risulta necessario utilizzare lo specifico comando "reset overrides"⁸³. Tutti i padiglioni sono stati importati all'interno di UE4 tramite l'utilizzo di questa tecnologia associata al software 3DSmax in quanto, come visto in precedenza, il plug in diretto per Archicad è ancora in fase di elaborazione; l'esportazione da Archicad a 3DS è avvenuta salvando semplicemente il modello in .3ds.

Nella [fig. 78] è possibile vedere come, dopo aver terminato l'importazione di tutti i padiglioni, essi siano stati automaticamente organizzati all'interno del software in cartelle contenti le StaticMesh degli elementi.



78- Organizzatore di progetto con le cartelle contenti le StaticMesh

⁸³ https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Content/Importing/Datasmith/Overview/index

Blueprints

Il sistema denominato, in Unreal Engine, "Blueprints Visual Scripting" è un sistema di scripting di gioco basato sul concetto di utilizzare un'interfaccia basata su nodi per creare elementi di gioco dall'interno di Unreal Editor. Come per molti linguaggi di script comuni, viene utilizzato per definire classi o oggetti nel motore⁸⁴.

Rispetto alle tradizionali barre di codice, il sistema è più intuitivo ed è di conseguenza utilizzabile anche da chi non ha un background massiccio di programmazione.

L'intero funzionamento del software è correlato all'utilizzo di questo linguaggio; tramite i Blueprints è infatti possibile, ad esempio, stabilire le interazioni con gli oggetti nella scena e creare il proprio personaggio per navigare all'interno della scena.

La [fig. 79] mostra come si presenta la classe blueprint di un attore.

| 11 Main DBUTGH | | × |
|--|---|---|
| File Edit Asset View Debug Window Help | | |
| - Components | 1 🕰 🔲 🙈 🕐 🛛 🛲 🗮 🖿 🔅 | |
| + Add Component - Search O | | Search Details 🔎 🏭 👁 🕶 |
| RP_TEST (colf) | Compre Dave Browne Find Hide Unrelated Class Settings Containers Services Services | a Default |
| 4.2. Canada Component Debalterb | 🔛 Verwpert 🧳 Construction Scrip 👫 Exent Graph | h funditure in 1990 and 1990 and 2 1910 and |
| ArrowComponent (Inherited) | 🛧 🖕 🚔 BP TESL'S Event Graph Zoom -7 | Data Turo Bate (550 |
| .6 Mesh (inherited) | | Dana Lark He Data 1940 |
| SirstPersonCamera | | Weapon Farmer 6000.0 |
| * CharacterMovement (Inherited) | | Weapers Damage \$600000.0 |
| | | P Start Trace K 00 C V 00 C 7.40 |
| | | h matrice R 00 2 7 00 2 7 00 2 |
| My Bloeprint | | 1 DAMES 0.00 - 2 7 00 - 2 |
| + Add New + Statistics | | |
| | Movement input | # Actor Tick |
| *Graphs + | | Diart with Tick Drahled 🥪 |
| P == EventGraph | | Tick (more) 0,0 |
| Hunctions (1) Overnitable) | | Allow Tick Before Begin |
| Constructionscript | | |
| Marras | | |
| dVariables . | | Jump Max Hold Time 0,0 |
| - Variabrea (* | | Jurge Man Count 1 |
| GunOffset | | |
| - BaseTumRate | Compiler Results | a Camera |
| - BaseLookUpRate | I Intent Asias Event references unknown Asia Tankkin Roef for Climateus Lowith Pete | Grouched Eye Height 32,0 |
| - WesponRange | | Dasa Liya Holghe G4,0 2 |
| - WeaponDamage | | # Pawn |
| - StartTrace | | Lite Controller Branne I |
| - EndTrace | I trajul Acia Event references unknown Acia 'LookUp' for DisplayMed.AciUp | Use Centroller Rotation 1 |
| - ShootDir | I treat/closs bent references unknown Action Company (MC) | Use Controller Rotation 1 |
| Event Dispatchers + | | Can Affect Navigation B |
| | | Auto Person Rever Disadent |
| | | Auto Pasance A Republic Work |
| | | |
| | | |
| | | |

79- Character blueprint class

⁸⁴ https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Blueprints/GettingStarted/index

L'interfaccia di modifica relativa ai Blueprints presenta sulla sinistra il menù dei contenuti inseribili all'interno della classe, al di sotto la tendina relativa al compiler, utile a capire, in caso di errore, dove sia il problema e sulla destra le impostazioni di base. Nel centro dello schermo, dove viene visualizzato lo script della classe è possibile visualizzare anche una preview di quello che è l'attore che stiamo andando ad utilizzare, in modo tale da poter avere sempre sott'occhio le modifiche in tempo reale.

Nella figura 79 si può vedere come, nonostante lo script risulti funzionante presenta degli errori di input dovuti a dei comandi mancanti; questa situazione si presenta in quanto, avendo impostato come metodo di controllo del personaggio i Motion Controller dell'HTC vive, risulta necessario modificare nelle impostazioni del software i comandi di input per i movimenti [fig. 80].

Una volta modificati questi parametri sarà possibile compilare e salvare la classe senza problemi.

| u Mare 💦 | Projestéstings |
|-----------------------------|--|
| Packaging | Search Details |
| | 😘 These settings are saved in DeduxUtryst ex, which is currently available |
| | - Rindiana |
| Game | a binnings |
| Asset Manager | As is Mappings also for reputs that have a continuous range |
| Asset Tools | A Adam Maganga 🕈 📴 |
| | 4 Telgantuji + x |
| Engine | 👞 Start (2) Ship. 💌 Shiki 🔤 Ool 🔤 Ali 🔤 Ool 🗮 🗶 |
| A.Sxstern | Telepoit.et + x |
| Animation | 🔔 Mare (1) Trigger 🔹 Stell 🔤 Al 📑 Cord 📑 🗙 |
| Audia | ∠ Costright + × |
| Chaos Solver | 🔔 Vier (F); Trackpool Left 🔍 K king Crief 🔜 Ak 🛄 Crief 🔜 🕷 |
| Collision | a gaket + x |
| Censole | 🖕 Shee (E), Yrackpad Right 💦 V Sinking 🔄 Oriel 🔤 Ak 🛄 Oriel 📑 🛣 |
| Cooker | A Alia Mapping + 🔿 |
| Crowd Manager | |
| Debug Camera Controller | |
| Gerospieu, Debu pass | |
| Garbage Collection | |
| General Settings | Type (7) Jackang A Company 19 S X |
| Hierershizel LCD | A Materia and Antonia antonia antonia antonia antonia antonia antonia antonia antonia anto |
| Input | w Ver (i) Trackpad X Strass 1,0 C X |
| Landerseite | A MotionControllerThankHight, Y + X |
| Navigation Mesh | Le Vier (I) Trackpad Y tonk 1,0 C X |
| Nexisetion System | A Telepathoje + X |
| Network | 🔤 View (F) Tripper Anix 🔷 Sorter 1,0 💽 🗙 |
| Physics | A Telepstuft + X |
| Benderina | 🕳 Viere () Tripper Ania 🔹 finite 10 - 😴 🗙 |
| Rendering Overnides (Local) | |
| State Settingo | |
| Streaming | |

