



**Politecnico  
di Torino**

## Politecnico di Torino

Ingegneria Informatica

A.a. 2023/2024

Sessione di laurea Dicembre 2024

# Musei Virtuali Transdisciplinari

Realizzazione di una web app per l'esplorazione di musei tematici

Relatori:

Luigi De Russis

Manfredo Di Robilant

Candidato:

Federico Giuranno



# Sommario

In questa tesi vengono descritti i processi di progettazione ed implementazione di una piattaforma web che permette di esplorare liberamente venti musei virtuali tematici in uno spazio tridimensionale tramite un sistema di navigazione simile al volo, senza forza di gravità. L'obiettivo principale del progetto è stato quello di creare un'esperienza immersiva e interattiva che consenta agli utenti di navigare tra le diverse collezioni museali come se fossero fisicamente presenti, ma senza ostacoli o vincoli.

La creazione dei musei virtuali è stata possibile grazie ad un software di modellazione 3D: ciascuno di essi è stato progettato con alla base un tema specifico (ad esempio Religione, Cambiamento Climatico, Gioco, Lavoro, Benessere), comune a tutte le opere presenti al suo interno, ed è completamente esplorabile grazie ai sistemi di navigazione e interazione implementati, che permettono sia di visitare gli spazi interni nella loro interezza, sia di interagire con le singole opere per ottenere informazioni dettagliate.

La piattaforma è stata sviluppata utilizzando tecnologie web attuali ed avanzate, tra cui il framework React, che garantisce un'esperienza fluida e responsive sui diversi dispositivi, e il framework ThreeJS, che offre utility specifiche per la grafica e per la gestione delle scene tridimensionali.

Il sistema di navigazione implementato è stato pensato per essere facile da usare e il più intuitivo possibile, grazie anche alla possibilità di scegliere la tipologia di comandi preferita: con mouse e tastiera oppure solo con mouse. La prima tipologia (con mouse e tastiera) risulta essere quella più vicina al sistema di comandi di un videogioco, ed è stata scelta come predefinita proprio perché uno degli obiettivi del progetto era quello di dare una sfumatura ludica e divertente alla classica visita di un museo, estendendo così il target dell'esperienza.

La tesi conclude che la piattaforma, grazie all'approccio adottato per la sua realizzazione, non solo migliora l'accessibilità ai contenuti museali, ma offre anche nuove opportunità per l'educazione e la divulgazione culturale.

# Ringraziamenti

Vorrei esprimere la mia più sincera gratitudine al mio relatore, il Professor Luigi De Russis, per i suoi preziosi consigli e la sua disponibilità. La sua esperienza e i suoi suggerimenti hanno arricchito notevolmente questo progetto di tesi.

Un ringraziamento speciale va anche al mio correlatore, il Professor Manfredi Di Robilant, per la sua guida illuminante e il suo supporto costante durante tutto il percorso di questa tesi.

Infine, desidero ringraziare profondamente la mia preziosa famiglia, la mia dolce metà, gli amici di una vita e quelli conosciuti durante il percorso accademico, che mi hanno sostenuto con amore e incoraggiamento in ogni fase di questo progetto. I loro sacrifici, la loro comprensione e il loro sostegno incondizionato mi hanno dato la forza di superare le difficoltà e di raggiungere questo importante traguardo.

Senza il loro appoggio, questo lavoro non sarebbe stato possibile.

Grazie di cuore a tutti voi.

La vita è un biscotto, ma se piove si scioglie.

---

*Bruce Nolan (Jim Carrey)*  
*Una settimana da Dio (2003)*



# Indice

<b>Elenco delle figure</b>	VIII
<b>Elenco delle tabelle</b>	X
<b>Glossario</b>	XI
<b>1 Introduzione generale</b>	2
1.1 Obiettivi . . . . .	4
1.2 Sfide del progetto . . . . .	5
1.3 Struttura dell'elaborato . . . . .	6
<b>2 Il progetto VTM</b>	9
2.1 Introduzione . . . . .	9
2.2 Architettura e allestimento . . . . .	10
2.2.1 L'unità spaziale minima . . . . .	10
2.2.2 Selezione delle opere . . . . .	13
2.3 I musei partner . . . . .	14
<b>3 I temi affrontati</b>	17
3.1 Attualità . . . . .	17
3.2 I temi nelle opere . . . . .	18
<b>4 Progettazione</b>	23
4.1 Le applicazioni web . . . . .	23
4.1.1 Il protocollo HTTP . . . . .	23
4.1.2 Architettura delle web app . . . . .	25
4.1.3 Vantaggi e svantaggi . . . . .	25
4.2 User-Centered Design . . . . .	27
4.3 Analisi dei requisiti . . . . .	28
4.3.1 Requisiti funzionali . . . . .	28
4.3.2 Requisiti tecnici . . . . .	29

4.4	Architettura della piattaforma . . . . .	30
4.4.1	Approccio modulare all'architettura . . . . .	31
4.4.2	Approccio iterativo allo sviluppo . . . . .	32
4.5	Progettazione dell'interfaccia . . . . .	33
4.5.1	Interfaccia della piattaforma di esplorazione . . . . .	33
4.5.2	Interfaccia del sito vetrina . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Implementazione</b>	<b>38</b>
5.1	SketchUp . . . . .	38
5.2	React . . . . .	41
5.2.1	I componenti . . . . .	41
5.2.2	Gli hooks . . . . .	43
5.2.3	React Bootstrap . . . . .	44
5.3	Three.js . . . . .	45
5.4	Procedimento dello sviluppo . . . . .	47
5.4.1	Studio della libreria Three.js . . . . .	47
5.4.2	Familiarizzazione con l'ambiente di sviluppo . . . . .	47
5.4.3	Implementazione della camera . . . . .	47
5.4.4	Configurazione della grafica dello spazio . . . . .	48
5.4.5	Configurazione della fisica dello spazio . . . . .	48
5.4.6	Introduzione del primo modello di museo virtuale . . . . .	49
5.4.7	Implementazione delle interazioni con le opere . . . . .	50
5.4.8	Miglioramento della user experience . . . . .	52
5.4.9	Realizzazione del sito vetrina . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Risultati</b>	<b>58</b>
6.1	Opportunità per l'educazione e la divulgazione culturale . . . . .	58
6.2	Accessibilità dei contenuti museali . . . . .	59
6.3	Estensione del target . . . . .	59
<b>7</b>	<b>Conclusione</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>63</b>
	<b>Sitografia</b>	<b>64</b>

# Elenco delle figure

1.1	Il logo del progetto di ricerca VTM. . . . .	2
1.2	Il logo della Fondazione Compagnia di San Paolo. . . . .	3
2.1	Uno screenshot dello spazio virtuale esplorabile sulla web app. . . .	10
2.2	A sinistra il concept della matrice base di forma cubica, a destra tutte le sue possibili declinazioni. . . . .	11
2.3	Assemblaggio del Museo del Cambiamento Climatico. . . . .	12
2.4	Vista dell'interno del Museo del Benessere. . . . .	13
2.5	I loghi degli otto musei torinesi che hanno collaborato al progetto. .	15
3.1	Da sinistra a destra: Museo dell'Alimentazione, Museo del Cambiamento Climatico, Museo dell'Istruzione. . . . .	18
3.2	Una vista generale di alcune delle opere presenti nei musei virtuali.	21
4.1	La schematizzazione di una richiesta HTTP. . . . .	24
4.2	L'interno del Museo Armonia & Caos, costruito con colori neutri per focalizzare l'attenzione sulle opere esposte. . . . .	34
4.3	Il mock-up del primo percorso progettato per il sito vetrina. . . . .	35
4.4	Il mock-up del secondo percorso progettato per il sito vetrina. . . .	35
4.5	Il mock-up del terzo percorso progettato per il sito vetrina. . . . .	36
5.1	L'interfaccia del software SketchUp durante un lavoro sul modello del Museo Armonia & Caos. . . . .	39
5.2	Un esempio di struttura non replicabile nella realtà: il Museo della Distruzione. . . . .	40
5.3	La homepage della piattaforma web VTM. . . . .	42
5.4	Un esempio di cosa permette di fare React Bootstrap: la pagina Game Rules della piattaforma VTM. . . . .	44
5.5	Un primo piano del Museo Armonia & Caos nello spazio virtuale della piattaforma VTM, gestito con Three.js. . . . .	46
5.6	Una porzione del codice utilizzato per la configurazione della grafica e della fisica dello spazio virtuale. . . . .	49

5.7	Uno screenshot del processo di posizionamento e configurazione del modello del Museo Armonia & Caos. . . . .	50
5.8	La possibilità di interazione con un'opera viene segnalata con una cornice luminosa lungo il contorno. . . . .	51
5.9	La scheda informativa in seguito all'interazione con l'opera. . . . .	51
5.10	Il menù interattivo per il sistema di teletrasporto. . . . .	52
5.11	Notifica della possibilità di teletrasporto tramite sistema di puntamento. . . . .	53
5.12	I due sistemi di comandi disponibili sulla piattaforma web. . . . .	54
5.13	Il menù di navigazione del sito che appare cliccando sul logo del progetto VTM. . . . .	55
5.14	La pagina "Space" del sito vetrina. . . . .	56
5.15	La pagina specifica del Museo del Cambiamento Climatico. . . . .	56

# Elenco delle tabelle

3.1	Le venti parole chiave che identificano le opere presenti nella collezione virtuale. . . . .	21
4.1	I vantaggi identificati in fase di progettazione dell'applicazione web per il progetto VTM. . . . .	26
4.2	Gli svantaggi identificati in fase di progettazione dell'applicazione web per il progetto VTM. . . . .	27
5.1	Gli elementi fondamentali della libreria Three.js per la gestione di una scena tridimensionale. . . . .	46

# Glossario

## **VTM**

Virtual Transdisciplinary Museums, o Musei Virtuali Transdisciplinari, è il nome del progetto di ricerca alla base della piattaforma web.

## **AI**

Artificial Intelligence, o intelligenza artificiale, è, nel suo significato più ampio, è l'abilità o il tentativo di una macchina di mostrare capacità umane come il ragionamento, l'apprendimento, la pianificazione e la creatività, attraverso l'ottimizzazione di funzioni matematiche.

## **URL**

Uniform Resource Locator, è una sequenza di caratteri che identifica univocamente l'indirizzo di una risorsa sulla rete.

## **HTTP**

Hypertext Transfer Protocol, è un protocollo utilizzato come principale sistema per la trasmissione di informazioni sul web.

## **UCD**

User-Centered Design, o progettazione centrata sull'utente, è una filosofia di progettazione nel quale è data grande attenzione ai bisogni, ai desideri e ai limiti dell'utente sul prodotto finale per massimizzare l'usabilità del prodotto stesso.

## **SPA**

Single Page Application, o applicazioni a singola pagina, è un tipo di applicazione web che funziona all'interno di una singola pagina, senza la necessità di ricaricare completamente la pagina durante l'interazione dell'utente.

**GPS**

Global Positioning System, è un sistema di posizionamento satellitare che permette di conoscere la longitudine e la latitudine di un dispositivo.

**USB**

Universal Serial Bus, è uno standard industriale di comunicazione seriale, utilizzato sotto forma di cavo, per la comunicazione e/o l'alimentazione di periferiche per dispositivi.

**GPU**

Graphics Processing Unit, o unità di elaborazione grafica, è un circuito elettronico progettato per accelerare la creazione di immagini destinate all'output su un dispositivo di visualizzazione.

**WebGL**

Web Graphics Library, è una libreria specificatamente pensata per la grafica tridimensionale in ambito web.

**VR**

Virtual Reality, o realtà virtuale, è una simulazione realistica e immersiva di un ambiente virtualmente ricostruito, vissuto e controllato mediante l'utilizzo di appositi dispositivi.



# Capitolo 1

## Introduzione generale

I Musei Virtuali Transdisciplinari (VTM) sono venti spazi progettati per esistere esclusivamente nel mondo virtuale, raccolti all'interno di una piattaforma web che ne permette la libera esplorazione. Si tratta di venti musei associati ad altrettante parole chiave, che descrivono le tematiche rappresentate. In ciascuno di essi sono ospitate venti opere appartenenti agli otto musei torinesi che hanno partecipato al progetto, per un totale di 400 opere.

La selezione delle opere inserite all'interno dei vari musei virtuali, frutto di un lavoro svolto in collaborazione con i curatori delle istituzioni museali partner, consente di mettere in relazione opere diverse in base a delle caratteristiche che generalmente non sono poste in dialogo, come ad esempio per tipologia, cronologia, geografia e ubicazione attuale.



**Figura 1.1:** Il logo del progetto di ricerca VTM.

Il progetto nasce da un bando della Fondazione Compagnia di San Paolo<sup>1</sup>, a scopo di promuovere il settore culturale della città di Torino. L'obiettivo del progetto di ricerca VTM è stato fin da subito quello di espandere e diversificare l'offerta culturale degli otto musei torinesi, a loro volta appartenenti a settori diversi, anche se la finalità del lavoro è quella di proporre un setting virtuale per i musei in generale, indipendentemente dalla loro ubicazione.



**Figura 1.2:** Il logo della Fondazione Compagnia di San Paolo.

Ho scelto di dedicarmi a questa tesi per diverse ragioni che riflettono le mie passioni e i miei interessi, sia accademici sia personali. Innanzitutto, il mio profondo interesse culturale verso il mondo museale mi ha spesso spinto a esplorare nuove modalità di fruizione del patrimonio artistico e storico. I musei rappresentano per me luoghi di scoperta e apprendimento, e l'idea di poter contribuire a rendere questi spazi accessibili ad un pubblico più ampio mi ha entusiasmato fin dall'inizio. Inoltre, la mia propensione allo sviluppo web mi ha fornito gli strumenti necessari per affrontare le sfide tecniche di questo progetto. La combinazione di questi due aspetti - l'amore per la cultura e la passione per le tecnologie attuali - ha reso questa tesi un'opportunità unica per unire teoria e pratica nella creazione di una piattaforma innovativa capace di rivoluzionare la fruizione dei contenuti museali.

