

GIULIA CAFORIO

**APPLICAZIONI DI REALTÀ VIRTUALE PER  
L'ACCESSIBILITÀ NEI MUSEI**





**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità

A.a. 2023/24

Sessione di Laurea Luglio 2024

**Applicazioni di Realtà Virtuale per  
l'Accessibilità nei Musei**

Relatore:  
Anna Osello

Candidato:  
Giulia Caforio

Correlatore:  
Nicola Rimella



## ABSTRACT

---

Negli ultimi anni, l'uso delle "tecnologie di Realtà Virtuale" in ambito museale ha avuto un incremento in quanto, oltre a stupire e attrarre i visitatori, esse costituiscono una possibile soluzione per migliorare l'inclusività e superare le barriere architettoniche negli edifici storici. I musei hanno subito un costante cambiamento ed una evoluzione della loro natura e dei loro obiettivi nel tempo; un tempo, la loro fruizione era rivolta per lo più a un pubblico con un elevato grado di istruzione, mentre oggi sono un punto di incontro per diffondere la conoscenza del patrimonio culturale a un pubblico sempre più ampio. Tutto ciò non sarebbe stato possibile se dietro non ci fosse stata un'attenzione particolare per l'inclusività e l'accessibilità.

Questo lavoro di tesi prende spunto dagli studi condotti negli ultimi anni attorno ai temi di Accessibilità e Realtà Virtuale nei Musei per la realizzazione di due applicativi orientati all'inclusione di Palazzo Carignano. Più precisamente, il caso studio è lo Scalone guariniano di Palazzo Carignano e gli applicativi sviluppati sono rivolti alle persone con disabilità motoria e alle persone temporaneamente impossibilitate a recarsi a Palazzo. Il primo applicativo intende somministrare contenuti didattici tramite "gamification" attraverso una missione da compiere in un ambiente virtuale che replica lo Scalone guariniano di Palazzo Carignano; il secondo, è un tour virtuale di Palazzo Carignano realizzato con fotografia a 360 gradi.



## INDICE

---

<b>I</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE</b>	<b>1</b>
1	INTRODUZIONE	3
2	STATO DELL'ARTE	5
2.1	Realtà Virtuale	5
2.2	Building Information Modeling	10
2.3	Retopology	16
2.4	Museo Virtuale	19
2.5	Accessibilità nei musei	25
3	CASO STUDIO	35
3.1	Palazzo Carignano	35
3.1.1	Lo Scalone guariniano	40
<b>II</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>43</b>
4	APPLICATIVO DI REALTÀ VIRTUALE	45
4.1	Utenza	45
4.2	Workflow	46
4.3	Creazione del modello BIM	47
4.3.1	Creazione delle famiglie: colonna	48
4.3.2	Ottimizzazione del modello	57
4.4	Unreal Engine 5 vs Unity	59
4.4.1	Unreal Engine 5	60
4.5	Sviluppo dell'applicativo VR	62
4.5.1	Contesto	62
4.5.2	Illuminazione	63
4.5.3	Materiali	64
4.5.4	Personaggi e dialoghi	64
4.5.5	Menù e pacchetto	80
5	APPLICATIVO CON FOTOGRAFIA 360	81
5.1	Utenza	81
5.2	Workflow	82
5.3	Foto a 360 gradi	83
5.3.1	Raccolta	83
5.3.2	Elaborazione	84
5.4	Kuula	85
5.5	Sviluppo dell'applicativo 360	88
5.5.1	Formato .hdr	88
5.5.2	Teletrasporto e mappe	90
5.5.3	Visore	92
5.5.4	Pacchetto	94
<b>III</b>	<b>CONSIDERAZIONI</b>	<b>95</b>
6	APPLICATIVI VR E 360	97

6.1	Risultati	97
6.2	Limiti	97
6.3	Sviluppi futuri	98

BIBLIOGRAFIA	99
--------------	----

## ELENCO DELLE FIGURE

---

Figura 1	Reality-Virtuality continuum di Paul Milgram [17]	6
Figura 2	Evoluzione temporale normativa [29]	10
Figura 3	La progressiva obbligatorietà del BIM secondo il DM 560/2017 [35]	13
Figura 4	Mappa della normativa volontaria[35]	13
Figura 5	Il quadro normativo[35]	14
Figura 6	Interfaccia di Instant Meshes	18
Figura 7	Interfaccia di Quad Remesher	18
Figura 8	Facciata di Palazzo Carignano (Lato Piazza Carignano), Fondazione Francesco Corni © [31]	36
Figura 9	Facciata principale di Palazzo Carignano (lato Piazza Carlo Alberto), Fondazione Francesco Corni © [31]	37
Figura 10	Spaccato di Palazzo Carignano, Fondazione Francesco Corni © [31]	37
Figura 11	Scorcio dello Scalone guariniano, Mostra del Barocco piemontese 1937, Fondazione 1563 [37]	41
Figura 12	Dettaglio dei lastroni della pavimentazione al piano nobile	47
Figura 13	Edit/Normals/Compute	48
Figura 14	Calcolo delle normali	48
Figura 15	Plugins/PoissonRecon	49
Figura 16	Ricostruzione della superficie con l’algoritmo di Poisson	49
Figura 17	Scalar Field params: visualizzazione della densità dei punti	49
Figura 18	Edit/Scalar fields/Filter By Value	50
Figura 19	Eliminazione delle zone con meno densità	50
Figura 20	Edit/Mesh/Smooth (Laplacian)	50
Figura 21	Miglioramento della mesh con il comando Smooth (Laplacian): Iterations	51
Figura 22	Miglioramento della mesh con il comando Smooth (Laplacian): Smoothing factor	51
Figura 23	Risultato finale. Peso del file: 41.664 MB	52
Figura 24	Interfaccia di Instant Meshes	53
Figura 25	Orientation field/Solve	53
Figura 26	Tracciamento delle linee guida	54
Figura 27	Position field/Solve	54
Figura 28	Tracciamento di ulteriori linee guida	54

Figura 29	Export Mesh/Extract Mesh/Save .obj (Peso del file: 1.250 MB)	55
Figura 30	Visualizzazione su Unreal Engine 5 della Mesh di partenza (a destra) e della mesh ottimizzata (a sinistra)	55
Figura 31	Confronto tra la mesh originale da CloudCompare (a destra), la mesh con massima ottimizzazione (a sinistra) e la mesh con media ottimizzazione (al centro)	56
Figura 32	Confronto tra la mesh originale da CloudCompare (a destra), la mesh con massima ottimizzazione (a sinistra) e la mesh con media ottimizzazione (al centro)	56
Figura 33	Interoperability Tools	57
Figura 34	Model Checker Setup: Revit 2023 Best Practices	58
Figura 35	Model Checker Setup: Models to Be Checked	58
Figura 36	Model Checker View Report	58
Figura 37	Vista dell'androne	62
Figura 38	Vista della facciata di Palazzo Carignano sull'omonima Piazza	63
Figura 39	Vista dello Scalone guariniano	63
Figura 40	Accesso all'Aula del Parlamento Subalpino	64
Figura 41	Accesso allo scalone dall'Aula del Parlamento Subalpino	65
Figura 42	Vista dell'Aula del Parlamento Subalpino (1)	65
Figura 43	Vista dell'Aula del Parlamento Subalpino (2)	65
Figura 44	Personaggio 1 "Benvenuto a Palazzo Carignano!"	66
Figura 45	Personaggio 1 "Sono Gaia ed oggi ti aiuterò nella tua missione!"	66
Figura 46	Personaggio 1: racconta la storia di Palazzo Carignano	67
Figura 47	Personaggio 1: racconta la storia di Palazzo Carignano	67
Figura 48	Personaggio 1: racconta la storia di Palazzo Carignano	67
Figura 49	Personaggio 1: introduce la missione	68
Figura 50	Personaggio 1: spiega la missione	68
Figura 51	Personaggio 1: invita ad entrare	68
Figura 52	Personaggio 2: spiega la missione	69
Figura 53	Personaggio 2: racconta la storia	69
Figura 54	Personaggio 2: pone la domanda	70
Figura 55	Personaggio 2: risposta corretta	70

Figura 56	Personaggio 1: frase random 1 che compare nelle interazioni successive, dopo che si è risposto correttamente	71
Figura 57	Personaggio 1: frase random 2 che compare nelle interazioni successive, dopo che si è risposto correttamente	71
Figura 58	Personaggio 3: "Pronto per rispondere alla seconda domanda?" risposta "No"	72
Figura 59	Personaggio 3: si è liberi di rispondere alle domande quando si vuole	72
Figura 60	Personaggio 3: "Pronto per rispondere alla seconda domanda?" risposta "Si"	73
Figura 61	Personaggio 2: racconta la storia	73
Figura 62	Personaggio 3: scelta della risposta sbagliata	74
Figura 63	Personaggio 3: possibilità di riprovare dopo aver dato una risposta errata	74
Figura 64	Personaggio 3: risposta corretta, indica dove andare	75
Figura 65	Personaggio 4: "Pronto per rispondere all'ultima domanda?"	76
Figura 66	Personaggio 4: racconta la storia	76
Figura 67	Personaggio 4: pone la domanda	77
Figura 68	Personaggio 4: risposta sbagliata e possibilità di selezionare "Puoi ripetere la domanda?"	77
Figura 69	Personaggio 4: ripete la storia	78
Figura 70	Personaggio 4: pone nuovamente la domanda	78
Figura 71	Personaggio 4: risposta corretta, tutte le prove sono state superate, è possibile accedere all'Aula del Parlamento dietro il personaggio 4	79
Figura 72	Personaggio 1: frase random che compare nelle interazioni successive, dopo che si è risposto correttamente	79
Figura 73	Menù principale	80
Figura 74	Premendo il tasto "P" da tastiera si ha la possibilità di mettere il gioco in pausa quando si desidera	80
Figura 75	Insta360 Pro 2 Specifiche dettagliate [34]	83
Figura 76	Facciata esterna di Palazzo Carignano (foto 360) su Kuula	86
Figura 77	Descrizione all'interno del tour	86
Figura 78	Foto 360 dell'androne nel tour creato con Kuula e indicazione del percorso di visita	86
Figura 79	Terza tappa del tour virtuale con Kuula con freccia per spostarsi nella tappa successiva	87

Figura 80	L'attore HDRI Backdrop con la cupola con la texture vista dall'esterno nell'ambiente di lavoro UE5	89
Figura 81	Facciata esterna di Palazzo Carignano vista in modalità immersiva con visore. Nella vista compare il "bottono" per aprire il livello successivo	90
Figura 82	Vista dello scalone in modalità immersiva con visore	90
Figura 83	Mappa "Tu sei qui" in modalità immersiva con visore	91
Figura 84	Menu contenente la mappa tramite cui è possibile spostarsi in un ambiente a scelta, senza dover seguire il percorso di visita	91
Figura 85	Visore Meta Quest 3 di Meta con i controller	93
Figura 86	Specifiche del visore Meta Quest 3 di Meta	[36] 93

## ACRONIMI

---

XR	Extended Reality
AR	Augmented Reality
MR	Mixed Reality
VR	Virtual Reality
BIM	Building Information Modeling
UE5	Unreal Engine 5

Parte I

INQUADRAMENTO GENERALE



## INTRODUZIONE

---

I "musei" rappresentano un collegamento tra la storia passata e futura della civilizzazione e consentono di entrare in contatto con le culture antiche, cosa che riempie le persone di meraviglia, conoscenza e incanto. Per questa ragione, è un diritto avere accesso a una cultura senza barriere, sia fisiche sia virtuali.

Implementare l'accessibilità nei musei è fondamentale per garantire che tutte le persone possano godere pienamente delle esperienze culturali ed educative proposte.

Il termine "accessibilità" fa sia riferimento all'aspetto fisico, e da questo punto di vista si agisce assicurando la presenza di rampe e ascensori, porte automatiche, bagni accessibili, ad esempio; sia all'aspetto cognitivo e sensoriale, tanto nello spazio reale quanto in quello virtuale.

Negli ultimi anni, sono stati condotti numerosi studi sull'uso di tecnologie immersive nella didattica museale, dimostrando come la realtà virtuale può favorire un impegno multisensoriale e migliorare l'esperienza dei visitatori nei musei. Sebbene il potenziale delle tecnologie immersive non sia stato completamente esplorato, esse possono essere considerate un prezioso strumento per la creazione di esperienze culturali inclusive finalizzate all'apprendimento in modo accattivante del patrimonio storico.

Il lavoro in questione parte dagli studi realizzati per la creazione di due applicativi per l'abolizione virtuale delle barriere fisiche che possono essere incontrate negli edifici storici, i quali, in quanto di enorme pregio, non potranno mai essere modificati con l'installazione di montascale e simili. Inoltre, secondo obiettivo della tesi è presentare contenuti educativi facendo divertire l'utente, secondo la visione attuale dei musei come luoghi che non devono solo soddisfare la loro missione educativa, ma anche fornire esperienze coinvolgenti per attirare i visitatori.

Il primo step del lavoro è stato la ricerca di articoli scientifici recenti, risalenti agli ultimi tre anni, intorno alla questione della Realtà Virtuale nei Musei legata al tema dell'Accessibilità; sono stati trovati casi studio a Torino, in Italia e fuori dall'Italia. Successivamente, è stato effettuato un approfondimento della storia di Palazzo Carignano, scegliendo come oggetto dell'applicativo vir-

tuale lo Scalone guariniano, emblema dell'inaccessibilità.

Il risultato del lavoro è rappresentato due applicativi: un applicativo di Realtà Virtuale da usare con PC e tastiera e un applicativo con fotografie 360 da usare con visore; entrambi sono stati realizzati con il motore di gioco Unreal Engine. Nella realizzazione dell'applicativo di Realtà Virtuale, si è partiti dalla creazione di un modello BIM su Revit, con alcuni elementi più significativi generati da nuvola di punti, per poi importare tutto su Unreal Engine 5 per realizzare il tour virtuale. Per l'applicativo con le fotografie a 360 gradi sono state scattate una serie di foto a 360 gradi dello Scalone guariniano posizionando la fotocamera 360 su treppiede in vari punti; le fotografie sono state, in seguito, elaborate e importate su Unreal Engine 5 per la creazione di un tour virtuale che segue il reale percorso di visita.

## 2.1 REALTÀ VIRTUALE

Negli ultimi decenni si è assistito alla nascita e all'evoluzione delle cosiddette "tecnologie immersive", le quali alterano o migliorano la percezione della realtà da parte dell'utente. Le tecnologie immersive sono ora impiegate in vari settori come l'intrattenimento, l'educazione, la medicina, l'architettura, il design e molti altri, proprio perchè capaci di migliorare l'esperienza utente e di fornire nuove opportunità per l'interazione e l'apprendimento.

Le esperienze immersive esistenti appartengono alla categoria della "Extended Reality" (XR), che le racchiude tutte. Questo è un termine relativamente nuovo emerso con l'evoluzione delle tecnologie immersive quali la "Realtà Aumentata" (AR), la "Realtà Virtuale" (VR) e la "Realtà Mista" (MR).

### 1. Realtà Aumentata.

L'AR sovrappone elementi digitali (immagini, suoni, informazioni) al mondo reale. Gli strumenti utilizzati per la visualizzazione possono essere il proprio smartphone, un tablet o occhiali AR.

### 2. Realtà Virtuale

La VR immerge completamente l'utente in un ambiente virtuale generato dal computer e isolandolo dal mondo reale. Gli strumenti usati sono i visori VR, che coprono completamente il campo visivo dell'utente, spesso accompagnati da cuffie per l'audio immersivo. Nella VR l'utente può esplorare e interagire con l'ambiente virtuale, che può essere completamente diverso dal mondo reale.

### 3. Realtà Mista

La MR combina elementi della realtà virtuale e aumentata, permettendo l'interazione tra oggetti digitali reali e il mondo digitale reale contemporaneamente. In MR gli oggetti virtuali non solo sono sovrapposti al mondo reale, ma possono anche interagire con lo stesso.

E' difficile individuare il momento preciso in cui si è iniziato a usare il termine Extended Reality (XR); tuttavia si sa che ha preso forma negli ultimi dieci anni e si è consolidato soprattutto nel 2010

con l'aumento delle applicazioni commerciali e la convergenza delle tecnologie immersive appena elencate.

Punti chiave sono stati:

- Le prime sperimentazioni con la Virtual Reality (VR) risalgono agli anni Sessanta, quando Morton Heilig inventa il "Sensorama", un dispositivo meccanico che forniva un'esperienza multisensoriale.
- La Augmented Reality (AR) ha radici negli anni Novanta. Il termine è stato coniato da Tom Caudell, un ricercatore della Boeing, principalmente per applicazioni in ambito industriale e militare.
- La Mixed Reality (MR) è un concetto più recente, con il termine spesso attribuito a Microsoft, che ha promosso la sua piattaforma HoloLens nel 2016.

**REALITY-VIRTUALITY CONTINUUM** Per comprendere meglio il tema delle tecnologie immersive, Paul Milgram introduce, nel 1995, il concetto di "Reality-Virtuality continuum" [10]. Egli descrive un continuum dallo spazio completamente reale allo spazio completamente virtuale; al centro di questo continuum vi sono la Realtà Aumentata, più vicina al mondo reale, e la Virtualità Aumentata, più vicina al mondo virtuale. Perciò, spiega Milgram, la Realtà Aumentata differisce dalla Virtualità Aumentata per il fatto che quest'ultima immerge l'utente in un mondo completamente virtuale.

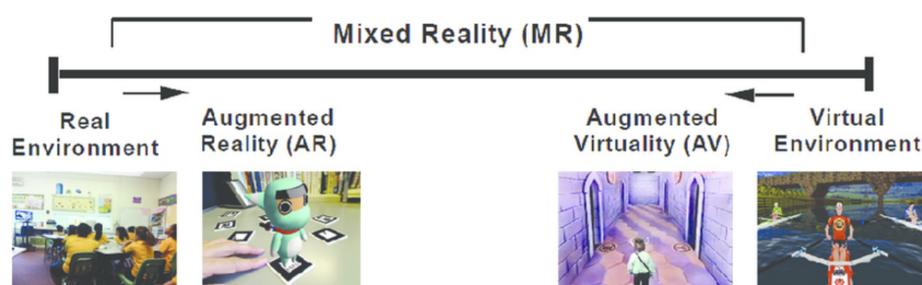


Figura 1: Reality-Virtuality continuum di Paul Milgram [17]

#### LA REALTÀ VIRTUALE

“Simulazione all’elaboratore di una situazione reale con la quale il soggetto umano può interagire, a volte per mezzo di interfacce non convenzionali, estremamente sofisticate, quali occhiali e caschi su cui viene rappresentata la scena e vengono riprodotti i suoni, e guanti (dataglove) dotati di sensori per simulare stimoli tattili e per tradurre i movimenti in istruzioni per il software. Simili tecniche sono usate, tra l’altro, nei videogiochi, nell’addestramento militare

dei piloti e nella modellistica di sistemi microscopici, per es. nello studio delle proprietà delle biomolecole.” da Enciclopedia Treccani

Il termine “Virtual Reality” viene coniato nel 1986 da Jaron Lanier, fondatore di Visual Programming Lab (VPL). La realtà virtuale mira a creare un ambiente virtuale che dia l’impressione, a chi lo sperimenta, di trovarvisi realmente immerso. L’idea iniziale si deve al regista e inventore Morton Heilig il quale, nel 1962, inventò il Sensorama, una macchina che a teatro coinvolgeva non più solo la vista e l’udito, ma anche l’olfatto e il tatto dell’osservatore. La realtà virtuale come la conosciamo oggi nasce insieme con la possibilità di creare scenari e paesaggi tridimensionali al computer all’interno dei quali il soggetto (avatar) può muoversi [48].

L’evoluzione tecnologica avutasi negli ultimi anni nel campo della realtà virtuale, unita alla riduzione dei costi, ha riaperto l’interesse verso questa tecnologia, soprattutto in ambito di videogiochi e intrattenimento in generale.

Sono molti i campi di applicazione della VR [12]:

1. Intrattenimento e cultura.

Negli ultimi anni, in effetti, si è iniziata ad usare la VR a scopo educativo per cercare di attrarre i più giovani, tendenzialmente più interessati alle novità tecnologiche, ai videogiochi. È in quest’ottica che sempre più musei introducono tour virtuali, ecc...

2. Architettura.

È importare la pratica detta “Architectural visualization”, che permette al cliente di vedere il risultato finale del progetto di nuovo intervento o ristrutturazione, prima ancora che sia stato costruito, riprodotto fedelmente in 3D. La pratica permette, inoltre, di apportare modifiche più facilmente, risparmiando tempo e denaro e riducendo gli errori progettuali. Nella progettazione di grandi opere e grattacieli, infine, la VR aiuta ad ottimizzare il processo costruttivo, simulare e risolvere eventuali criticità e ridurre così il tempo di realizzazione.

3. Istruzione, produzione e marketing, militare.

In conclusione, sicuramente si nota un interesse generale per la VR, e il potenziale è molto. Vi sono d’altro canto aspetti non ancora approfonditi, per esempio la questione etica di far entrare queste tecnologie nella vita di tutti i giorni, ovvero il problema della privacy e dell’influenza che la tecnologia può avere sulle persone [38].

**GLI STRUMENTI DELLA REALTÀ VIRTUALE** Alcuni dei principali dispositivi e accessori utilizzati per immergere l’utente in ambienti virtuali interattivi sono

## 1. Visori VR (Head-Mounted Displays, HMD):

- Oculus Rift: Uno dei primi visori moderni sviluppato da Oculus VR, ora di proprietà di Facebook.
- HTC Vive: Un visore di alta qualità sviluppato da HTC e Valve Corporation.
- PlayStation VR: Un visore progettato per funzionare con la console PlayStation di Sony.
- Valve Index: Un visore avanzato sviluppato da Valve, noto per la sua risoluzione e frequenza di aggiornamento.
- Meta Quest 3: Un visore standalone che può anche essere usato senza un PC o una console.

## 2. Controller di movimento:

- Oculus Touch Controllers: Controller ergonomici che permettono di interagire con l'ambiente VR.
- HTC Vive Controllers: Controller utilizzati con il visore HTC Vive per un'interazione precisa.
- PlayStation Move Controllers: Utilizzato con la PlayStation VR per tracciare i movimenti delle mani.
- Valve Index Controllers: Controller avanzati che permettono di tracciare le singole dita.

## 3. Sensori di tracciamento:

- Base Stations: Utilizzate con HTC Vive e Valve per tracciare la posizione del visore e dei controller nello spazio.
- Oculus Sensors: Utilizzati con visori Oculus Rift per tracciare i movimenti dell'utente.

## 4. Accessori aggiuntivi:

- Guanti VR: Permettono di tracciare i movimenti delle mani e delle dita con grande precisione.
- Piattaforme di camminata o Treadmill VR: Dispositivi che permettono all'utente di camminare fisicamente sul posto mentre si muove nell'ambiente VR.
- Tute VR: Indumenti che forniscono feedback aptico in tutto il corpo per un'esperienza più immersiva.
- Auricolari e cuffie: Per un audio spaziale tridimensionale.

## 5. Software:

- Piattaforme VR: Ad esempio SteamVR, Oculus Home e PlayStation VR, necessarie per collegare il dispositivo all'applicazione VR.

- Tool di sviluppo: I più usati sono Unity e Unreal Engine, offrono strumenti e librerie per creare contenuti VR.

6. PC VR Ready: Computer con hardware adeguato, con schede grafiche potenti, CPU rapide e abbastanza RAM, per eseguire contenuti VR senza problemi.

**IL METAVERSO** Il termine "Metaverso" è comparso per la prima volta nel 1992 nel romanzo Snow Crash di Neal Stephenson, il quale lo usa per indicare uno spazio tridimensionale all'interno del quale persone fisiche possono muoversi, condividere e interagire.

Se consideriamo la sua etimologia, il termine è costituito dal prefisso "meta-" (oltre) e la parola "universo", prendendo quindi il significato di "oltre l'universo".

Il metaverso è uno spazio condiviso nel quale si possono fare molte attività: andare ad una mostra [32] e comprare opere con NFT in un museo esclusivamente virtuale [40] sono solo due dei molti scenari già possibili.

## 2.2 BUILDING INFORMATION MODELING

“Use of a shared digital representation of a built object (including buildings, bridges, roads, process plants, etc.) to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions” da UNI EN ISO 19650-1

*Comprensione del BIM attraverso il quadro normativo di riferimento.*

La definizione più aggiornata di BIM mette in risalto l'importanza di essere non soltanto un modello, ma un “processo di modellizzazione”, ovvero di attività di condivisione di informazioni, provenienti da varie discipline, per ottimizzare le fasi di progettazione, costruzione e gestione ed indirizzare le decisioni in ambito edile e non solo, per mezzo di programmi su computer, a tutte le scale e ai diversi livelli di dettaglio. Un'altra importante caratteristica del BIM è la parametrizzazione di ogni informazione inserita [23].