80- Lista degli input

Materiali

Come è stato visto nei paragrafi precedenti la mesh del terreno è stata importata nel software come un oggetto unico, con una texture associata derivante dalla fotogrammetria; si è quindi deciso durante la modifica della stessa di ritagliare la parte relativa al fiume Po per consentire una miglior gestione all'interno di UE4.

La modellazione del fiume è stata completamente realizzata all'interno del software tramite la predisposizione di un piano, rappresentante il filo dell'acqua, e la creazione della texture associata.

La possibilità di creare materiali personalizzati in ogni loro aspetto, all'interno del software, aiuta la gestione del progetto in una serie di modalità che vanno tenute in considerazione.

Un materiale è un asset che può essere applicato ad una mesh per controllarne l'aspetto estetico, quando la luce della scena colpisce la superficie il software ne calcola ombre e riflessioni.

La realizzazione avviene tramite l'interpolazione di script, che devono essere gestiti in base alla tipologia di materiale che si vuole ottenere; parlando in questo caso di acqua si è partiti da uno script di base del materiale a cui sono stati associati dei parametri relativi a *base color, metallic, specular, roughness, opacity e normal.* [fig. 81].

Essendo il piano a cui verrà associato il materiale un oggetto statico si è presentata la necessità di animare la texture, l'operazione è servita a definire un movimento della stessa lungo delle coordinate specifiche; questo è stato possibile tramite una serie di script collegati alla mappa normale, che, nella grafica 3D, è una tecnica usata per simulare la complessità del rilievo di superfici senza doverle modellare in dettaglio⁸⁵



81- Script del materiale acqua

Quello che è stato fatto fino a questo momento risulta essere il procedimento per la creazione di qual si voglia materiale di base, ma, nonostante questo risulti già applicabile ad una mesh, il workflow corretto prevede la creazione di un'istanza del materiale.

Le *material instance* sono dei cloni del materiale di base a parametri ridotti, vengono utilizzate in quanto da un solo materiale possono essere generate infinite istanze, differenti tra loro per uno o più parametri, ma totalmente collegate allo script generatore.

In questo modo è possibile, modificando una parametro di base come, ad esempio, una texture nel materiale di base, ottenere questa modifica in ogni istanza utilizzata nel progetto.

⁸⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Normal_mapping



82- Material instance

La [fig. 82] mostra la differenza di funzionamento di una istanza di materiale rispetto al suo generatore, rendendo più chiaro il suo funzionamento; partendo da un materiale parquet di base, sono state utilizzate le istanze per modificarne direzione, colore e ruvidezza.

Seguendo il procedimento appena descritto è possibile creare una serie infinita di tipologie di materiale; oltre ai classici utilizzati per l'architettura possono essere create delle configurazioni speciali da utilizzare all'interno del progetto per vari scopi, come ad esempio per evidenziare le interazioni con gli oggetti, per mettere in luce dei dettagli specifici o per gestire al meglio le riflessioni di alcune superfici. I parametri generici modificabili all'interno del progetto sono gestibili da una tendina denominata *world settings*, posta nella parte inferiore destra dello schermo.

Da questi parametri è possibile modificare una grande varietà di aspetti generici legati allo specifico livello sul quale si sta lavorando; le voci presenti sono relative a:

- Game mode, ovvero la classe blueprint che regola l'esperienza di gioco
- Lightmass, ovvero la gestione della mappatura UV
- **Physics**, regola le interazioni fisiche degli oggetti con il mondo
- **VR**, permette di regolare la scala del mondo quando si usa la realtà immersiva
- Rendering, per regolare la qualità dei render
- Audio, per gli effetti
- LOD, per gestire l'override dei materiali

Le luci invece, dopo essere state inserite all'interno del progetto, compariranno nell'organizzatore insieme alle staticmesh.

Dopo aver selezionato la voce relativa alla luce che si vuole modificare compariranno al di sotto del gestore degli elementi tutte le diverse componenti da cui è formata; evidenziando la componente che si vuole andare a modificare sarà possibile, all'interno del pannello details posto in concomitanza con quello world settings visto in precedenza, cambiarne tutti i parametri.

Esistono diverse tipologie di luci:

- le dome light avvolgono la scena al di sotto di una cupola. La cupola create ha la doppia funzione illuminante e di sfondo, sono infatti solitamente associate ad essa delle immagini HDR che simulano uno specifico ambiente. All'interno del software è possibile trovarne di default ma possono essere scaricate da web ed aggiunte
- le sun light, ovvero delle luci diffuse che hanno però, come componente intrinseca, anche una luce direzionale per determinare le ombre
- le **directional light** sono fasci di luce luminosi fuoriuscenti da una fonte di luce, vengono solitamente utilizzate per animare le lampade

Possono essere modificate in un primo momento la dimensione, il posizionamento e la direzione del fascio luminoso; in secondo luogo, si passa all'intensità, al colore, alle modalità di interazione con gli oggetti ed al modo in cui esse determinano le ombre.

Durante la creazione di un mondo virtuale non si potrà mai utilizzare una sola soluzione in quanto nessuna tipologia di luce è in grado di svolgere tutti i compiti richiesti singolarmente; le combinazioni di luci si rendono dunque necessarie.

La combinazione più utilizzata per progetti di grande dimensione è rappresentata da sun light e directional light, in modo tale da poter governare la luce diffusa e l'immagine del cielo separatamente dalle ombre mentre, spesso, in progetti di piccole dimensioni e legati alla visualizzazione di interni, viene utilizzata la dome light; essendo già di default composta da più elementi essa si adatta ad una scena che richiede un minor impegno nella gestione delle luci esterne, fornendo anche un perfetto sfondo visibile dalle finestre.