---

<sup>1</sup>Nel 2020, la Fondazione Compagnia di San Paolo pubblicò un bando per progetti di ricerca dal titolo "Intelligenza Artificiale, Uomo e Società".<https://www.compagniadisanpaolo.it/it/contributi/bando-intelligenza-artificiale-uomo-e-societa/>

## **1.1 Obiettivi**

Gli obiettivi principali di questa tesi sono molteplici e ambiziosi. Come già anticipato, si propone di espandere e diversificare l'offerta culturale dei musei in generale, creando spazi virtuali tematici che possano ospitare diverse collezioni ed esposizioni. Questo approccio permette di rendere il patrimonio culturale, già ricco e variegato, più accessibile e fruibile, offrendo agli utenti la possibilità di esplorare contenuti che spaziano dall'arte antica alla scienza moderna. La diversificazione dell'offerta culturale non solo arricchisce l'esperienza dell'utente, ma contribuisce anche a preservare e a valorizzare un'ampia gamma di opere d'arte, incluse quelle meno conosciute o solitamente in deposito.

Un altro obiettivo che è stato centrale durante la fase di progettazione e di creazione dei musei virtuali è quello di studiare il ruolo che può avere l'intelligenza artificiale nella costruzione della struttura dei musei virtuali. In particolare, lo studio si è incentrato su come, tramite l'approccio al design generativo, si possa automatizzare e ottimizzare la progettazione degli spazi espositivi, rendendoli innovativi e personalizzati. L'intelligenza artificiale, analizzando grandi quantità di dati, può essere capace di creare dei layout virtuali che rispondano alle preferenze e ai comportamenti degli utenti, migliorando l'engagement e permettendo di creare delle esperienze museali dinamiche e adattive, che possono evolversi nel tempo in base al feedback degli utenti oppure in base ai trend del momento.

Inoltre, la tesi mira a rendere i contenuti museali più accessibili al pubblico, sfruttando le tecnologie digitali per abbattere le barriere geografiche e fisiche. Questo obiettivo è particolarmente rilevante in un contesto globale, dove molte persone non hanno la possibilità di visitare fisicamente i musei a causa di limitazioni economiche, logistiche o di mobilità. La realizzazione di una piattaforma web per l'esplorazione di musei virtuali permetterebbe a chiunque disponga di un dispositivo con una connessione ad internet, ovunque si trovi, di fruire delle collezioni museali esposte. L'accessibilità potrebbe essere ulteriormente migliorata attraverso l'utilizzo di funzionalità di supporto, come la traduzione automatica delle informazioni contenute negli hotspot informativi delle opere e la descrizione audio delle stesse per le persone con disabilità visive.

Infine, si intende estendere il target delle esposizioni museali, includendo giovani, anziani e persone con disabilità, che possono trarre grandi benefici dall'uso di una piattaforma web che faciliti la fruizione di contenuti museali. L'approccio interattivo che si è voluto dare alla piattaforma per l'esplorazione non solo rende le visite più coinvolgenti, ma permette anche di raggiungere un pubblico che potrebbe non essere solitamente interessato ai musei e alle loro esposizioni. Quest'obiettivo contribuisce a promuovere una maggiore inclusività e partecipazione culturale, rendendo i musei virtuali uno strumento non solo educativo, ma anche di intrattenimento, accessibile a tutti.

## 1.2 Sfide del progetto

La progettazione e l'implementazione della piattaforma web hanno comportato numerose sfide, che hanno richiesto soluzioni creative e un impegno costante per garantire il successo del progetto.

La prima sfida che si è subito presentata è stata la complessità intrinseca dell'ambiente museale: essendo i musei delle istituzioni con una lunga storia e una struttura organizzativa piuttosto complessa, la digitalizzazione di questi elementi ha richiesto una comprensione approfondita delle dinamiche museali e delle esigenze specifiche del pubblico.

Un'altra sfida importante è stata la progettazione di un'esperienza utente intuitiva: la piattaforma doveva essere facilmente fruibile da un pubblico ampio e diversificato, indipendentemente dalle diverse competenze tecniche e background culturali degli utenti. Creare una piattaforma che fosse semplice da usare e al tempo stesso ricca di funzionalità ha quindi richiesto un attento bilanciamento tra design e usabilità. Per affrontare questa sfida, sono state condotte alcune sessioni di user-testing con gruppi di utenti rappresentativi, che hanno permesso di raccogliere feedback preziosi per migliorare l'interfaccia e le funzionalità. È stato fondamentale garantire che la navigazione fosse fluida e che le interazioni fossero intuitive, senza sovraccaricare l'utente con troppe informazioni o comandi complessi, con l'obiettivo di rendere la piattaforma il più possibile user-friendly, garantendo che anche gli utenti meno esperti potessero navigare e interagire con facilità.

Una delle sfide tecniche più impegnative è stata la necessità di studiare e familiarizzare con la libreria Three.js<sup>2</sup>, che non era mai stata utilizzata prima d'ora. Il processo di apprendimento ha comportato lo studio della documentazione ufficiale e la consultazione delle numerose risorse disponibili online, nonché la sperimentazione pratica con esempi e prototipi. Questa fase è stata essenziale per acquisire le competenze necessarie a sfruttare appieno le potenzialità della libreria e per implementare le funzionalità desiderate nella piattaforma. La curva di apprendimento è stata ripida, ma ha permesso di sviluppare una solida base di conoscenze che ha facilitato le fasi successive del progetto, e ha offerto l'opportunità di esplorare nuove tecniche e approcci alla grafica tridimensionale sul web, arricchendo il bagaglio di competenze tecniche e aprendo nuove possibilità creative per il progetto.

Infine, un'altra sfida significativa è stata l'integrazione delle diverse tecnologie utilizzate per lo sviluppo della piattaforma e l'ottimizzazione delle performance. La combinazione di Three.js per la grafica 3D e di React Bootstrap per la gestione dell'interfaccia utente ha richiesto un'attenta pianificazione e coordinazione, per

---

<sup>2</sup>Una libreria potente e versatile per la creazione di grafica 3D sul web, come si vedrà nel capitolo 5.

garantire che tutti i componenti funzionassero armoniosamente ed evitare conflitti e problemi di compatibilità. L'ottimizzazione delle performance della piattaforma è stata cruciale per garantire un'esperienza utente fluida e reattiva, considerando il numero elevato dei modelli dei musei virtuali: sono state infatti impiegate tecniche di caricamento asincrono e di compressione dei modelli per migliorare i tempi di caricamento e ridurre l'utilizzo della memoria, insieme ad un lavoro costante di testing e debugging per l'identificazione di eventuali colli di bottiglia<sup>3</sup>.

### **1.3 Struttura dell'elaborato**

Questa tesi, suddivisa in capitoli, è stata strutturata in modo che prima di affrontare gli aspetti specifici della progettazione, dell'implementazione e dello sviluppo della piattaforma web, si abbia una panoramica generale sul progetto di ricerca alla base.

Di seguito il dettaglio della struttura di questo elaborato, dal quale è stato escluso questo primo capitolo di introduzione generale:

- Il secondo capitolo, denominato "Il progetto VTM", descrive il progetto di ricerca nel suo complesso, focalizzandosi in particolare sul suo obiettivo originario e sullo stato dell'arte della museologia digitale. Successivamente, si esplorano le scelte di design che hanno direzionato la costruzione dell'architettura dei musei virtuali, concentrandosi sull'approccio al design generativo, e sull'allestimento, soffermandosi sulla scelta delle parole chiave - i temi - e sulla selezione delle opere in collaborazione con gli otto musei partner del progetto di ricerca;
- Il terzo capitolo, denominato "I temi affrontati", include uno studio sull'attualità e il significato delle parole chiave scelte per l'allestimento dei musei virtuali e una panoramica dei temi presenti nelle opere delle collezioni degli otto musei partner;
- Il quarto capitolo, denominato "Progettazione", contiene una panoramica della fase di progettazione della piattaforma, evidenziando l'importanza di una pianificazione accurata a partire dall'analisi dei requisiti, che hanno guidato le scelte progettuali successive, fino ad arrivare alla definizione dell'architettura dell'applicazione e alla progettazione dell'interfaccia utente, con una particolare attenzione sull'usabilità e sull'accessibilità grazie ad un approccio di design user-centered;
- Il quinto capitolo, denominato "Implementazione", inizia con una sezione che descrive le tecnologie scelte per l'implementazione della piattaforma, come

---

<sup>3</sup>Fenomeno che si verifica quando le prestazioni di un sistema sono fortemente vincolate da un singolo componente.

React Bootstrap e Three.js, e prosegue con una descrizione dettagliata del processo di sviluppo dell'applicazione, soffermandosi sulle diverse fasi iterative che hanno caratterizzato il workflow realizzativo;

- Il sesto capitolo, denominato "Risultati", presenta i diversi risultati ottenuti grazie allo sviluppo della piattaforma per l'esplorazione dei musei virtuali, soffermandosi in particolare su come quest'ultima abbia fatto emergere nuove opportunità per la divulgazione culturale, come abbia migliorato l'accessibilità ai contenuti museali e come abbia esteso il target delle esposizioni di opere d'arte;
- Infine, il settimo e ultimo capitolo, denominato "Conclusione", traccia le considerazioni finali sul lavoro svolto in questo progetto di tesi e propone ulteriori sviluppi futuri per l'ampliamento della piattaforma.



## Capitolo 2

# Il progetto VTM

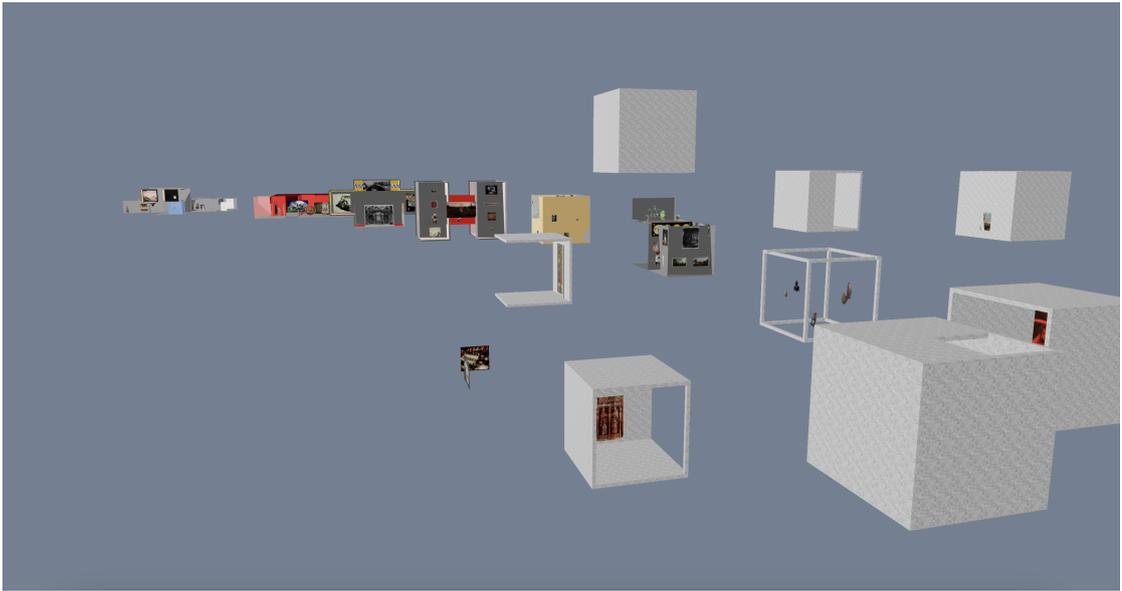
### 2.1 Introduzione

Le possibilità di progettare modifiche alle sedi dei musei e di acquisire nuove opere per le collezioni erano escluse. Pertanto, lo scopo del lavoro, cioè ampliare l'offerta culturale dei musei, doveva essere perseguito senza ricorrere ai tipici metodi per migliorare un museo, come ad esempio la ristrutturazione o l'ampliamento delle collezioni. Di conseguenza, il focus del progetto doveva essere sulle collezioni già esistenti e su come valorizzarle maggiormente: la scelta è ricaduta sullo spazio virtuale, modellabile a piacimento e senza vincoli strutturali.

Sono stati individuati tre modi in cui i musei "vivono" all'interno della realtà virtuale:

1. Assemblaggio di foto e video effettuati all'interno delle sale fisiche di un museo, con l'obiettivo di dare all'utente l'illusione di essere fisicamente lì (es. Museums View di Google Arts & Culture);
2. Modellazione e rendering di una sala virtuale in modo realistico: l'intento per un museo potrebbe essere quello di ospitare mostre temporanee senza allestire fisicamente una sala apposita (spesso le suddette sale virtuali sono modellate con architettura e colori molto simili a quelle del museo reale);
3. Accostamento delle opere di diverse collezioni, sotto forma di immagini, all'interno di un'applicazione mobile o una piattaforma web, con l'intento di costruire delle collezioni tematiche in base all'iconografia o ai colori delle opere (es. Collections di Google Arts & Culture).

Con il lavoro portato avanti nel progetto VTM, si è cercato di unire i pregi e limitare i difetti di queste tre modalità, in modo da sfruttare al massimo le possibilità offerte dalla realtà virtuale.



**Figura 2.1:** Uno screenshot dello spazio virtuale esplorabile sulla web app.

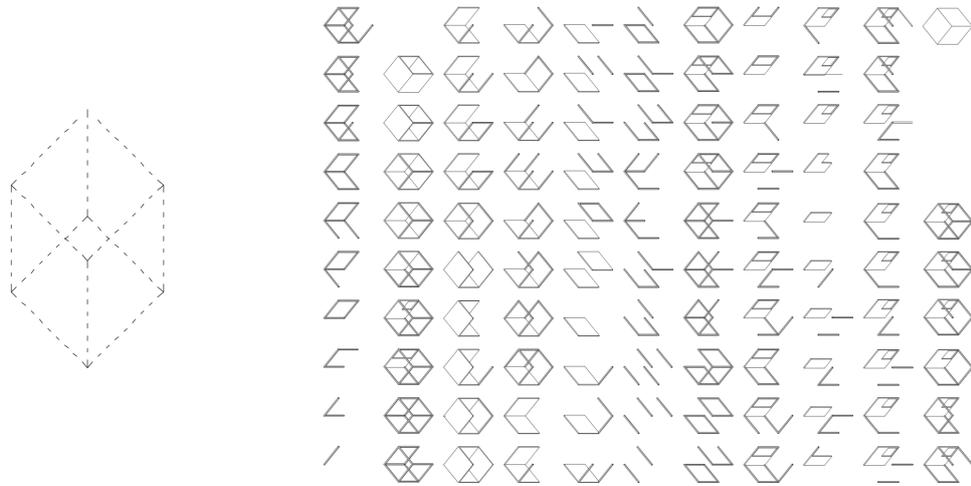
## 2.2 Architettura e allestimento

Il design dei venti musei virtuali è stato progettato tenendo conto di una possibile generazione automatica degli spazi espositivi, che sia parziale o totale. L'approccio al design generativo è stato ampiamente considerato vista la natura interdisciplinare del progetto, che unisce le abilità di design a quelle informatiche, con lo scopo di esplorare le diverse possibilità di integrazione dell'intelligenza artificiale nel campo dell'architettura virtuale dei musei.