Per inquadrare il BIM nel suo contesto generale, è fondamentale presentare il suo scenario normativo: questo si apre nel 2009 con la UNI 11337 “Edilizia e opere di ingegneria civile - Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Identificazione, descrizione e interoperabilità”. Tale norma non tratta direttamente il BIM, ma aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel settore delle costruzioni: anticipa i concetti ripresi dalla UNI EN ISO 19650. Fra i concetti trattati vi sono i LOD (Level Of Development), la cui evoluzione sono i LOIN (Level Of Information Need) della UNI EN 17412-1, e le figure professionali che operano con il BIM, individuando i loro compiti specifici e le loro competenze.

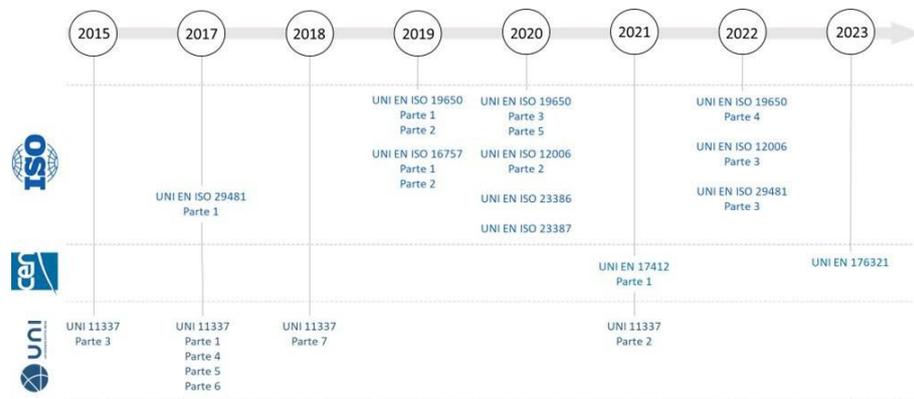


Figura 2: Evoluzione temporale normativa [29]

Norma centrale per il BIM è sicuramente la UNI EN ISO 19650 “Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all’edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modeling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modeling”.

Essa presenta cinque parti:

- Parte 1. Concetti e principi del 2019:  
Esplicita i concetti cardine, che sono la consegna, la gestione e lo scambio dati durante tutto il ciclo di vita dell'immobile e sono approfonditi nelle parti successive della norma.
- Parte 2. Fase di consegna dei cespiti immobili del 2019:  
Fa riferimento alla fase di consegna dei cespiti immobili e promuove l'uso di tutta la documentazione necessaria per la condivisione, quale: capitolato informativo, offerta di gestione informativa, piano generale di consegna delle informazioni, piano di consegna delle informazioni del gruppo incaricato, piano di mobilitazione del gruppo di fornitura, piano di gestione informativa.
- Parte 3. Fase gestionale dei cespiti immobili 2020:  
Approfondisce la fase gestionale per la corretta gestione dei dati.
- Parte 4. Scambio di informazioni del 2020:  
Tratta i processi collaborativi e di scambio e indica come vettori di questi i contenitori informativi e l'ambiente di condivisione dei contenitori informativi (ACDat, Common Data Environment).
- Parte 5. Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa del 2020:  
Tratta il piano di gestione della sicurezza e il piano di gestione della violazione/incidenti della sicurezza digitale.

Altre norme legate al BIM da sottolineare:

- UNI EN ISO 16757:  
"Strutture dati per i cataloghi elettronici di prodotto per i servizi in edilizia" - Analizza tutti gli aspetti legati ai prodotti, quali il tipo di proprietà ad essi legati, le geometrie, le varie descrizioni, ecc..
- UNI EN ISO 12006:  
"Edilizia - Organizzazione dell'informazione delle costruzioni"  
- Orientata a definire le informazioni e il linguaggio macchina per indicare univocamente i dati.
- UNI EN ISO 23386:  
"Metodologia per descrivere, creare e mantenere proprietà nei dizionari di dati interconnessi".
- UNI EN ISO 23387:  
"Building Information Modeling (BIM) - Modelli di dati per oggetti da costruzione utilizzati nel ciclo di vita dei beni edilizi -

Concetti e principi” - Come la precedente rappresenta il tentativo di organizzare e regolare i dati del processo digitale secondo una strutturazione precisa [39].

- UNI EN ISO 29481-3:  
“Modelli di informazioni di edifici - Guida per lo scambio di informazioni”.

Tra le norme di riferimento approvate dal CEN (Comité Européen de Normalisation) si individuano:

- UNI EN 17412-1:  
“Building Information Modeling - Livello di fabbisogno informativo” - Definisce i requisiti informativi in presenza di un processo BIM, è stata la prima norma europea sul BIM guidata dall'Italia [21].
- UNI EN 17632-1:  
“Building Information Modeling - Modellazione e collegamento semantico (SML)” - Fa riferimento ai temi della modellazione e degli oggetti, delle proprietà e della descrizione, ponendo attenzione sulle relazioni fra i dati, i simboli e il linguaggio [29].

In Italia, nel 2016, il Governo ha emanato il noto “Codice dei contratti pubblici”, ovvero il Decreto Legislativo 19 aprile 2016 n. 50 che attua le direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE riguardanti l'aggiudicazione dei contratti di concessione, degli appalti pubblici e delle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali ed infine per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture. In particolare, all'art. 23 comma 13 il Codice prevede “per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici che utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari”. Successivamente, con il Decreto Ministeriale 560 dell'1 dicembre 2017 (Decreto Baraton) il Ministero ha redatto le linee guida attuative cui far riferimento riguardo le modalità e i tempi per la progressiva introduzione dell'obbligo per l'uso dei metodi e degli strumenti elettronici specifici. Dal 2019 è entrato, dunque, in vigore il BIM negli appalti pubblici, dapprima per lavori complessi superiori a cento milioni di euro e, progressivamente, per tutte le opere entro il 2025.

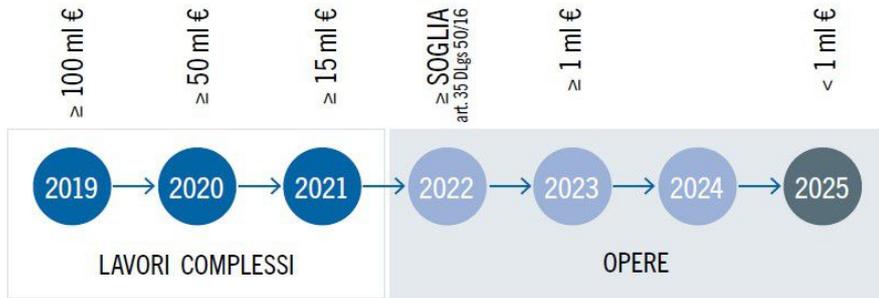


Figura 3: La progressiva obbligatorietà del BIM secondo il DM 560/2017 [35]

Il Decreto Ministeriale 312 del 2 agosto 2021 (Decreto Baratono 2), in particolare l’art. 7, introduce l’affidamento alle norme tecniche volontarie, internazionali, europee o nazionali, del ruolo di assicurare l’uniformità di metodi, strumenti e specifiche applicative per tutto ciò che è inerente al BIM negli appalti pubblici. La norma scaturisce da un progetto di condivisione e consenso che permette di allineare le normative alle esigenze di mercato dal momento che sono gli attori stessi ad elaborare le norme tecniche. Il DM 312/2021 propone, quindi, la valorizzazione della centralità della normazione come soluzione per il miglior utilizzo del BIM nei processi edilizi. Inoltre, chiarisce la confusione creata dal Decreto Semplificazioni 73/2022, che stabiliva che i progetti finanziati dal PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) fossero preferibilmente in BIM, dimenticando che il Decreto Baratono già prevede per quali appalti utilizzarlo[28] [35].

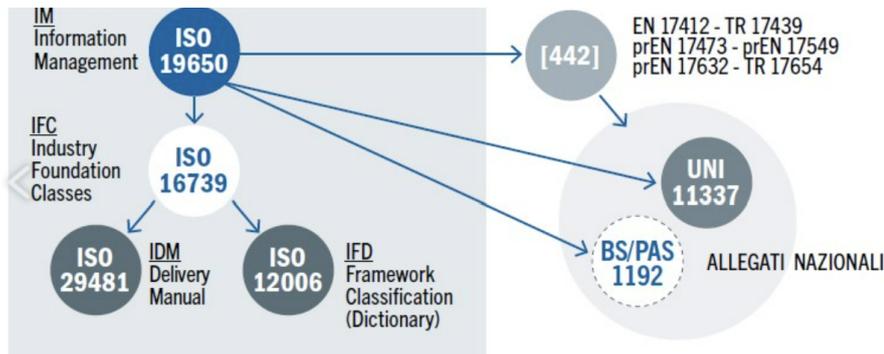


Figura 4: Mappa della normativa volontaria[35]

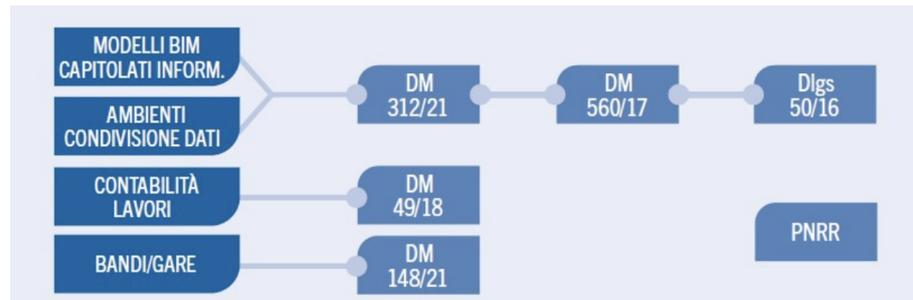


Figura 5: Il quadro normativo[35]

Il Codice dei Contratti Pubblici, il Decreto legislativo 36 del 2023, tratta metodi e strumenti di gestione informativa digitale delle costruzioni: “metodologie, processi e tecnologie abilitati dalla formulazione dei requisiti informativi e dalla modellazione dei dati, che permettono la collaborazione e lo scambio di dati strutturati tra i soggetti interessati durante tutte le fasi del ciclo di vita, in particolare finalizzati a mitigare e gestire i rischi, a migliorare lo studio della fattibilità e a incrementare l’efficacia di un investimento pubblico, nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione nel ciclo di vita dei cespiti fisici quali edifici, infrastrutture e reti”.

Il BIM è un modo completamente innovativo di gestire il ciclo di vita edilizio delle opere e grandi opere ingegneristiche. Prima del suo avvento il processo edilizio consisteva nello scambio di disegni (CAD). Con il BIM non si parla più di disegni, ma di “gemelli digitali” delle opere da realizzare: in questo modo è possibile identificare immediatamente le varie problematiche che in precedenza si sarebbero scoperte soltanto in cantiere. Il gemello digitale porta con sé informazioni non solo dal punto di vista geometrico (terza dimensione), ma anche riguardo ai tempi (quarta dimensione), costi (quinta dimensione), gestione e manutenzione (sesta dimensione), sostenibilità (settima dimensione). Di recente sono state introdotte altre tre dimensioni, anche se non ancora normate: gestione della sicurezza, lean construction (costruzione lean, snella: una raccolta di procedure che consentono di ottimizzare l’efficienza tramite un processo decisionale decentralizzato e una condivisione più ampia delle informazioni [47]) costruzione industrializzata [45].

Grazie all’incremento del quadro normativo in Italia, il mercato del BIM è notevolmente cresciuto nel corso degli ultimi anni. I vantaggi del suo utilizzo sono numerosi, quali l’aumento dell’efficienza, la facilità di interoperabilità tra i soggetti coinvolti nel processo, “il ruolo della qualità del dato e dell’informazione per incrementare l’efficienza e l’efficacia dei processi decisionali lungo tutte le fasi del processo edilizio o infrastrutturale” come si legge nel DL 36/2023. Da qui la necessità di incentivare la formazione professionale e l’acquisizione

di dispositivi digitali.

Non si dimentichi, però, che i processi che si intendono digitalizzare con il BIM sono complessi (infrastrutture, opere industriali) poiché derivanti dal mondo reale, con tutta la sua serie di variabili spesso imprevedibili; in questo caso c'è un sottile confine tra innovazione e semplificazione, con il rischio che la semplificazione eccessiva possa ostacolare la crescita. Inoltre, la digitalizzazione richiede strumenti costosi per cui occorre valutare il rientro dell'investimento o meno [25].

Nonostante i notevoli passi in avanti del quadro normativo italiano, in Italia si nota ancora, giustamente, un atteggiamento di diffidenza rispetto all'innovazione portata dal BIM. In effetti, molti sono i vantaggi portati dal BIM, e sicuramente può essere uno strumento fondamentale per il miglioramento del settore edilizio; preliminarmente, tuttavia, vanno affrontati i nodi legati alla digitalizzazione, perché altrimenti verrebbero enfatizzati e si otterrebbe l'effetto contrario.

*Rimodellazione e  
rettifica della  
topologia di modelli  
poligonali per  
l'ottimizzazione di  
modelli 3D ad alta  
risoluzione.*

### 2.3 RETOPOLOGY

La "retopologia" è un processo che consiste nella riorganizzazione e semplificazione della topologia, ovvero i vertici, gli spigoli e le facce, di un modello 3D per creare una mesh più pulita, efficiente e "animation-friendly". Questa tecnica è comunemente usata nella modellazione 3D, specialmente nello sviluppo di videogiochi, animazioni e nella produzione di film. Negli ultimi anni si stanno sperimentando anche altre applicazioni, ad esempio nell'ambito della semplificazione del patrimonio storico rilevato al fine di compiere analisi strutturali [16].

#### PERCHÈ LA RETOPOLOGIA È IMPORTANTE?

1. **Prestazioni:** Modelli ad alta risoluzione con una struttura della mesh molto densa possono essere costosi dal punto di vista computazionale quando si tratta di renderizzarli e animarli. La retopologia riduce il numero di poligoni, rendendo il modello più efficiente.
2. **Animazione:** Una topologia pulita e ottimizzata assicura una migliore deformazione durante l'animazione.
3. **Mappatura UV<sup>1</sup>:** Una topologia semplificata facilita la creazione delle mappe UV per la texturizzazione.
4. **Editing:** Modelli con una topologia pulita sono più semplici da editare e modificare.

**IL PROCESSO** Il processo della retopologia può essere riassunto in quattro punti:

1. **Preparazione:** Il punto di partenza è un modello ad alta risoluzione, spesso creato attraverso lo "sculpting" o la fotogrammetria.
2. **Programmi automatizzati:** Esistono molti plug-in per semplificare la mesh in pochi minuti e sono presenti nei software di modellazione come ZBrush (ZRemesher), Blender (Remesh Modifier) o Maya (Quad Draw). Questi software forniscono una soluzione veloce, ma non sono sempre adatti in ogni occasione: spesso necessitano di aggiustamenti manuali per un risultato ottimale.
3. **Retopologia manuale:** Il processo manuale si serve di strumenti quali RetopoFlow di Blender, Quad Draw di Maya o Retopo

<sup>1</sup> La mappatura UV, dall'inglese UV mapping, è una tecnica di texture mapping che permette di applicare efficacemente e correttamente le texture su un modello tridimensionale

Room di 3D Coat; consiste nel focalizzarsi sul pulire e armonizzare gli spigoli, in particolare sulle aree che si deformeranno durante l'animazione.

4. Proiezione: Una volta ottenuta la nuova topologia, bisogna proiettare i dettagli dal modello ad alta risoluzione a quello a bassa risoluzione ottenuto.

**SOFTWARE PER LA RETOPOLOGIA** Si riporta ora il confronto tra due tra gli strumenti più utilizzati in ambito di retopologia automatizzata:

- **Instant Meshes** Si tratta di un'applicazione standalone che utilizza algoritmi di ottimizzazione per la rimodellazione automatica di mesh poligonali; è disponibile anche un plug-in che permette di collegare Instant Meshes a Blender.

Vantaggi:

1. Produce mesh con una basse densità di poligoni;
2. Ha un'interfaccia semplice e facile da usare;
3. È gratuito e open source.

Svantaggi:

1. Potrebbe non essere adatto per tutte le esigenze, soprattutto per modelli ad alta risoluzione;
2. Non supporta completamente la conservazione dei dettagli originali quanto Quad Remesher.

- **Quad Remesher** Si tratta di un plug-in per software di modellazione 3D che utilizza algoritmi avanzati per convertire modelli poligonali complessi in modelli con topologia quadrangolare.

Vantaggi:

1. Produce topologie quadrate di alta qualità;
2. Preserva la forma e i dettagli originali del modello;
3. È facile da utilizzare grazie a un'interfaccia utente intuitiva.

Svantaggi:

1. È a pagamento;
2. Potrebbe non essere adatto per tutte le situazioni e potrebbe richiedere ulteriori aggiustamenti manuali.

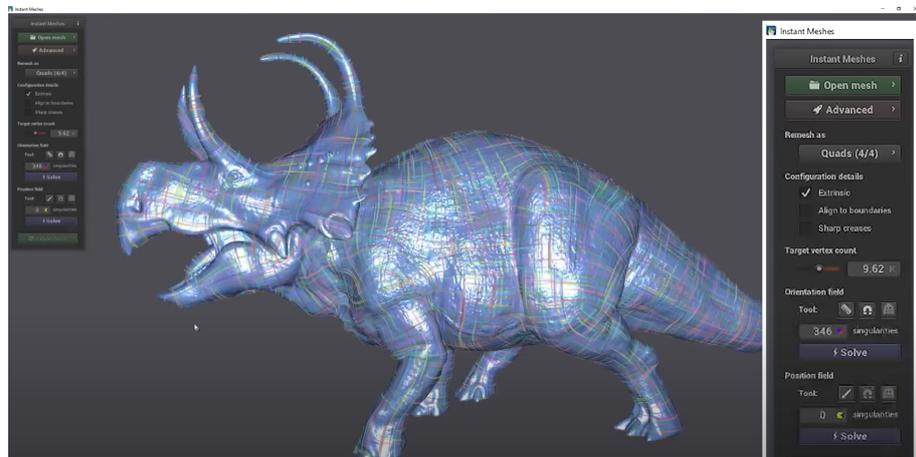


Figura 6: Interfaccia di Instant Meshes

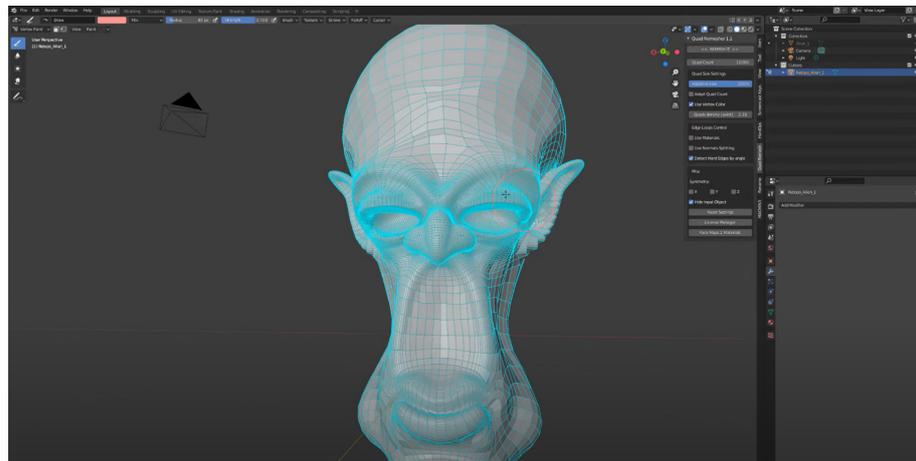


Figura 7: Interfaccia di Quad Remesher

## 2.4 MUSEO VIRTUALE

Le prime applicazioni dei musei virtuali sono apparse dopo il 1990 su CD-ROM. La diffusione di musei ed esposizioni digitali ha subito una forte accelerazione recentemente, alla fine del 2019, durante il lockdown dovuto alla pandemia di Covid-19[8].

In questo contesto nascono numerose e fedeli riproduzioni online di musei di tutto il mondo, spesso implementate con giochi interattivi per coinvolgere anche i giovani e trasmettere la storia del museo stesso. Un esempio è il “Nmk Children’s Museum” di Seoul, in Corea[46]; qui la chiusura a causa della pandemia spinge il personale a ricercare modi per condividere contenuti online, soprattutto per i bambini. Così, è nata una replica identica su Minecraft: all’interno del videogioco si possono visitare varie sale espositive che permettono di imparare la storia e la cultura coreane divertendosi completando alcune missioni.

La nota piattaforma “Google Arts & Culture” propone numerosissime mostre immersive in 3D di tutto il mondo, in cui le stanze modellate sono semplici e vengono poste in risalto le opere, con descrizioni, musiche e spiegazioni in sottofondo[27].

A Torino, nel 2021 durante il lockdown, è nato il sito “In Onda”, sezione digitale della Fondazione Torino Musei, al fine di permettere le attività didattiche laboratoriali dei bambini nelle scuole anche a distanza. Il progetto prevedeva la messa a disposizione di kit di materiali per sperimentazioni in presenza o online, tour virtuali divisi per temi e per fruitori.

In seguito alla fine della pandemia ed alla riapertura dei musei, ci si è interrogati sui risvolti futuri dei tour virtuali creati, riconoscendone il potenziale non solo negli scenari emergenziali, ma come strategia fondamentale per attrarre visitatori. La ricerca di Resta et al. si è svolta in questo senso, con l’intento di rispondere a domande quali:

- La tele tattilità può sostituire il tocco fisico e la percezione materiale degli oggetti?
- L’interfaccia è valida e facile da usare?
- Qual è la soglia di attenzione durante un tour virtuale?
- L’esperienza virtuale è adatta per comunicare appropriatamente i contenuti o distrae l’utente?
- Qual è la relazione tra modello virtuale e museo fisico?
- L’interazione dell’utente con l’esposizione è importante?

- Di quale grado di libertà necessita l'utente in un tour virtuale?

Il sondaggio fatto dagli autori e che ha coinvolto ottanta persone diverse per nazionalità, età e tipo di impiego, ha rivelato che la maggior parte delle persone ha riscontrato che la materialità degli oggetti non è sicuramente percepibile virtualmente. Non si sono avute difficoltà nell'utilizzo della piattaforma, eccetto nei casi in cui non si dispone di un pc o un pc con determinate caratteristiche o una connessione internet adeguata. Per quanto riguarda l'affermazione "Mi sono concentrato sul tour virtuale senza distrazioni", le risposte si sono distribuite più o meno allo stesso modo tra "Molto in accordo" e "Molto in disaccordo", con una leggera prevalenza delle persone che erano "In accordo". L'interattività del modello digitale lo rende abbastanza adatto a trasmettere efficacemente nozioni storiche ed educative. Sicuramente il modello virtuale può rappresentare un'aggiunta rispetto a quello fisico, apportando approfondimenti, la comodità di effettuare il tour dalle proprie case, in tranquillità, in qualsiasi momento e di avvicinarsi agli oggetti quanto si vuole: quest'ultima cosa non è sempre possibile durante un tour fisico. Infine, il tour virtuale è sicuramente favorito da dispositivi per la VR quali ad esempio un visore e guanti VR.

Il tour virtuale diventa rilevante soprattutto per rendere disponibile a quante più persone possibili la visita al museo, in particolare alle persone con disabilità motoria, ma anche sensoriale, intellettiva e psichica, o anche semplicemente alle persone troppo distanti dal museo o dall'esposizione. Un altro esempio interessante è la preservazione del patrimonio culturale intangibile attraverso l'esperienza virtuale: è ciò che è stato fatto da Selmanović et al. (scheda riassuntiva riportata nel paragrafo successivo). Un modello digitale, inoltre, rispetto a una semplice foto o video, consente di associare ad ogni oggetto innumerevoli informazioni di vario tipo e molto altro: è un modello altamente adattabile che può essere usato anche al fine della manutenzione preventiva e predittiva degli edifici storici, la loro catalogazione oppure per l'Analisi del ciclo di vita (LCA) del manufatto.

IMPROVING ACCESSIBILITY TO INTANGIBLE CULTURAL HERITAGE PRESERVATION USING VIRTUAL REALITY [18]

Autori:

Elmedin Selmanović, Selma Rizvic, Carlo Harvey, Dusanka Boskovic, Vedad Hulusic, Malek Chahin, Sanda Sljivo.

Anno:

2020

Collocazione e descrizione del sito:

Oggetto del lavoro è il ponte di Mostar, situato nell'omonima città, in Bosnia ed Erzegovina. Il ponte è ottomano e risale al sedicesimo secolo. Fu distrutto dalle forze militari croate nel 1993 e ricostruito nel 2004. Una importante tradizione che riguarda il ponte è quella dei tuffi dal ponte stesso: è iniziata nel 1664 e viene oggi conservata come parte del "patrimonio culturale intangibile" della Bosnia ed Erzegovina.

Obiettivi del lavoro:

1. Far conoscere e preservare la tradizione dei tuffi del ponte di Mostar;
2. Valutare l'importanza dell'applicazione VR per preservare il patrimonio culturale intangibile.

Descrizione del lavoro:

Il VR si apre con un video introduttivo. Dopo l'introduzione, l'utente può scegliere tra alcune storie da guardare; dopo averle guardate tutte ha accesso ad un quiz di valutazione su quanto appreso. Se la valutazione del quiz è positiva, l'utente può procedere alla simulazione del tuffo.

L'applicazione è fatta per essere utilizzata abbinata ad un visore.