Esiste però, oltre a tutto quello appena visto, anche un altro strumento di gestione dell'illuminazione denominato PostProcessVolume⁸⁶.

Il PostProcessVolume è stato utilizzato all'interno del nostro progetto per modificare le condizioni di luce quando ci si trova in prossimità del fiume ma può potenzialmente essere utilizzato in ogni situazione in cui sia richiesta una particolare situazione di luce o si voglia assegnare alla telecamera un particolare effetto visuale [fig. 83].

⁸⁶ https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Rendering/PostProcessEffects/index



83- PostProcessVolume

Questo strumento è l'unico legato alla post-produzione in unreal engine in quanto il software solitamente sviluppa il processo di rendering in real time.

Tramite questo volume è possibile aggiungere una serie di effetti alla scena in modo tale da modificare singole parti del progetto; gli effetti in questione sono alcuni tra i più classici come vignettatura, bloom, profondità di campo e lens flare ma il più interessante risulta sicuramente essere il *tone mapping*. Questo strumento consente di modificare a piacimento tutti i parametri di colore, emissività e ombreggiatura all'interno della scena; può sostanzialmente essere paragonato alla color correction dei software destinati al montaggio video, come viene spiegato chiaramente, dagli stessi sviluppatori di UE4, in un video tutorial apposito sull'argomento⁸⁷.

L'ultimo capitolo utile alla comprensione della gestione dei parametri di progetto riguarda le riflessioni.

⁸⁷ https://www.youtube.com/watch?time_continue=9&v=A-wectYNfRQ&feature=emb_title

UE4, se comparato con gli altri motori di rendering di alto livello, risulta faticare non poco sul calcolo automatico delle riflessioni e, proprio per questo motivo, ha creato una serie di strumenti utili al calcolo puntuale delle stesse.⁸⁸

I comandi in questione sono box reflection capture, sphere reflection capture [fig. 84] e planar reflection; i tre strumenti in questione svolgono la stessa funzione, ovvero raffinano e rendono più preciso il calcolo in determinati punti del progetto, ma si basano su diverse forme.

Quando uno di questi oggetti viene inserito all'interno della scena il software capirà che, in quel punto, c'è la necessità di uno studio più puntuale relativamente al comportamento della luce in quello specifico spazio; nel pannello di modifica dei parametri sarà possibile modificare le dimensioni massime in cui l'oggetto lavora e il numero di riflessioni che si desidera calcolare.



84- Sphere reflection capture

⁸⁸ https://docs.unrealengine.com/en-US/Resources/Showcases/Reflections/index
Collisioni e navigabilità

Per poter sfruttare appieno le potenzialità di interazione e navigabilità del software risulta essere necessario l'utilizzo delle collisioni⁸⁹; le collisioni hanno molteplici funzioni all'interno del software in quanto regolano una serie di aspetti utili e necessari al corretto funzionamento della game experience; esse regolano infatti le modalità con le quali un oggetto interagisce con la scena.

Nel caso specifico di questo progetto, essendo orientato verso la visualizzazione e non verso la creazione di un videogioco, le collisioni sono state utilizzate solamente per rendere navigabile il mondo; se non si fosse fatto un lavoro su di esse non sarebbe stato in nessun modo possibile muoversi all'interno del progetto in quando l'attore, rispondendo al principio di gravità per rispecchiare il mondo reale, non avrebbe trovato resistenza sotto i piedi finendo a girovagare per lo spazio.

Il software è in grado di elaborare, per ogni mesh che viene importata, quelle che sono le collisioni di base della stessa, creando una figura assimilabile ad una gabbia intorno alla stessa; questa gabbia è solo un parametro di default che può in ogni momento essere modificato tramite gli strumenti interni al modificatore delle mesh.

Per accedere a questi comandi è necessario selezionare l'elemento sul quale si vuole intervenire all'interno della scena e, tramite il pannello di modifica *details*, fare un doppio click sulla rappresentazione in piccolo della mesh.

⁸⁹ https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Physics/Collision/Overview/index

Si aprirà, a questo punto, il modificatore delle staticmesh con tutti i comandi ad esse correlati [fig. 85].



85- Complex collision

Nell'immagine sono state poste in evidenza le collisioni associate alle mesh di una statua, rappresentate dal mesh triangolare blu, che regolano il comportamento della stessa in relazione agli altri oggetti.

Le condizioni di collisione assegnabili sono numerosissime e possono essere personalizzate in modo da reagire in diverse modalità a diversi input/attori in gioco; sono visualizzabili tutte le diverse combinazioni e tipologie a questo link⁹⁰. Analizzeremo invece i tre principali comportamenti delle mesh: [fig. 86]





⁹⁰ https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Physics/Collision/Reference/index

- Ignore: Indipendentemente dalla risposta di collisione dell'altro corpo fisico, questo oggetto ignorerà totalmente l'impatto
- Overlap: Se l'altro corpo fisico è impostato su overlap o block, si verificherà un evento di sovrapposizione dei due oggetti
- **Block:** Se anche l'altro corpo fisico è impostato su block, si verificherà un impatto.

Nel nostro progetto sarà utilizzato il sistema block in quanto il nostro attore non dovrà avere la possibilità di passare attraverso a nessun oggetto interno alla scena.

Se non dovessero essere sufficienti alle nostre esigenze le collisioni di default degli oggetti è possibile aggiungerne ai singoli oggetti dal modificatore mesh: le tre possibilità fornite dal programma sono: add sphere simplified collision, add capsule simplified collision e add box simplified collision; i tre comandi porteranno allo stesso risultato, ovvero verrà creata una gabbia di diverse forme, modificabile in dimensioni e posizionamento, contenente l'oggetto [fig. 87].

Dopo aver terminato l'aggiunta delle collisioni a noi necessarie, è il momento di procedere con l'inserimento delle impostazioni utili a far capire al programma come utilizzarle.

Dopo aver selezionato gli oggetti di cui vogliamo attivare le proprietà di collisione, recandoci nel pannello details, alla voce *collision preset* dovremo selezionare *block all*; questa operazione ci consentirà di indicare al programma che nessun oggetto fisico interno al progetto potrà passare attraverso quelli selezionati.



87- Aggiunta di una capsula di collisione

Manca però ancora un'operazione fondamentale per poter sfruttare le proprietà di collisione; dovremo quindi selezionare, dall'organizzatore di progetto tutte le staticmesh che desideriamo utilizzare e seguire il seguente procedimento: tasto destro click, asset action, bulk edit via property matrix e selezionare nella tendina pop-up che si aprirà la sezione relativa alle staticmesh.