### 2.2.1 L'unità spaziale minima

In conformità con il design generativo, è stata definita come unità minima spaziale una matrice base di forma cubica, insieme alle sue diverse declinazioni: dalla particella minima (il singolo segmento) a quella massima (il cubo completo). Quest'ultime possono essere combinate per costruire l'architettura di un museo virtuale, tramite giustapposizione su facce, segmenti o vertici.

La scelta del cubo come matrice base deriva dall'intenzione di massimizzare le possibilità di assemblaggio tridimensionale grazie alle diverse declinazioni geometriche. Non avendo limiti nel quantitativo di cubi che è possibile associare, lo spazio e la sua dimensione vengono definiti in rapporto all'allestimento e alla modalità di fruizione del museo virtuale.

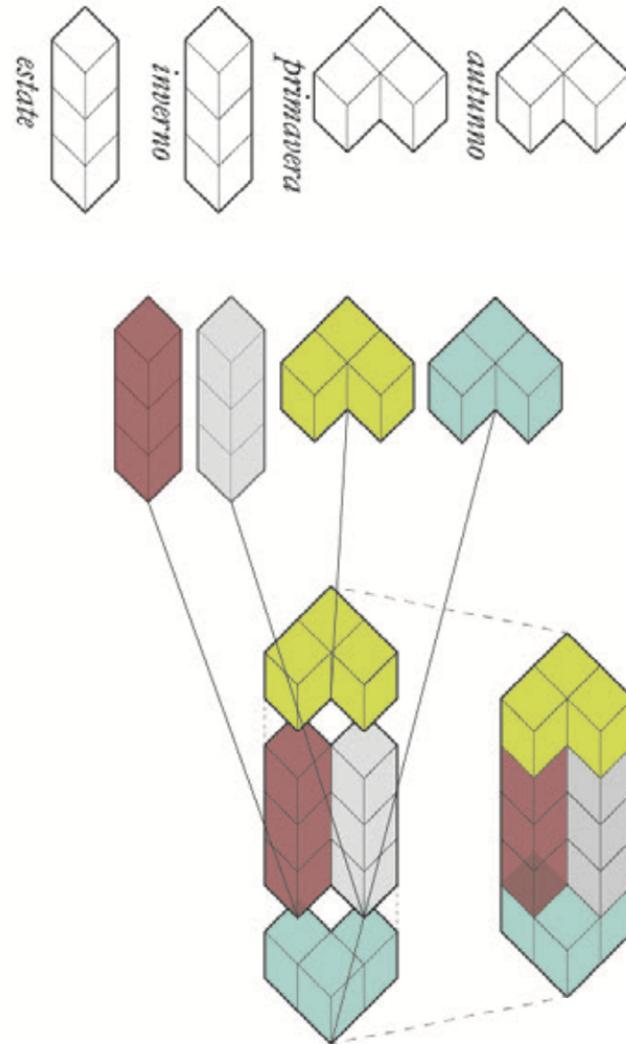


**Figura 2.2:** A sinistra il concept della matrice base di forma cubica, a destra tutte le sue possibili declinazioni.

La costruzione di ogni spazio espositivo virtuale si basa sulla sua parola chiave, che descrive il tema che accomuna le opere al suo interno. La relazione tra la configurazione spaziale e la parola chiave può avvenire secondo diverse modalità:

1. In modo letterale, l'architettura prende la forma dell'oggetto descritto dalla parola chiave;
2. In riferimento alle tipologie architettoniche che evocano il tema della parola chiave;
3. In base ad un principio fisico, come il Museo del Cambiamento Climatico;
4. In riferimento ad un'azione, come il Museo della Distruzione.

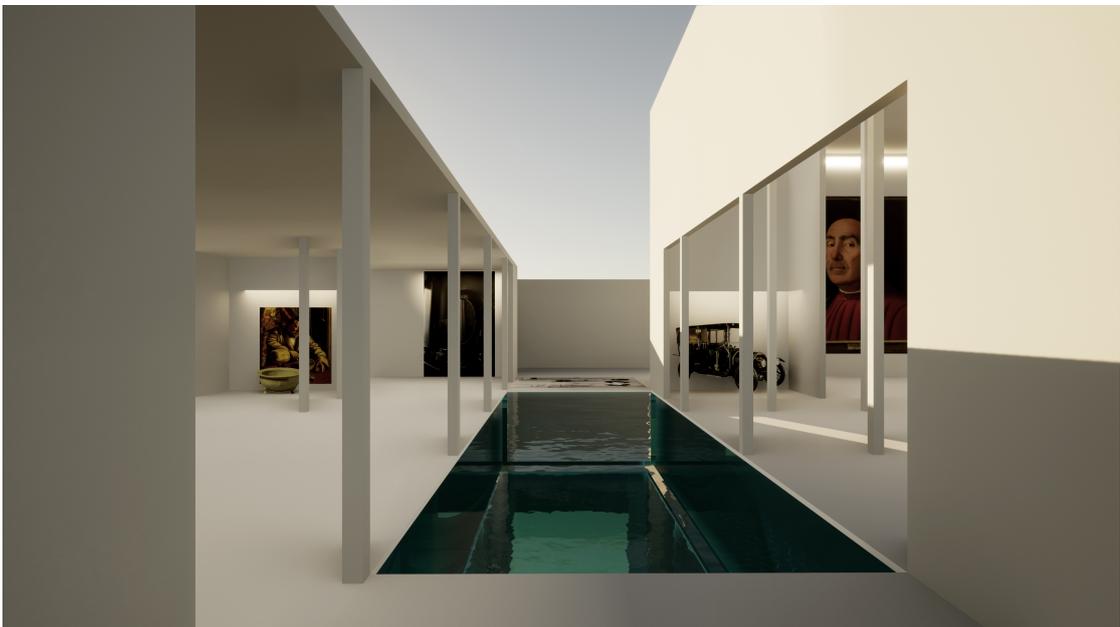
Nel caso del Museo del Cambiamento Climatico, riportato in Figura 2.3, la matrice base si compone fino a formare una struttura che richiama il susseguirsi delle stagioni (sia cromaticamente sia spazialmente), ma con lo sbilanciamento dovuto all'attuale emergenza climatica, in cui primavera e autunno si accorciano per lasciare più spazio alle condizioni estreme di caldo torrido e perturbazioni distruttive, rendendo così il museo virtuale sia uno spazio in cui ha luogo una mostra, sia un oggetto della mostra stessa.



**Figura 2.3:** Assemblaggio del Museo del Cambiamento Climatico.

## 2.2.2 Selezione delle opere

La selezione delle opere collocate in ognuno dei venti musei virtuali è stata realizzata grazie al supporto dei curatori delle istituzioni museali coinvolte. A partire dalle parole chiave, sono state tracciate delle correlazioni, in misura variabile, tra opere di vario tipo appartenenti a collezioni museali collocate in spazi fisici differenti, che per la prima volta sono state riunite in uno stesso spazio virtuale, diventando così soggette ad una lettura alternativa e convogliando nuovi significati. Questo tipo di aggregazione eterogenea ha inoltre facilitato il processo di transizione di quelle collezioni classificate come "verticali" - per l'omogeneità dei contenuti - ad "orizzontali", e ha reso possibile la valorizzazione delle opere meno conosciute o attualmente in deposito.



**Figura 2.4:** Vista dell'interno del Museo del Benessere.

Durante il lavoro di selezione delle opere, sono state fatte delle considerazioni sul possibile ruolo dell'intelligenza artificiale in questo tipo di operazioni. Sebbene i processi decisionali di selezione delle opere e costruzione delle esposizioni condotti dai curatori museali siano estremamente complessi, l'operazione di riconoscimento delle caratteristiche e delle analogie nelle opere digitalizzate<sup>1</sup> può essere affidata ad un'intelligenza artificiale grazie alle attuali tecniche avanzate di Machine Learning.

---

<sup>1</sup>Conversione di un oggetto o di una grandezza fisica/analogica in formato digitale, come ad esempio una foto.

Ciò permetterebbe di estrarre automaticamente gli elementi descrittivi delle opere d'arte e categorizzarle in base all'artista, allo stile e al genere, oppure collegare opere visivamente simili.

## 2.3 I musei partner

Le istituzioni museali che hanno collaborato al progetto, selezionando le opere ritenute più inerenti alle tematiche proposte, sono otto in totale e sono tutte sul territorio della città di Torino:

1. **GAM - Galleria Civica d'Arte Moderna e Contemporanea di Torino:** la collezione presenta opere dei più rilevanti artisti dell'Ottocento e del Novecento italiani, ma anche prodotti delle avanguardie del secondo dopoguerra e capolavori della produzione artistica internazionale;
2. **MAO - Museo d'Arte Orientale:** costituita da quasi 2300 opere e 1400 reperti di scavo di periodo pre-islamico, la collezione del MAO è testimonianza delle culture di diverse aree geografiche dell'Asia e copre un arco temporale che si estende dal Neolitico fino agli inizi del XX secolo;
3. **Palazzo Madama:** la sua raccolta di opere e reperti si è trasformata nel tempo con una particolare attenzione agli ambiti delle arti applicate dal Medioevo al Settecento, agli elementi decorativi e architettonici provenienti dai castelli di Piemonte, Valle d'Aosta e Savoia, e alla pittura dei primitivi piemontesi del XV e XVI secolo e dei pittori operanti nell'ambito della corte sabauda tra Sei e Settecento;
4. **Museo Egizio:** il percorso museale, di oltre 10.000 metri quadrati e contenente oltre 3.300 reperti, è dedicato all'arte e alla cultura dell'Egitto antico nell'arco temporale che va dal 4000 a.C al 700 d.C e si articola in cinque piani espositivi;
5. **MNC - Museo Nazionale del Cinema:** l'allestimento espositivo è caratterizzato da proiezioni, giochi di luci e scenografie, e si configura come un itinerario interattivo che, a partire dalle prime lanterne magiche, conduce il visitatore fino alle tecnologie contemporanee;
6. **MAUTO - Museo Nazionale dell'Automobile Torino:** l'allestimento consente di percorrere la storia dell'automobile intrecciata all'evoluzione della società attraverso le sue trasformazioni più rilevanti, in base a una scansione in tre grandi sezioni tematiche, ospitate ciascuna su un piano: il XX secolo, cultura e società, il design;

7. **Pinacoteca Agnelli:** la collezione permanente appartenuta a Giovanni Agnelli e alla moglie Marella Caracciolo, esito di ricerche e di acquisizioni avvenute nel tempo, si compone di ventitré quadri e due sculture, opere prodotte in un arco temporale che si estende dal Settecento alla metà del Novecento;
8. **La Venaria Reale:** la raccolta di opere esposte lungo il percorso che si snoda attraverso la Reggia di Venaria è frutto di una serie di prestiti e donazioni da parte di altre residenze sabaude, da istituzioni culturali e musei, da enti bancari e da collezionisti privati, e comprende oltre cinquecento opere, tra dipinti, sculture, arazzi, mobili, lampadari, tappeti, bandiere, manufatti in argento, tabacchiere, orologi e strumenti musicali.



Figura 2.5: I loghi degli otto musei torinesi che hanno collaborato al progetto.



## Capitolo 3

# I temi affrontati

### 3.1 Attualità

Come già accennato in precedenza, la definizione delle tematiche proposte dal progetto, e di conseguenza dei venti musei virtuali, è avvenuta attraverso l'identificazione di venti parole chiave. Quest'ultime sono in parte tratte dall'ambito dei Sustainable Development Goals (SDG)<sup>1</sup> dell'Agenda 2030<sup>2</sup> delle Nazioni Unite, intesi come termini rappresentativi delle istanze attuali della società civile a livello globale, come ad esempio Alimentazione, Benessere, Cambiamento Climatico, Istruzione e Lavoro, e in parte afferenti a categorie estetiche.

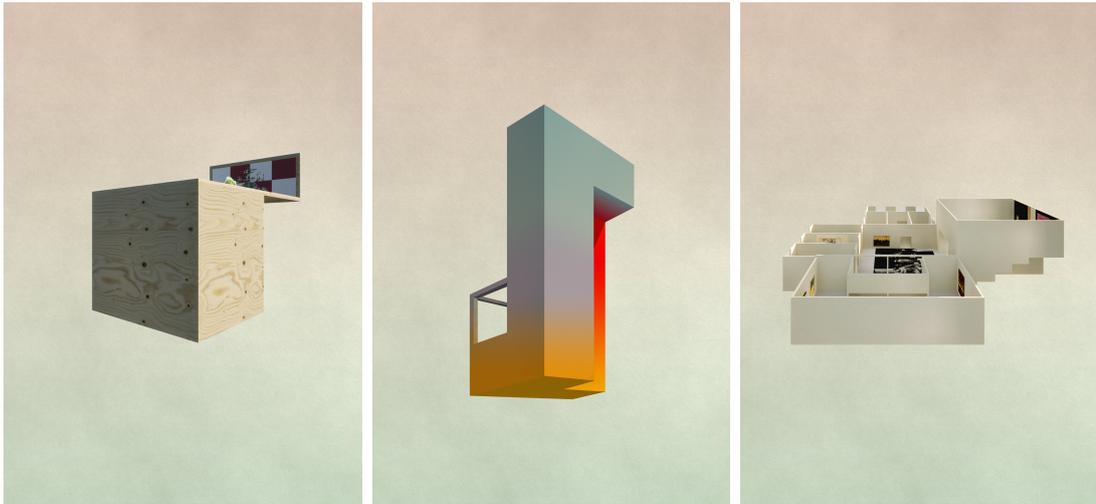
Pertanto, si può affermare che le parole chiave rimandano a temi che emergono sia dalle opere stesse sia dal dibattito globale contemporaneo esterno al mondo dell'arte e della cultura. Se nel primo caso sono le opere stesse a suggerire la parola chiave di riferimento, nel secondo gli oggetti, indipendentemente dalle loro caratteristiche, diventano "bersagli" delle parole chiave e si sollevano dal contesto museale per andare incontro alla realtà, nei suoi temi più attuali.