Per la modellazione sono stati utilizzati Blender e SketchUp. In particolare, la stanza dove avviene il quiz è stata modellata in modo semplice, ha una porta, qualche finestra e alcuni oggetti tradizionali bosniaci quali un tappeto, un tavolo ed uno sgabello. Guardando dalla finestra si vede il ponte, ciò dà l'impressione di essere in una delle torri vicino al ponte. Il test viene visualizzato su una parete della stanza e appare come dipinto su di essa.

La modellazione del contesto è stata implementata successivamente ed è stata possibile grazie alla fotogrammetria con drone, data l'inaccessibilità dell'area, utilizzando i programmi Reality Capture, Autodesk Maya ed Adobe Photoshop.

La simulazione VR è stata sviluppata su Unity; Il "Virtual Reality Toolkit" è stato utilizzato per risolvere i problemi locomotori di scalare la piattaforma per i tuffi, tuffarsi, nuotare.

In seguito è stata sviluppata anche un'applicazione Web per avere un confronto. L'importanza dell'applicazione VR è stata ottenuta indirettamente, misurando l'esperienza utente nel caso della versione Web e comparando le opinioni di due gruppi: un gruppo (52 partecipanti) ha sperimentato l'applicazione VR e successivamente quella Web, il secondo gruppo (41 partecipanti), il "gruppo di controllo", ha sperimentato soltanto l'applicazione Web. È stato scelto un campione di partecipanti molto diversificato.

#### Risultati:

Ai partecipanti è stato fornito un questionario successivamente alla loro simulazione, in cui, su una scala da 1 a 7, venivano valutate l'esperienza e la facilità di utilizzo dell'applicazione.

Si è osservato che, nel caso del VR, il senso di immersione e presenza è molto più vicino a quello reale, rispetto al caso dell'applicazione Web. Perciò, si è concluso che tra tutti i metodi esistenti ad oggi, il VR è quello al momento preferibile per supportare la memoria del patrimonio intangibile. Dal punto di vista della facilità di utilizzo non sono state riscontrate preferenze tra le due applicazioni; tuttavia questo aspetto andrebbe testato ulteriormente in studi futuri.

#### Limiti:

La spiegazione della storia potrebbe essere integrata con effetti sonori nell'applicazione VR. Inoltre, il campione potrebbe essere meglio separato secondo alcuni criteri, in modo da evitare il precondizionamento, ecc. . .

**VIRTUAL TOUR DEI MUSEI CON FOTO 360** Il primo tour virtuale a 360 gradi di un museo è stato realizzato dal Jean Paul Getty Museum a Los Angeles nel 1994. Il progetto pionieristico è stato creato da Dudley Rees di Apple Computer e Greg Heberlein del Getty Museum sfruttando una tecnologia innovativa per l'epoca, chiamata QuickTime VR, sviluppata da Apple.

QuickTime VR era una tecnologia rivoluzionaria che permetteva di creare panorami a 360 gradi interattivi. Gli utenti potevano navigare attraverso le immagini panoramiche cliccando e trascinando il mouse, offrendo una sensazione di immersione nello spazio virtuale. Il tour del Getty Museum includeva immagini panoramiche delle sale espositive e informazioni dettagliate sulle opere d'arte, rendendo l'esperienza educativa e coinvolgente.

Il tour virtuale del Getty Museum da allora ha ispirato numerosi altri musei a sviluppare i propri tour virtuali, promuovendo l'innovazione tecnologica e l'attenzione per l'accessibilità. I tour virtuali sono diventati sempre più sofisticati ed usano ora tecnologie quali la realtà aumentata, la realtà virtuale e la fotografia a 360 gradi.

Un tour con fotografia a 360 gradi, in particolare, non sostituisce la visita museale di persona, ma permette di raggiungere un pubblico lontano geograficamente e consente a persone con difficoltà motorie, visive o altre disabilità di esplorare il museo senza doversi curare delle barriere fisiche. Può, inoltre, essere utilizzato come strumento educativo nelle scuole e costituire un approfondimento grazie alla presenza di descrizioni dettagliate, video e audio integrati al tour.

Un tour con fotografia a 360 gradi, anziché spopolare i musei nella realtà, aumenta la loro visibilità e attira nuovi visitatori, poiché invoglia anche le persone non interessate a un museo tradizionale, ma incuriosite dall'innovazione tecnologica e dall'interattività.

L'esperienza del visitatore è altamente personalizzata, in quanto può esplorare il museo al proprio ritmo e secondo i propri interessi, scegliendo cosa visitare. L'esperienza può essere, inoltre, interattiva, quindi più coinvolgente e divertente.

Infine, la possibilità di avere una versione in formato digitale delle collezioni e delle esposizioni è utile sia per la conservazione, la ricerca e la gestione delle opere, sia per la tutela del patrimonio culturale, importante in caso di danni o perdite fisiche dovute a eventi come incendi, alluvioni o altre calamità.

**GLI STRUMENTI DEL TOUR CON FOTOGRAFIE A 360 GRADI** Gli strumenti per la realizzazione di un tour con immagini a 360 gradi sono una fotocamera a 360 gradi con treppiede, un software per l'elaborazione delle immagini e un software per tour virtuali.

- Fotocamera a 360 gradi: le principali sono Ricoh Theta Z1, Insta360 One X2, GoPro Max, Insta360 Pro 2, Vuze XR.
- Treppiede

- Software di stitching: nella maggior parte dei casi la fotocamera ha il proprio software di stitching.
- Software di editing: utile per migliorare la qualità delle immagini, correggere i colori e rimuovere le imperfezioni.
- Software per tour virtuali: esistono software studiati appositamente per la realizzazione di tour virtuali, sono intuitivi, veloci ed efficaci come Matterport, Kuula, Roundme, Pano2VR.

## 2.5 ACCESSIBILITÀ NEI MUSEI

Nel 1980, l'accessibilità era considerata una caratteristica personale:

“In the context of health experience, a disability is any restriction or lack of ability (resulting from an impairment) to perform an activity in the manner or within the range considered normal for a human being.” World Health Organization WHO, 1980, definizione di "disabilità".

Attualmente la visione è cambiata, la disabilità viene riconosciuta come una conseguenza dello specifico contesto in cui l'individuo in oggetto si trova:

“Disability is not just a health problem. It is a complex phenomenon, reflecting the interaction between features of a person's body and features of the society in which he or she lives” World Health Organization WHO, 2020, definizione di "disabilità".

Il museo come istituzione ha subito un costante cambiamento e una costante evoluzione della sua natura e dei suoi obiettivi nel tempo. Un chiaro esempio di ciò è come un tempo fosse rivolto esclusivamente a determinate classi sociali; per poi cambiare e diventare ciò che è oggi, ovvero un punto di incontro fra i diversi individui che compongono la società. Tutto ciò non sarebbe stato possibile se dietro non ci fosse stata un'attenzione particolare per l'inclusività e l'accessibilità.

Implementare l'accessibilità nei musei è fondamentale per garantire che tutte le persone possano godere pienamente delle esperienze culturali ed educative proposte.

Il termine accessibilità fa sia riferimento all'aspetto fisico, e da questo punto di vista si agisce assicurando la presenza di rampe e ascensori, porte automatiche, bagni accessibili ad esempio; sia all'aspetto cognitivo e sensoriale, tanto nello spazio reale quanto in quello virtuale[15].

Un esempio è la Reggia di Venaria Reale, la quale ha aderito all'iniziativa “Museo per tutti”, che mira ad applicare una serie di accorgimenti per rendere accessibili musei e beni del patrimonio italiano alle persone con disabilità. Alcuni di questi accorgimenti sono prediligere ambienti luminosi, facili da attraversare e senza ostacoli; alcuni arredi per aiutare a comprendere l'ampiezza delle stanze rispetto alle abitazioni comuni; segnalare la presenza o meno di sovraffollamento. Dal punto di vista della visita, questa viene favorita dalla disponibilità di materiali appositi, quali carta dei servizi con le risposte alle domande più frequenti, storia con immagini e testo, schede per la visita con foto e testo, schede per la visita con CAA (comunicazione aumentativa

*Migliorare l'accessibilità non solo rende il museo più inclusivo, ma arricchisce anche l'esperienza di tutti i visitatori.*

alternativa) e mappa facilitata della Reggia.

Si riportano alcuni casi studio rilevanti per comprendere lo stato dell'arte delle soluzioni per l'accessibilità dei musei, in ambiente virtuale, dal punto di vista della disabilità motoria, sensoriale e cognitiva.

A VIRTUAL TOUR OF A HARDLY ACCESSIBLE ARCHAEOLOGICAL SITE: THE EFFECT OF IMMERSIVE VIRTUAL REALITY ON USER EXPERIENCE, LEARNING AND ATTITUDE CHANGE [9]

Autori:

Christos Kyriltsias, Maria Christofi, Despina Michael-Grigoriou, Domna Banakou and Andri Ioannou

Anno:

2020

Collocazione e descrizione del sito:

Noto sito archeologico di Choirokoitia, insediamento neolitico a Cipro. Scelto perché difficilmente accessibile a causa della non omogeneità e del dislivello del terreno. Tuttavia sito di grande interesse educativo, infatti è studiato in storia nelle scuole pubbliche del Paese; solo le scuole nelle vicinanze hanno la possibilità di compiere gite scolastiche a Choirokoitia. Il sito, considerato tra i più antichi del mondo, con le sue rovine che risalgono al 7000 a.C., e patrimonio UNESCO, è, peraltro, uno tra i più visitati di Cipro.

Obiettivi del lavoro:

1. Consentire l'accesso virtuale al sito archeologico di Choirokoitia;
2. Esaminare la fattibilità dell'uso di un'applicazione di realtà virtuale immersiva, rispetto all'uso di un'applicazione per il Desktop. La comparazione si è basata su: percezione dei partecipanti di trovarsi realmente sul posto, livello di esperienza dell'utente, cambiamento nell'atteggiamento verso l'archeologia di Cipro e prestazione dell'apprendimento.

Descrizione del lavoro:

La realizzazione del modello tridimensionale digitale si è basata su numerose foto scattate sul posto e mappe. Sul posto sono stati, inoltre, registrati dei brevi audio riguardanti informazioni storiche sul sito archeologico.

La ricostruzione 3D accurata del sito è stata creata con l'ausilio di Autodesk Maya 2015 e le texture sono state scelte basandosi sulle foto originali. Per un maggiore realismo è stata ricostruita anche una parte di contesto.

In seguito le registrazioni vocali sono state editate con Adobe Audition CS6 e l'applicazione VR è stata sviluppata con Unity 2017.1.2 e mostrata con un visore Oculus Rift CV HMD ed un controller per navigare all'interno dello spazio virtuale. L'applicazione per il Desktop, invece, è stata creata mediante Microsoft PowerPoint acquisendo ed inserendo una serie di screenshot del 3D su Unity; in questo caso

l'applicazione è stata mostrata sullo schermo di un pc e controllata con un mouse.

I partecipanti sono stati quaranta, femmine e maschi tra i 20 e i 54 anni, collocati in modo casuale nel gruppo che ha provato l'applicazione Desktop e in quello che ha provato l'applicazione VR. È importante specificare che i partecipanti scelti non avevano esperienza, o ne avevano poca, con la tecnologia VR.

#### Risultati:

Il senso di presenza, l'esperienza utente, l'atteggiamento verso l'archeologia di Cipro e la prestazione dell'apprendimento sono state valutate tramite un questionario. Nello specifico lo stesso questionario è stato somministrato sia prima sia dopo l'esperienza, per valutare la variazione di interesse dei partecipanti.

Si è osservato che il senso di presenza è stato maggiore nel caso dell'esperimento di VR come anche l'esperienza dell'utente è stata migliore, in termini di immagini, qualità dell'audio, gradevolezza generale e voglia di provare un'applicazione simile in futuro. Questi risultati sono, in generale, in linea con le ricerche già condotte.

Per quanto riguarda l'atteggiamento verso l'archeologia di Cipro e la prestazione dell'apprendimento, l'applicazione VR, invece, non ha portato vantaggi, al contrario, i partecipanti che hanno utilizzato l'applicazione Desktop hanno imparato di più. Tuttavia, questo è un risultato ancora controverso in quanto non trova pieno riscontro con le ricerche precedenti, le stesse riportano risultati discordanti.

Gli autori hanno concluso che, in accordo con la "teoria del carico cognitivo", la nostra mente può apprendere una quantità limitata di informazioni in un determinato periodo di tempo, e il VR potrebbe avere portato a un sovraccarico.

#### Limiti:

Un limite dello studio è stato l'utilizzo di un modello 3D per il VR e di immagini 2D per l'applicazione Desktop, il che, anche se intenzionale, può aver differenziato troppo le prove. Un secondo limite può essere stato l'utilizzo di tracce audio per raccontare la storia: nel caso del VR i partecipanti, già sovraccaricati dalla tecnologia, potrebbero aver prestato poca attenzione alla spiegazione.

VIRTUAL REALITY TO FOSTER SOCIAL INTEGRATION BY ALLOWING WHEELCHAIR USERS TO TOUR COMPLEX ARCHAEOLOGICAL SITES REALISTICALLY [13]

**Autori:**

Emiliano Pérez, Pilar Merchán, María José Merchán, Santiago Salamanca

**Anno:**

2020

**Collocazione e descrizione del sito:**

Il sito archeologico di Cancho Roano, nel comune di Zalamea de la Serena, in Spagna. Uno dei più monumentali edifici della protostoria spagnola, risalente al 550 a.C. circa.

Attualmente, per raggiungere il sito, è necessario arrivare in macchina nelle vicinanze. Si arriva all'edificio antico dopo aver percorso un sentiero in mattoni e salito una rampa in legno con un gradino alla fine. L'edificio consiste di undici stanze poste a differenti altezze, alcune delle quali inaccessibili, collegate da corridoi stretti, pavimenti irregolari e scalini.

**Obiettivi del lavoro:**

Sviluppo di un'applicazione VR indirizzata alle persone in sedia a rotelle per far provare loro l'esperienza di un tour virtuale più realistico possibile: irregolarità e pendenze del terreno incluse.

**Descrizione del lavoro:**

Per generare il modello tridimensionale di Cancho Roano, per prima cosa è stato necessario acquisire la geometria del sito, grazie all'uso del laser scanner Faro LS 880 da trentatre posizioni diverse. Successivamente, le nuvole di punti ottenute sono state elaborate: il risultato è stato un 3D colorato ad alta risoluzione.

Dal momento che il tipo di dato ottenuto è una nuvola di punti colorata, mentre Unity richiede delle mesh triangolate, si è reso necessario convertire il modello. Il processo di adattamento è stato fatto su Meshlab ed è diviso in tre passaggi: riduzione della risoluzione, conversione della nuvola di punti in superficie triangolata e conversione del colore.

Il numero di punti del modello è stato ridotto al fine di ottenere un modello riproducibile in tempo reale in un computer di medio livello. Nello specifico, tramite l'utilizzo del software Meshlab, si è ottenuta una riduzione del 30% dei punti. Anche la conversione è stata fatta su Meshlab: sono state calcolate le normali della nuvola di punti e ricostruite usando l'equazione di Poisson. Per la conversione del colore sono stati mappati tutti i triangoli in triangoli di uguali dimensioni

ed è stato assegnato un colore per vertice. Alla fine del processo è stato ottenuto un file JPG.

Il simulatore di movimento per la sedia a rotelle è composto da:

- Una workstation per rendere possibile la comunicazione tra i vari elementi. Per l'interazione tra modello e utente è stata utilizzata l'applicazione Unity;
- Una piattaforma mobile e un sistema tattile per trasmettere l'accelerazione dall'utente e riprodurre le inclinazioni e irregolarità del terreno. In particolare, è il sistema tattile a contatto con le ruote della sedia a rotelle a trasmettere la sensazione del terreno. La comunicazione tra la workstation e la piattaforma e il sistema tattile è resa possibile tramite un router con una connessione Gigabit Ethernet con protocollo TCP; l'interazione con il mondo virtuale è implementata con uno script su Unity.
- Un sistema di cattura dei movimenti composto da un sistema ottico per tracciare i movimenti di tutto il corpo (OptiTrack) con il software Motive e guanti "5DT data glove" per registrare i movimenti delle dita.
- Due dispositivi di visualizzazione: un visore HMD HTC Vive per l'utente e uno schermo per il team tecnico per controllare l'esperienza dell'utente.

#### Risultati:

I risultati ottenuti sono stati soddisfacenti. Il progetto aderisce alla visione dell'Unione Europea del patrimonio culturale come mezzo per raggiungere l'integrazione sociale. Oltre a ciò, il sistema potrebbe essere usato per testare in fase progettuale le varie misure di accessibilità a un sito archeologico e valutarne la comodità in sedia a rotelle: testare rampe da costruire, con le varie pendenze, lunghezze, ecc... L'esperienza intende, infine, sensibilizzare le persone riguardo le difficoltà delle persone in sedia a rotelle di accedere in siti archeologici.

#### Limiti:

Sarà necessario un test di valutazione, non ancora effettuato, che dovrebbe coinvolgere un gruppo di dieci persone, in sedia a rotelle e non, alle quali, alla fine dell'esperienza, verrà somministrato un questionario. Il questionario valuterà principalmente quanto l'utente ha percepito realistica la visita; se, secondo la sua opinione, la possibilità di visitare virtualmente aree non accessibili al pubblico potrebbe dare valore all'esperienza; quanto la simulazione della sedia a rotelle è realistica.

ACCESSIBILITY FOR VIRTUAL TOURS: ON DESIGNING A PROTOTYPE FOR PEOPLE WITH VISUAL IMPAIRMENTS [2]

Autori:

Samuele Bertani, Silvia Mirri, Vincenzo Rubano, Catia Prandi

Anno:

2023

Collocazione e descrizione del sito:

Il luogo utilizzato per la dimostrazione del prototipo è il Campus di Cesena dell'Università di Bologna.

Obiettivi del lavoro:

Sviluppo di una soluzione innovativa per permettere alle persone con deficit visivo di fruire dei modelli virtuali utilizzati per gli edifici.

Descrizione del lavoro:

Il prototipo sfrutta l'approccio detto "clock navigation" per permettere all'utente di spostarsi da un punto di riferimento all'altro.

Lo sviluppo dell'applicazione è stato preceduto da uno studio su come le persone cieche esplorano un ambiente interno sconosciuto: stabiliscono un punto che conoscono bene e sanno come raggiungere con sicurezza, dopodiché provano a determinare le posizioni relative degli altri punti di riferimento e il percorso più breve per raggiungerli, in questo modo creano una mappa mentale dell'ambiente.

Il prototipo digitalizza questo metodo: l'utente può tornare al punto di riferimento in qualsiasi momento del tour. Premendo il tasto destro o sinistro della tastiera, l'utente si muove, rispettivamente, a destra o sinistra dell'ambiente e una voce registrata preannuncia i punti di interesse che l'utente può trovare in quella direzione, premendo di nuovo, quindi, l'utente si sposta nel punto di interesse scelto, e così via. Il prototipo prevede, inoltre, tre diverse altezze a cui poter trovare i punti di interesse (si pensi a un tavolo, un armadietto o a un pilastro).

L'applicazione è stata sviluppata sul Web per ovviare alla necessità di installare programmi specifici e durante il test gli utenti hanno utilizzato il proprio pc per evitare problemi legati all'utilizzo di un dispositivo sconosciuto.

Risultati:

Il test condotto con diversi utenti con deficit visivo ha rivelato un generale riscontro positivo, l'applicazione è stata considerata facile da utilizzare, non confusionaria.

Limiti:

Alcuni utenti hanno trovato l'applicazione pesante, suggerendo di ridurre la lunghezza delle frasi pronunciate dall'applicazione, altri hanno suggerito di fornire delle istruzioni più dettagliate sull'utilizzo dell'applicazione.

CO-DESIGNING IMMERSIVE AND INCLUSIVE VIRTUAL MUSEUM WITH CHILDREN AND PEOPLE WITH DISABILITIES: A PILOT STUDY [3]

**Autori:**

Aldo Caldarelli, Stefano di Tore, Silvia Ceccacci, Michele Domenico Todino, Lucia Campitiello, Catia Giaconi

**Anno:**

2023

**Collocazione e descrizione del sito:**

Per la sperimentazione virtuale è stata scelta parte delle collezioni del Museo Nazionale Archeologico di Sannio Caudino a Benevento e il Museo Archeologico di Carife, in provincia di Avellino.

**Obiettivi del lavoro:**

Fornire maggiore uguaglianza dal punto di vista delle opportunità culturali ed educative per tutti i gruppi sociali, in prospettiva di una inclusione che mira a rispondere alla complessità della società. Nello specifico ci si è indirizzati verso un'utenza con specifici disordini dell'apprendimento e lieve disabilità intellettiva.

**Descrizione del lavoro:**

Per raggiungere lo scopo, in questo progetto esperti in UX design, pedagogia, linguaggio Easy to Read, VR, storia dell'arte e disabilità intellettiva e cognitiva hanno collaborato con un gruppo di potenziali utenti. Gli step di realizzazione del museo virtuale immersivo sono stati portati avanti iterativamente: con un'alternarsi continuo di una fase di realizzazione e una fase di test.

Il software utilizzato è Unity 3D.

Alcune caratteristiche del tour sono personalizzabili:

- È possibile regolare la luminosità e la temperatura del colore
- È possibile restringere il campo visivo per concentrarsi su meno dettagli per volta
- È possibile scegliere tra differenti modalità di visita guidata: testo con font ad alta leggibilità, audio guida, video guida
- È possibile navigare nell'ambiente con mouse e tastiera, con gamepad o teletrasportandosi nei punti di interesse

**Risultati:**

Sono state sviluppate sei versioni dello stesso applicativo. In particolare, le sessioni di test sono servite a ridurre il percorso di visita, semplificare le decorazioni superflue, regolare la riflettività dei materiali, introdurre la possibilità di mettere in pausa l'esperienza, introdurre

diversi tipi di font.

Limiti:

In futuro si pensa di applicare lo stesso metodo iterativo a casi non presi in considerazione per aumentare l'inclusività.

## CASO STUDIO

---

### 3.1 PALAZZO CARIGNANO

L'Italia del barocco è caratterizzata dalla necessità e volontà di accentrimento territoriale, da cui la formazione di "città-capitali" e l'affermazione del potere del Principe sulla dimensione personalistica. Nel Piemonte sabauda tale volontà è visibile nel consolidamento e nella riorganizzazione dello stato sotto il ducato di Emanuele Filiberto di Savoia e nella successiva politica di riassetto ed espansione territoriale sotto Carlo Emanuele I. Tale processo è messo in atto tramite la ricerca di una continuità territoriale dei possedimenti, un sistema di strade efficiente con sbocco sul mare, il consolidamento degli spazi economici e produttivi, la costruzione di un nuovo sistema di fortezze, quindi l'invenzione di una "città-capitale" (Millon: 1999).

Con l'arrivo dell'architetto Ascanio Vitozzi a Torino nel 1584, sotto il ducato di Carlo Emanuele I, il progetto di un nuovo grande palazzo si inizia a concretare. Si inizia a delineare un progetto di ristrutturazione complessiva all'interno del perimetro cinquecentesco, con la costituzione di una zona di comando più aulica, rispecchiante i principi legati alla nuova monarchia in affermazione.

Per la progettazione della nuova residenza viene bandito, tra il 1583 e il 1584, un concorso di idee da parte del duca Carlo Emanuele I aperto a tutti i professionisti del settore di tutta Italia. Ad Ascanio Vitozzi (1539-1615) si deve sicuramente il ripensamento della configurazione urbanistica e l'impostazione dei principi guida per la progettazione del nuovo palazzo; alla sua morte il suo lavoro è continuato da Carlo di Castellamonte (1560-1641) [49] [52].

Non sono molte le notizie che ci sono giunte riguardo Palazzo Carignano, i documenti conservati nell'Archivio di Stato di Torino riguardano soltanto il primo periodo di costruzione, che va dal 1679 al 1685, e non riportano notizie sulla sontuosa decorazione interna iniziata subito dopo. Prima di trasferirsi nel "Palazzo Nuovo", i Principi Carignano abitavano in una casa modesta composta da tre edifici ("Palazzo Vecchio") all'angolo di Piazza Castello, dove ora si apre Via Pietro Micca. Il trasferimento nel Palazzo Nuovo rispecchia la nuova esigenza di avere una dimora che fosse degna di rappresentare un Principe, nello "spirito di rinnovamento che caratterizzava la capitale sabauda nel momento del suo più intenso sviluppo edilizio" (Cerri e

Guerrini: 1989).

La costruzione del Palazzo si deve a Emanuele Filiberto detto “il Muto”, il secondo Principe di Carignano (1628-1709), figlio del capostipite dei Savoia Carignano, Tommaso di Savoia, figlio del Duca Carlo Emanuele II e di Margherita d’Austria.

Il terreno scelto per la nuova costruzione era già di proprietà dei Carignano, vi sorgeva infatti una ampia scuderia del Principe Tommaso di Carignano, distrutta dopo l’assedio dei francesi nel 1640; il terreno si trovava appena fuori l’antica cinta muraria romana e faceva parte del secondo ampliamento voluto da Carlo Emanuele II.