Troveremo a questo punto la voce *collision complexity*, indicando ora al programma *use complex collision as simple* avremo terminato l'operazione egli oggetti selezionati non saranno più oltrepassabili dall'attore.

Preparazione alla realtà virtuale

L'ultimo passo da compiere all'interno di UE4 è l'aggiunta degli elementi che permetteranno di navigarlo in VR; a questo proposito devono essere definite due grandi categorie di componenti che ci aiuteranno a raggiungere l'obbiettivo:

- La componente **software** è legata agli aspetti della realtà virtuale controllabili dal PC
- La componente hardware è invece relativa al PC stesso e al visore per la realtà virtuale, in questo caso l'HTC vive.

Partendo dalla componente hardware, oltre ad una macchina con installato il software UE4, è necessario l'utilizzo di un visore per la realtà virtuale; i visori supportati nativamente dal software sono i top di gamma delle due aziende leader del settore, ovvero l'Oculus Rift e l'HTC vive.

Dopo aver collegato il sensore al PC sarà necessario installare un programma di riconoscimento, chiamato Steam VR, utile a gestire la configurazione del dispositivo e a settarne tutti i comandi; questo software dovrà essere obbligatoriamente in esecuzione prima di avviare UE4 per far sì che il visori risulti utilizzabile all'interno del software.

Dopo aver avviato il programma, nonostante la preview della scena sia già visualizzabile all'interno del visore, la prima operazione necessaria risulta essere la definizione degli input; questa operazione, descritta dalla figura 74 all'interno del capitolo relativo ai Blueprints, è necessaria affinché i motion controller dell' HTC vive possano essere utilizzati per controllare i movimenti dell'attore.

Terminato il settaggio di queste impostazioni preliminari è necessario definire il punto di *spawn* dell'attore⁹¹.

L'effettiva creazione del percorso inizia importando all'interno del software il *content pack* relativo alla realtà virtuale [fig. 88]; dopo aver terminato l'importazione all'interno dell'asset di progetto verranno visualizzate tutte le classi blueprint utilizzabili a tale scopo.



88- Importazione content pack della virtual reality

All'interno della cartella relativa alla VR troveremo, per adempiere al compito della regolazione dello spawn, delle tipologie diverse di classi blueprint preimpostate. In questo caso specifico è stato scelto di utilizzare il MotionControllerPawn⁹²,

⁹¹ Punto in cui inizierà il percorso

⁹² https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/VR/DevelopVR/MotionController/index

ovvero una classe blueprint, completa di telecamera, in grado di elaborare tutte le richieste che concernono l'utilizzo della VR. Inserendo la classe all'interno della scena viene fornita una preview di quello che la telecamera inquadra, quello che il nostro personaggio vedrà all'interno del mondo virtuale [fig. 89]. Lo specchietto di preview consente inoltre di controllare quello che saranno gli effetti con i quali verrà renderizzato il mondo, gestibili attraverso la tendina *details*.



89- inserimento del Motion Controller Pawn

L'attore deve a questo punto essere impostato come metodo di spawn predefinito all'interno della Game Mode utilizzata; tramite questo procedimento il software farà partire la visualizzazione in VR dal punto desiderato e non da un punto casuale nella mappa.

Risulta a questo punto necessario definire l'area di progetto nella quale sarà possibile navigare; l'operazione è resa possibile da un comando di UE4 chiamato NavMeshBoundsVolume⁹³ che

⁹³ https://docs.unrealengine.com/en-US/Resources/ContentExamples/NavMesh/index

definisce un'area rettangolare all'interno della quale è possibile muoversi.

Solitamente, nel campo della visualizzazione architettonica, questa mesh viene impostata di una dimensione maggiore rispetto a quella della stanza o dell'edificio da realizzare in modo tale da rendere fruibile l'intero modello, ma, in un progetto con delle grandi dimensioni come quello trattato in questa tesi, è stato scelto di rendere navigabili solo delle aree predefinite utili alla visualizzazione dei padiglioni.

Sovrapponendo i volumi alla mesh utilizzata come terreno e premendo il tasto "P", è possibile visualizzare un pattern verde che ci aiuta a comprendere quali siano le zone fruibili [fig. 90].



90- Visualizzazione della mesh navigabile

Si deve comunque tenere in considerazione che il workflow per il corretto funzionamento della navigazione non consente di utilizzare solamente il NavMeshBoundsVolume, in quanto esso definisce semplicemente l'area navigabile ma deve sempre e comunque essere supportato dall'operazione spiegata precedentemente relativa alle collisioni, che definiscono le leggi fisiche della scena.

Risulterà a questo punto possibile utilizzare il visore VR, con annessi tutti i suoi comandi, già all'interno del software anche senza procedere con l'esportazione; oltre a questa possibilità, che consente semplicemente di visualizzare il lavoro svolto, il software consente anche una particolare opzione tramite la quale risulta possibile lavorare sulla scena direttamente utilizzando i controller del visore VR.

L'esportazione, in un progetto come il nostro destinato all'utilizzo privato, risulta quindi strettamente necessaria solo nel caso in cui si voglia traferire il file risultante su un altro dispositivo.

L'operazione di esportazione che verrà definita nel capitolo successivo sarà necessaria solo nel caso in cui si voglia elaborare una applicazione per smartphone oppure si voglia rendere pubblico il progetto inserendolo in degli store per videogame.

Esportazione in VR e altre tipologie di esportazione possibili

La prima operazione da compiere quando si vuole esportare il progetto per utilizzarlo con un visore VR, è quella di aprire le impostazioni di progetto, cercare le impostazioni VR e attivare l'opzione *start in VR*.

Tramite questo procedimento si sta attivando la possibilità di avviare la scena esportata direttamente con la visione stereo richiesta dai visori, senza doverla attivare in un secondo momento all'interno del file di gioco.

Dopo aver terminato questa operazione è necessario controllare, accedendo alle impostazioni delle mappe tramite il percorso edit - project settings - maps e modes, che il sia selezionato alla voce *game default map* il livello di gioco che si desidera utilizzare come livello di base; è inoltre possibile utilizzare una serie di impostazioni avanzate di packaging che sono elencate e descritte a questo link⁹⁴, nella guida ufficiale di UE4.