Emergono quindi connessioni complesse, non necessariamente deducibili in modo immediato, legate anche al significato delle opere, alla loro storia, al contesto di riferimento e non solo a caratteristiche formali esplicite e visibili.

---

<sup>1</sup>Si tratta di 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile che i Paesi membri dell'ONU si sono impegnati a raggiungere entro il 2030.

<sup>2</sup>L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU.



**Figura 3.1:** Da sinistra a destra: Museo dell'Alimentazione, Museo del Cambiamento Climatico, Museo dell'Istruzione.

## 3.2 I temi nelle opere

La collezione virtuale del progetto VTM è composta da un totale di 400 opere, 20 per ogni museo. Ogni museo virtuale raccoglie le opere che, in varia misura, sono correlate tra loro in base al tema individuato dalla parola chiave del museo stesso. Inoltre, ciascun museo virtuale contiene almeno un'opera di ognuno degli otto musei partner.

Di seguito una tabella descrittiva delle venti parole chiave che identificano i temi delle opere presenti nei musei virtuali.

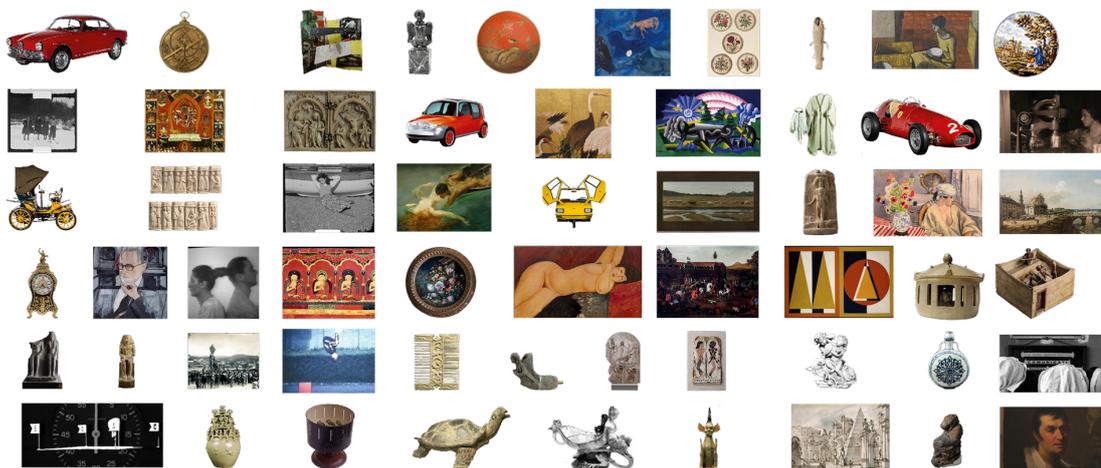
Parola chiave	Descrizione	Caratteristiche del museo
<b>Abitazione</b>	Arredi che, in diverse epoche e geografie, non possono mancare all'interno di una casa	Cellula elementare composta da un pavimento, un tetto che fornisce riparo, una porta d'ingresso e uno spazio esterno
<b>Alimentazione</b>	Riferimenti al cibo e alle sue possibili rappresentazioni	Forma di una scatola simile a quelle utilizzate per il trasporto del cibo

<b>Parola chiave</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Caratteristiche del museo</b>
<b>Armonia &amp; Caos</b>	Tema degli opposti che non si traduce in una contrapposizione ma in una coesistenza circolare	Spazi con altezze, orientamenti e colori variabili
<b>Benessere</b>	Trattato da diverse prospettive, come cura del corpo, aspetto esteriore e in generale riferimenti alle abitudini e alle attività che generano sensazioni positive in chi le pratica	Riferimento alla tipologia architettonica delle antiche Terme Romane
<b>Cambiamento Climatico</b>	Correlato alle quattro stagioni con uno squilibrio causato dalla crisi ambientale attuale	Cubi disposti in modo da creare una struttura chiusa e continua in cui l'aria più calda, meno densa e più leggera, ha la tendenza a salire verso l'alto
<b>Collezioni</b>	Diverse categorie di opere, la tipologia diventa criterio di classificazione	Lunga successione di cubi legati da un elemento lineare, concepito per ampliarsi in modo infinito
<b>Commedia</b>	Riferimenti al teatro, alla commedia e alla satira, con maschere, scenografie e ritratti di attori	Schema planimetrico semplificato della tipologia architettonica del teatro
<b>Comunicazione</b>	Tema considerato in senso più ampio, come connessione tra luoghi distanti, dialogo tra persone e trasmissione di informazioni e conoscenza	Traduzione spaziale del principio dei vasi comunicanti, con due volumi identici collegati da un terzo corpo che ha la funzione di connettere, come un ponte
<b>Contenuto Contenitore</b>	Indagine sulla relazione tra contenuto e contenitore, al di là dei molteplici significati e valori che possiedono le diverse opere	Spazio elementare, una scatola che contiene a sua volta due altre scatole sovrapposte di dimensioni minori
<b>Distruzione</b>	Basato sul tema dell'Abitazione, con le opere colpite da un'esplosione	Fotografia dell'esplosione del Museo dell'Abitazione

<b>Parola chiave</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Caratteristiche del museo</b>
<b>Diversità Bio-Culturale</b>	Suddivisione in sette gruppi tematici, a partire dai semplici riferimenti al tema della biodiversità vegetale e animale fino alle rappresentazioni più complesse di esseri umani di diverse etnie	Tre spazi di forma quadrata di diverse dimensioni che si affiancano e si compenetrano parzialmente, generando ulteriori spazi interni
<b>Frammenti</b>	Opere in frammenti, come parti di manufatti, sculture mutilate e oggetti rotti	Insieme disaggregato degli elementi fondamentali utilizzati nella progettazione dei musei virtuali, come travi, pilastri e telai
<b>Gioco</b>	Tema considerato in senso ampio, inteso come forma di svago e intrattenimento	Volume compatto che evoca alcuni giochi da tavolo in termini di forme e colori
<b>Istruzione</b>	Tema considerato in senso ampio, inteso come apprendimento oppure mezzi per diffondere la conoscenza	Cortile interno centrale con quattro aule orientate verso di esso, che rappresentano le tipologie architettoniche più comuni degli spazi destinati all'istruzione
<b>Lavoro</b>	Ritratti di persone intente a lavorare e simboli della produzione industriale	Aggregazione di diversi volumi alternati a spazi aperti
<b>Materialità</b>	Considerazione delle opere come semplici oggetti fisici, con dimensioni e peso ordinabili	Configurato come una torre al cui interno sono inseriti quattordici piani in corrispondenza di due pareti ortogonali
<b>Movimento</b>	Manifestazione e rappresentazione dell'idea di movimento, come un viaggio o una processione religiosa	Astrazione di una tubazione, le opere sembrano fluire all'interno del tubo

Parola chiave	Descrizione	Caratteristiche del museo
Potere	Opere in cui il potere e i suoi simboli sono soggetti ricorrenti, come elementi celebrativi in ambito monarchico o rappresentativi della sopraffazione sul più debole	Serie di spazi con una distribuzione complessa, fortemente gerarchica, di differenti dimensioni, in un percorso non lineare
Religione	Tema considerato in senso ampio, con rappresentazioni di divinità, immagini di soggetti religiosi e sacre scritte	Spazio smaterializzato che fluttua nel vuoto, delimitato da pochi ed essenziali elementi
Tempo	Rappresentazione e quantificazione del tempo, strettamente legato alla memoria e alla sua conservazione	Intersezione di un volume circolare accessibile solo dall'interno e di un elemento lineare che funge da ingresso e uscita, spazio interno interamente bianco

**Tabella 3.1:** Le venti parole chiave che identificano le opere presenti nella collezione virtuale.



**Figura 3.2:** Una vista generale di alcune delle opere presenti nei musei virtuali.



# Capitolo 4

## Progettazione

Il punto fermo alla base del progetto VTM è sempre stato quello di garantire una fruizione il più semplice possibile, che non richiedesse particolari sforzi all'utente. La scelta per la modalità di fruizione è ricaduta fin da subito sull'implementazione di una piattaforma web, che non ha bisogno di installazione ed è aperta a tutti, in qualsiasi momento, a patto che si disponga di una connessione ad internet.

### 4.1 Le applicazioni web

Un'applicazione web è definita come una distribuzione di un software accessibile via browser per mezzo di un meccanismo di tipo client-server. Nel momento in cui un utente visita una pagina web, tramite click su un link oppure digitando direttamente una URL nella barra degli indirizzi del browser, avviene una richiesta indirizzata ad un server, che di conseguenza risponde fornendo le risorse necessarie per presentare la pagina web all'utente. Questo è il processo fondamentale alla base delle architetture web<sup>1</sup>, tra cui quella a livelli. La comunicazione tra i livelli, cioè gli scambi di informazioni scatenati dalla coppia richiesta-risposta, è resa possibile dai protocolli di trasferimento.

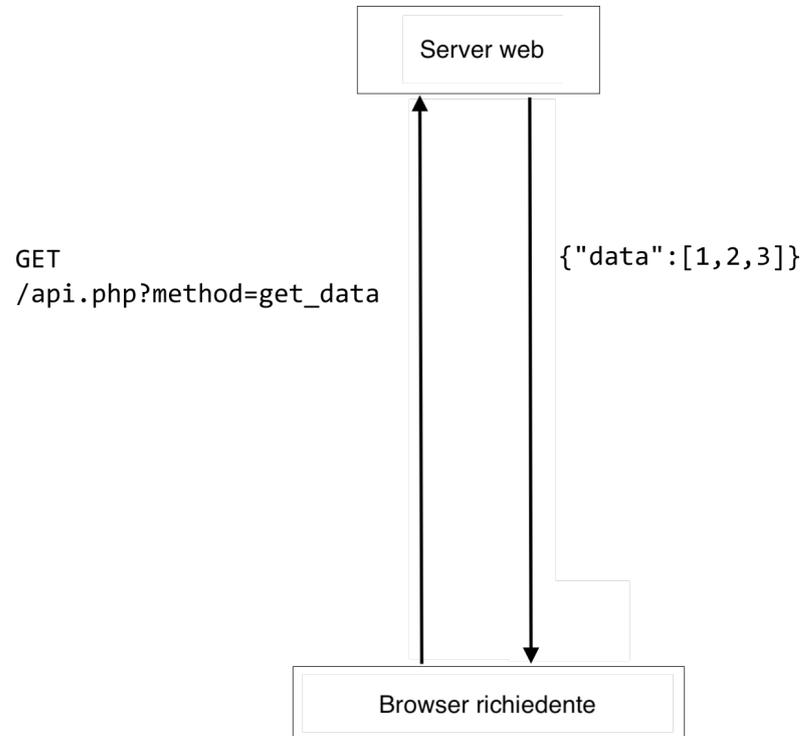
#### 4.1.1 Il protocollo HTTP

Lo stesso web fornisce i protocolli e la rete per collegare i vari livelli di un'applicazione web, come il browser - detto "client" - e il server web. Uno dei componenti che contribuiscono al collegamento dei livelli è il protocollo Hypertext Transfer Protocol (HTTP), che consente la comunicazione all'interno dell'architettura e la condivisione delle risorse attraverso il web.

---

<sup>1</sup>La struttura concettuale degli applicativi web.

Il concetto del protocollo HTTP è semplice: per ogni richiesta inviata da un browser ad un server web, viene restituita una risposta che contiene la relativa risorsa, che può essere il contenuto della pagina da visualizzare, un'immagine, l'output di uno script o altro.



**Figura 4.1:** La schematizzazione di una richiesta HTTP.

### 4.1.2 Architettura delle web app

Una qualsiasi applicazione web può essere schematizzata isolando 3 livelli funzionali:

1. **Presentation:** l'interfaccia dell'applicazione, tutto quello che viene mostrato sullo schermo dell'utente;
2. **Application:** intermediario tra il primo e il terzo livello, include la logica dell'applicazione, cioè il relativo codice necessario a farla funzionare;
3. **Data:** relativo ai dati e alla loro gestione in memoria.

La web app del progetto VTM non prevede la creazione di un account o comunque la gestione di un profilo, proprio perché l'intenzione è quella di rendere la piattaforma il più aperta possibile, garantendo una fruizione semplice e immediata. Pertanto, il livello Data in questo caso contiene solamente i modelli 3D dei musei virtuali, le opere della collezione e le loro didascalie.

### 4.1.3 Vantaggi e svantaggi

La piattaforma sviluppata per il progetto VTM è in realtà una particolare tipologia di web app. Infatti, si tratta di una Single Page Application (SPA), che, come suggerisce il nome, si basa su un'unica pagina nella quale il contenuto viene "sostituito" in base alla richiesta, contrariamente a quanto avviene in una classica applicazione web, dove le singole pagine vengono caricate ogni volta che ad esempio si clicca un link. Questo approccio garantisce all'utente un'esperienza di navigazione comoda e fluida, rendendo la piattaforma ancora più simile ad un'applicazione installata in locale.

Sono stati identificati numerosi vantaggi nello sviluppo di una web app rispetto ad un'applicazione desktop standard, riportati nella tabella di seguito.