La costruzione del nuovo palazzo inizia nel 1679 e si deve al celebre padre teatino modenese Guarino Guarini (1624-1683), architetto, filosofo e matematico, giunto a Torino per realizzare la Chiesa di San Lorenzo (e molti altri progetti), poi assunto dal Duca di Savoia Carlo Emanuele nel 1668 per il progetto della Cappella della Sindone. Amedeo di Castellamonte (1613-1683) collabora con Guarino Guarini, alla morte di quest’ultimo, avvenuta nel 1683, i lavori passano a Francesco Baroncelli (1643-1694) e proseguono fino al 1890. Le decorazioni interne, affreschi e stucchi, risalgono al 1692-1700 e purtroppo oggi sono in parte scomparse a causa delle trasformazioni d’uso del palazzo (Cerri: 1990).

I Principi di Carignano vi si trasferiscono solo dal 1694, in particolare occupano gli appartamenti verso sud al piano terreno, denominati perciò “dei Principi”. Il palazzo vede nascere Vittorio Emanuele II di Savoia, l’evento spiega la scritta sul fregio decorativo in facciata “QVI NACQVE VITTORIO EMANVELE II” aggiunto nel 1884 dall’architetto Carlo Ceppi.

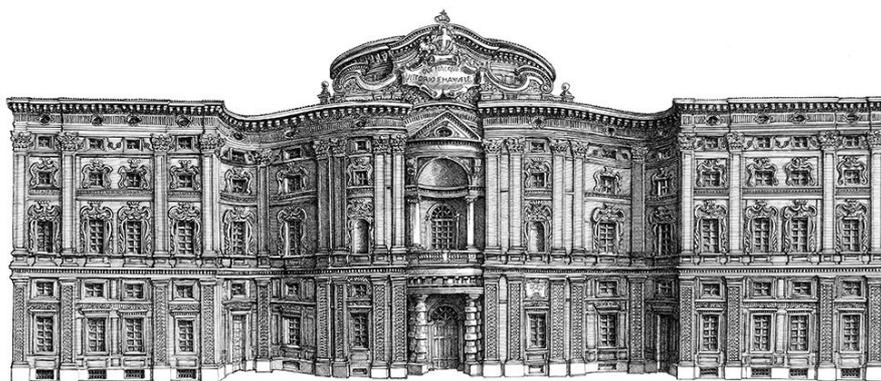


Figura 8: Facciata di Palazzo Carignano (Lato Piazza Carignano), Fondazione Francesco Corni © [31]

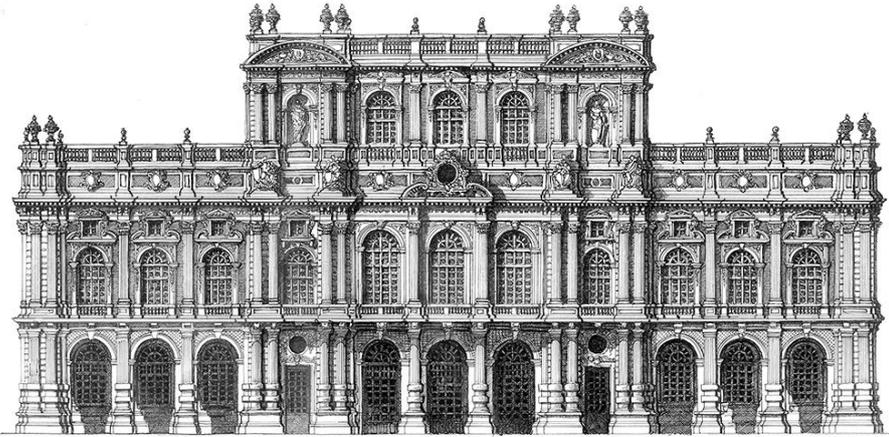


Figura 9: Facciata principale di Palazzo Carignano (lato Piazza Carlo Alberto), Fondazione Francesco Corni © [31]

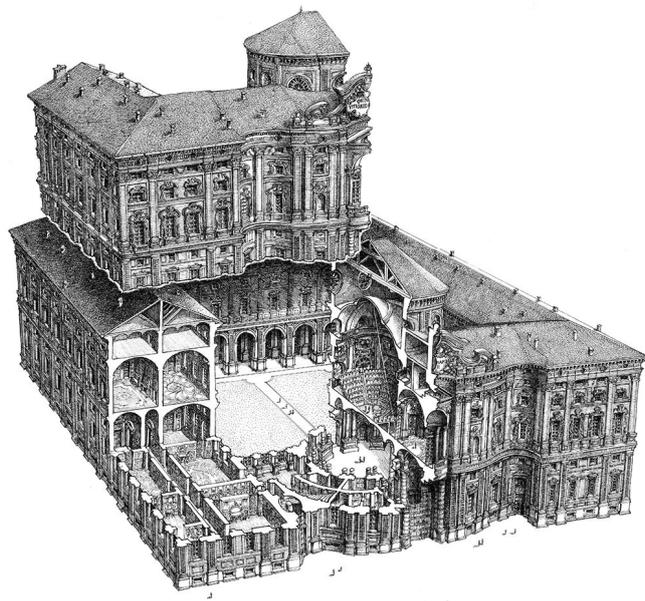


Figura 10: Spaccato di Palazzo Carignano, Fondazione Francesco Corni © [31]

Il Palazzo rappresenta uno dei più riusciti esempi di architettura barocca piemontese e la sua importanza è tale da essere, insieme con le altre residenze sabaude di Palazzo Reale e Palazzo Madama, patrimonio UNESCO.

Con l'occupazione francese la famiglia Carignano abbandona il palazzo ed il nuovo governo vi stabilisce la Prefettura del Dipartimento del Po. Dopo la restaurazione i Carignano tornano nell'edificio; Carlo Alberto, salito al trono nel 1831, si trasferisce a Palazzo Reale e cede Palazzo Carignano al Demanio che vi insedia il Consiglio di Stato e la Direzione delle Poste.

A partire dal 1848 il salone ellittico centrale del palazzo viene trasformato dall'architetto Carlo Sada da salone delle feste a corpo ellittico in facciata e diviene sede del Parlamento Subalpino fino al 1861 e sede del primo Parlamento del Regno d'Italia tra il 1861 e il 1864. I lavori per il Parlamento italiano terminano nel 1871, dopo lo spostamento della capitale a Roma. Raggiunta l'Unità d'Italia, nel 1861, l'Aula del Parlamento si rivela, però, insufficiente, e si decide di ampliare il palazzo verso est con l'intento di costruire una stanza di maggiori dimensioni: il progetto viene affidato a Domenico Ferri e l'esecuzione a Giuseppe Bollati. I lavori terminano nel 1871, con la realizzazione di un corpo con impianto speculare a quello esistente e definendo un cortile centrale. Nel frattempo per i deputati viene allestita un'aula provvisoria costruita in ferro, vetro e legno in soli tre mesi nel cortile dall'architetto Amedeo Peyron, che si era già occupato del consolidamento del Palazzo. La grande aula non è stata mai utilizzata per lo scopo iniziale: dopo il trasferimento delle camere a Firenze, il palazzo comincia, dal 1870, ad ospitare altre attività pubbliche.

Nel 1898 l'aula del Parlamento Subalpino è stata dichiarata monumento nazionale. Nel palazzo si sono verificati due eventi memorabili: la concessione dello Statuto e la proclamazione della nascita del Regno d'Italia.

Per via del susseguirsi di diverse destinazioni d'uso, il palazzo ha subito un progressivo degrado fisico. In aggiunta, i bombardamenti dovuti alla Seconda Guerra Mondiale, nel 1943, danneggiano il palazzo in vari punti, anche se rimangono intatti gli elementi strutturali. Il progetto per il restauro dell'edificio si deve all'architetto Andrea Bruno (1931-), si occupa del restauro dei paramenti in laterizio, dei serramenti esterni e dei solai lignei del sottotetto. In una seconda fase di lavori, avvenuta nella seconda metà degli anni Ottanta, l'architetto progetta due corpi scala, percorsi, uscite di sicurezza e impianti per la funzione museale rivestita dall'edificio ed anche una sala conferenza

ipogea, sotto la corte interna, ora in disuso ed inaccessibile [22].

### 3.1.1 *Lo Scalone guariniano*

La composizione del Palazzo Carignano ha come centro geometrico il sistema atrio-scalone. Tale scalone guariniano conduce al salone ellittico al piano nobile e alle due ali adibite ad appartamenti. Esso non solo rappresentava l'immenso prestigio e la ricchezza dei Carignano, ma costituisce anche un grandioso esempio dell'architettura barocca, al suo apice nel XVII secolo.

Lo scalone ha una peculiare pianta ellittica, che lo distingue dagli altri tipi di scale e gli conferisce dinamicità. È situato all'interno di una torretta a base ellittica che riceve luce grazie alla grande cupola, ellittica, che lo sormonta; anche la luce è un elemento importante della composizione, in quanto conferisce teatralità, ma è, soprattutto, simbolo del divino e della conoscenza.

Il segno di Guarini si nota anche nelle illusioni ottiche che si vengono a creare, soprattutto per le convessità e concavità dei gradini: la prima rampa presenta gradini convessi che non fanno percepire cosa si trova sulla sommità e quasi respingono chi li sale; dopo il pianerottolo, invece, i gradini divengono concavi ed invitano a salire, non risultando più una forma ostile. La geometria risulta complessa per la presenza di archi, volte, nicchie, balaustre, colonne e capitelli decorati. Le linee sono morbide e favoriscono suggestivi giochi di luce. Gli stucchi si devono a Pietro Somasso (ca 1645-1709).

Il materiale utilizzato è il marmo; lo stucco è stato utilizzato per gli elementi decorativi più complessi. Si ipotizza che originariamente le nicchie fossero dipinte e gli ornamenti dorati; in alcuni casi erano presenti pietre semipreziose all'interno dello stucco per aggiungere lusso e ricchezza alla composizione e riflettere la luce.

Le decorazioni hanno tutte un significato specifico: gli angeli e i putti sono stati scelti da Guarini per portare un messaggio religioso di spiritualità e guida divina, le ghirlande ed i festoni per rappresentare la natura e la vita, e forse in questo contesto rappresentare il giardino della residenza nobiliare, i simboli astrali e le stelle la connessione tra il terreno e il divino, infine i santi per rappresentare protezione spirituale e la devozione della famiglia nobiliare [1] [7].

Lo Scalone guariniano è stato scelto in quanto emblema dell'inaccessibilità: non potrà mai essere installato un montascale su un'opera simile.



Figura 11: Scorcio dello Scalone guariniano, Mostra del Barocco piemontese 1937, Fondazione 1563 [37]



Parte II

METODOLOGIA



## APPLICATIVO DI REALTÀ VIRTUALE

---

### 4.1 UTENZA

L'applicativo VR è stato realizzato con lo scopo di aumentare l'inclusività dei musei, in questo caso di Palazzo Carignano, rivolgendosi alle persone con disabilità motoria in particolare e a tutti coloro che, per svariati motivi, siano temporaneamente impossibilitati a visitare personalmente il Palazzo.

Il tour di Realtà Virtuale, nello specifico, è stato realizzato con l'obiettivo di presentare contenuti educativi facendo divertire l'utente ("edutainment"<sup>1</sup>), secondo la visione attuale dei musei come luoghi che non devono solo soddisfare la loro missione educativa, ma anche fornire esperienze coinvolgenti per attirare i visitatori[3].

A differenza dell'applicativo 360, nell'applicativo VR si noterà la presenza di alcune accortezze perchè sia più inclusivo possibile, ispirate agli studi di Caldarelli et al.

---

<sup>1</sup> Il concetto di "edutainment" fonde "education" e "entertainment" per garantire all'utente un'esperienza memorabile.

## 4.2 WORKFLOW

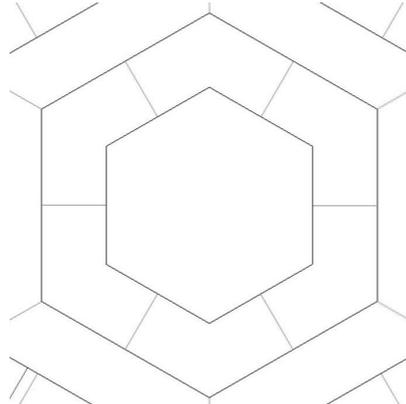
1. Raccolta dati storici
  - Archivi
  - Biblioteche
  - Palazzo Carignano
2. Creazione del modello Building Information Modeling (BIM)
  - Creazione delle famiglie su Revit (colonna)
    - Nuvola di punti su CloudCompare
    - Retopologia con Instant Meshes (Blender)
  - Realizzazione dei dettagli
  - Ottimizzazione del modello con plugin di Revit
3. Scelta del software
  - Unreal Engine 5 vs Unity
4. Realizzazione del tour
  - Plugin per l'esportazione Datasmith
  - Ambiente
  - Materiali
  - Contesto
  - Luci
  - Personaggi
  - Dialoghi
  - Pacchetto

## 4.3 CREAZIONE DEL MODELLO BIM

Per la realizzazione del modello BIM si è partiti da modelli Revit esistenti unendoli e adattandoli alle esigenze del caso in questione. In particolare, è stato necessario aggiungere alcuni dettagli per un maggior realismo, fra questi i lastroni della pavimentazione, il raccordo dei gradini, le porte, le colonne, la cupola esagonale al primo piano.



(a) Dettaglio dei lastroni (Foto)



(b) Dettaglio dei lastroni (Revit)



(c) Dettaglio dei lastroni (UE5)

Figura 12: Dettaglio dei lastroni della pavimentazione al piano nobile

## 4.3.1 Creazione delle famiglie: colonna

Disponendo di una nuvola di punti più densa, si è voluto sostituire la mesh della colonna già presente nel modello con una nuova mesh più dettagliata. Per far ciò, si è partiti da CloudCompare per la creazione della mesh e si è cercato di ottimizzare quest'ultima con Instant Meshes.

## 1. Dalla Nuvola di Punti alla Mesh

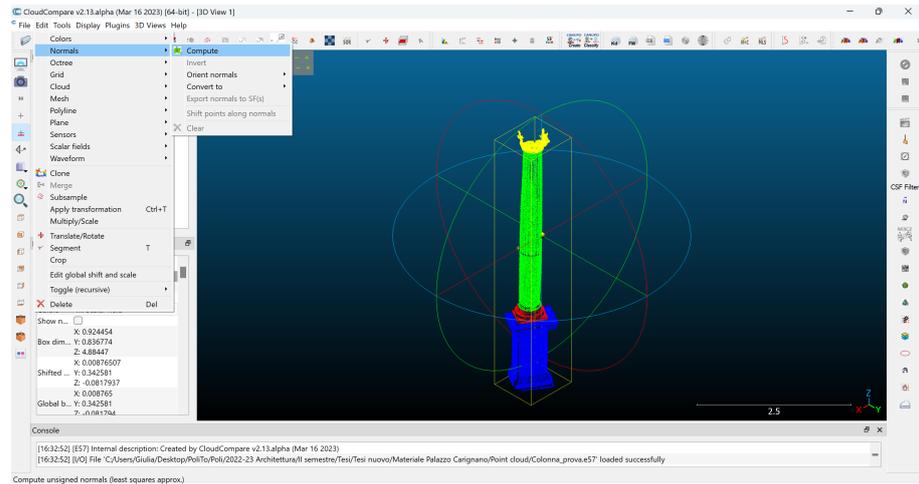


Figura 13: Edit/Normals/Compute

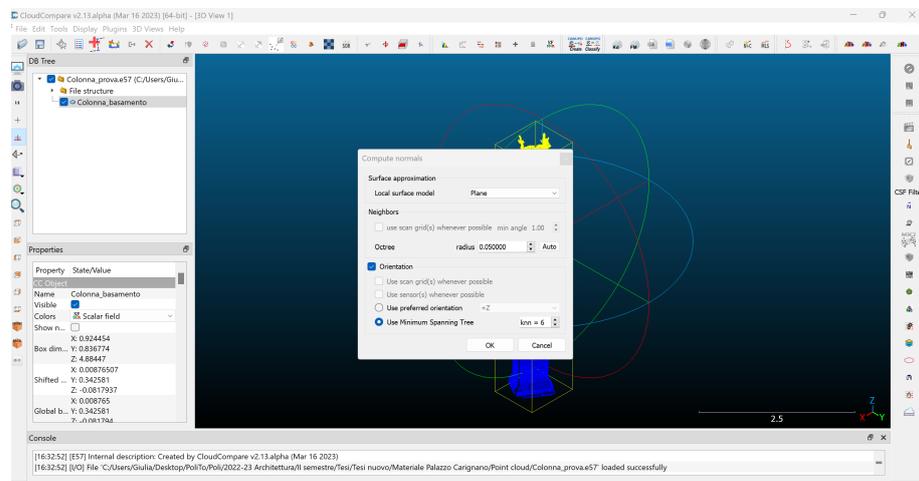


Figura 14: Calcolo delle normali

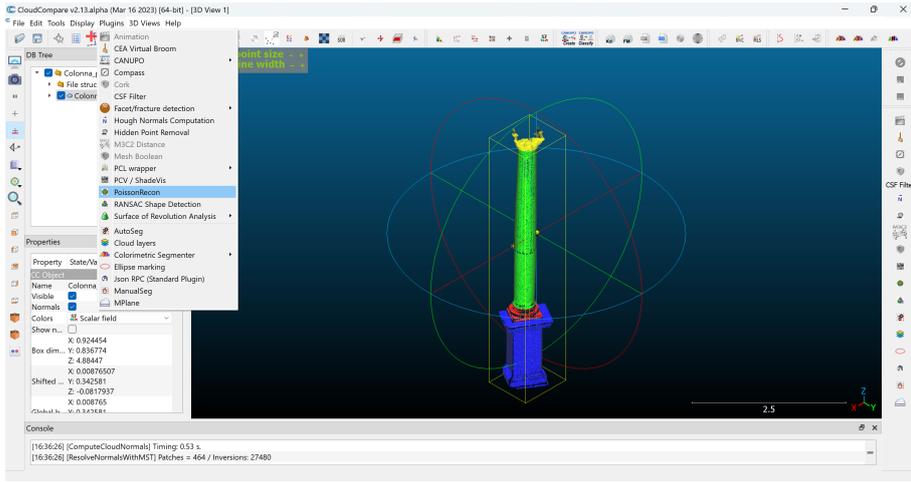


Figura 15: Plugins/PoissonRecon

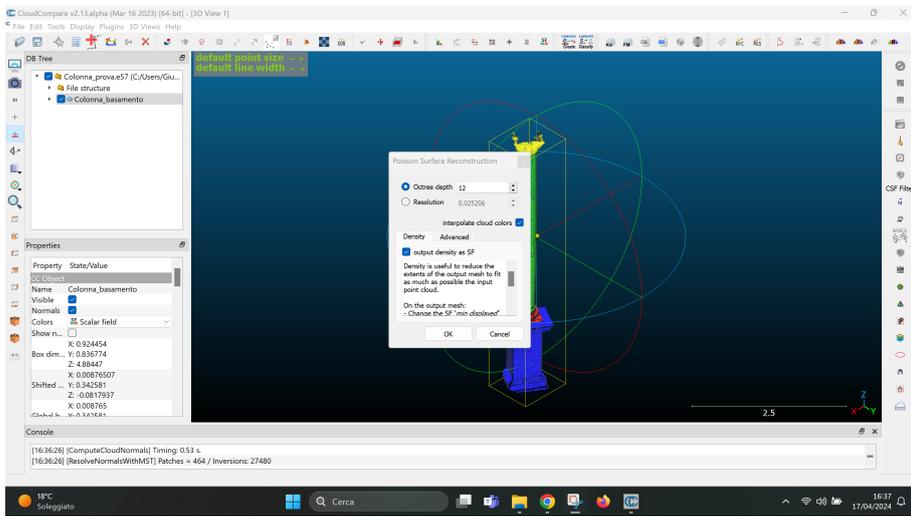


Figura 16: Ricostruzione della superficie con l' algoritmo di Poisson

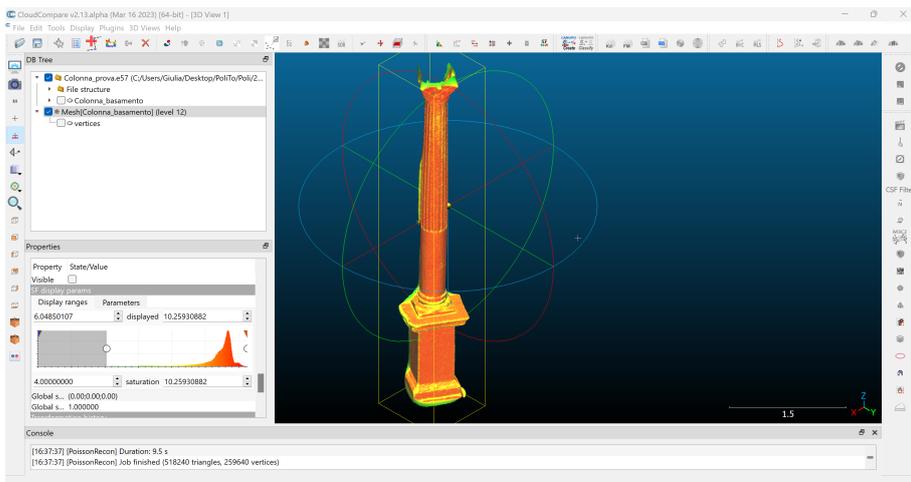


Figura 17: Scalar Field params: visualizzazione della densità dei punti

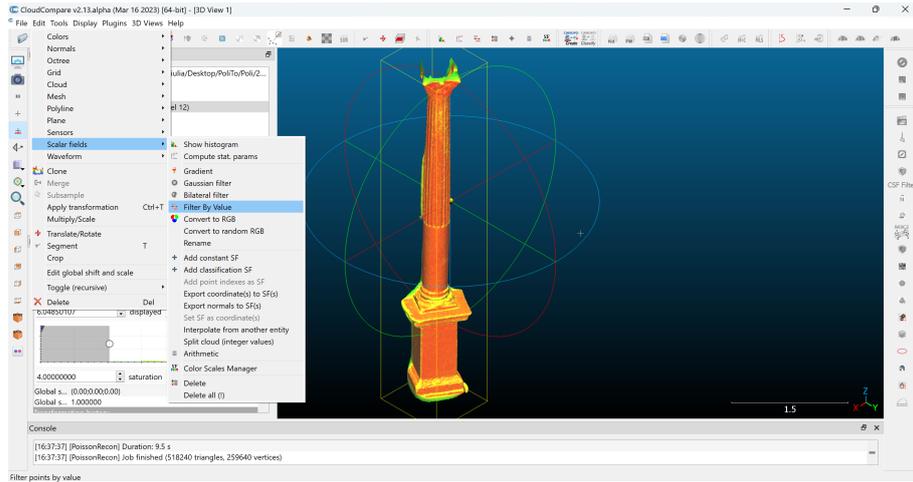


Figura 18: Edit/Scalar fields/Filter By Value

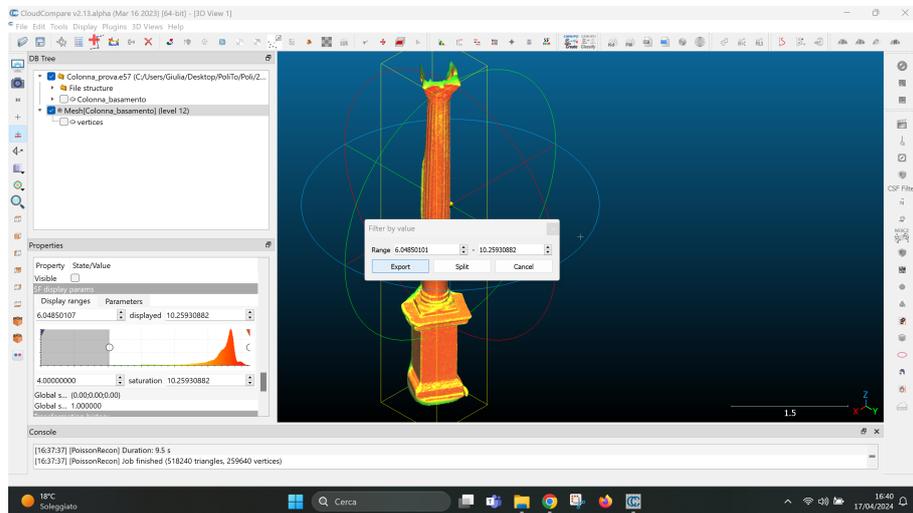


Figura 19: Eliminazione delle zone con meno densità

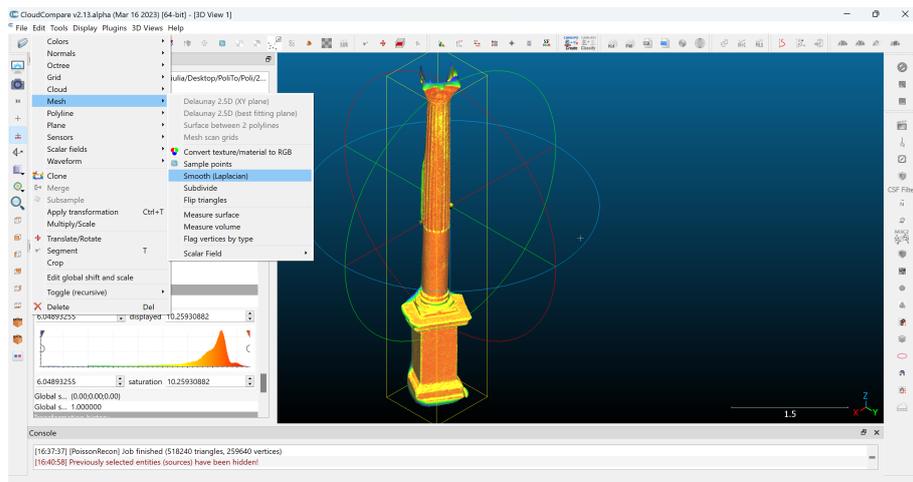


Figura 20: Edit/Mesh/Smooth (Laplacian)