Si deve sempre tenere in considerazione che il file *.pak* è semplicemente un eseguibile del videogioco, ma non un file di lavoro; è quindi necessario porre attenzione a non cancellare nessuno dei collegamenti all'interno della directory del progetto in modo tale da non rischiare di perdere i dati del lavoro.

A questo punto sarà possibile avviare l'esportazione del progetto; l'operazione avviene tramite il *packaging* della scena; sarà semplicemente necessario recarsi nelle impostazioni, scegliere la voce packaging e di conseguenza la voce windows,

⁹⁴ https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Basics/Projects/Packaging/index

dopodiché verrà richiesta la tipologia di sistema operativo e sarà avviato il processo di export [fig. 91].



91- Esportazione

Seguendo la stessa modalità è possibile, come chiarificato dalla figura precedente, esportare il gioco per una serie di piattaforme diverse; questa operazione però deve essere supportata da un workflow di lavoro diverso da quello seguito in questa tesi in quanto le classi di blueprint necessarie risultano essere differenti.

Video rendering

Con video rendering viene intesa una sequenza di immagini renderizzate, esportate utilizzando un formato video (.avi, .mp4, .mov, ecc.), in grado di rappresentare uno o più oggetti. Nonostante la realtà virtuale risulti essere, come visto nella parte precedente, il principale obbiettivo di questo progetto ed il metodo più immersivo per poterlo rappresentare, è necessario a questo punto fare i conti con il fatto che questa tecnologia non sia ancora abbastanza presente sul mercato per essere utilizzata come primaria fonte di informazione e dimostrazione.

Utilizzare una componente video nell'esposizione di questa ricerca risulta essere molto più efficace, se non altro ragionando sul fatto che è possibile mostrare il risultato finale ad un elevato numero di persone contemporaneamente attraverso l'utilizzo di un solo apparecchio.

L'utilizzo del solo video renderizzato del modello sarebbe andato contro ad una serie di discorsi esposti in precedenza in questa tesi, ad esempio quelli relativi all'utilizzo del BIM per poter associare informazioni agli oggetti e dell'utilizzo della VR per poter poi interrogare gli oggetti stessi mostrando le informazioni precedentemente assegnategli.

A questo proposito è stato quindi deciso di integrare all'interno del video una serie di informazioni utili a contestualizzare quello che fu il luogo della esposizione e quelle che sono le principali caratteristiche dei diversi padiglioni analizzati; il progetto video è realizzato tramite la combinazione di due software: Unreal Engine per la creazione e la renderizzazione delle animazioni e DaVinci Resolve⁹⁵ per il montaggio e l'aggiunta di clip e scritte esterne.

La produzione delle clip è stata realizzata attraverso l'utilizzo di due principali strumenti, ovvero la CineCameraActor (strumento in grado di simulare le telecamere cinematografiche, attraverso il quale è possibile regolare proprietà come l'esposizione della singola clip, la sua esposizione, le distorsioni ecc.) e il Sequencer (Timeline interna a UE4 tramite la quale è possibile definire gli spostamenti della camera e degli attori all'interno della clip [fig. 92].

Dopo aver esportato i vari segmenti del video ed averli importati nel software di montaggio sono infine stati inseriti gli elementi descrittivi di corredo.



92-Sequencer

⁹⁵ https://www.blackmagicdesign.com/it/products/davinciresolve/

CONCLUSIONI

L'idea dietro a questo lavoro di tesi è relativa alla riproposizione del patrimonio storico-architettonico non più esistente utilizzando la realtà virtuale; nel corso dei capitoli sono state affrontate diverse tematiche riguardanti le possibilità per adempiere a questo compito, al netto delle tecnologie attuali, per rendere il più immersiva possibile l'esperienza di visualizzazione dell'utente finale.

Nel primo capitolo è stata fatta una descrizione di quelle che sarebbero state le tecnologie scelte per cercare di massimizzare il risultato; si è scelto di utilizzare un software BIM per la modellazione dei padiglioni, la fotogrammetria aerea per la creazione di una nuvola di punti che consentisse di generare la mesh del Parco del Valentino e di conseguenza documentare lo stato di fatto e, infine, la renderizzazione in tempo reale destinata alla visualizzazione del progetto in realtà virtuale.

Nel tentativo di creare un progetto che consentisse di descrivere al meglio la situazione dell'Esposizione, avvenuta nel 1911, è risultato necessario introdurre una serie di fonti storiche provenienti da archivi fisici e digitali, quali disegni d'archivio, cartoline storiche e video d'epoca. Questo procedimento era già stato condotto attraverso l'uso dei soli disegni d'archivio, per la modellazione geometrica dei padiglioni che in questa tesi si è cercato di parametrizzare al meglio tramite l'importazione degli stessi in un programma BIM.

Successivamente è risultato necessario creare una ambientazione il più possibile coerente a quella del Parco del Valentino; in quanto risulta pressoché impossibile ricreare in modo accurato un'ambientazione risalente a più di cento anni fa.

Si è scelto di sfruttare la tecnologia della fotogrammetria aerea, che ha consentito la creazione di una mesh texturizzata raffigurante il parco stesso; questo procedimento è stato svolto tramite il software Agisoft Metashape, sfruttando delle immagini relative ad un volo eseguito sulla Città di Torino nel 2018. Dopo aver terminato la modellazione di tutti gli elementi in concorso al progetto, vale a dire i quattro padiglioni e la mesh del parco, il lavoro è proseguito su Unreal Engine 4, un motore di render in tempo reale capace di sviluppare progetti di Realtà Virtuale. E inoltre necessario porre un accento su come l'unione tra i metodi e le tecnologie della geomatica, la modellazione BIM e la realtà virtuale possa portare a future applicazioni sull'utilizzo e la rappresentazione dei dati; risulta infatti possibile interrogare gli oggetti in ambienti di realtà virtuale per scoprirne le dimensioni, le cubature e, per esempio, i materiali costruttivi o qual si voglia parametro derivante dal modello tridimensionale.

La descrizione fatta delle due modalità di modellazione utilizzate nel progetto, chiarisce quelli che sono i benefici portati dall'utilizzo di software parametrici nella riproposizione del patrimonio architettonico; i principali vantaggi sono relativi alla comodità di gestione del progetto e alle esportazioni dirette dal programma utilizzato, in questo caso Archicad.

Con l'utilizzo di quest'ultimo software, o di qual si voglia programma BIM, si sta verificando in ambito architettonico un netto miglioramento in termini di tempo investito nella generazione di modelli relazionato al risultato finale. Un paragone esemplificativo che può essere fatto su questo progetto è sull'impatto che i diversi modelli hanno avuto nel programma di visualizzazione: il padiglione della Francia, infatti, nonostante sia il più grande a livello dimensionale e sia possibile utilizzarlo come "contenitore di informazioni", ha prodotto un file di esportazione di peso pari a 400 MB.