<b>Vantaggio</b>	<b>Descrizione</b>
<b>Accessibilità</b>	Funzionano nel browser e non è necessario installarle.
<b>Avvio rapido</b>	La web app diventa immediatamente disponibile al pubblico una volta rilasciata, contrariamente a quanto avviene con le applicazioni desktop e mobile, che necessitano di un'approvazione per poter essere visibili sui rispettivi app store.
<b>Disponibilità</b>	Le web app sono disponibili ovunque ci sia un computer connesso ad internet, senza bisogno di portare con sé supporti USB o altri tipi di dispositivi per la memorizzazione di dati e portable software <sup>2</sup>
<b>Facilità di manutenzione</b>	In caso di aggiornamento o manutenzione, gli utenti non dovranno scaricare o installare nulla, basterà semplicemente visitare di nuovo la pagina.
<b>Interoperabilità</b>	Possono funzionare su qualsiasi sistema operativo senza particolari accorgimenti.
<b>Leggerezza</b>	Dal momento che le web app non necessitano di installazione e non occupano spazio sul disco, non vanno ad appesantire il sistema operativo.
<b>Visibilità</b>	Possono essere ottimizzate per i motori di ricerca e apparire in cima ai risultati.

**Tabella 4.1:** I vantaggi identificati in fase di progettazione dell'applicazione web per il progetto VTM.

È importante però considerare anche gli svantaggi derivanti dall'implementazione di una web app. Di seguito una tabella che riporta i principali svantaggi identificati in fase di progettazione.

Svantaggio	Descrizione
<b>Accesso limitato alle funzionalità del dispositivo</b>	Al contrario delle applicazioni native, le web app hanno accesso limitato all'hardware del dispositivo utilizzato, come ad esempio il GPS o il sensore di impronte digitali.
<b>Dipendenza dal fornitore</b>	Le applicazioni web devono necessariamente essere "caricate" sul server di un fornitore <sup>3</sup> , che dev'essere scelto con criterio, al fine di evitare interruzioni del servizio.
<b>Dipendenza dalla connessione</b>	L'utilizzo delle web app impone di essere connessi ad internet e di disporre di una quantità più o meno alta di banda, a seconda della tipologia dell'applicazione.
<b>Garanzia di qualità e sicurezza</b>	Dal momento che le web app non devono ricevere alcun tipo di approvazione, l'utente non ha la garanzia che il prodotto finale sia di qualità e completamente sicuro, il tutto dipende esclusivamente dall'implementazione fatta dallo sviluppatore.
<b>Limiti nelle capacità</b>	Al momento è molto difficile riprodurre nel browser applicazioni molto complesse come ad esempio il famoso Adobe Photoshop, ma lo scenario tecnologico si sta evolvendo in fretta grazie alla presenza di framework <sup>4</sup> avanzati.

**Tabella 4.2:** Gli svantaggi identificati in fase di progettazione dell'applicazione web per il progetto VTМ.

## 4.2 User-Centered Design

L'approccio è strettamente legato al concetto di User Experience, che generalmente si riferisce al modo in cui l'utente finale reagisce al prodotto che sta utilizzando. Anche se, con la definizione appena fornita, si potrebbe pensare che il sentimento verso l'esperienza di utilizzo si formi in modo univoco nella mente di ciascun utente, lo UCD è lontano dall'essere soggettivo. Infatti, questo approccio va contro le ipotesi soggettive sul comportamento dell'utente, perché si affida ai dati raccolti per guidare le decisioni di progettazione. Per esempio, si possono condurre degli studi sull'usabilità: osservando direttamente gli utenti che utilizzano il prodotto, si possono eliminare le supposizioni e verificare effettivamente cosa funziona e cosa invece può essere migliorato.

La piattaforma web per l'esplorazione dei musei virtuali è stata progettata con una particolare attenzione verso l'esperienza utente, in modo da rendere il tutto intuitivo e semplice da usare. Ad esempio, la visuale è in prima persona<sup>5</sup> e la direzione del movimento è dipendente dalla direzione in cui si sta guardando. In questo modo, il sistema di movimento risulta essere fluido e immediato per l'utente. Un'altra implementazione che è stata particolarmente apprezzata durante le sessioni di user-testing è la possibilità di cambiare il sistema di comandi in qualsiasi momento in base alla preferenza dell'utente, caratteristica che rende la piattaforma versatile; si può scegliere tra due tipologie di comandi:

1. **Con mouse e tastiera:** ispirata al classico sistema di comandi dei videogiochi in prima persona, questa tipologia permette di muovere la visuale e interagire con le opere tramite l'utilizzo del mouse, e di spostarsi all'interno dello spazio virtuale tramite l'utilizzo della tastiera, consentendo un utilizzo fluido con entrambe le mani;
2. **Solo con mouse:** un sistema alternativo che permette di usare tutti i comandi offerti dalla piattaforma tramite il solo utilizzo del mouse. Mentre il movimento della visuale e l'interazione con le opere rimangono gli stessi della prima tipologia di comandi, lo spostamento nello spazio virtuale è reso possibile dall'utilizzo della rotella del mouse.

## 4.3 Analisi dei requisiti

La fase di progettazione della piattaforma web per l'esplorazione dei musei virtuali ha richiesto un'analisi approfondita dei requisiti funzionali e tecnici, fondamentale per garantire che la piattaforma soddisfacesse le esigenze degli utenti e fosse in grado di gestire le complessità tecniche associate all'esplorazione di un numero elevato di modelli tridimensionali.

### 4.3.1 Requisiti funzionali

I requisiti funzionali sono, come dice la parola stessa, legati alle funzionalità che deve avere la piattaforma per soddisfare le esigenze di interattività, facilità d'uso e prestazioni.

---

<sup>5</sup>Tipo di visuale in cui la camera simula la vista dall'occhio umano.

1. **Interfacce semplici ed esperienza utente intuitiva:** la piattaforma doveva essere accessibile ad un pubblico ampio e diversificato, indipendentemente dalle competenze tecniche degli utenti, rendendo necessarie numerose sessioni di user-testing durante la fase di sviluppo per raccogliere i feedback sull'usabilità dell'applicazione;
2. **Realizzazione di un sito vetrina:** l'applicazione doveva comprendere un sito vetrina che presentasse il progetto di ricerca VTM e i suoi concetti fondamentali, in modo che l'utente abbia una panoramica generale delle astrazioni progettate e degli obiettivi che si volevano raggiungere prima di farlo immergere nell'esplorazione dei musei virtuali;
3. **Interattività dell'esplorazione:** l'esplorazione doveva essere coinvolgente per gli utenti, pertanto si è ritenuta necessaria l'introduzione di interazioni significative con le opere d'arte esposte all'interno dei musei virtuali;
4. **Compatibilità cross-browser e cross-device:** la piattaforma doveva essere compatibile con il maggior numero possibile di browser e dispositivi per garantire un'accessibilità universale, rendendo necessario l'utilizzo di tecnologie che funzionassero allo stesso modo sui diversi browser e che permettessero di sfruttare il responsive design per adattare l'interfaccia alle diverse dimensioni degli schermi e garantire un'esperienza utente ottimale su qualsiasi dispositivo;
5. **Scalabilità per l'aggiunta o l'aggiornamento di nuovi contenuti:** l'applicazione doveva avere una certa scalabilità per permettere l'aggiunta o l'aggiornamento di nuovi musei virtuali e contenuti senza richiedere modifiche significative all'architettura esistente;
6. **Prestazioni elevate con grandi quantità di modelli tridimensionali:** la piattaforma doveva essere in grado di caricare e visualizzare modelli complessi come quelli dei musei virtuali evitando un tempo di caricamento eccessivo e senza compromettere la fluidità dell'esplorazione.

### 4.3.2 Requisiti tecnici

I requisiti tecnici delineano le tecnologie e gli strumenti necessari per l'implementazione delle funzionalità descritte dai requisiti funzionali.

1. **Utilizzo di React Bootstrap per le interfacce utente:** questo requisito rappresenta una scelta strategica per lo sviluppo di un'interfaccia utente moderna e responsive, grazie all'elevato numero di componenti e utilities offerti dalla libreria che facilitano l'implementazione e la manutenzione di funzionalità front-end avanzate;

2. **Utilizzo di Three.js per la gestione della scena tridimensionale:** la libreria Three.js permette di semplificare l'implementazione delle funzionalità offerte da WebGL, offrendo numerose utilities per la creazione di contenuto 3D in un'applicazione web e semplificando la gestione delle scene tridimensionali, delle luci e delle ombre, dei materiali e della matematica tridimensionale;
3. **Utilizzo di plugin per la compatibilità dei modelli:** la creazione dei modelli 3D dei musei virtuali è avvenuta tramite il software SketchUp, che non è nativamente compatibile con la libreria Three.js, pertanto è stato necessario identificare dei plugin che potessero convertire il modello generato da SketchUp, originariamente in formato .skp, ed estrarne i dati geometrici per convertirli in codice JavaScript leggibile dalla libreria Three.js;
4. **Ottimizzazione delle prestazioni:** questo requisito è stato prioritario sia durante la fase di progettazione sia durante quella di implementazione, considerato il numero elevato di modelli dei musei virtuali, rendendo necessario l'impiego di tecniche di caricamento asincrono e compressione dei modelli tridimensionali per migliorare i tempi di risposta dell'applicazione durante l'esplorazione e ridurre i tempi di attesa per gli utenti.

## 4.4 Architettura della piattaforma

Visti i requisiti funzionali, in questa fase di progettazione è stato cruciale definire un'architettura dell'applicazione che garantisse non solo la scalabilità del sistema, ma anche la sua manutenibilità. È stato possibile garantire queste caratteristiche soprattutto grazie all'utilizzo di tecnologie moderne e ben supportate, come React, Three.js e Node.js, che assicurano che l'applicazione possa evolvere nel tempo per soddisfare nuove esigenze. L'architettura che è stata progettata per l'applicazione web si può suddividere in tre componenti principali:

- **Front-end:** responsabile dell'interfaccia utente e delle interazioni, è stato progettato per lo sviluppo con React Bootstrap, una libreria JavaScript che consente di creare in modo semplice dei componenti modulari e riutilizzabili, garantendo un design moderno e responsive e migliorando la manutenibilità del codice;
- **Back-end:** determina la logica dell'applicazione e gestisce l'elaborazione dei dati. L'utilizzo di Node.js permette di creare applicazioni scalabili e performanti, grazie anche alla possibilità di utilizzare librerie di terze parti che coadiuvano lo sviluppo;

- **Gestione della grafica 3D:** la gestione della grafica tridimensionale per l'introduzione dei modelli dei musei virtuali in uno spazio esplorabile, che avviene principalmente nel front-end, è stata affidata a Three.js, una libreria JavaScript avanzata che permette di creare e visualizzare contenuti 3D all'interno del browser.

#### 4.4.1 Approccio modulare all'architettura

L'architettura dell'applicazione è stata progettata seguendo un approccio modulare e scalabile, suddividendo il sistema in vari componenti indipendenti ma interconnessi, per permettere facilmente di integrare nuove funzionalità e di aggiornare i componenti già esistenti senza compromettere la stabilità del sistema.

L'approccio modulare garantisce un'ottima scalabilità e una facile manutenibilità: ogni componente può essere aggiornato o sostituito indipendentemente dagli altri, riducendo il rischio di introdurre bug<sup>6</sup> o problemi di compatibilità. I principi fondamentali dell'approccio modulare includono:

- **Separazione delle responsabilità:** ogni modulo è responsabile di una specifica funzionalità o parte dell'applicazione, facilitando la comprensione del sistema e riducendo la complessità del codice;
- **Riusabilità:** i componenti modulari vengono realizzati in modo da essere riutilizzabili in diversi contesti all'interno dell'applicazione, permettendo di ridurre la ripetizione del codice e migliorando l'efficienza del processo di sviluppo;
- **Indipendenza:** i moduli sono progettati per essere il più possibile indipendenti l'uno dall'altro, pertanto possono essere sviluppati e aggiornati separatamente, riducendo il rischio di introdurre bug e garantendo che le modifiche ad un modulo non influenzino gli altri.

Lo studio dei principi chiave dell'approccio modulare suggerisce che quest'ultimo offre importanti vantaggi durante il processo di sviluppo dell'applicazione:

- **Scalabilità:** è possibile aggiungere facilmente nuove funzionalità all'applicazione aggiungendo nuovi moduli o aggiornando quelli esistenti senza richiedere modifiche significative all'intera architettura;

---

<sup>6</sup>Anomalia che porta al malfunzionamento del software, producendo un risultato inatteso o errato.

- **Manutenibilità:** la separazione delle responsabilità e l'indipendenza dei moduli facilitano la manutenzione del codice, permettendo di isolare i bug e risolverli più rapidamente;
- **Flessibilità:** l'approccio modulare consente di adattare rapidamente l'applicazione, aggiornando o sostituendo i moduli in base alle nuove esigenze o a cambiamenti nei requisiti.

#### 4.4.2 Approccio iterativo allo sviluppo

Si è ritenuto fondamentale approcciare lo sviluppo della piattaforma in maniera iterativa, per permettere di affrontare le complessità del progetto in modo graduale e di apportare miglioramenti continui in base ai feedback.

L'approccio iterativo si basa su cicli di sviluppo più o meno brevi, che comprendono una serie di attività tra cui la pianificazione, lo sviluppo vero e proprio, il testing e la revisione del lavoro svolto. Questo metodo consente di suddividere il processo di sviluppo in parti gestibili e di concentrarsi su obiettivi specifici in ogni ciclo. I principi fondamentali dell'approccio iterativo includono:

- **Incrementalità:** lo sviluppo avviene sulla base di piccoli incrementi, ciascuno dei quali aggiunge nuove funzionalità o migliora quelle esistenti, in modo da realizzare i diversi componenti della piattaforma a intervalli regolari;
- **Feedback continuo:** ad ogni iterazione, vengono raccolti e analizzati dei feedback, essenziali per identificare le aree di miglioramento e per adattare in modo efficiente la piattaforma alle esigenze;
- **Adattabilità:** l'approccio iterativo consente di adattarsi rapidamente ai cambiamenti nei requisiti o nelle condizioni del progetto, affrontando le eventuali nuove esigenze o criticità nelle iterazioni successive, senza compromettere il workflow dell'intero progetto.