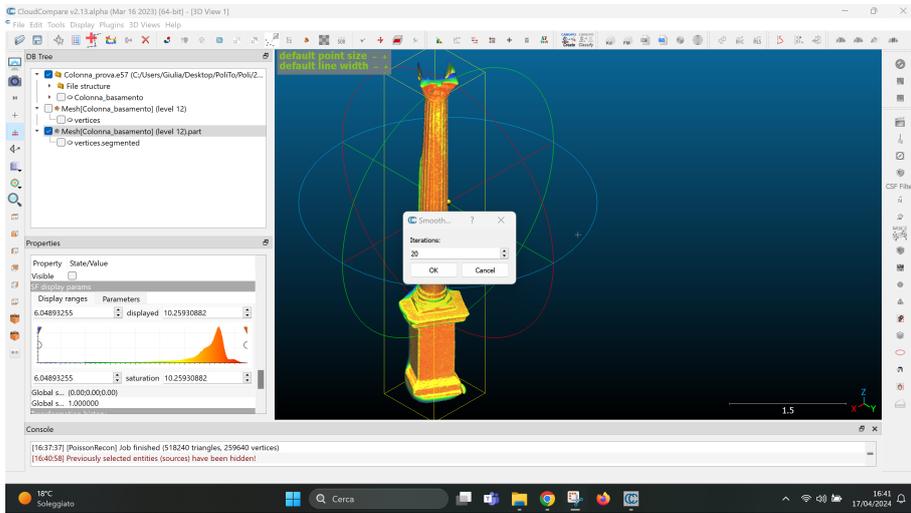


Figura 21: Miglioramento della mesh con il comando Smooth (Laplacian): Iterations

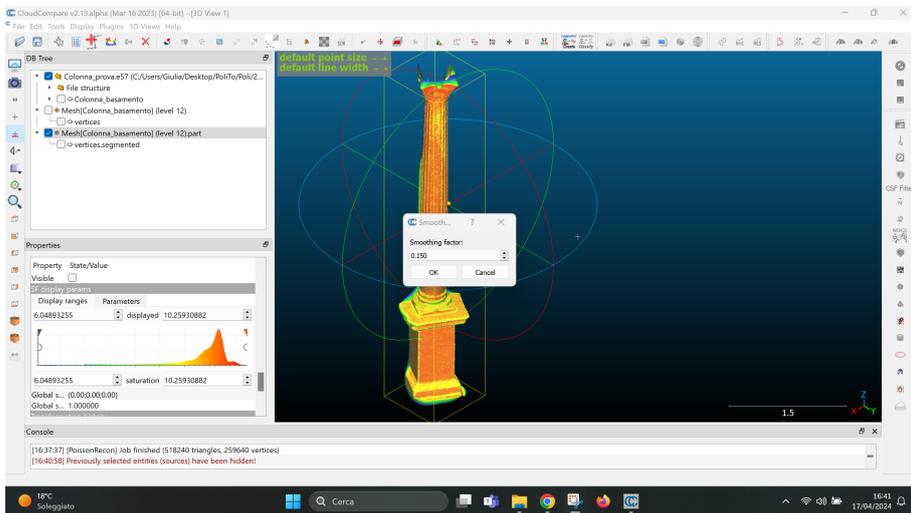


Figura 22: Miglioramento della mesh con il comando Smooth (Laplacian): Smoothing factor

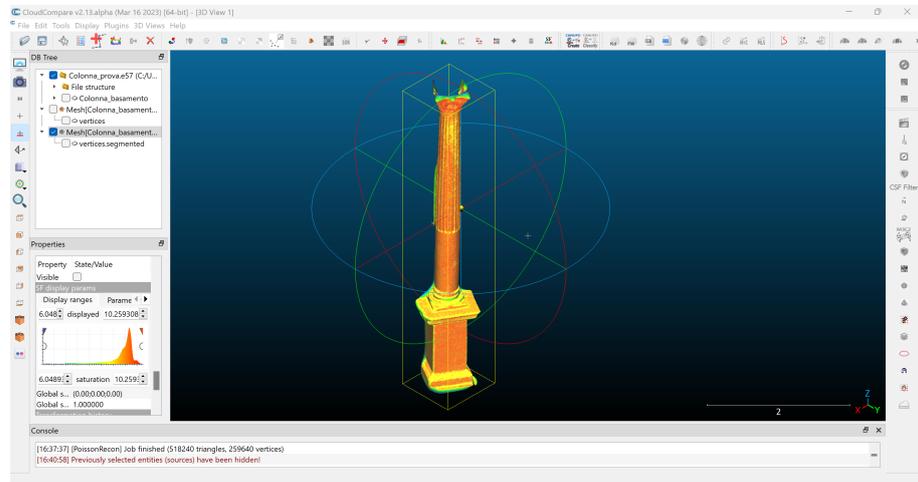


Figura 23: Risultato finale. Peso del file: 41.664 MB

## 2. Ottimizzazione della Mesh



Figura 24: Interfaccia di Instant Meshes

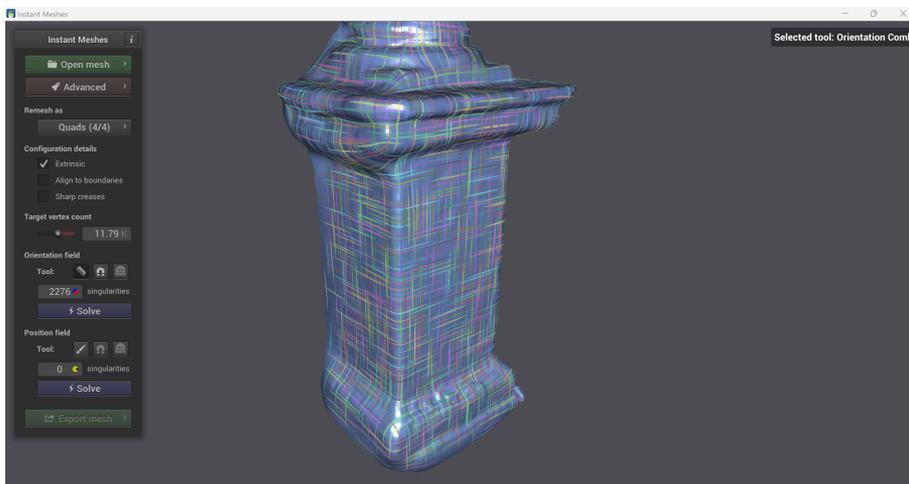


Figura 25: Orientation field/Solve

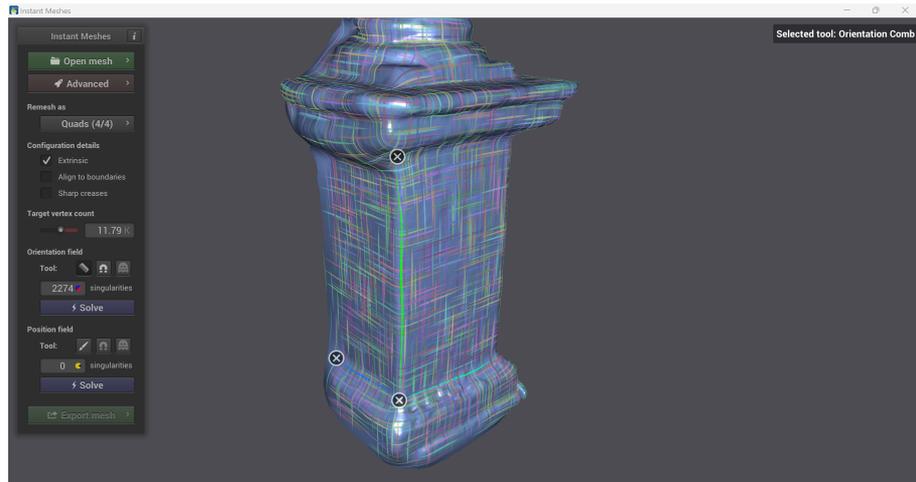


Figura 26: Tracciamento delle linee guida

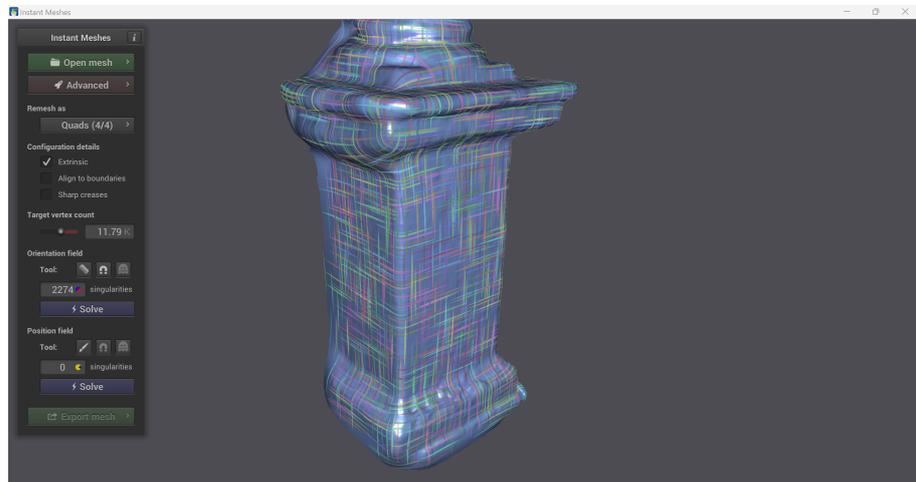


Figura 27: Position field/Solve

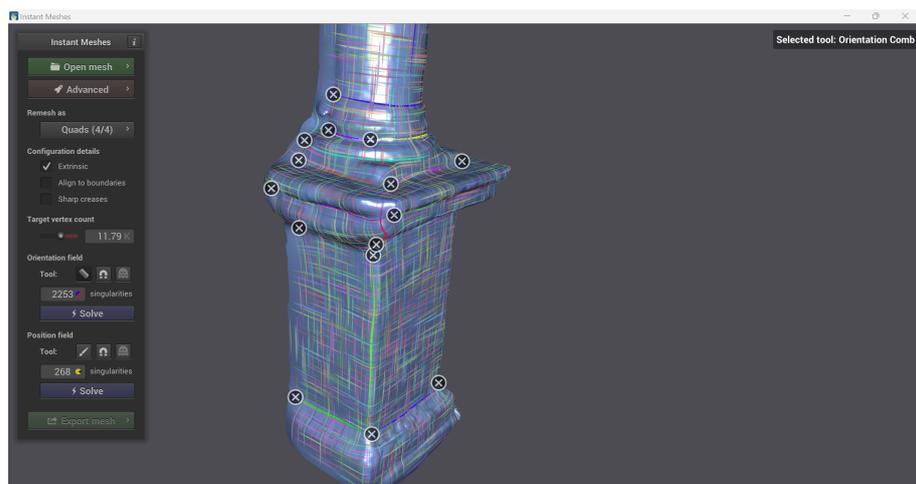


Figura 28: Tracciamento di ulteriori linee guida

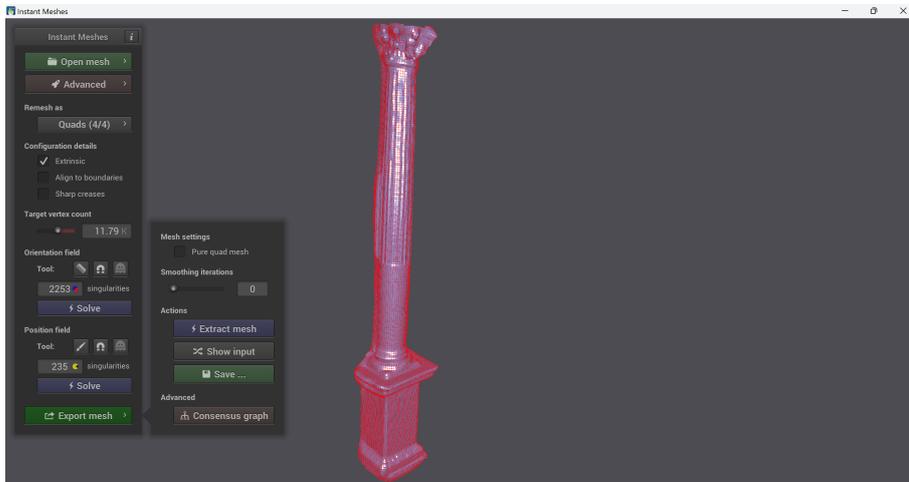


Figura 29: Export Mesh/Extract Mesh/Save .obj (Peso del file: 1.250 MB)

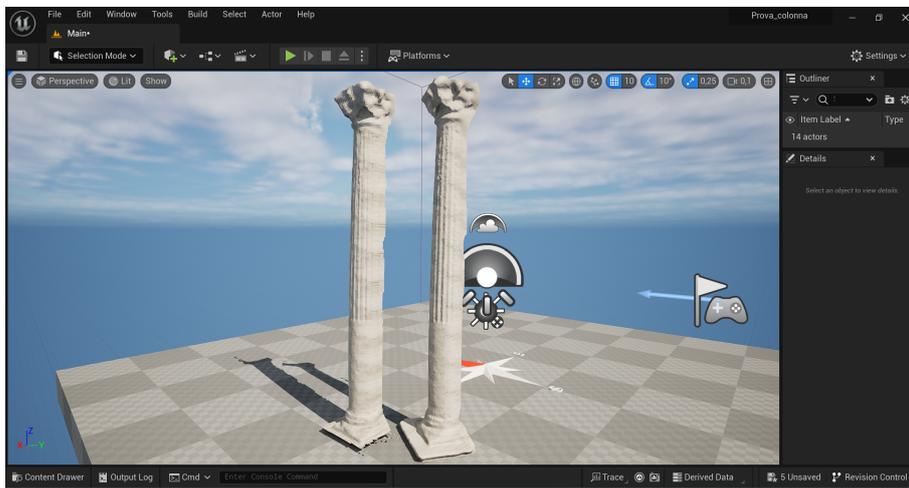


Figura 30: Visualizzazione su Unreal Engine 5 della Mesh di partenza (a destra) e della mesh ottimizzata (a sinistra)

## 3. Confronto tra le Mesh.

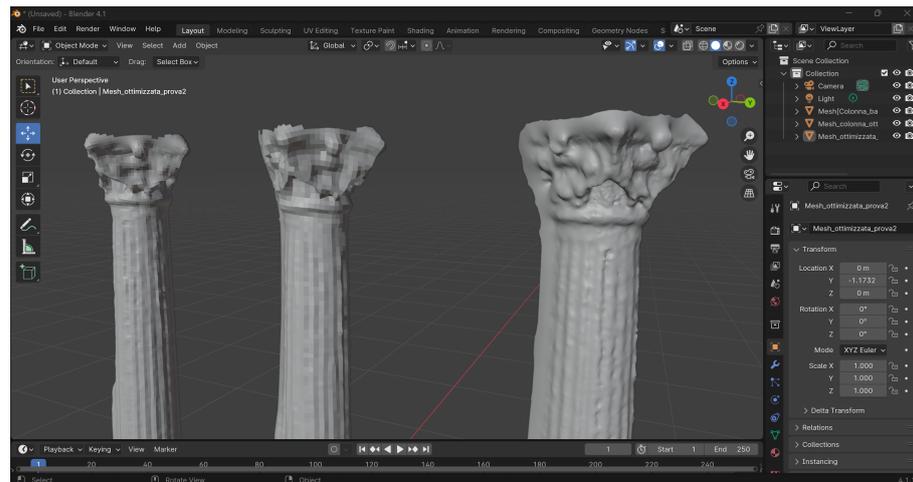


Figura 31: Confronto tra la mesh originale da CloudCompare (a destra), la mesh con massima ottimizzazione (a sinistra) e la mesh con media ottimizzazione (al centro)

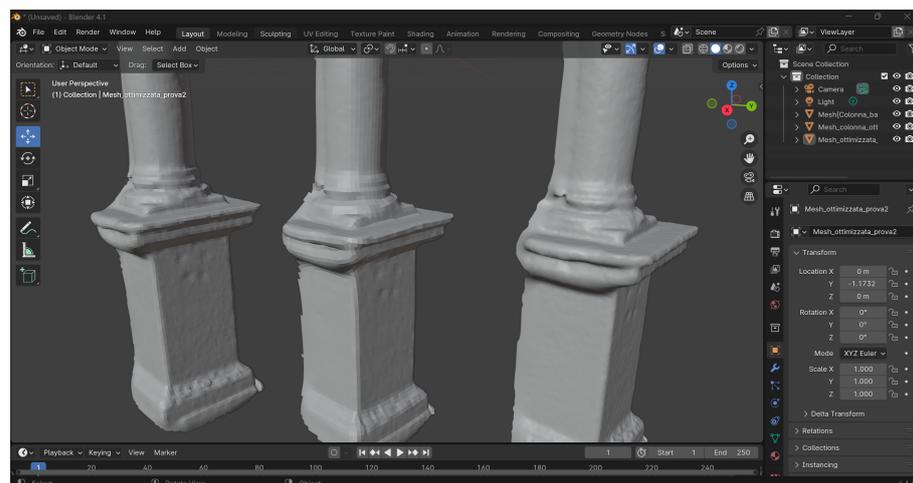


Figura 32: Confronto tra la mesh originale da CloudCompare (a destra), la mesh con massima ottimizzazione (a sinistra) e la mesh con media ottimizzazione (al centro)

Come detto nel capitolo sullo Stato dell'Arte, l'uso di mesh ottimizzate è fondamentale per una resa ottimale dell'applicativo e delle eventuali animazioni.

In questo caso, dopo il confronto, nell'ottica di ottenere maggior realismo, si è deciso di provare a usare la mesh originale, nonostante il suo peso.

#### 4.3.2 Ottimizzazione del modello

**INTEROPERABILITY TOOLS.** Revit è dotato di un plugin, Interoperability Tools, gratuito e costituito da una serie di applicazioni studiate per aiutare architetti, ingegneri, appaltatori con i loro progetti BIM. Aprendo Model Checker for Revit e scegliendo la libreria Best Practices, viene lanciato un check del modello secondo una serie di requisiti BIM; al termine si otterrà un report che permette di capire come può essere ottimizzato il modello.

Requisiti di controllo nella libreria Revit Best Practices:

- **Model Performance.** Per il monitoraggio della dimensione dei file presenti, dei warnings non risolti, ecc. . .
- **Project Settings.** Per il controllo delle impostazioni a livello di progetto per valutare la conformità con gli standard definiti per il progetto
- **External Files.** Per il controllo dei file collegati e importati nel modello
- **Datum and Location Elements.** Per il controllo dei dati e delle collocazioni degli elementi nel modello
- **Views.** Per il controllo delle viste nel modello
- **Model Elements.** Per il controllo degli elementi del modello
- **Annotative Elements.** Per il controllo degli elementi di annotazione nel modello

Il report finale, in questo caso, ha riportato quanto già previsto, ovvero che le famiglie contenenti le nuvole di punti sono i file di maggiori dimensioni nel modello. Nascondendo tali famiglie nel modello durante le modifiche, è possibile lavorare senza problemi.



Figura 33: Interoperability Tools

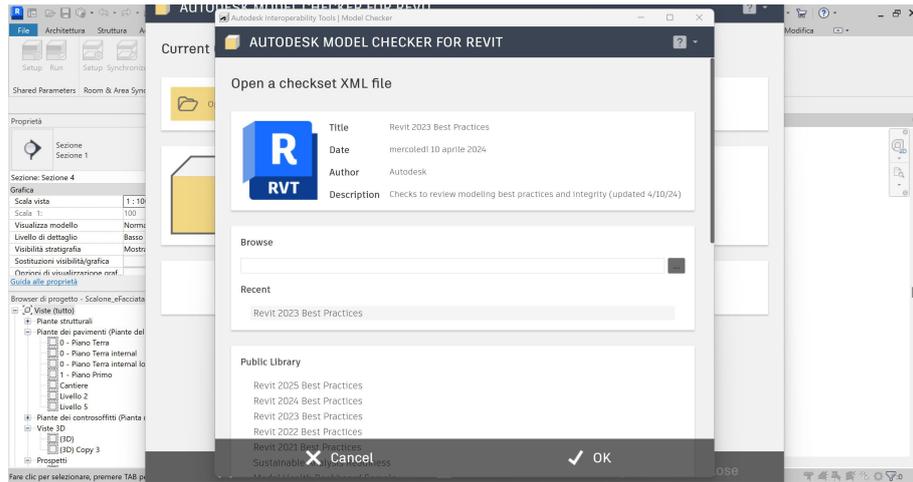


Figura 34: Model Checker Setup: Revit 2023 Best Practices

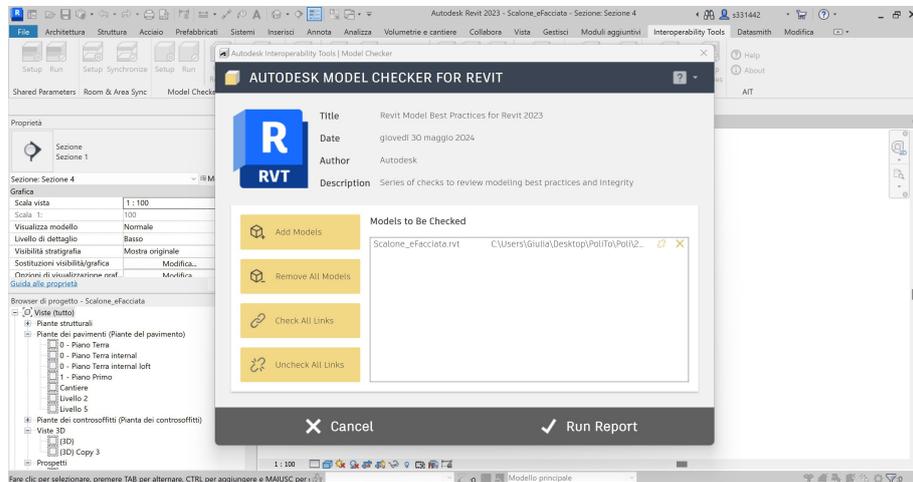


Figura 35: Model Checker Setup: Models to Be Checked

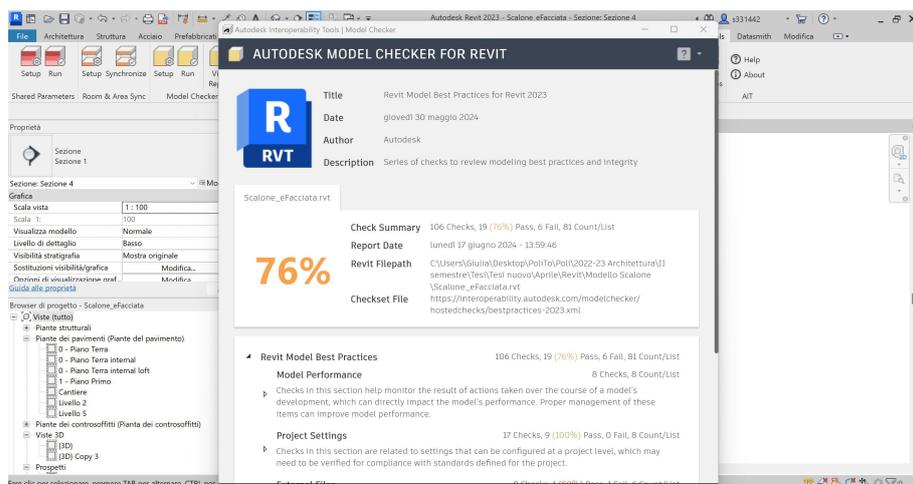


Figura 36: Model Checker View Report

#### 4.4 UNREAL ENGINE 5 VS UNITY

Unreal Engine 5 e Unity sono entrambi potenti motori di gioco utilizzati per lo sviluppo di giochi e di esperienze interattive.

- Unity

Vantaggi:

1. **Facilità di utilizzo** La sua interfaccia intuitiva lo rende adatto ai principianti e agli sviluppatori meno esperti;
2. **Multi-piattaforma** Supporta una vasta gamma di piattaforme, consentendo agli sviluppatori di raggiungere un vasto pubblico con un'unica soluzione di sviluppo;
3. **Community attiva** Unity ha una vasta e attiva community di sviluppatori che offre supporto, risorse e asset pronti all'uso;
4. **Personalizzazione** Unity offre una grande flessibilità e possibilità di personalizzazione attraverso l'uso di asset store, plugin e script personalizzati.