Questa situazione è resa possibile in quanto le forme risultanti da un programma BIM sono elementi molto più semplici da calcolare rispetto a quelle sviluppate da un programma geometrico. Confrontando il modello del Padiglione della Città di Torino, realizzato tramite un software di modellazione geometrica e importato all'interno di Archicad, si può notare come dopo essere stato parametrizzato abbia prodotto un file dal peso di 1500 MB, nonostante le dimensioni notevolmente ridotte del padiglione stesso.

Il software destinato al rendering quindi, qualsiasi esso sia, non può che risentire di una così grande differenza di dimensione, soprattutto nel caso in cui vi siano molteplici modelli e mesh impattanti, come quella utilizzata in questo caso del parco del Valentino (la suddetta mesh risulta essere molto impattante a causa delle sue dimensioni più che della sua complessità, il software infatti renderizzerà continuamente anche i punti più lontani della stessa nonostante non sia prettamente necessario). A tal proposito risulta necessario precisare come questa mesh, raffigurante il Parco del Valentino, sia in molte sue parti discordante dai padiglioni modellati; questa situazione si è verificata in quanto l'oggetto tridimensionale è il risultato di un processo fotogrammetrico per la ricostruzione dello stato di fatto: il parco modellato non può quindi rispecchiare le fattezze del 1911, anno in cui si tenne l'Esposizione. Un' ipotetica soluzione potrebbe essere quella di modellare interamente il parco basandosi su disegni e fotografie, partendo dalla base fornita dalla nuvola di punti e cancellando e modificando la forma attuale del parco. Il problema di questa soluzione sarebbe l'allontanamento dalla situazione il più possibile reale che si è cercato di ricreare in questo progetto, modellando i padiglioni partendo da scansioni di disegni d'archivio in scala ed affidandosi alla precisione di una nuvola di punti fornita dalla fotogrammetria aerea per il parco.

La sfida di rappresentare l'intero progetto attraverso l'utilizzo di una tecnologia come la realtà virtuale riguarda la volontà di inserire il fruitore totalmente all'interno di un mondo tridimensionale, allontanandosi da quello che è il più grande problema dei render statici, ovvero l'obbligo per l'utente di immaginare tutto quello che non può vedere nell'immagine. Considerando la situazione di partenza e provando ad immaginare di poter portare avanti questo progetto in futuro, ci si è resi conto di come questa tecnologia potesse essere la scelta giusta per massimizzare la quantità di informazioni trasmissibili ad un fruitore del progetto.

Nonostante le enormi dimensione dei file in esame UE4 si è dimostrato sempre efficace nella gestione di questi ultimi. Le più grandi difficoltà sono state incontrate nella componente hardware utilizzata in quanto, nonostante sia stato utilizzato un laptop tra i leader del mercato per questa tipologia di utilizzo, le richieste di prestazioni del software per poter lavorare ad alta qualità e senza rallentamenti si sono rivelate decisamente maggiori di quelle offerte da un PC dotato di 32 GB di memoria RAM e 6 GB di memoria destinata alla scheda grafica. Il vero punto di svolta potrebbe arrivare quando verrà rilasciato sul mercato un software in grado di elaborare la realtà virtuale unendo la semplicità dei comandi alla potenza di calcolo. Un tentativo in questa direzione è stato fatto da Epic Games con Twinmotion, un software inizialmente nato per la ormai diffusa renderizzazione in real time ma che, con la sua ultima versione, ha puntato molto sulla VR sviluppando dei tools in grado di gestire l'interazione con gli oggetti; il passo che ancora necessita di essere compiuto è relativo alla gestione di scene ed elementi ad elevata complessità. Quando verrà rilasciata la versione 2021, che da quello che si può leggere sui siti divulgativi e legati a queste tematiche sarà decisamente orientata in questa direzione, grazie anche al bridge diretto con Archicad e Revit e grazie al fatto che potrà contare sul riconoscimento delle proprietà BIM, questo software diventerà probabilmente il definitivo *game-changer*.

Ringraziamenti

In primis una piccola riflessione che va fatta è relativa all'argomento studiato; questa opportunità mi ha aiutato a comprendere meglio quanto sia importante la conoscenza di quelli che sono stati i grandi eventi storici del passato, molto spesso non studiati se non dagli appassionati ma fondamentali a mio modo di vedere per raggiungere la piena comprensione di quello che è il mondo oggi, o, più nello specifico dell'argomento, di quelle che sono le tecnologie costruttive odierne. Questa riflessione, seppur catalogabile come scontata e già mille volte sentita, trova i suoi fondamenti nella condivisione del mio lavoro di tesi con le persone a me vicine come la famiglia, gli amici che hanno scelto percorsi universitari differenti e, più in generale, le persone con le quali ho avuto il piacere di confrontarmi in questi mesi di lavoro. Mi sento inoltre in dovere di ringraziare il mio relatore di tesi, il prof. Filiberto Chiabrando, e la co-relatrice dott. Alessandra Spreafico, per il costante supporto e la grandissima disponibilità che hanno dimostrato nei miei confronti nonostante la difficoltà dovuta all'impossibilità di incontrarsi per lunghi periodi dovuta alla situazione attuale. La reazione che ho ricevuto, derivante dai miei racconti relativi all'esposizione, è stata di assoluto stupore; le persone al mio fianco si chiedevano, per lo più, come fosse possibile che un evento storico di tale portata fosse sconosciuto a chiunque non sia minimamente inserito nel settore. L'effimerità degli immensi padiglioni, il fatto che siano stati costruiti e smontati in un lasso di tempo di tre anni senza intaccare minimamente il sito ed i vari mezzi di fruizione alla mostra come la cabinovia e la monorotaia poi smaltite, hanno lasciato a bocca aperta tutte le persone a che hanno posto interesse in quello che è stato il mio percorso di lavoro.

BIBLIOGRAFIA

La bibliografia è stata redatta seguendo l'ordine cronologico di pubblicazione delle fonti, la sitografia risulta invece essere organizzata seguendo l'ordine alfabetico.