Il ciclo di sviluppo - cioè la singola iterazione - tipico dell'approccio iterativo segue una struttura ben precisa:

1. **Pianificazione:** all'inizio di ogni iterazione si definiscono gli obiettivi specifici e le funzionalità da implementare, e si determinano le priorità di ogni attività;
2. **Sviluppo:** durante la fase di sviluppo si implementano le funzionalità pianificate nel punto precedente seguendo le best practices<sup>7</sup> della programmazione;

---

<sup>7</sup>Le procedure più significative che permettono di ottenere i migliori risultati.

3. **Testing:** una volta terminata la fase di sviluppo del ciclo, si conducono dei test approfonditi per verificare la corretta implementazione delle nuove funzionalità e l'assenza di bug;
4. **Revisione:** al termine del ciclo si rivedono i risultati ottenuti e si raccolgono i feedback, per identificare eventuali criticità e pianificare le attività per l'iterazione successiva.

## 4.5 Progettazione dell'interfaccia

### 4.5.1 Interfaccia della piattaforma di esplorazione

In questa fase cruciale della progettazione, si è preferito mantenere l'interfaccia della piattaforma di esplorazione il più semplice possibile per non distrarre l'utente dall'esplorazione dei musei virtuali, con l'obiettivo di creare un'esperienza utente intuitiva e coinvolgente, basandosi su alcuni specifici principi chiave:

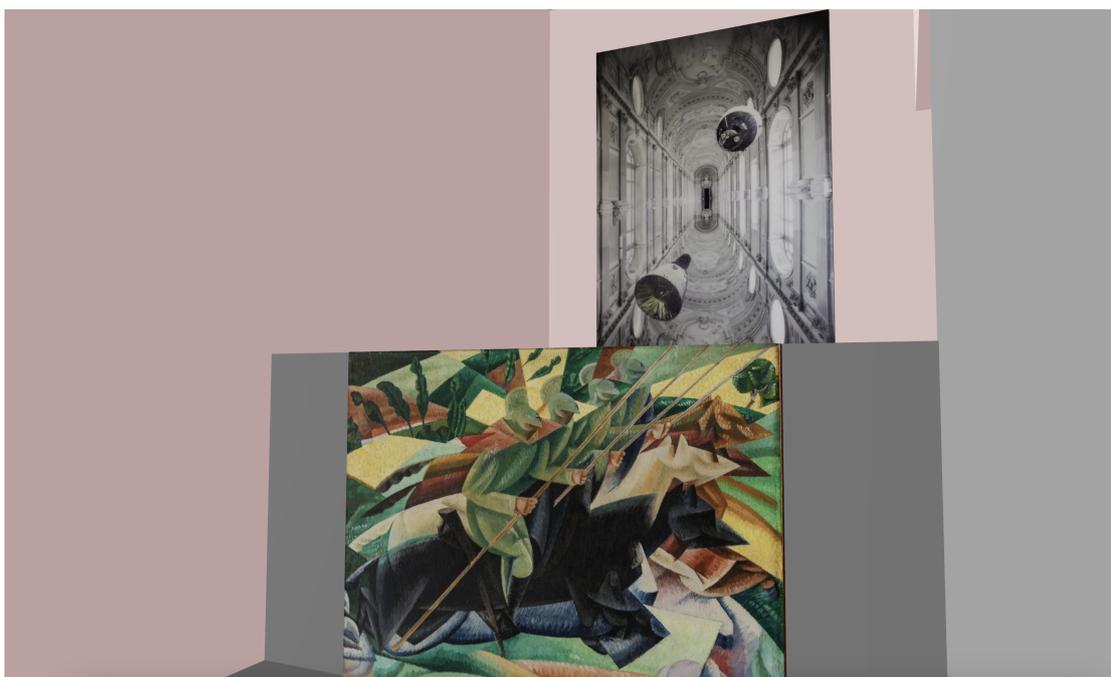
- **Semplicità:** l'interfaccia doveva essere pulita e priva di elementi superflui che potessero distrarre l'utente dallo scopo primario della piattaforma;
- **Intuitività:** l'interfaccia doveva essere facile da usare anche per gli utenti con poca esperienza tecnica e ogni elemento doveva essere posizionato in modo logico e accessibile, garantendo una navigazione fluida e senza intoppi;
- **Coerenza:** l'interfaccia doveva mantenere una coerenza visiva e funzionale in tutte le sue parti, in modo da permettere agli utenti di familiarizzare rapidamente con il sistema.

Per raggiungere gli obiettivi preposti, sono state effettuate alcune scelte stilistiche specifiche, come l'utilizzo di colori neutri e sobri per lo sfondo e gli elementi dell'interfaccia, per mettere in risalto i contenuti dei musei virtuali, l'utilizzo di un font<sup>8</sup> chiaro e leggibile su diversi dispositivi, e l'uso parsimonioso di elementi grafici e decorativi, per mantenere un layout minimalista dell'interfaccia e creare un ambiente di esplorazione tranquillo e focalizzato.

Inoltre, come vedremo nel capitolo 5, sono state progettate e implementate diverse funzionalità atte a migliorare l'esperienza utente, come l'introduzione di un sistema di teletrasporto da un museo virtuale all'altro e la possibilità di scegliere uno tra i due sistemi di comandi per esplorare lo spazio virtuale.

---

<sup>8</sup>Il tipo di carattere degli elementi testuali.



**Figura 4.2:** L'interno del Museo Armonia & Caos, costruito con colori neutri per focalizzare l'attenzione sulle opere esposte.

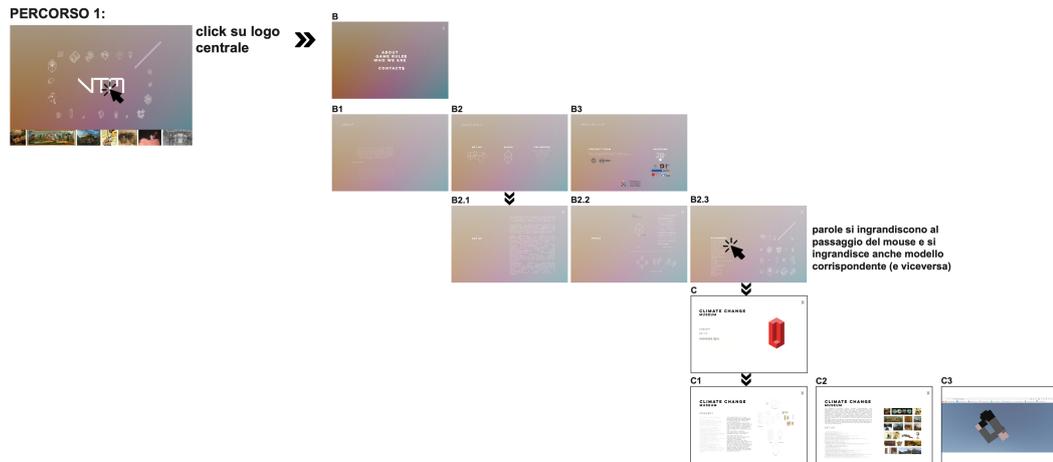
#### 4.5.2 Interfaccia del sito vetrina

Anche sull'interfaccia del sito vetrina è stata condotta un'importante progettazione, avvenuta tramite la creazione di diversi mock-up<sup>9</sup> che hanno portato alla definizione di tre percorsi principali per raggiungere la piattaforma di esplorazione dei musei virtuali:

1. Il primo percorso è quello che permette di ottenere la più ampia conoscenza del progetto VTM prima di arrivare all'esplorazione dei musei. Cliccando sul logo centrale nella homepage, è possibile accedere ad un menù di navigazione che indirizza a diverse pagine informative, fino ad arrivare a quella delle parole chiave: cliccando su una di esse, si viene indirizzati alla pagina specifica del museo virtuale corrispondente, dalla quale si può accedere alle relative pagine informative e alla piattaforma di esplorazione partendo dal museo scelto;

---

<sup>9</sup>Realizzazione a scopo illustrativo di un sistema in fase di progettazione.



**Figura 4.3:** Il mock-up del primo percorso progettato per il sito vetrina.

2. Nel secondo percorso, l'utente può farsi ispirare dalle forme dei musei virtuali che circondano il logo del progetto VTM e dalle parole chiave corrispondenti, direttamente dalla homepage: cliccando su una di esse, si viene indirizzati alla pagina specifica del museo virtuale corrispondente, dalla quale si può accedere alle relative pagine informative e alla piattaforma di esplorazione partendo dal museo scelto;



**Figura 4.4:** Il mock-up del secondo percorso progettato per il sito vetrina.

3. Nel terzo percorso, l'utente può farsi ispirare dalle opere presenti nella carrellata sul fondo della homepage: cliccando su una di esse, si viene indirizzati alla pagina specifica dell'opera che riporta diverse informazioni, tra cui il museo virtuale in cui è esposta. Cliccando su quest'ultimo, si viene indirizzati alla pagina specifica del museo virtuale corrispondente, dalla quale si può accedere alle relative pagine informative e alla piattaforma di esplorazione partendo dal museo scelto.



**Figura 4.5:** Il mock-up del terzo percorso progettato per il sito vetrina.



# Capitolo 5

## Implementazione

La selezione tecnologica per l'implementazione della piattaforma è stata effettuata prendendo in considerazione i software e i framework più avanzati - e anche più utilizzati - attualmente disponibili. Per la creazione dei modelli 3D dei musei virtuali è stato utilizzato il software SketchUp, mentre per la realizzazione della web app è stata utilizzata una combinazione della libreria React (per la responsiveness<sup>1</sup> e l'approccio SPA) con il framework ThreeJS (per la grafica e la gestione delle scene tridimensionali).

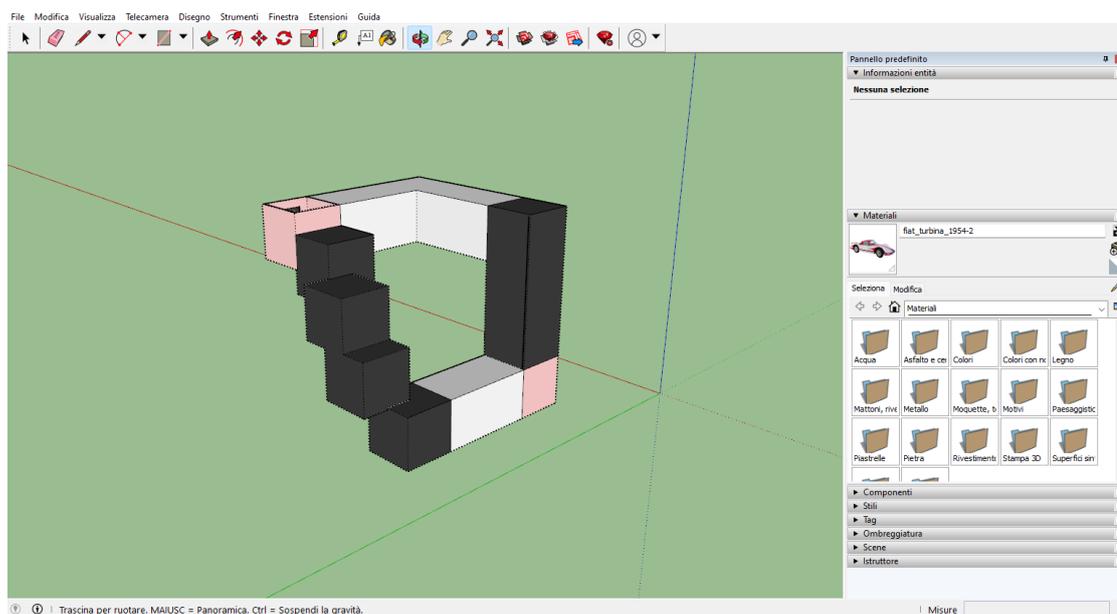
### 5.1 SketchUp

SketchUp è uno dei software di modellazione 3D general-purpose<sup>2</sup> più diffuso e utilizzato al mondo: versatile, potente e al tempo stesso facile da imparare e utilizzare. E' stato sviluppato con una particolare attenzione alle fasi concettuali del design e fornisce all'utente uno strumento intuitivo e veloce, grazie anche al supporto degli strumenti per la modellazione integrati particolarmente flessibili, in grado di assistere la creazione dei modelli sia dal punto di vista grafico sia da quello strutturale, e di consentire un'esplorazione dinamica ed efficace degli oggetti, dei materiali e dell'impatto della luce solare.

---

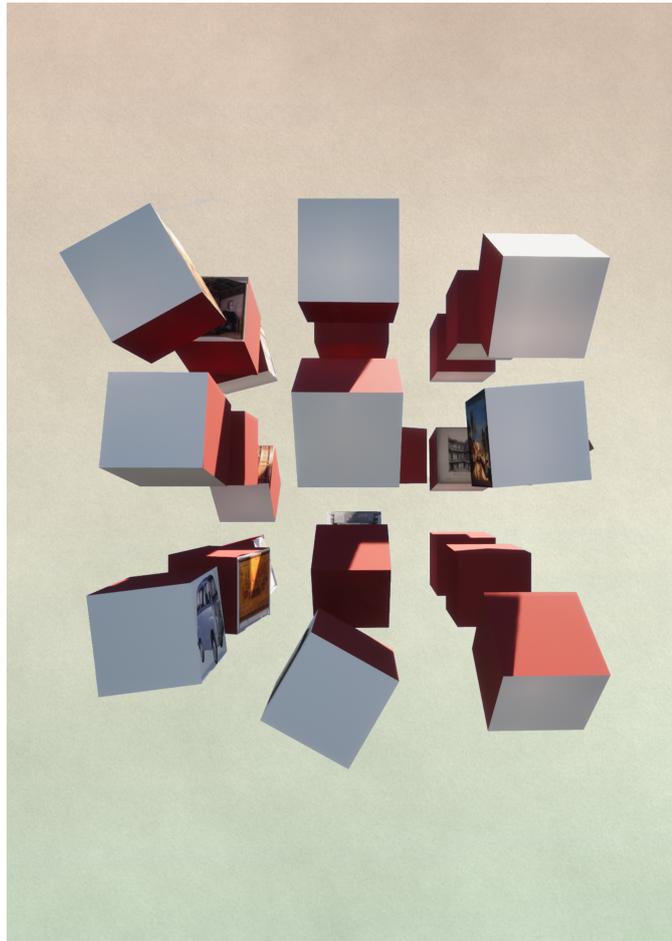
<sup>1</sup>La capacità dell'interfaccia di adattarsi alle diverse dimensioni degli schermi dei dispositivi.