Svantaggi:

1. **Grafica** Sebbene le capacità grafiche siano migliorate significativamente nel tempo, Unreal Engine 5 è considerato superiore in termini di rendering fotorealistico e capacità grafiche avanzate;
2. **Ottimizzazione** L'ottimizzazione dei progetti Unity per prestazioni elevate su tutte le piattaforme può essere più impegnativa rispetto ad altri motori come Unreal Engine 5;
3. **Licenza** Le politiche di licenza possono diventare costose al crescere delle dimensioni e del successo commerciale del progetto;
4. **Linguaggio di programmazione** Unity fa uso del linguaggio di programmazione C#, rappresentando un problema per chi non sa programmare.

- Unreal Engine 5

Vantaggi:

1. **Grafica UE5** ha capacità grafiche avanzate e di rendering fotorealistico grazie a tecnologie come Lumen per l'illuminazione globale e Nanite per la geometria;
2. **Blueprint System** ha un sistema di programmazione visuale che consente di creare logica di gioco senza dover scrivere codice;
3. **Potenziale nell'industria cinematografica** Unreal è stato ampiamente adottato nell'industria cinematografica per la produzione virtuale e la creazione di effetti speciali;

4. **Community attiva** Anche Unreal ha una vasta community di sviluppatori e offre un'eccellente documentazione e supporto online.

Svantaggi:

1. **Curva di apprendimento ripida** Unreal può risultare più difficoltoso da imparare rispetto a Unity, soprattutto per i principianti;
2. **Complessità** La vasta gamma di funzionalità avanzate in Unreal può renderlo più complesso da utilizzare rispetto a Unity, specialmente per progetti più semplici e piccoli;
3. **Linguaggio di programmazione** Il linguaggio di programmazione usato è C++, tuttavia, il sistema Blueprint permette di usare altre logiche per scrivere le istruzioni.

#### 4.4.1 *Unreal Engine 5*

Unreal Engine è un motore di gioco sviluppato da Epic Games. La prima versione viene lanciata nel 1998, anno in cui ha anche inizio la sua continua evoluzione nella costante ricerca di tecnologie più potenti.

Nel 2021-2022 viene lanciata la versione 5 di Unreal Engine, che introduce nuove tecnologie in grado di rivoluzionare la qualità visiva e le capacità di sviluppo dei videogiochi.

Le principali novità di Unreal Engine 5 sono

1. **Nanite** Sistema di geometria virtualizzata che consente di creare asset con un numero di poligoni molto alto senza compromettere le prestazioni. Questa innovazione permette di importare modelli dettagliati direttamente nel motore, eliminando la necessità di creare versioni a bassa risoluzione;
2. **Lumen** Sistema di illuminazione globale dinamica che offre una qualità ancora più realistica della luce. Lumen simula l'illuminazione indiretta in tempo reale, consentendo agli sviluppatori di modificare le luci e le scene senza dover attendere tempi di rendering molto lunghi;
3. **World Partition** Un sistema che suddivide automaticamente il mondo di gioco in una griglia e carica dinamicamente solo le parti necessarie, migliorando notevolmente la gestione delle risorse e permettendo di creare ambienti di gioco vasti e dettagliati senza problemi di performance;
4. **MetaHuman Creator** Strumento che consente di creare personaggi umani realistici in modo semplice e rapido. MetaHuman Creator offre un'ampia gamma di opzioni di personalizzazione per creare volti, capelli e corpi in modo dettagliato;

5. **Animation System Enhancements** Miglioramenti significativi al sistema di animazione, inclusi nuovi strumenti per la creazione di animazioni, come Control Rig e Full-Body IK (Inverse Kinematics), che permettono una manipolazione e una gestione più precise dei personaggi;
6. **Chaos Physics and Destruction** Un motore fisico avanzato che migliora la simulazione delle collisioni e delle distruzioni. Chaos Physics consente di creare effetti di distruzione realistici, come edifici che crollano e oggetti che si rompono in modo credibile;
7. **Niagara VFX** Sistema avanzato per la creazione di effetti visivi (VFX), che offre una maggiore flessibilità e controllo nella simulazione di particelle. Niagara consente di creare effetti complessi, come fuoco, fumo e acqua, con una qualità visiva elevata;
8. **Open World Improvements** Miglioramenti significativi nella gestione degli open world, con strumenti che facilitano la creazione di mondi di gioco ampi e dettagliati, come il supporto per il landscape streaming e il miglioramento del foliage;
9. **Audio Engine Enhancements** Aggiornamenti al motore audio, inclusi nuovi strumenti per la gestione e la creazione del suono. Il nuovo sistema audio offre una maggiore qualità e versatilità nella gestione degli effetti sonori e della musica;
10. **UE5 Editor UI/UX Improvements** Miglioramenti all'interfaccia utente e all'esperienza d'uso dell'editor di Unreal Engine 5 (UE5), rendendo il workflow degli sviluppatori più efficiente e intuitivo.

#### 4.5 SVILUPPO DELL'APPLICATIVO VR

**DATASMITH** Revit è dotato di un plugin chiamato "Datasmith" che consente di trasferire il modello da Revit a Unreal Engine 5. Al momento della scrittura di questa tesi il plugin può essere installato su Revit 2023 (non 2024) e funziona con Unreal Engine 5.2 (non con le versioni successive). Il plugin deve essere abilitato su UE5 perchè sia visibile e può essere usato sia in sincronizzazione in tempo reale (scelta non consigliata per progetti pesanti) o esportando il modello in formato .udatasmith.

Un primo problema in cui si potrebbe incorrere appena si apre il file .udatasmith è l'assenza di elementi o l'assenza di facce di elementi.

Il primo problema si verifica quando agli elementi non è assegnato un materiale in Revit e si può risolvere cambiando il materiale agli stessi da Revit e riesportando il modello in formato .udatasmith.

Il secondo problema è dovuto alle normali delle superfici e si può risolvere ricalcolando le normali nella sezione di modellazione di UE5.

##### 4.5.1 *Contesto*

L'oggetto principale della visita virtuale è lo Scalone guariniano, per il quale si è usato il modello dettagliato realizzato su Revit. La visita inizia, però, all'esterno di Palazzo Carignano, davanti la facciata principale (lato Piazza Carignano).

Per la facciata esterna si è utilizzato un modello esistente, risultato della tesi di Dapino [7].

Oltrepassato il portone principale, si apre alla vista l'ambiente dell'androne; questo è stato ricostruito per la maggior parte su UE5. Come si nota dalle foto che seguono, l'androne appare semplificato, ciò per contestualizzare lo Scalone, ma, al tempo stesso, non sovraccaricare l'utente con dettagli superflui ai fini della visita dello Scalone stesso.

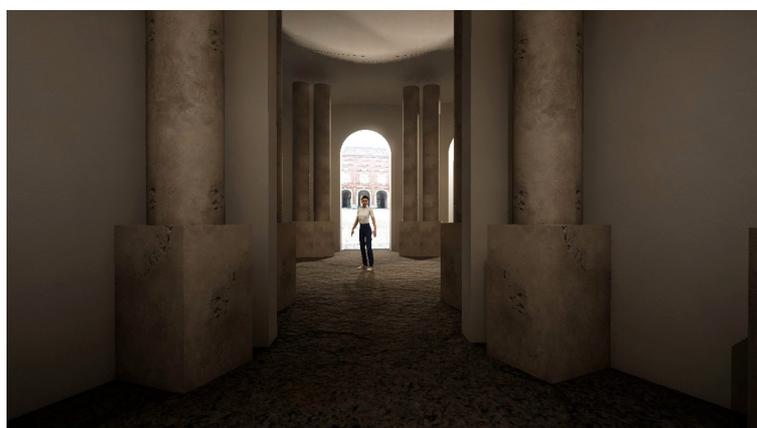


Figura 37: Vista dell'androne

L'ambiente esterno, quale Piazza Carignano e il cortile interno del Palazzo, non sono modellati, ma sono stati inseriti come fotografie: è stata inserita una foto a 360° per Piazza Carignano e delle foto 2D per il cortile.



Figura 38: Vista della facciata di Palazzo Carignano sull' omonima Piazza

#### 4.5.2 Illuminazione

L'illuminazione, in particolare nello Scalone guariniano, è stata riprodotta in modo quanto più fedele alla realtà, facendo, però, attenzione che tutti gli ambienti fossero sufficientemente luminosi, per andare incontro alle esigenze dei possibili fruitori.

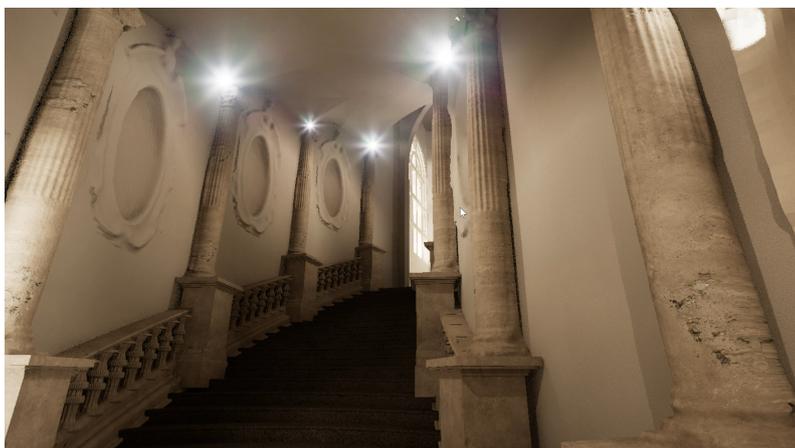


Figura 39: Vista dello Scalone guariniano

#### 4.5.3 *Materiali*

Quixel Brigde è un plugin di UE5 che fornisce svariate risorse 3D come oggetti, materiali ed effetti realistici. Dispone di assets di alta qualità che sono facilmente importabili in qualsiasi progetto di Unreal.

I materiali utilizzati nel progetto sono stati scaricati da Quixel Bridge. Per ogni materiale utilizzato, è stata necessaria qualche semplice modifica: fattore di scala, riflettività, ecc. . .

#### 4.5.4 *Personaggi e dialoghi*

I personaggi presenti sono quattro ragazzi scaricati da Mixamo, un sito che fornisce mesh di personaggi 3D e animazioni per i personaggi. Diversamente da MetaHuman, in cui i personaggi sono molto realistici, su Mixamo si trovano dei personaggi a metà tra realismo e finzione.

Come spiegano i personaggi stessi, essi accompagnano il giocatore in una missione che consiste nel rispondere correttamente a tre semplici domande sulla storia di Palazzo Carignano, dopo aver ascoltato la storia stessa da ciascuno dei personaggi. Il premio, dopo aver risposto a tutte le domande, sarà poter accedere alla Prima Aula del Parlamento Subalpino, solitamente chiusa al pubblico nella realtà.



Figura 40: Accesso all'Aula del Parlamento Subalpino



Figura 41: Accesso allo scalone dall'Aula del Parlamento Subalpino



Figura 42: Vista dell'Aula del Parlamento Subalpino (1)



Figura 43: Vista dell'Aula del Parlamento Subalpino (2)

Quando ci si avvicina a sufficienza ad un personaggio, il suo nome compare e ciò indica la possibilità di interagirvi. Premendo il tasto "E" da tastiera è possibile iniziare il dialogo. Ogni utente dispone di tutto il tempo necessario per leggere, in quanto la conversazione procede soltanto se si clicca con il mouse "Continua", "Ok" o una risposta. Lo sfondo della finestra di dialogo è volutamente opaco, non trasparente, il colore del testo è ad elevato contrasto e il font è semplice, tutto ciò per favorire la lettura. I dialoghi sono ottenuti tramite un codice a blocchi articolato.

Si riportano di seguito i dialoghi nell'ordine.

#### *Personaggio 1: Gaia*



Figura 44: Personaggio 1 "Benvenuto a Palazzo Carignano!"

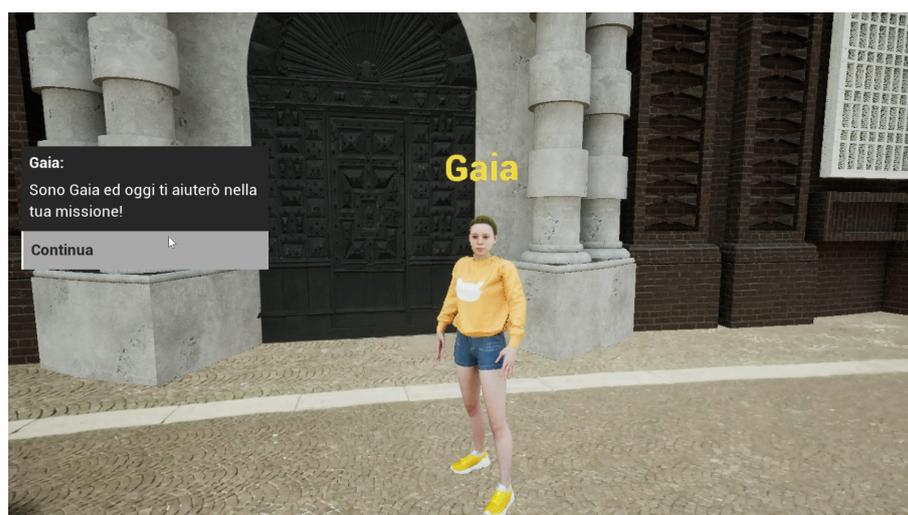


Figura 45: Personaggio 1 "Sono Gaia ed oggi ti aiuterò nella tua missione!"



Figura 46: Personaggio 1: racconta la storia di Palazzo Carignano

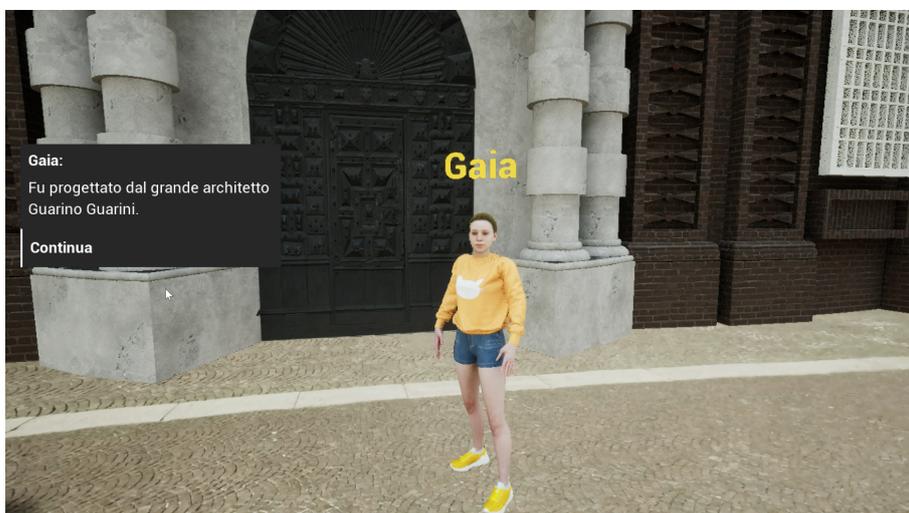


Figura 47: Personaggio 1: racconta la storia di Palazzo Carignano



Figura 48: Personaggio 1: racconta la storia di Palazzo Carignano



Figura 49: Personaggio 1: introduce la missione



Figura 50: Personaggio 1: spiega la missione

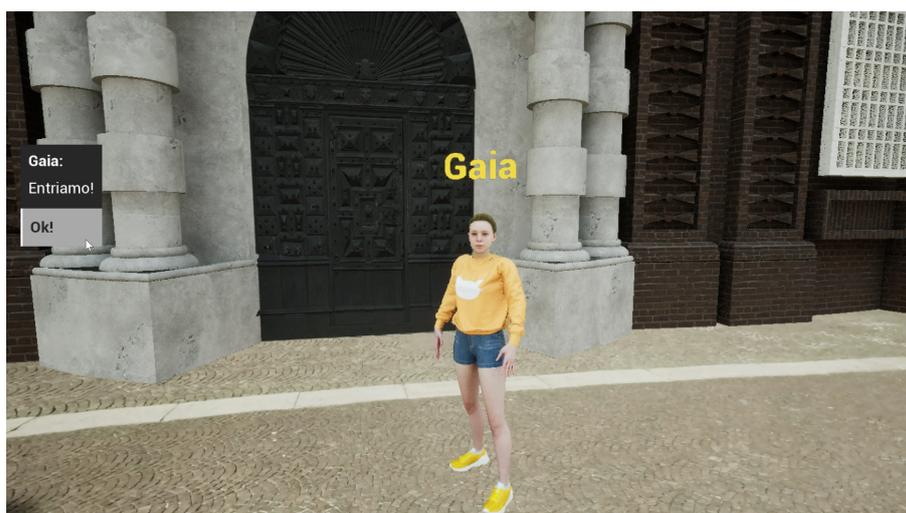


Figura 51: Personaggio 1: invita ad entrare

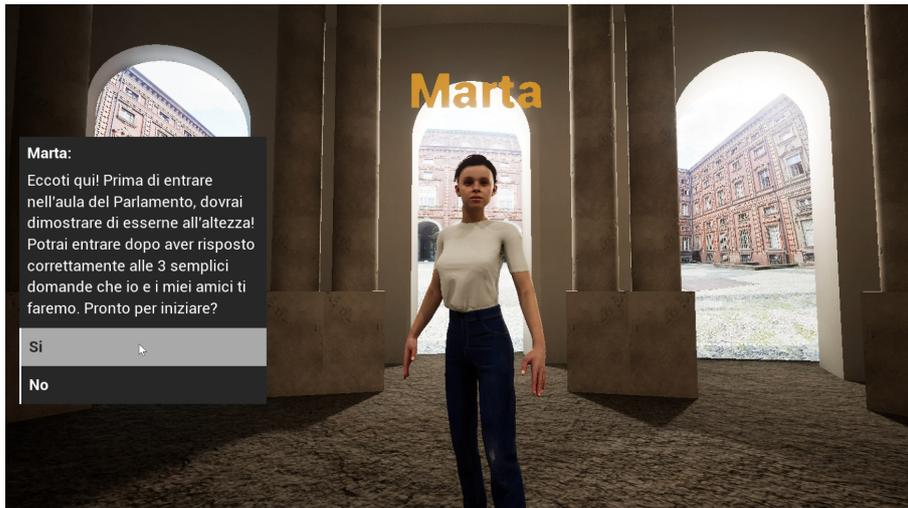
*Personaggio 2: Marta*

Figura 52: Personaggio 2: spiega la missione

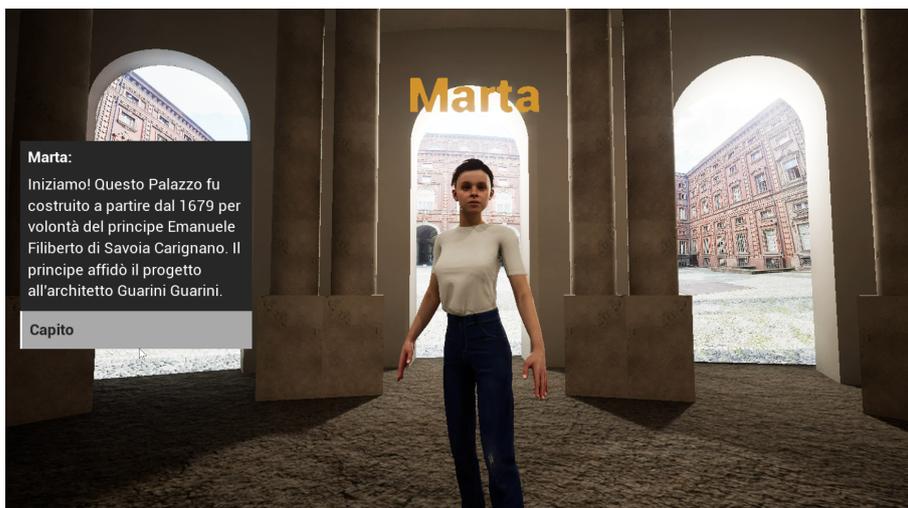


Figura 53: Personaggio 2: racconta la storia

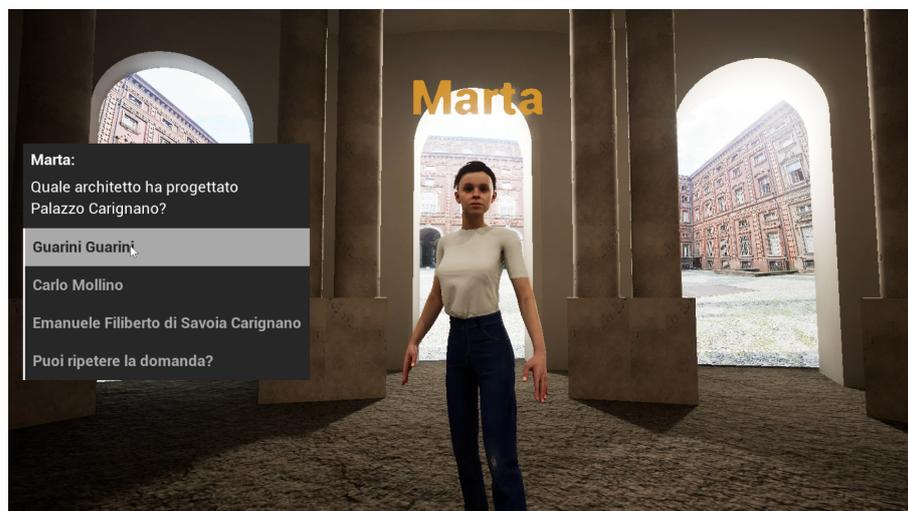


Figura 54: Personaggio 2: pone la domanda



Figura 55: Personaggio 2: risposta corretta



Figura 56: Personaggio 1: frase random 1 che compare nelle interazioni successive, dopo che si è risposto correttamente

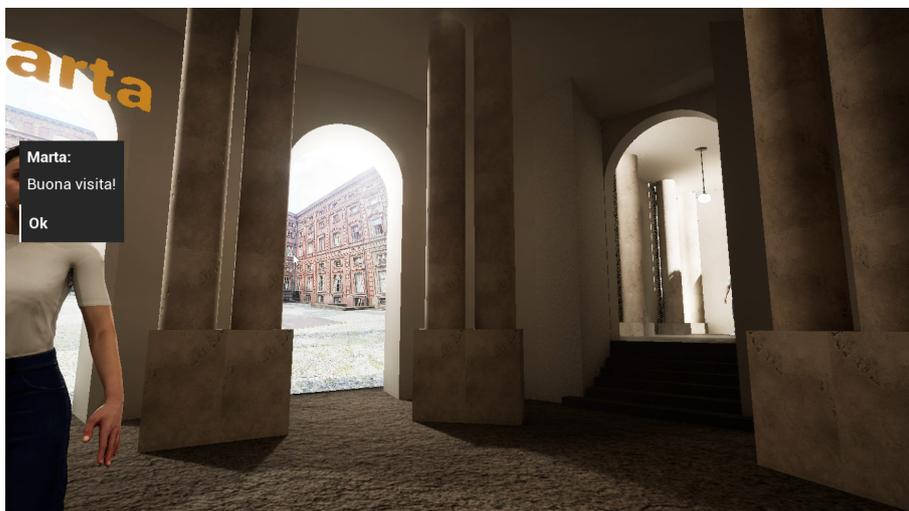


Figura 57: Personaggio 1: frase random 2 che compare nelle interazioni successive, dopo che si è risposto correttamente

*Personaggio 3: Lucio*



Figura 58: Personaggio 3: "Pronto per rispondere alla seconda domanda?" risposta "No"



Figura 59: Personaggio 3: si è liberi di rispondere alle domande quando si vuole



Figura 60: Personaggio 3: "Pronto per rispondere alla seconda domanda?"  
risposta "Si"



Figura 61: Personaggio 2: racconta la storia



Figura 62: Personaggio 3: scelta della risposta sbagliata



Figura 63: Personaggio 3: possibilità di riprovare dopo aver dato una risposta errata



Figura 64: Personaggio 3: risposta corretta, indica dove andare

*Personaggio 4: Diego*

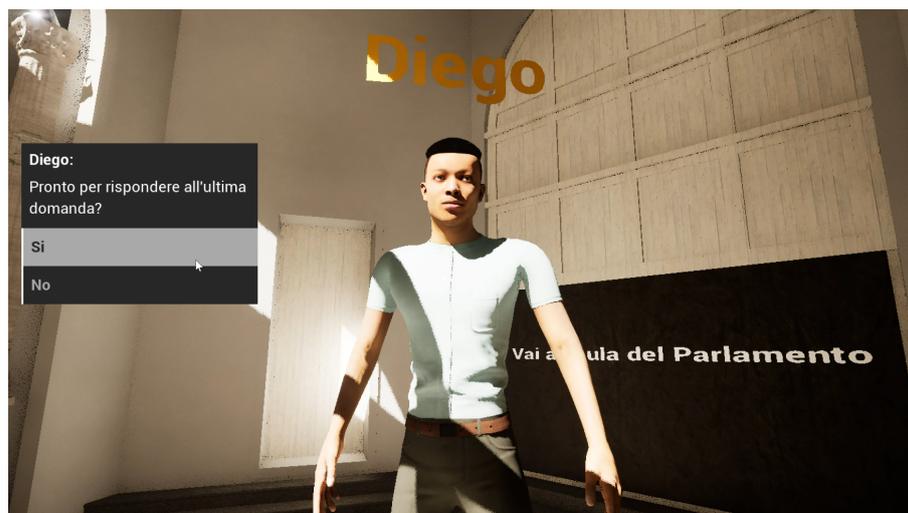


Figura 65: Personaggio 4: "Pronto per rispondere all'ultima domanda?"