- Gozzano, G. (1911). Un vergiliato sotto la neve, La Lettura: rivista mensile del Corriere della Sera, *Torino*
- (1911). L' Esposizione di Torino 1911. Giornale ufficiale illustrato dell'Esposizione Internazionale delle Industrie e del Lavoro, *Torino: Guido Momo*
- (1911), La guida tricolore rimborsabile di Torino e della Esposizione del 1911, *Milano: F. De Rio*
- (1911), Guida pratica per visitare la Esposizione internazionale delle industrie e del lavoro indetta in Torino per celebrare il 50° anniversario della proclamazione dell'unità d'Italia con Roma capitale: aprile-novembre 1911, *Torino: Ajassa e Ferrato*, Disponibile online http://www.museotorino.it/view/s/
- Treves, G. (1911). Le Esposizioni del 1911: Torino, Roma, Firenze. *Milano: Fratelli Treves*
- Grün, A., Remondino, F., & Zhang, L. (2004). Photogrammetric reconstruction of the great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. The Photogrammetric Record, 19(107), 177-199

- Della Coletta, C., (2006). World's Fairs Italian-Style: The Great Exhibitions in Turin and Their Narratives, 1860-1915. University of Toronto Press, Toronto, ON, Canada.
- Spanò, A. (2009). Fotogrammetria digitale: Generalità e principi.
 In Dispense per il Workshop" Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali", Facoltà di Architettura, Torino (Vol. 2010)
- Osello, A. (2012). Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, The future of Drawing with BIM for Engineers and Architects. *Palermo: Dario Flaccovio Editore*
- Cannarozzo, R., Cucchiarini, L., Meschieri, W. (2012). Misure, rilievo, progetto, T1 pag 3, *Bologna: Zanichelli*
- Falkingham, P. L., Bates, K. T., & Farlow, J. O. (2014). Historical photogrammetry: Bird's Paluxy River dinosaur chase sequence digitally reconstructed as it was prior to excavation 70 years ago. PLoS One, 9(4), e93247
- Barrile, V., Bilotta, G., Lamari, D., Meduri, G. M., Monardi Trungadi, U., & Ricciardi, A. (2015). Computer vision/structure for motion per la diffusione dei beni culturali. In *Atti della 19a Conferenza Nazionale ASITA*
- Borgogno, E. (2017). Virtual Heritage and Gamification Un Esperimento Di Realtà Virtuale per La Cappella Di S. Eldrado a Novalesa, Rel.: Spanò A., Chiabrando F.
- Hermund, A., Klint, L., & Bundgård, T. S. (2018). BIM with VR for architectural simulations: Building Information Models in Virtual Reality as an architectural and urban designtool. In *ACE 2018 Singapore: ACE 2018*

- Bruschke, J., Maiwald, F., Münster, S., & Niebling, F. (2018).
 Browsing and Experiencing Repositories of Spatially Oriented Historic Photographic Images. *Studies in Digital Heritage*, 2(2), 138-149, https://doi.org/10.14434/sdh.v2i2.24460
- Chiabrando, F., Coletta, C. D., Sammartano, G., Spanò, A., & Spreafico, A. (2018). "TORINO 1911" PROJECT: A CONTRIBUTION OF A SLAM-BASED SURVEY TO EXTENSIVE 3D HERITAGE MODELING. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42(2).
- Arcuti, A., Bonasia, A. (2019). Il fascicolo del fabbricato digitale. Metodologie in ambito BIM come strumento strategico per le implementazioni delle piattaforme collaborative di asset management (polimi.it), Rel.: Pavan A.
- Özenen, M., Cabuk, S. (2019) Innovative methods in industry: VR applications. Paper presented at INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY in ŞANLIURFA
- Einaudi, D. (2019). *Utilizzo di sistemi UAV multi-sensore per la modellazione 3D e la realtà virtuale* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino), Rel.: Chiabrando F.
- Einaudi, D., Spreafico, A., Chiabrando, F., & Della Coletta, C. (2020). From Archive Documentation to Online 3d Model Visualization of no Longer Existing Structures: the Turin 1911 Project. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 837-844

Sitografia

- ALL3DP. The OBJ file format and 3D printing go hand in hand.
 Find out all you need to know about OBJ file format for CAD and 3D printing in this guide, 05/08/2020, Disponibile in: https://all3dp.com/1/obj-file-format-3d-printing-cad/
- Autodesk, (2016). Lo standard IFC: quando e come utilizzarlo, 01/10/2020, Disponibile in: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/ca mpaigns/emea/docs/livre-blanc-ifc-it.pdf
- CAD, Enciclopedia Treccani, vocabolario online, 15/09/2020
 Disponibile in: www.treccani.it/vocabolario/cad
- Close up Engineering, Architetto visualizzatore, la professione del futuro?, 10/08/2019, Disponibile in: https://buildingcue.it/architetto-visualizzatore-la-professionedel-futuro/12430/
- BIM, Enciclopedia Treccani, Enciclopedia Italiana, 15/09/2020, Disponibile in: www.treccani.it/enciclopedia/bim
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN ISO 16739-1:2020, Disponibile in: http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-16739-1-2020
- Fotogrammetria, Enciclopedia Treccani, Enciclopedia online, 04/09/2020, Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/fotogrammetria

- Furcolo, N. (2018). Decreto BIM: le regole e le scadenze per gli appalti pubblici, 03/10/2020, Disponibile in: http://biblus.acca.it/pubblicato-il-decreto-bim-le-nuove-regoleentrano-vigore-tra-15-giorni/
- Giorgio Pelassa, C'era una volta Torino 1911, Disponibile in: https://www.facebook.com/giorgio.pelassa.3/
- Giuseppe, C. (2018). *Oculus rift: la storia*, 24/07/2020, Disponibile in: https://paladintrue.com/it/blog/oculus-rift-la-storia/
- Hardware, Enciclopedia Treccani, vocabolario online, 28/08/2020
 Disponibile in: http://www.treccani.it/vocabolario/hardware/
- KHRONOS group, Collada overview, 05/08/2020, Disponibile in: https://www.khronos.org/collada/
- Interoperabilità, Enciclopedia Treccani, enciclopedia della scienza e della tecnica, 18/06/2020, Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/interoperabilita
- Marra, A. (2019). Obbligo del BIM in vigore per gli appalti pubblici dai 100 milioni di euro in su, 17/07/2020, Disponibile in: https://www.edilportale.com/news/2019/01/normativa/
- Realtà Aumentata, Enciclopedia Treccani, lessico del XXI secolo, 11/06/2020, Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/realta-aumentata
- Realtà Virtuale, Enciclopedia Treccani, lessico del XXI secolo, 11/06/2020, Disponibile in: http://www.treccani.it/enciclopedia/realta-virtuale