<sup>2</sup>Caratterizzato da una certa versatilità e adatto a diversi impieghi.



**Figura 5.1:** L'interfaccia del software SketchUp durante un lavoro sul modello del Museo Armonia & Caos.

La struttura dei modelli 3D dei musei virtuali non è in alcun modo ispirata a quella di un reale museo. Infatti, ciascun museo virtuale è stato progettato tenendo in considerazione esclusivamente il tema, dettato dalla parola chiave, che accomuna le opere al suo interno. Persino la forza di gravità non è stata considerata in fase di progettazione, dato che nel sistema della piattaforma di esplorazione è volutamente assente. Questa scelta ha portato alla costruzione di modelli che spesso presentano una struttura architettonica non replicabile nella realtà.



**Figura 5.2:** Un esempio di struttura non replicabile nella realtà: il Museo della Distruzione.

## 5.2 React

React è una libreria specializzata nella creazione di interfacce utente, sviluppata all'interno di Facebook<sup>3</sup> con l'obiettivo di migliorare lo sviluppo e la manutenzione delle sue interfacce, e resa open-source<sup>4</sup> nel 2013. Grazie a vari aggiornamenti effettuati negli anni, React ha subito una trasformazione radicale, passando in breve tempo da un approccio simile ai linguaggi di programmazione a oggetti, con classi e metodi, ad uno più funzionale, in cui il flusso del codice assume la forma di una serie di esecuzioni di funzioni matematiche.

### 5.2.1 I componenti

Le applicazioni web sviluppate con la libreria React sono composte da un insieme di "pezzi" di interfaccia utente di grandezza variabile - piccoli come un bottone fino ad arrivare alla grandezza di un'intera pagina - detti componenti.

I componenti React sono definiti come una funzione JavaScript che ritorna markup HTML:

```
function CustomButton() {  
  return (  
    <button>Cliccami</button>  
  )  
}
```

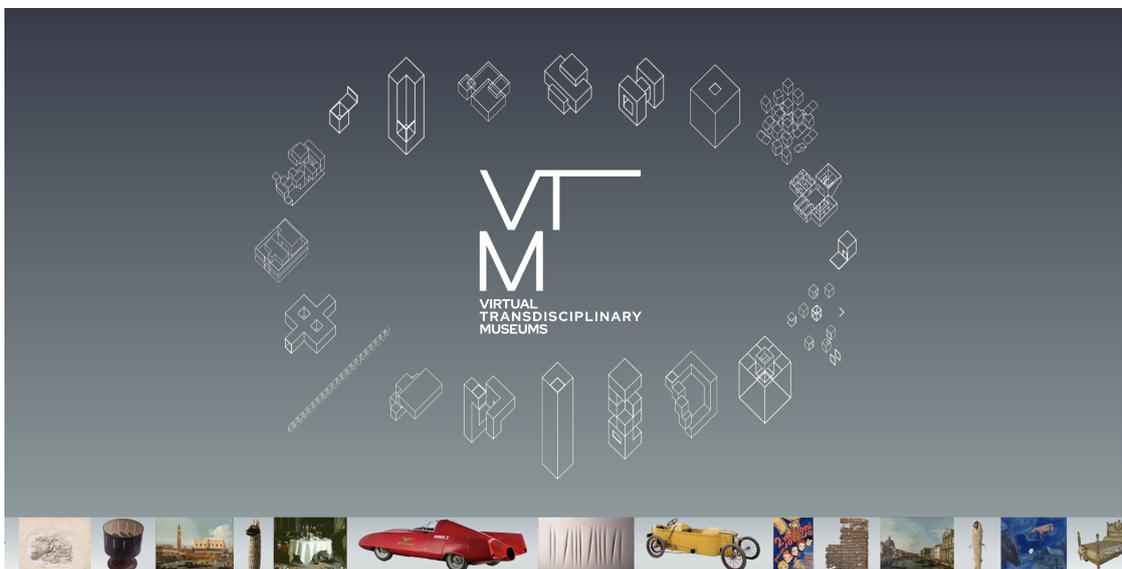
Lo scopo principale dei componenti è quello di definire dei blocchi di interfaccia utente, anche complessi, che possono essere annidati e riutilizzati più volte. Questo approccio, detto modulare, consente di costruire rapidamente interfacce complesse, riutilizzando e mettendo insieme dei componenti già definiti in precedenza.

---

<sup>3</sup>Oggi chiamato Meta.

<sup>4</sup>Codice sorgente aperto, generalmente indica un software distribuito gratuitamente con una licenza che ne permette la modifica e la redistribuzione.

Come si può notare nella Figura 5.3, l'utilizzo dei componenti ha permesso di costruire una homepage piuttosto complessa: al centro troviamo i venti musei virtuali che circondano il logo del progetto VTM e sul fondo una carrellata di alcune delle opere presenti nella collezione virtuale. Cliccando il logo al centro si apre il menù di navigazione del sito, mentre passando il cursore del mouse su uno dei musei virtuali si può visualizzare la relativa parola chiave. Cliccando su un museo virtuale si accede alla sua pagina specifica, che contiene diverse informazioni sull'architettura e sul tema che accomuna le opere al suo interno, e permette di accedere allo spazio virtuale cominciando dal museo selezionato. Invece, cliccando su un'opera della carrellata sul fondo della homepage, si accede ad una pagina che permette di visualizzare le informazioni dell'opera e di conoscere in che museo virtuale si trova.



**Figura 5.3:** La homepage della piattaforma web VTM.

## 5.2.2 Gli hooks

Gli hooks di React sono delle funzioni che permettono di sfruttare alcune specifiche funzionalità messe a disposizione dalla libreria, come ad esempio la possibilità di salvare e reperire uno stato che può avere una certa pagina dell'applicazione web, oppure la possibilità di ricevere da un database dei dati che deve mostrare la pagina. Tra gli hooks più usati della libreria React troviamo:

1. **useState:** permette di creare una variabile di stato che può essere aggiornata in qualsiasi momento. Contrariamente a quanto avviene per le normali variabili, l'aggiornamento delle variabili di stato permette di aggiornare l'interfaccia in modo da riflettere il cambiamento di stato, senza dover ricaricare la pagina. All'esempio del bottone mostrato in precedenza si potrebbe aggiungere un contatore definito come variabile di stato e una stringa che mostra il suo valore affianco al bottone. Ogni volta che si clicca il bottone, il contatore viene aggiornato e di conseguenza viene aggiornata anche la stringa che mostra il suo valore;
2. **useEffect:** le istruzioni all'interno di questo hook vengono eseguite al primo render<sup>5</sup> del componente e all'aggiornamento di determinate variabili di stato. Questo consente ai componenti di effettuare delle operazioni prima di presentare l'interfaccia all'utente. Generalmente vengono usate per sincronizzare un componente con un sistema esterno, ad esempio un database. All'esempio del bottone ampliato con la useState si potrebbe aggiungere una useEffect che, attraverso una chiamata al database, inizializza il contatore con l'ultimo valore salvato;
3. **useContext:** permette ad un componente di ricevere informazioni dai componenti padre, a qualsiasi distanza essi siano. All'esempio del bottone ampliato nei precedenti punti si potrebbe aggiungere un componente padre che utilizza la useEffect per ricevere il valore iniziale del contatore. Successivamente, il componente padre tramanda il valore iniziale del contatore ricevuto tramite la useEffect al componente figlio che contiene il bottone.

---

<sup>5</sup>Il processo tramite il quale un browser interpreta il codice e presenta la pagina all'utente.

### 5.2.3 React Bootstrap

Si tratta di una libreria sviluppata appositamente per React che ridefinisce i componenti più utilizzati, dandogli uno stile moderno e piacevole grazie all'utilizzo di bootstrap, un framework CSS potente e scalabile per il front-end<sup>6</sup>.

Utilizzando questa libreria, React rimane il cuore pulsante dell'applicazione, che invece di essere sostituito con l'implementazione di bootstrap, ne eredita tutte le funzionalità e le utility di stile. Pertanto, è possibile continuare ad utilizzare tutte le caratteristiche funzionali che offre React.



**Figura 5.4:** Un esempio di cosa permette di fare React Bootstrap: la pagina Game Rules della piattaforma VTM.

---

<sup>6</sup>L'interfaccia utente, la parte visibile di un'applicazione con la quale si può interagire.

## 5.3 Three.js

Col tempo, i browser sono diventati capaci di eseguire applicazioni con funzionalità e grafica complessi. La maggior parte dei browser moderni ha adottato la tecnologia WebGL, che permette non solo di distribuire applicazioni con grafica 2D, ma anche di creare applicazioni performanti con grafica 3D sfruttando le capacità della GPU<sup>7</sup>. Tuttavia, utilizzare direttamente WebGL è estremamente complesso e richiede la conoscenza di diverse nozioni di grafica, essendo un sistema di basso livello<sup>8</sup>.

Three.js permette di utilizzare le funzionalità offerte da WebGL per la creazione di scene e oggetti 3D all'interno di una pagina web tramite l'utilizzo di un sistema ad alto livello<sup>9</sup>. Si tratta di una libreria che offre numerose utility per creare contenuto 3D in un'applicazione web, semplificando la gestione delle scene, delle luci e delle ombre, dei materiali e della matematica tridimensionale.

Nella tabella di seguito sono riportati gli elementi fondamentali della libreria Three.js.

---

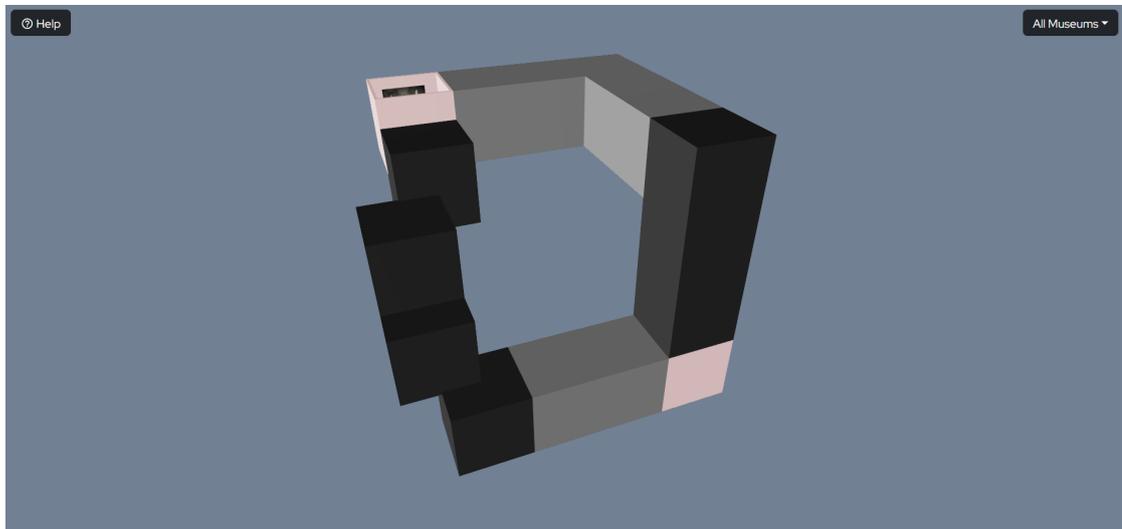
<sup>7</sup>Graphics Processing Unit, l'unità di elaborazione all'interno di un dispositivo progettata per accelerare la creazione di immagini destinate all'output su un dispositivo di visualizzazione, come ad esempio un monitor.

<sup>8</sup>Facilmente comprensibile per un elaboratore ma non per un programmatore.

<sup>9</sup>Facilmente comprensibile per un programmatore. Le istruzioni devono essere riportate a basso livello per poter essere interpretate da un elaboratore.

Elemento	Descrizione
Renderer	L'elemento principale della libreria, racchiude la scena e la camera necessari per mostrare all'utente l'ambiente tridimensionale.
Scena	Rappresenta la radice dell'ambiente tridimensionale e definisce alcune proprietà fondamentali come il colore di sfondo e la nitidezza.
Camera	L'oggetto, statico o mobile, che definisce la porzione della vista nello spazio tridimensionale.
Mesh	Rappresenta un oggetto tridimensionale nello spazio tramite l'utilizzo di una Geometria e del suo Materiale.
Geometria	Rappresenta la geometria di un oggetto tridimensionale come una sfera, un cubo o un edificio.
Materiale	Definisce le proprietà della superficie di un oggetto tridimensionale, come il colore o l'opacità.
Luce	Definisce le proprietà di illuminazione di una Scena, come il colore o l'angolazione.

**Tabella 5.1:** Gli elementi fondamentali della libreria Three.js per la gestione di una scena tridimensionale.



**Figura 5.5:** Un primo piano del Museo Armonia & Chaos nello spazio virtuale della piattaforma VTM, gestito con Three.js.

## 5.4 Procedimento dello sviluppo

Il processo di implementazione e sviluppo della piattaforma web ha richiesto un'approfondita pianificazione e una serie di fasi iterative.

In questa sezione saranno ripercorse le principali tappe della fase di sviluppo del progetto, con particolare attenzione all'utilizzo della libreria Three.js per l'implementazione e la gestione della scena tridimensionale contenente i modelli dei musei virtuali.

### 5.4.1 Studio della libreria Three.js

La prima fase del progetto ha comportato lo studio approfondito della libreria Three.js, una delle più potenti e versatili librerie JavaScript per la creazione e la gestione di grafica tridimensionale nel contesto delle applicazioni web, che offre numerose funzionalità e utilities fondamentali per creare un'esperienza immersiva.

Durante questa fase, è stato necessario comprendere i concetti base della libreria, come la creazione della scena, l'aggiunta di oggetti tridimensionali e la gestione della telecamera e dell'illuminazione. La consultazione della documentazione ufficiale e le numerose risorse disponibili in rete sono state fondamentali per acquisire solide basi di conoscenza teorica della libreria Three.js.