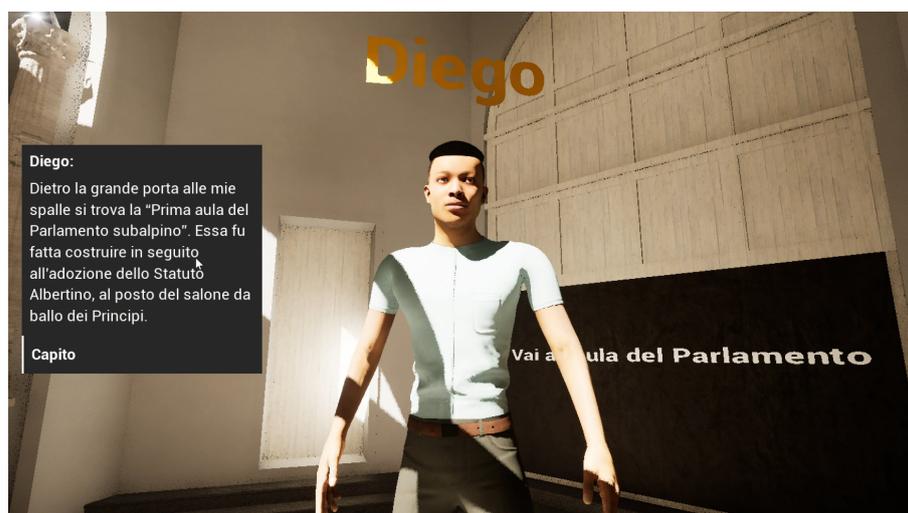


Figura 66: Personaggio 4: racconta la storia



Figura 67: Personaggio 4: pone la domanda

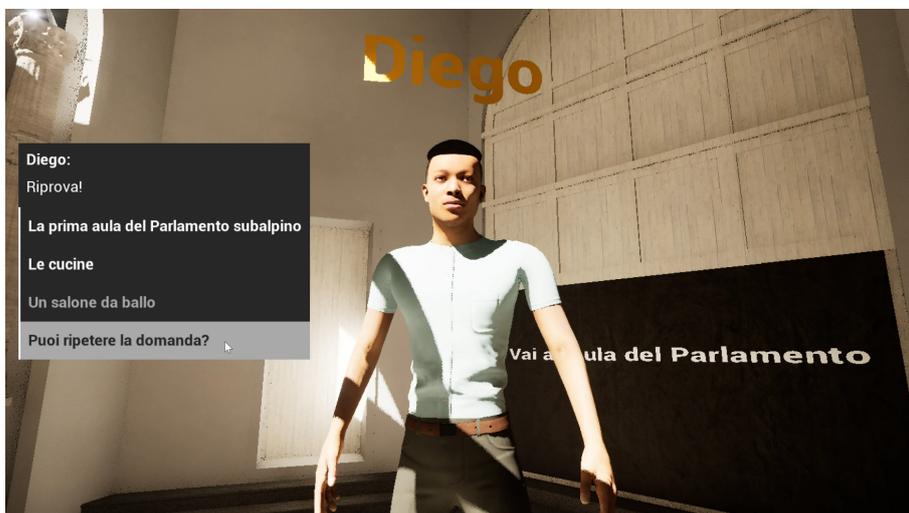


Figura 68: Personaggio 4: risposta sbagliata e possibilità di selezionare "Puoi ripetere la domanda?"

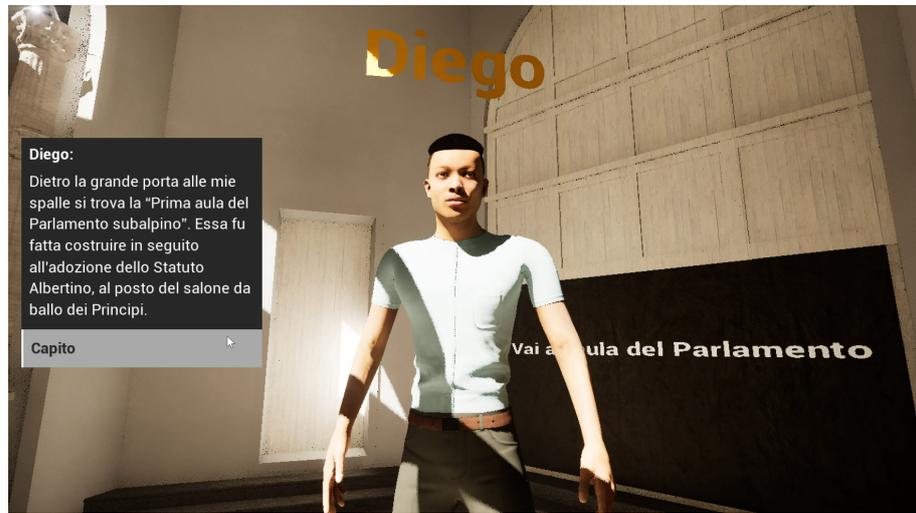


Figura 69: Personaggio 4: ripete la storia



Figura 70: Personaggio 4: pone nuovamente la domanda

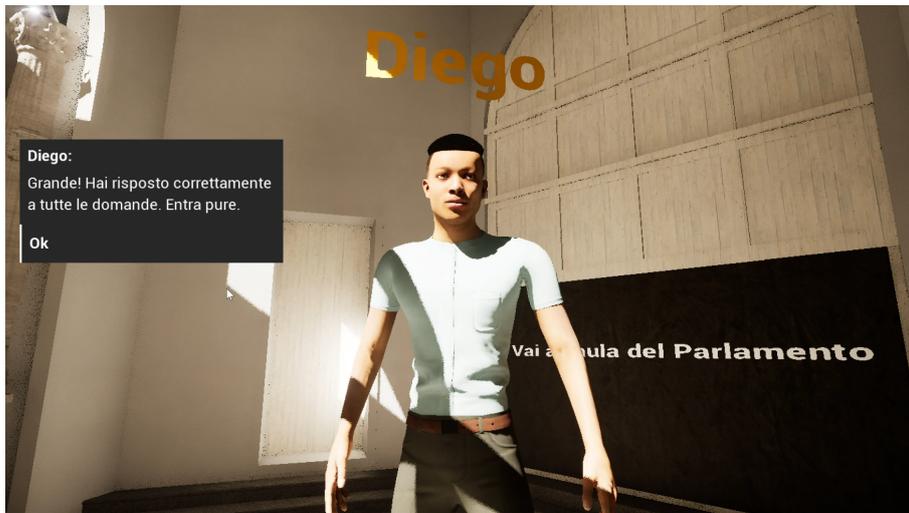


Figura 71: Personaggio 4: risposta corretta, tutte le prove sono state superate, è possibile accedere all'Aula del Parlamento dietro il personaggio 4

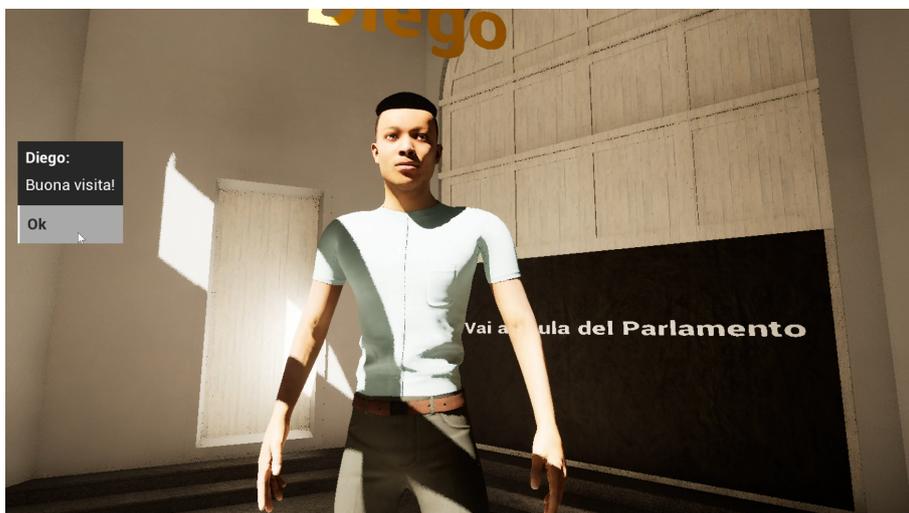


Figura 72: Personaggio 1: frase random che compare nelle interazioni successive, dopo che si è risposto correttamente

## 4.5.5 Menù e pacchetto

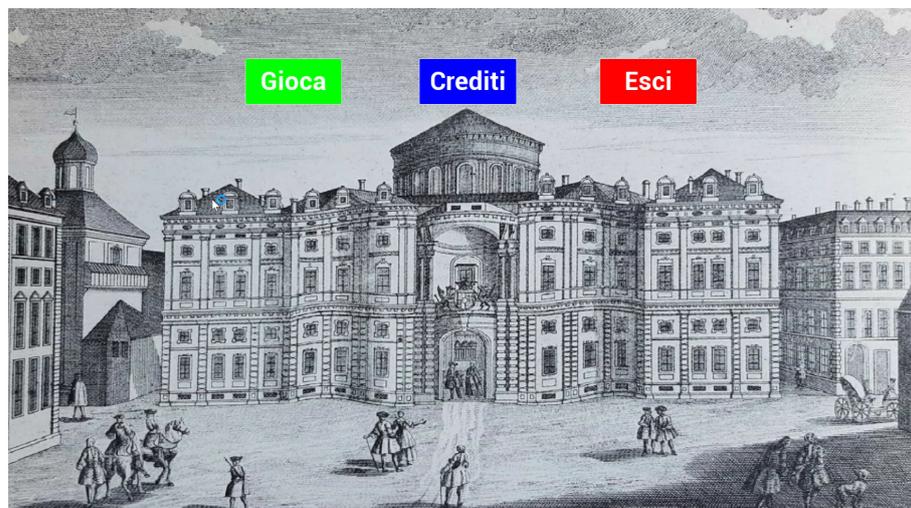


Figura 73: Menù principale

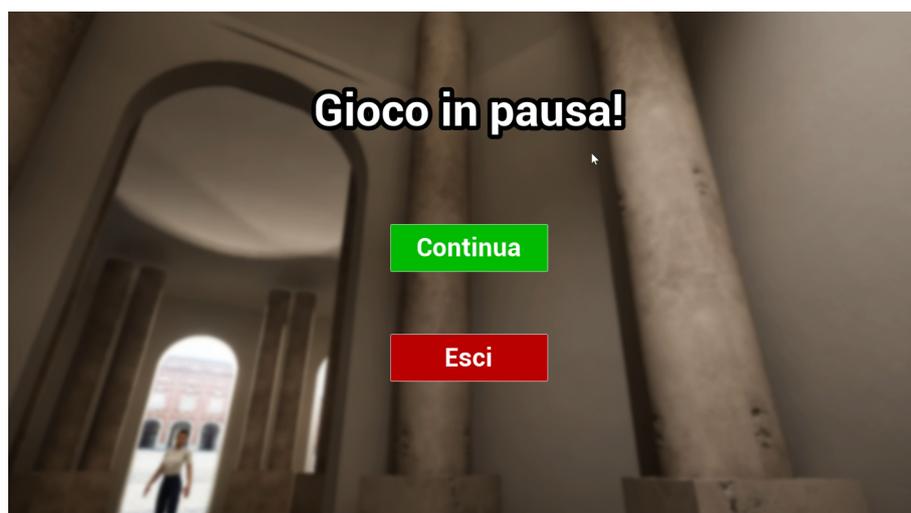


Figura 74: Premendo il tasto "P" da tastiera si ha la possibilità di mettere il gioco in pausa quando si desidera

L'applicativo VR è stato impostato per essere usato dal proprio PC facendo uso della tastiera.

Il processo di esportazione del pacchetto presenta alcune insidie dovute al fatto che ogni versione di Unreal Engine supporta una specifica versione di Java e Windows SDK (Software Development Kit). Perchè l'esportazione vada a buon fine, il percorso del file del progetto non deve essere troppo lungo, bisogna installare la versione più aggiornata di Visual Studio con i relativi plugin per lo sviluppo di giochi e settare una serie di impostazioni su Unreal Engine.

### 5.1 UTENZA

L'applicativo 360 è stato realizzato con lo scopo di aumentare l'inclusività dei musei, in questo caso di Palazzo Carignano, rivolgendosi alle persone con disabilità motoria in particolare e a tutti coloro che, per svariati motivi, siano temporaneamente impossibilitati a visitare personalmente il Palazzo.

Il tour virtuale 360 si serve di foto per raggiungere il suo scopo, costituendo una riproduzione fedele degli ambienti oggetto del percorso di visita. Nell'ambito della sua realizzazione, sono stati confrontati due software: Kuula e Unreal Engine 5.

## 5.2 WORKFLOW

### 1. Raccolta dati

- Insta360 Pro 2

### 2. Elaborazione dei dati

- Insta360 Stitcher
- Photoshop

### 3. Realizzazione del tour 360

- Kuula
- Unreal Engine 5
  - Formato .hdr
  - Teletrasporto e mappe
  - Visore
  - Pacchetto

## 5.3 FOTO A 360 GRADI

### 5.3.1 Raccolta

**INSTA360 PRO 2** Per scattare le foto ci si è serviti della fotocamera professionale Insta360 Pro 2, una macchina studiata per l'acquisizione di foto e video ad alta risoluzione a 360 gradi.

L'Insta360 Pro 2 è una delle migliori fotocamere 360 al momento con una qualità video fino a 8K e una qualità delle foto fino a 12K.

La fotocamera è dotata di sei lenti x F2.4 fisheye, un ampio spazio di archiviazione garantito da sei schede MicroSD più una scheda Full SD. Offre una stabilizzazione FlowState, monitoraggio live a lungo raggio. Assicura una buona illuminazione anche in condizioni di luce non favorevoli.

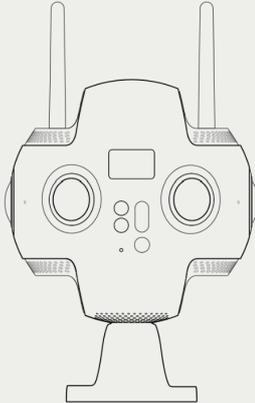
<b>Obiettivi</b> 6 lenti x F2.4 fisheye	<b>Diametro</b> φ143mm	
<b>Archiviazione</b> 6 schede MicroSD + 1 scheda Full SD	<b>Peso</b> ~1550g	
<b>Potenza</b> Adattatore 12V 5A	<b>Gamma ISO</b> 100~6400	
<b>Materiale</b> Lega di alluminio	<b>Capacità della batteria</b> Batteria rimovibile da 5100mAh	
<b>Modalità di esposizione</b> Auto, Manuale, Personalizzato lente per lente, Priorità otturatore (solo foto), Priorità ISO (solo foto)	<b>Modalità di bilanciamento del bianco</b> Auto, Manuale	

Figura 75: Insta360 Pro 2 Specifiche dettagliate [34]

Le foto sono state scattate sul posto posizionando la fotocamera con il treppiede al centro della stanza e controllando lo scatto dallo smartphone, grazie all'applicazione per Android "Insta360Pro2".

La modalità delle foto può essere: scatto singolo, raffica, timelapse, AEB (Auto Exposure Bracket, con possibilità di scegliere 3, 5, 7 e 9 foto per foto HDR direttamente nella fotocamera). In tutte le modalità sono disponibili il formato Raw e JPG.

In questo caso si è provato a scattare sia in modalità AEB 3, sia AEB 9 in formato sia Raw sia JPG. Si è notata la qualità superiore delle foto con modalità AEB 9, ma soprattutto l'importanza di selezionare il formato Raw, in modo da poter migliorare le foto con Photoshop.

### 5.3.2 *Elaborazione*

Le foto scattate, per essere unite, devono essere importate sul PC e caricate nel software Insta360 Stitcher, il software dell'Insta360 Pro 2 scaricabile dal sito ufficiale.

Dopo aver regolato le impostazioni su Insta360 Stitcher, è possibile salvare i file; se si è scelto il formato Raw, si otterrà una foto 360 .jpg e una .dng.

La foto con estensione .dng è stata migliorata automaticamente con Photoshop con pochi semplici passaggi e regolata in termini di luminosità, temperatura, contrasto e vividezza. Dopodiché la foto è stata salvata in formato .png per non perdere dati nella compressione e mantenere il più possibile la qualità.

## 5.4 KUULA

La realizzazione di un primo applicativo a 360 gradi è avvenuta con Kuula, con l'intento di testare le potenzialità della famosa piattaforma.

Kuula è una piattaforma online studiata appositamente per creare, condividere e visualizzare tour virtuali e contenuti a 360 gradi. Essa, infatti, è particolarmente popolare tra i fotografi, gli agenti immobiliari, i professionisti del turismo e altri creatori di contenuti che desiderano offrire esperienze immersive.

I vantaggi di Kuula sono un'interfaccia semplice e intuitiva, la flessibilità e la disponibilità di diversi tipi di abbonamento, dai piani gratuiti a quelli premium con funzionalità avanzate.

Una panoramica delle principali caratteristiche e funzionalità di Kuula:

- Creazione di Tour Virtuali:
  - Permette di creare tour virtuali interattivi unendo diverse foto e video a 360 gradi;
  - Offre strumenti per collegare le scene tra loro tramite hotspot, creando una navigazione fluida tra le stanze o i luoghi.
- Hosting e Condivisione:
  - Fornisce uno spazio di hosting online per i contenuti a 360 gradi, eliminando la necessità di server propri;
  - Consente la condivisione dei tour virtuali tramite link diretti o l'incorporazione nei siti web.
- Strumenti di Editing:
  - Include strumenti per l'editing delle immagini e dei video a 360 gradi, come la regolazione del colore, l'aggiunta di testo, logo e altri elementi interattivi;
  - Supporta la creazione di annotazioni e descrizioni dettagliate all'interno dei tour.
- Compatibilità con VR e Mobile:
  - Ottimizzato per la visualizzazione su dispositivi VR, offre un'esperienza immersiva;
  - È compatibile con la maggior parte dei dispositivi mobili e desktop, garantendo accessibilità da diverse piattaforme.
- Analisi e Statistiche:
  - Fornisce strumenti di analisi per monitorare le visualizzazioni e l'interazione degli utenti con i tour virtuali;

- È utile per comprendere meglio il comportamento dei visitatori e ottimizzare i contenuti.
- Personalizzazione:
  - Offre opzioni di personalizzazione per i tour, inclusi temi, stili di navigazione e branding personalizzato;
  - Permette di integrare mappe, planimetrie e altre funzionalità avanzate.



Figura 76: Facciata esterna di Palazzo Carignano (foto 360) su Kuula

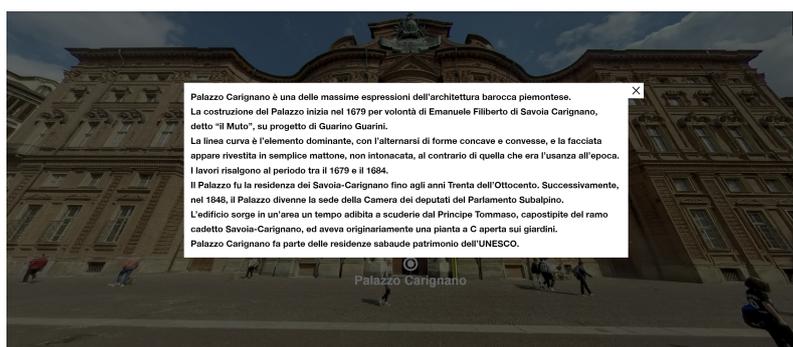


Figura 77: Descrizione all'interno del tour

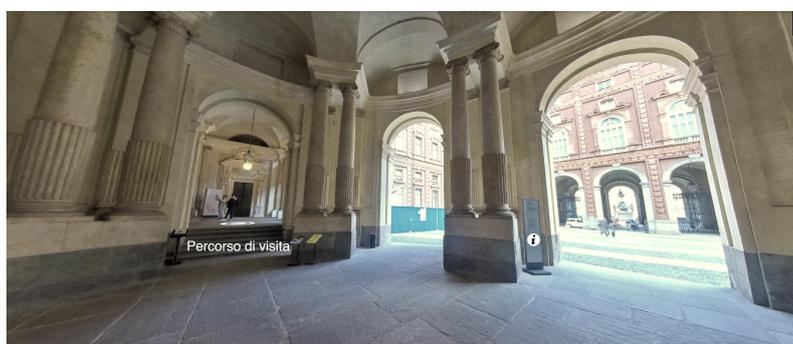


Figura 78: Foto 360 dell'androne nel tour creato con Kuula e indicazione del percorso di visita



Figura 79: Terza tappa del tour virtuale con Kuula con freccia per spostarsi nella tappa successiva

Dopo aver testato la piattaforma, è possibile confermare che essa, in quanto ottimizzata per la creazione di contenuti a 360 gradi, è di facile utilizzo e permette di ottenere ottimi risultati in poco tempo. Tuttavia, si è deciso di realizzare l'applicativo 360 con il motore di gioco Unreal Engine 5 per avere maggiore libertà nella realizzazione: Kuula, ad esempio, non permette l'uso di visori o l'inserimento di mappe nella sua versione gratuita.

## 5.5 SVILUPPO DELL'APPLICATIVO 360

Il motore di gioco Unreal Engine è sicuramente più macchinoso, ma permette molta libertà nella realizzazione di un applicativo.

In questo caso, è stato aperto un nuovo progetto di UE5 direttamente in modalità "Virtual Reality"; questa modalità contiene un pacchetto di asset base per la creazione di progetti di Realtà Virtuale e le impostazioni per l'uso di vari tipi di visori.

Un progetto UE5 aperto in modalità da tastiera può essere configurato in modo da essere usato anche con il visore e viceversa, ma, in questo caso, fin dall'inizio l'idea era quella di realizzare un'esperienza immersiva, quindi facendo uso del visore.

### 5.5.1 Formato *.hdr*

Il metodo per realizzare un tour virtuale con foto a 360 gradi è predisporre delle sfere o delle cupole a cui applicare la foto 360 come se fosse una texture. Al centro della sfera, o della cupola, l'utente ha l'impressione di trovarsi davvero immerso nell'ambiente che sta guardando.

Dopo aver provato sia la forma sferica, sia la cupola, si è notato che quest'ultima assicurava un effetto più immersivo e realistico. Quindi è stata usata la forma della cupola per tutte le foto 360.

Ogni cupola è stata posizionata in un "livello" diverso di UE5; questo è un modo per ottimizzare il lavoro, infatti, il motore di gioco carica un livello per volta e il progetto su cui si lavora risulta più leggero.

In UE5 è presente un plugin apposito per ottenere questo effetto in modo ottimale, automatico e veloce: HDRI Backdrop.

HDRI Backdrop[30] è un attore blueprint che racchiude:

- Una "Background mesh", la forma geometrica a cui applicare la foto;
- "Ambient lighting", un'illuminazione naturale dinamica per simulare la luce dell'ambiente;
- "Dynamic reflections", per un effetto realistico;
- "Ground projection with shadow catching", per un effetto ancora più realistico.

Il formato di foto da inserire è HDRI (.hdri) o HDR (.hdr). HDRI sta per "High Dynamic Range Image" (immagine ad alta gam-

ma dinamica) ed è un termine generico che può riferirsi a immagini HDR in vari formati di file, mentre HDR sta per "High Dynamic Range" e si riferisce a un formato specifico.

L'HDRI è un'immagine creata utilizzando più sovrapposizioni di immagini dello stesso sfondo ma con esposizioni diverse, pertanto queste immagini sono in grado di memorizzare una gamma molto più ampia di livelli di luminosità rispetto ai formati di immagine standard come JPEG o PNG.

Il file HDR può essere creato e utilizzato con Adobe Photoshop, Autodesk Maya, Blender e molti altri software di grafica 3D.

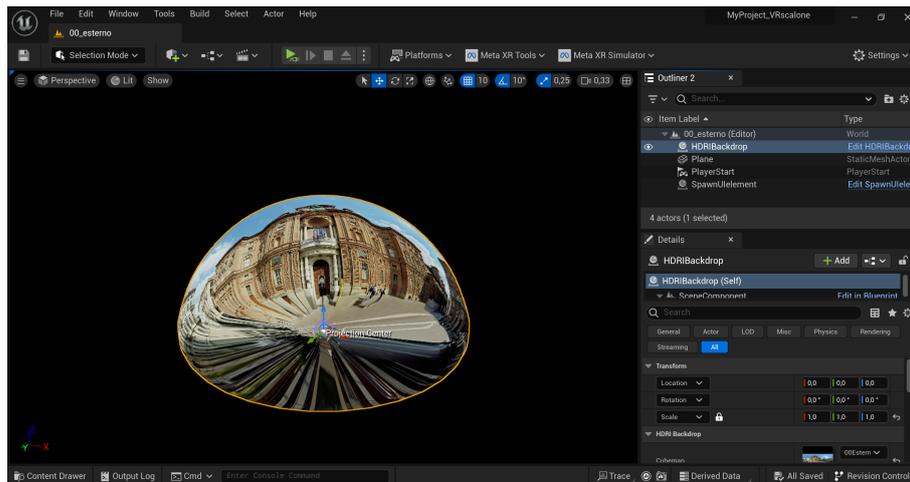


Figura 80: L'attore HDRI Backdrop con la cupola con la texture vista dall'esterno nell'ambiente di lavoro UE5

### 5.5.2 Teletrasporto e mappe

Il passaggio da un livello all'altro, o da una cupola all'altra, avviene tramite "bottoni" su cui sono disegnate delle frecce; questi sono degli attori blueprint che, cliccati, aprono il livello cui sono collegati.