- Software, Enciclopedia Treccani, vocabolario online, 28/08/2020,
 Disponibile in: http://www.treccani.it/vocabolario/software/
- World's fair in Italy, Guides and maps, 02/06/2020 Disponibile in: http://www.italyworldsfairs.org/basic/GI/Guides_Itineraries
- https://www.buildingsmart.org/
- http://win.fondazionemarazza.it/web/archivio-stefano-molli.asp
- https://www.htc.com/it/
- https://lumion.com/
- https://www.oculus.com/rift/?locale=it_IT
- http://www.rilievo.poliba.it/studenti/aa04/marzocca/fotog/f_orient.htm
- https://unity.com/
- https://www.unrealengine.com/en-US/
- https://www.unrealengine.com/en-US/twinmotion
- https://www.vive.com/sea/

LISTA DELLE IMMAGINI

Le immagini prive di fonte risultano essere elaborazioni personali

- 1- Torino Esposizione 1911: Monografia Illustrata edita della Direzione Generale del Touring Club Italiano, fonte: World's fairs Italian style, http://www.italyworldsfairs.org
- 2- Ipotesi esedra nel complesso delle Industrie Artistiche, Scala 1:100 da Archivio Stefano Molli, SM159
- 3- Pianta piano terra, scala 1:100, padiglione francese, fonte: Archivio Stefano Molli, SM159
- 4- Visualizzazione multipla degli elaborati in Archicad
- 5- Comparazione tra flusso di lavoro tradizionale e con tecnologia BIM, elaborazione personale
- 6- Schema funzionale per la comprensione della tecnologia BIM, fonte: syncronia, www.syncronia.com
- 7- BIM negli appalti pubblici, fonte: Tesi A. Arcuti-A. Bonasia
- 8- Organizzatore progetto in Archicad
- 9- Schema esemplificativo IFC
- 10- Schema esemplificativo COLLADA, fonte: myschumi, www.myshumi.net
- 11- Stereo-autografo, fonte: Imperial War Museum, https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoautograph
- 12- Fotogramma singolo, fonte: tesi E. Borgogno, https://webthesis.biblio.polito.it/6337/
- 13- Fotogramma doppio: tesi E. Borgogno, https://webthesis.biblio.polito.it/6337/
- 14- Orientamento interno della camera
- 15- Viste convergenti, fonte: Advanced Geographic Research
- 16- Punti di presa delle immagini, fonte: GSP216
- 17- Comparazione render CPU-GPU, fonte: www.boxx.com, di: Joe Pizzini
- 18- Comparazione tra i due software, da: YouTube, di: UGuruz
- 19- Visualizzazione di fotografie storiche in AR, fonte: geo-information Technologies...
- 20- Locandina pubblicitaria del Sensorama
- 21- Oculus Rift

- 22- HTC Vive
- 23- Mappa dell'esposizione
- 24- Funicolare elettrica di collegamento tra le due sponde del Po
- 25- Copertina del giornale ufficiale illustrato dell'esposizione, fascicolo n° 20
- 26- Padiglione della Città di Torino, Padiglione dell'Ungheria, Padiglione della Francia, Ponte Monumentale, estratto rielaborato, fonte: Guida pratica per visitare la Esposizione internazionale
- 27- Padiglione della città di Torino, fronte verso il parco e il padiglione dell'Ungheria
- 28- Padiglione della Francia
- 29- Ponte monumentale e fontana
- 30- Padiglione dell'Ungheria, fronte verso il Po
- 31- Render in sezione del Ponte Monumentale
- 32- Render del padiglione dell'Ungheria
- 33- Render del padiglione Città di Torino
- 34- Sezione del padiglione della Francia, fonte: archivio Stefano Molli
- 35- Planimetria raffigurante padiglione francese e complesso monumentale, fonte: archivio Stefano Molli
- 36- UltraCam Eagle Mark 2 f100, fonte: vexcel-imaging.com
- 37- Posizionamento fotografie risultanti dal volo
- 38- Fotografie importate e visualizzate nel software
- 39- Visualizzazione della nuvola di punti
- 40- Dati del rilievo
- 41- Punti di controllo a terra
- 42- Visualizzazione della mesh precedentemente alla texturizzazione
- 43- Visualizzazione della mesh texturizzata
- 44- Ritaglio della mesh in corrispondenza dei padiglioni analizzati in Agisoft Metashape
- 45- Parametri della nuvola intera
- 46- Parametri della nuvola tagliata
- 47- Generazione della normal-map in Adobe Photoshop
- 48- Mesh divisa in più parti
- 49- Unione delle parti
- 50- Parametri di un muro BIM
- 51- Parametri oggetto
- 52- Parametri morph modificabile
- 53- Esempio di un abaco riassuntivo degli infissi
- 54- Messaggio di errore dopo il tentativo di importazione in .3dm

- 55- Processo di importazione per estensioni diverse
- 56- Trasformazione in morph
- 57- Parametri descrittivi in Archicad
- 58- Padiglione della città di Torino importato in Archicad
- 59- Modello del padiglione sezione
- 60- Padiglione della Francia, fronte sul fiume Po
- 61-Sezione prospettica
- 62- Assonometria
- 63- Unità di misura
- 64- Set di penne
- 65- Pianta piano terra
- 66- Prospetto lungo Po
- 67- Sezione A-A
- 68- Organizzatore delle storie
- 69- Maglia strutturale dell'edificio
- 70- Colonna in facciata
- 71- Colonna interna
- 72- Assonometria della struttura dell'edificio, sezionata al piano 0
- 73- Tendina dei parametri relativi agli infissi
- 74- Selettore per parametri
- 75- Spicchio di cupola modellato tramite gli strumenti geometrici
- 76- Capitello corinzio e parametri dell'oggetto
- 77- Mesh del terreno importata nel software
- 78- Organizzatore di progetto con le cartelle contenti le StaticMesh
- 79- Character blueprint class
- 80- Lista degli input
- 81- Script del materiale acqua
- 82- Material instance
- 83- PostProcessVolume
- 84- Sphere reflection capture
- 85- Complex collision
- 86- Tipologie di collisione
- 87- Aggiunta di una capsula di collisione
- 88- Importazione content pack della virtual reality
- 89- Inserimento del Motion Controller Pawn
- 90- Visualizzazione della mesh navigabile
- 91- Esportazione
- 92-Sequencer