Figura 81: Facciata esterna di Palazzo Carignano vista in modalità immersiva con visore. Nella vista compare il "bottono" per aprire il livello successivo



Figura 82: Vista dello scalone in modalità immersiva con visore

In ogni livello, al di sotto del giocatore, è stata posizionata una mappa "Tu sei qui" per potersi orientare durante il tour, mentre dai controller è possibile aprire il Main Menu che contiene anche una mappa interattiva che permette di scegliere quale livello aprire, senza dover seguire il percorso di visita scandito dalle frecce.

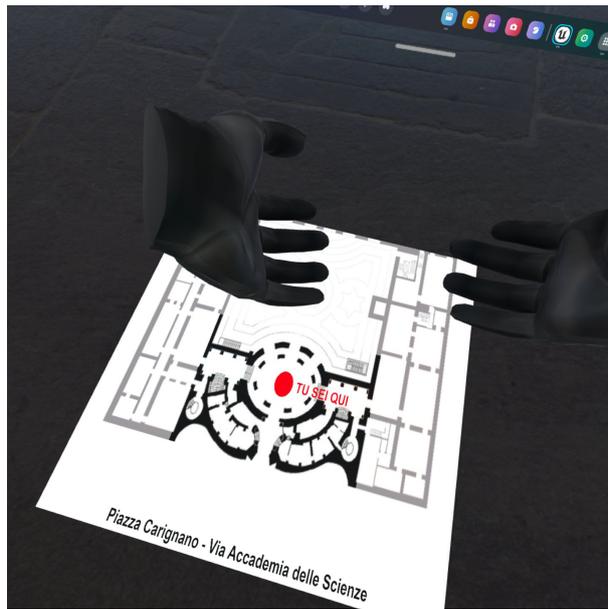


Figura 83: Mappa "Tu sei qui" in modalità immersiva con visore

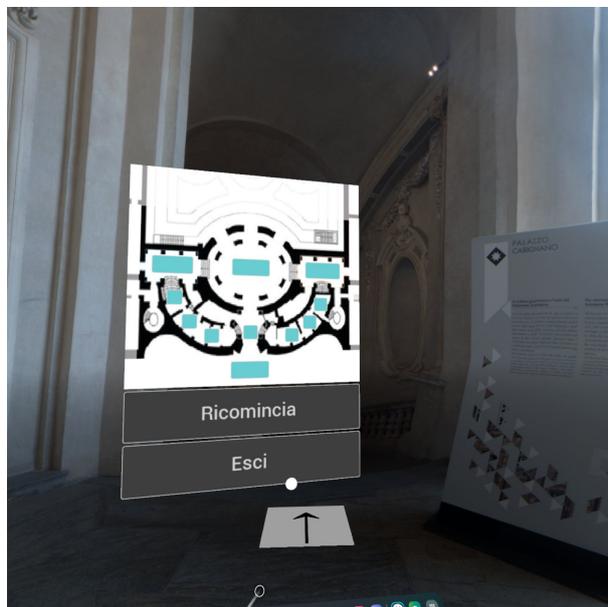


Figura 84: Menu contenente la mappa tramite cui è possibile spostarsi in un ambiente a scelta, senza dover seguire il percorso di visita

### 5.5.3 *Visore*

Il visore scelto per l'applicativo 360 è il Meta Quest 3 sviluppato da Meta (Facebook). Questo dispositivo rappresenta un'evoluzione rispetto al Meta Quest 2, con miglioramenti significativi in termini di hardware e software per offrire un'esperienza VR più immersiva e coinvolgente ed è stato scelto anche per la sua pratica funzionalità "standalone".

Il Meta Quest 3:

- **Display:**
  - Presenta un miglioramento della risoluzione e della qualità del display rispetto alla versione precedente;
  - Presenta un refresh rate elevato per un'esperienza visiva più fluida e confortevole.
- **Processore:**
  - È equipaggiato con un processore più potente per supportare giochi e applicazioni VR più complessi e dettagliati.
- **Design e Comfort:**
  - È dotato di un design più leggero e confortevole, con una migliore distribuzione del peso per lunghe sessioni di utilizzo;
  - Presenta miglioramenti nel sistema di cinghie e imbottiture per un adattamento migliore alla testa dell'utente.
- **Tracking e Controlli:**
  - È dotato di sistemi di tracking avanzati per una maggiore precisione nei movimenti;
  - È dotato di nuovi controller ergonomici con feedback aptico migliorato.
- **Funzionalità Standalone:**
  - Continua ad essere un dispositivo standalone, quindi non richiede un PC o console esterni per funzionare, anche se può essere collegato per esperienze VR più potenti;
  - Ha una memoria interna ampliata per installare più giochi e applicazioni.
- **Connettività e Accessori:**
  - È dotato di supporto per accessori opzionali come batterie esterne, cuffie audio di alta qualità e altri accessori per migliorare l'esperienza utente;
  - Presenta miglioramenti nella connettività wireless per un'esperienza di streaming VR senza interruzioni.



Figura 85: Visore Meta Quest 3 di Meta con i controller



#### Prestazioni core e architettura

**SoC** ⓘ : Snapdragon XR2 Gen2  
**DRAM** ⓘ : 8 GB  
**Memoria di base** ⓘ : 128 GB, 512 GB



#### Ergonomia

**Cinturino standard/ergonomico** ⓘ : Cinturino morbido, cinturino duro venduto separatamente  
**Livelli di immersione** ⓘ : Un livello (immersione totale)



#### Tracking del visore

**Tracking del viso/degli occhi** ⓘ : No  
**Tracking delle mani** ⓘ : Sì



#### Controller

**Tracking del controller** ⓘ : Uso ibrido del tracking della visione artificiale e dell'apprendimento automatico  
**Tecnologia tattile** ⓘ : Tecnologia tattile variabile TruTouch  
**Batteria ricaricabile** ⓘ : No



#### Tecnologia ottica

**Risoluzione del display (per occhio)** ⓘ : 2064 x 2208 | 1218 PPI | 25 PPD  
**Frequenza di aggiornamento** ⓘ : 72 Hz, 80 Hz, 90 Hz, 120 Hz  
**Campo visivo (gradi)** ⓘ : 110 orizzontale/96 verticale  
**Specifiche ottiche** ⓘ : Lenti pancake, distanza interasse continua  
**Scala di colori** ⓘ : 100% sRGB



#### Autenticità delle esperienze pass-through

**Colore** (4 MP, 18 PPD) ⓘ



#### Ricarica

**Cavo di ricarica** : Incluso  
**Base di ricarica** ⓘ : Vendita separatamente  
**Batteria** ⓘ : 5060 mAh\* - 2,2 ore di esecuzione\*

\* I dati si basano sull'uso generale.

Figura 86: Specifiche del visore Meta Quest 3 di Meta[36]

### *Configurazione del Meta Quest 3*

Per connettere il visore al PC è necessario installare l'applicazione "Meta Quest Link" sul PC e, per la prima configurazione, anche l'app "Meta Quest" sullo smartphone, collegare il cavo e seguire la configurazione guidata.

Per poter testare il progetto Unreal Engine con il visore è necessario abilitare i plugin Open XR e Meta XR su UE5 e riavviare il motore di gioco.

#### 5.5.4 *Pacchetto*

L'esportazione per Android dell'applicativo può risultare insidiosa anche perchè, oltre alle configurazioni da effettuare per l'esportazione per Windows, in questo caso, bisogna scaricare gli Android SDK (software Development Kit) e Android Studio; questi software (Visual Studio, Android Studio, Java, ecc. . . ) e SDK devono essere scaricati in versioni specifiche in accordo con la versione di Unreal Engine usata. Nella documentazione e nei forum di UE è possibile trovare alcune istruzioni, ma queste non sono presenti per tutte le versioni di UE.

Parte III

CONSIDERAZIONI



## 6.1 RISULTATI

I "musei" rappresentano un collegamento tra la storia passata e futura della civilizzazione e consentono di entrare in contatto con le culture antiche, cosa che riempie le persone di meraviglia, conoscenza e incanto. Per questa ragione, è un diritto avere accesso a una cultura senza barriere, sia fisiche sia virtuali.

Negli ultimi anni, sono stati condotti numerosi studi sull'uso di tecnologie immersive nella didattica museale, dimostrando come la realtà virtuale può favorire un impegno multisensoriale e migliorare l'esperienza dei visitatori nei musei. Sebbene il potenziale delle tecnologie immersive non sia stato completamente esplorato, esse possono essere considerate un prezioso strumento per la creazione di esperienze culturali inclusive finalizzate all'apprendimento in modo accattivante del patrimonio storico.

Il lavoro in questione parte dagli studi realizzati per la creazione di due applicativi che possano avvicinare al nostro patrimonio storico e impartire contenuti educativi, divertendo.

Gli applicativi realizzati sono indirizzati a un pubblico troppo lontano dal luogo da visitare, temporaneamente impossibilitato a recarsi sul posto o con difficoltà motorie per cui lo Scalone Guariniano costituirebbe un ostacolo alla visita. L'applicativo VR presenta anche alcuni accorgimenti per migliorare l'esperienza di gioco, quali ambienti abbastanza luminosi, dialoghi ad alto contrasto, con linguaggio semplice e adattati alla propria velocità di lettura, una semplice missione da portare a termine.

## 6.2 LIMITI

**PRESTAZIONI DEL PC** L'utilizzo di un motore di gioco potente quale Unreal Engine 5 richiede un PC con prestazioni altrettanto potenti.

Requisiti minimi (Windows)[51]:

- Sistema operativo: Windows 10 64 bit.
- Processore: Intel quad-core o AMD, 2,5 GHz o maggiore.
- RAM video: 8 GB RAM

- Scheda grafica: compatibile con DirectX 11 o 12 o con i driver più recenti.

Requisiti consigliati[50]:

- Sistema operativo: Windows 10 64 bit (versione 20H2).
- Processore: Six-Core Xeon E5-2643 @ 3.4 GHz.
- RAM: 64 GB RAM
- Scheda grafica: NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER.
- Memoria interna: 256 GB SSD
- Memoria esterna: 2TB SSD

**MOTORE DI GIOCO** Unreal Engine può sicuramente risultare insidioso inizialmente se non si hanno delle nozioni base di programmazione, per questo sarebbe preferibile avere una conoscenza base di un linguaggio di programmazione e della programmazione a blocchi per non scoraggiarsi e arrendersi.

**INTERFACCIA UTENTE** Gli applicativi sono stati realizzati basandosi su studi scientifici già condotti, ma non sono ancora stati testati da un numero significativo di persone.

### 6.3 SVILUPPI FUTURI

L'applicativo VR è stato realizzato per essere usato da casa dal proprio PC, funziona, infatti, con mouse e tastiera. Ciò non toglie che, in futuro, possa essere configurato anche per l'uso con visore. Allo stesso modo, l'applicativo 360 può essere usato solo con visore, ma può essere configurato anche per l'uso da tastiera.

Nel caso dell'applicativo VR usato con visore, il dispositivo che potrebbe essere usato è l'HTC Vive, visore di alta qualità sviluppato da HTC e Valve Corporation, più potente del visore Meta Quest. Il visore HTC Vive è dotato di due controller e due sensori da posizionare nella stanza e si usa con cavo.

Gli applicativi potrebbero essere implementati con una descrizione audio ed essere fatti testare a un numero significativo di persone in modo da essere migliorati e incontrare le esigenze e i desideri di un più vasto pubblico.

## BIBLIOGRAFIA

---

- [1] Nicola Barale. «Analisi strutturale di palazzi monumentali: il Palazzo dei Principi di Carignano di Torino». Tesi di laurea mag. Politecnico di Torino, 2019.
- [2] Samuele Bertani, Vincenzo Rubano, Silvia Mirri e Catia Prandi. «Accessibility for Virtual Tours: on Designing a Prototype for People with Visual Impairments». In: *2023 IEEE 20th Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*. 2023, pp. 1–6. DOI: [10.1109/CCNC51644.2023.10060297](https://doi.org/10.1109/CCNC51644.2023.10060297).
- [3] Aldo Caldarelli, Stefano Di Tore, Silvia Ceccacci, Michele Domenico Todino, Lucia Campitiello, Catia Giaconi et al. «Co-designing Immersive and Inclusive Virtual Museum with children and People with Disabilities: a Pilot Study». In: *2022 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. 2023, pp. 1972–1977. DOI: [DOI10.1109/CSCI58124.2022.00353](https://doi.org/10.1109/CSCI58124.2022.00353).
- [4] Maria Grazia Cerri. *Palazzo Carignano: tre secoli di idee, progetti e realizzazioni*. Allemandi (Torino), 1990.
- [5] Maria Grazia Cerri e Impresa Guerrini. *Un'impresa e il recupero architettonico: l'impresa Guerrini 1973-1985*. 2<sup>a</sup> ed. Allemandi (Torino), 1989.
- [6] Giovanni Chevalley. *Il palazzo Carignano a Torino: nel centenario della nascita di Vittorio Emanuele II*. Anfossi (Torino), 1921.
- [7] Elisa Dapino. «Heritage Digital Twin. L'ambito urbano di Palazzo Carignano». Tesi di laurea mag. Politecnico di Torino, 2022.
- [8] Carola Gatto, Giovanni D'Errico, Giovanna Paladini e Lucio De Paolis. «Virtual Reality in Italian Museums: A Brief Discussion». In: 2021, pp. 306–314. DOI: [10.1007/978-3-030-87595-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87595-4_22).
- [9] Christos Kyriltsias, Maria Christofi, Despina Michael-Grigoriou, Domna Banakou e Andri Ioannou. «A Virtual Tour of a Hardly Accessible Archaeological Site: The Effect of Immersive Virtual Reality on User Experience, Learning and Attitude Change». In: *Frontiers in Computer Science* 2 (2020). DOI: [10.3389/fcomp.2020.00023](https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00023).
- [10] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi e Fumio Kishino. «Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum». In: *Telem manipulator and Telepresence Technologies*. Vol. 2351. 2023, pp. 282–292. DOI: [10.1117/12.197321](https://doi.org/10.1117/12.197321).

- [11] Henry A. Millon. *I trionfi del barocco: architettura in Europa 1600-1750*. Bompiani (Milano), 1999.
- [12] Damiano Oriti. «Progettazione e Sviluppo di Ambienti di Realtà Virtuale e Aumentata Multiutente per l'Entertainment». Tesi di laurea mag. Politecnico di Torino, 2019.
- [13] Emiliano Pérez, Pilar Merchán, María José Merchán e Santiago Salamanca. «Virtual Reality to Foster Social Integration by Allowing Wheelchair Users to Tour Complex Archaeological Sites Realistically». In: *Remote Sensing* 12.3 (2020). DOI: [10.3390/rs12030419](https://doi.org/10.3390/rs12030419).
- [14] Giuseppe Resta, Fabiana Dicuonzo, Evrim Karacan e Domenico Pastore. «The impact of virtual tours on museum exhibitions after the onset of covid-19 restrictions: visitor engagement and long-term perspectives». In: *SCIRES-IT* 11.1 (2021), pp. 151–166. DOI: [10.2423/i22394303v11n1p151](https://doi.org/10.2423/i22394303v11n1p151).
- [15] Hesmeralda Rojas, Ronald Renteria, Ely Acosta, Humberto Arévalo e Marisol Pilares. «Application of accessibility guidelines in a virtual museum». In: *2020 3rd International Conference of Inclusive Technology and Education (CONTIE)*. 2020, pp. 73–79. DOI: [10.1109/CONTIE51334.2020.00022](https://doi.org/10.1109/CONTIE51334.2020.00022).
- [16] Marco Rossoni, Sara Gonizzi Barsanti, Giorgio Colombo, Gabriele Guidi et al. «Retopology and simplification of reality-based models for finite element analysis». In: *Computer-Aided Design and Applications* 17.3 (2020), pp. 525–546. DOI: [10.14733/cadaps.2020.525-546](https://doi.org/10.14733/cadaps.2020.525-546).
- [17] Daniel Segovia, Miguel Mendoza, Eloy Mendoza e Eduardo González. «Augmented Reality as a Tool for Production and Quality Monitoring». In: *Procedia Computer Science* 75 (2015), pp. 291–300. DOI: [10.1016/j.procs.2015.12.250](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.250).
- [18] Elmedin Selmanović, Selma Rizvic, Carlo Harvey, Dusanka Boskovic, Vedad Hulusic, Malek Chahin e Sanda Sljivo. «Improving Accessibility to Intangible Cultural Heritage Preservation Using Virtual Reality». In: *Frontiers in Computer Science* 13.2 (2020). DOI: [10.1145/3377143](https://doi.org/10.1145/3377143).

## SITOGRAFIA

---

- [19] ASSOBIM. *BIM: Incognite, Vincoli, Limiti ed Evoluzioni*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/bim-e-digitalizzazione-per-la-pubblica-amministrazione-alla-luce-del-nuovo-codice-degli-appalti/> (visitato il 20/02/2024).
- [20] Alessandro Bianchi. *Progettazione illuminotecnica in BIM: stato dell'arte e il possibile dialogo tra produttori edili e progettisti*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/progettazione-illuminotecnica-in-bim-stato-dell-arte-e-il-possibile-dialogo-tra-produttori-edili-e-progettisti/> (visitato il 20/02/2024).
- [21] Marzia Bolpagni. *Livello di fabbisogno Informativo: le norme EN 17412-1 e UNI 11337-4*. 2022. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/livello-di-fabbisogno-informativo-le-norme-en-17412-1-e-uni-11337-4/> (visitato il 23/02/2024).
- [22] Nuccia Bosco. *Andrea Bruno. Restauro di Palazzo Carignano, Torino*. 2013. URL: <https://www.yumpu.com/it/document/read/15953673/andrea-bruno-restauro-di-palazzo-carignano-torino-coperture-in-> (visitato il 04/03/2024).
- [23] *Building Information Modeling*. 2024. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling#cite\\_note-1](https://it.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling#cite_note-1) (visitato il 20/02/2024).
- [24] Dalila Cavallo, Claudio Mirarchi e Alberto Pavan. *Il modello "BIM" in fase di esecuzione, criticità ed uso per le imprese*. 2020. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/il-modello-bim-in-fase-di-esecuzione-criticita-ed-uso-per-le-imprese/> (visitato il 20/02/2024).
- [25] Angelo Luigi Camillo Ciribini. *BIM: Incognite, Vincoli, Limiti ed Evoluzioni*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/bim-incognite-vincoli-limiti-ed-evoluzioni/> (visitato il 20/02/2024).
- [26] Beatrice Cristalli. *METAVERSO. Parole del presente, parole del futuro*. 2023. URL: [https://www.treccani.it/magazine/lingua\\_italiana/articoli/parole/Metaverso.html](https://www.treccani.it/magazine/lingua_italiana/articoli/parole/Metaverso.html) (visitato il 29/02/2024).
- [27] Google Arts & Culture. *Una giornata virtuale al museo*. URL: <https://artsandculture.google.com/project/pocket-gallery> (visitato il 02/03/2024).

- [28] Marco De Gregorio e Alberto Pavan. *PNRR, BIM e standard UNI, finalmente la chiarezza*. 2022. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/pnrr-bim-e-standard-uni-finalmente-la-chiarezza/> (visitato il 23/02/2024).
- [29] Marco De Gregorio e Adriana Romano. *Normativa BIM: da dove partire?* 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/normativa-bim-da-dove-partire/> (visitato il 20/02/2024).
- [30] *Documentazione HDRI Backdrop (UE5)*. URL: [https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/hdri-backdrop-visualization-tool-in-unreal-engine?application\\_version=5.2](https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/hdri-backdrop-visualization-tool-in-unreal-engine?application_version=5.2) (visitato il 15/06/2024).
- [31] *Fondazione Francesco Corni*. URL: <https://francescocorni.com/> (visitato il 20/05/2024).
- [32] il team di Fortnite. *Esplora su Fortnite la mostra d'arte Kaws New Fiction, ispirata alla Serpentine North Gallery di Londra*. 2022. URL: <https://www.fortnite.com/news/explore-the-kaws-new-fiction-art-exhibit-in-fortnite-based-on-the-serpentine-north-gallery-in-london?lang=it&sessionInvalidated=true> (visitato il 29/02/2024).
- [33] Redazione INGENIO. *Obblighi e vantaggi per l'ambiente costruito*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/bim-obblighi-e-vantaggi-per-l-ambiente-costruito/> (visitato il 20/02/2024).
- [34] *Insta360 Pro 2*. URL: [https://www.insta360.com/it/product/insta360-pro2#pro2\\_specs](https://www.insta360.com/it/product/insta360-pro2#pro2_specs) (visitato il 30/05/2024).
- [35] Gisella Manera. *BIM, le novità su standard e prassi*. 2022. URL: <https://www.rcinews.it/2022/10/11/bim-le-novita-su-standard-e-prassi/> (visitato il 20/02/2024).
- [36] *Meta Quest, specifiche*. URL: <https://www.meta.com/it/quest/compare/> (visitato il 15/06/2024).
- [37] *Mostra del Barocco piemontese 1937*. URL: <https://mostrabarocco1937.fondazione1563.it/index.php> (visitato il 20/05/2024).
- [38] Marzia Papagna. *Come la realtà virtuale può aiutare le persone a prendere coscienza delle tematiche ambientali*. 2022. URL: <https://forbes.it/2023/02/27/come-la-realta-virtuale-puo-aiutare-le-persone-a-prendere-coscienza-delle-tematiche-ambientali/> (visitato il 29/02/2024).
- [39] Alberto Pavan e Adriana Romano. *ISO 23386 e 23387: Verso la strutturazione univoca delle informazioni*. 2020. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/iso-23386-e-23387-verso-la-strutturazione-univoca-delle-informazioni/> (visitato il 23/02/2024).

- [40] il team Rave-Space. *Musee Dezentral - the NFT Art Museum*. 2022. URL: <https://ravespace.io/projects/musee-dezentral> (visitato il 29/02/2024).
- [41] La Venaria Reale. *Disabilità intellettuale*. URL: <https://lavenaria.it/it/visita/accessibilita/disabilita-intellettuale> (visitato il 02/03/2024).
- [42] Angelo Rota e Andrea Versolato. *L'Atto Organizzativo: adempimento preliminare per l'Amministrazione "BIM ready"*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/l-atto-organizzativo-adempimento-preliminare-per-l-amministrazione-bim-ready/> (visitato il 20/02/2024).
- [43] Angelo Rota e Andrea Versolato. *Nuovo Codice degli Appalti: l'Allegato I.9 dedicato al BIM*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/nuovo-codice-degli-appalti-l-allegato-i-9-dedicato-al-bim/> (visitato il 20/02/2024).
- [44] Angelo Rota e Andrea Versolato. *Nuovo Codice dei Contratti Pubblici: inquadramento e principi generali su digitalizzazione e BIM*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/nuovo-codice-dei-contratti-pubblici-inquadramento-e-principi-generalis-su-digitalizzazione-e-bim/> (visitato il 20/02/2024).
- [45] ICMQ SPA. *Il sistema di gestione BIM aiuta l'efficienza delle imprese*. 2023. URL: <https://www.ingenio-web.it/articoli/il-sistema-di-gestione-bim-aiuta-l-efficienza-delle-imprese/> (visitato il 27/02/2024).
- [46] Song Seung-hyun. *[Anniversary Special] Korean museums betting its future on metaverse*. 2021. URL: <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20210811000891> (visitato il 29/02/2024).
- [47] Redazione Tecnica. *BIM e Lean Construction: costruzioni di qualità superiore*. 2022. URL: <https://biblus.acca.it/bim-e-lean-construction/> (visitato il 27/02/2024).
- [48] Enciclopedia Treccani. *Realtà virtuale*. URL: <https://www.treccani.it/enciclopedia/realta-virtuale/> (visitato il 29/02/2024).
- [49] UNESCO. *Palazzo Carignano*. URL: <http://polomusealepiemonte.beniculturali.it/index.php/musei-e-luoghi-della-cultura/palazzo-carignano/> (visitato il 04/03/2024).
- [50] *Unreal Engine 5 Requirements: What computer do you need?* URL: <https://catnessgames.com/blog/unreal-engine-5-requirements/> (visitato il 15/06/2024).
- [51] *Unreal Engine, specifiche hardware e software*. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/hardware-and-software-specifications-for-unreal-engine> (visitato il 15/06/2024).

- [52] Wikipedia. *Palazzo Carignano*. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Palazzo\\_Carignano](https://it.wikipedia.org/wiki/Palazzo_Carignano) (visitato il 04/03/2024).