### 5.4.2 Familiarizzazione con l'ambiente di sviluppo

Una volta acquisita una buona comprensione teorica della libreria, la fase successiva ha riguardato la familiarizzazione con l'ambiente di sviluppo. Per questo scopo, sono state utilizzate forme geometriche di prova, come cubi, sfere e cilindri, per creare semplici scene tridimensionali e sperimentare con le diverse funzionalità di Three.js al fine di comprendere come manipolare gli oggetti nello spazio tridimensionale e il funzionamento della libreria in generale per sfruttare appieno le sue potenzialità.

Durante questi esercizi pratici, sono stati creati numerosi prototipi che includevano la gestione delle luci e delle ombre e l'applicazione di texture e materiali, fornendo una solida base per lo sviluppo vero e proprio della piattaforma e permettendo di identificare le criticità in una fase precoce dell'implementazione.

### 5.4.3 Implementazione della camera

Dopo aver familiarizzato con l'ambiente di sviluppo, si è reso necessario implementare un modo per far muovere la camera all'interno dello spazio, al fine di renderlo liberamente esplorabile. In questa fase, è stato creato un sistema di comandi con alla base l'idea di un movimento che richiamasse un volo senza forza di gravità e

che permettesse agli utenti di esplorare liberamente lo spazio virtuale e i musei al suo interno.

Per raggiungere questo scopo, inizialmente è stato sviluppato un sistema di controllo che consente di muovere la camera in qualsiasi direzione attraverso l'utilizzo del mouse per cambiare l'angolo della visuale. Successivamente, sono stati mappati<sup>10</sup> dei comandi della tastiera per permettere il movimento all'interno dello spazio in modo fluido e intuitivo, dipendente dall'angolo della visuale, permettendo così di muoversi e contemporaneamente ruotare la visuale per raggiungere facilmente un punto nello spazio virtuale attraverso l'uso di entrambe le mani.

In una fase successiva, questo sistema di comandi è stato ampliato con l'implementazione di un'opzione che consente agli utenti di utilizzare solo il mouse per muoversi e ruotare la visuale, facilitando l'esplorazione a chi preferisce un'interazione più semplice e meno impegnativa.

#### 5.4.4 Configurazione della grafica dello spazio

La configurazione grafica dello spazio virtuale è stata un aspetto cruciale del progetto. La scelta del colore di sfondo è ricaduta su un colore neutro, una sfumatura di grigio, per dare l'idea di trovarsi in uno spazio virtuale e permettere agli utenti di concentrarsi sui musei virtuali. La replica di un ambiente realistico non faceva parte degli obiettivi del progetto, infatti si è preferito mantenere un'atmosfera astratta e minimalista che esaltasse le strutture dei musei virtuali e le opere esposte al loro interno.

L'illuminazione dello spazio è stata configurata in modo da garantire una visibilità ottimale dell'architettura dei musei virtuali e delle collezioni da qualsiasi distanza, mantenendo le ombre il meno presenti possibile per evitare di appesantire la scena e mantenere un aspetto pulito, minimale e che desse un'idea di astrazione.

#### 5.4.5 Configurazione della fisica dello spazio

In questa fase è stato necessario definire le proprietà fisiche fondamentali dell'ambiente virtuale, come la velocità di movimento, le collisioni con gli oggetti tridimensionali e i confini dello spazio.

La velocità di movimento è stata calibrata per offrire un'esperienza di navigazione fluida e controllata, permettendo agli utenti di esplorare lo spazio virtuale senza sentirsi disorientati o sopraffatti.

Le collisioni all'interno dello spazio virtuale sono state calcolate grazie ad una specifica utility della libreria Three.js, che permette di analizzare i dati geometrici di un modello tridimensionale.

---

<sup>10</sup>Dall'inglese *to map*, si riferisce al processo di assegnazione delle azioni ad un input dell'utente.

```

109 <Canvas id="ImmersionCanvas" shadows camera={{ fov: 50, far: 4000 }} style={{ background: "#718093" }}>
110
111 <pointLight castShadow Intensity={0.9} position={[100, 100, 100]} />
112 <ambientLight Intensity={0.5} />
113
114 <Physics gravity={[0, 0, 0]}>
115 <Viewer pRef={pointerlockRef} museum={props.museum} ret0={return0} pieceHovered={pieceHovered} isMobile={isMobile} controls={controlsSystem} />
116
117 <RigidBody mass={1} colliders="trimesh" type="fixed" position=[[-400, 0, 120]] enabledRotations=[[false, false, false]] scale={2}>
118 | <Biodiversity setPH={setPH} setPC={setPC} museumHovered={museumHovered} setMH={setMH} setMW={setMW} setRO={setRO} pRef={pointerlockRef} />
119 </RigidBody>
120 <RigidBody mass={1} colliders="trimesh" type="fixed" position=[[270, 0, 260]] enabledRotations=[[false, false, false]] scale={3}>
121 | <Comedy setPH={setPH} setPC={setPC} museumHovered={museumHovered} setMH={setMH} setMW={setMW} setRO={setRO} pRef={pointerlockRef} />
122 </RigidBody>
123 <RigidBody mass={1} colliders="trimesh" type="fixed" position=[[0, 0, 400]] enabledRotations=[[false, false, false]] scale={3}>
124 | <Communication setPH={setPH} setPC={setPC} museumHovered={museumHovered} setMH={setMH} setMW={setMW} setRO={setRO} pRef={pointerlockRef} />
125 </RigidBody>
126 <RigidBody mass={1} colliders="trimesh" type="fixed" position=[[-180, 33, 550]] enabledRotations=[[false, false, false]] scale={3}>

```

**Figura 5.6:** Una porzione del codice utilizzato per la configurazione della grafica e della fisica dello spazio virtuale.

Infine, i confini dello spazio virtuale sono stati volutamente configurati come infiniti, per dare l'idea di trovarsi in un ambiente che non avesse limiti nell'esplorazione. Questa scelta progettuale contribuisce a creare un senso di libertà e di immersione, permettendo agli utenti di esplorare i musei virtuali senza sentirsi confinati in uno spazio ristretto.

#### 5.4.6 Introduzione del primo modello di museo virtuale

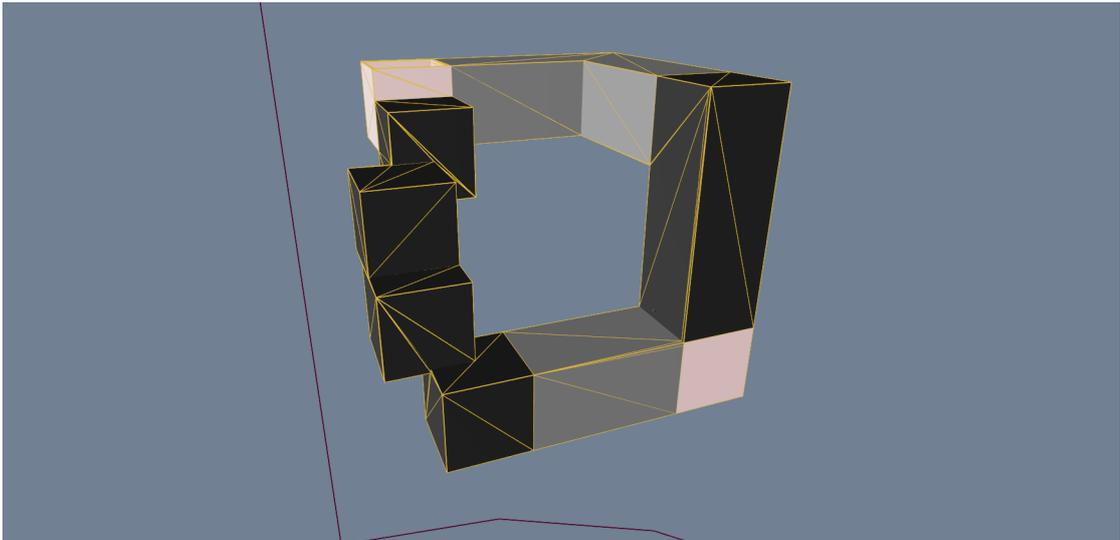
Dopo aver configurato lo spazio virtuale, è stato introdotto per la prima volta un vero modello di museo virtuale, il Museo Armonia & Caos. Questo passaggio è stato cruciale per testare l'integrazione con la configurazione grafica e fisica, e per iniziare a costruire l'esperienza utente definitiva.

Inizialmente è stato necessario convertire il modello del museo virtuale, creato con il software SketchUp, in un formato compatibile con la libreria Three.js. Il file del modello, che aveva originariamente l'estensione .skp, è stato convertito nel formato .glb tramite un plugin<sup>11</sup> di SketchUp, e successivamente è stato elaborato da una utility di Three.js, che ha permesso di estrarre i dati geometrici del modello e convertirli in codice JavaScript compatibile con la scena implementata tramite la libreria.

Essendo il primo ad essere inserito, il modello è stato inizialmente posizionato nelle vicinanze del punto di spawn<sup>12</sup> della camera, per facilitare il processo di valutazione della qualità del render. Il più importante tra gli aggiustamenti effettuati è stato quello di calcolare attentamente la grandezza del modello del museo per garantire che fosse proporzionato e ben visibile all'interno della scena, oltre che rendere gli ingressi già presenti facili da utilizzare.

<sup>11</sup>Piccoli programmi aggiuntivi che interagiscono con un software per ampliarne o estenderne le funzionalità originarie.

<sup>12</sup>La posizione iniziale della camera nel momento in cui si accede allo spazio virtuale.



**Figura 5.7:** Uno screenshot del processo di posizionamento e configurazione del modello del Museo Armonia & Caos.

Per facilitare la gestione e la riusabilità del sistema di introduzione del modello implementato, il tutto è stato incapsulato all'interno di un componente modulare. Questo approccio ha permesso di mantenere il codice organizzato e di semplificare l'integrazione dei successivi modelli, avendo già all'interno del componente tutte le configurazioni necessarie al corretto render, rendendo il processo di aggiunta di nuovi musei rapido ed efficiente.

#### 5.4.7 Implementazione delle interazioni con le opere

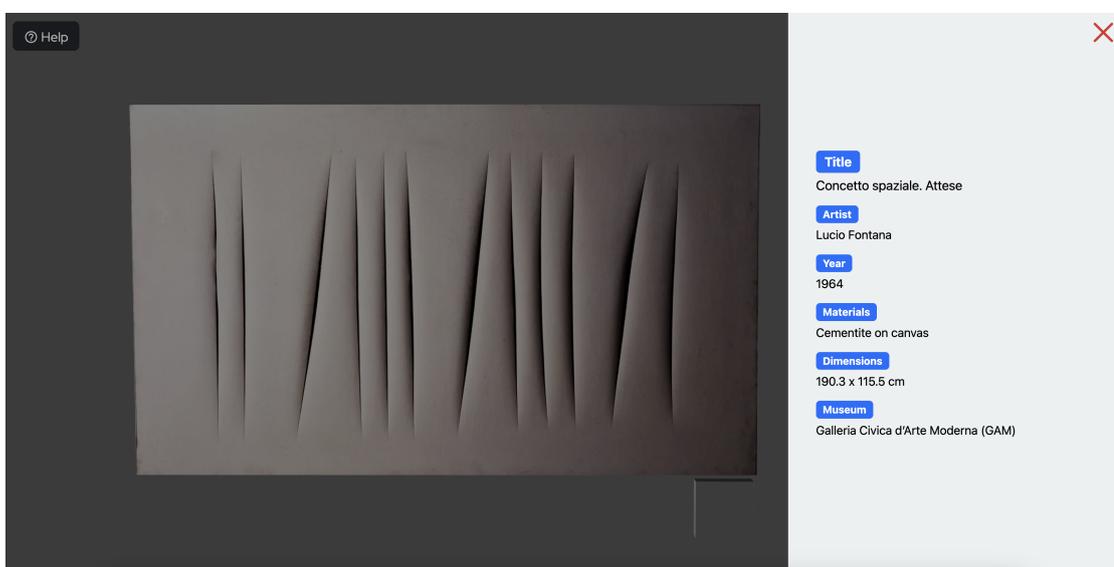
Una volta introdotto il primo modello di museo virtuale, l'attenzione si è spostata sull'implementazione delle interazioni con le opere presenti all'interno del museo, che è stato possibile isolare dall'architettura del museo grazie alla utility di conversione della libreria citata in precedenza. L'obiettivo era quello di creare un'esperienza coinvolgente per gli utenti, che permettesse di interagire con le opere d'arte in modo intuitivo.

Per raggiungere questo scopo, è stato sviluppato un sistema che rileva il passaggio del mouse sulle opere esposte: quando il cursore del mouse passa sopra un'opera, appare una cornice luminosa lungo il contorno, segnalando all'utente che l'elemento è interattivo. La cornice luminosa è stata progettata per essere discreta ma visibile, in modo da non distrarre l'utente dall'opera stessa ma al tempo stesso fornire un chiaro feedback visivo. Cliccando con il tasto sinistro del mouse mentre la cornice luminosa è visibile, viene presentata all'utente una scheda informativa in sovrapposizione, che contiene informazioni dettagliate sull'opera, come il titolo,

l'autore, la data di creazione, i materiali utilizzati, la dimensione e la reale ubicazione. L'interfaccia della scheda informativa è stata costruita con un layout pulito che facilita la consultazione delle informazioni dell'opera grazie all'utilizzo di React Bootstrap.



**Figura 5.8:** La possibilità di interazione con un'opera viene segnalata con una cornice luminosa lungo il contorno.



**Figura 5.9:** La scheda informativa in seguito all'interazione con l'opera.

### 5.4.8 Miglioramento della user experience

L'aggiunta delle caratteristiche fondamentali della piattaforma e la progressiva introduzione dei modelli dei musei virtuali nella scena hanno reso necessaria l'implementazione di alcune funzionalità atte a migliorare l'esperienza utente.

Per facilitare la navigazione tra i diversi musei virtuali, posizionati a distanze variabili l'uno dall'altro, è stato implementato un sistema di teletrasporto che consente agli utenti di spostarsi rapidamente da un museo all'altro tramite l'utilizzo di un menù interattivo. Quest'ultimo è accessibile in qualsiasi momento durante l'esplorazione e presenta una lista dei musei presenti nello spazio virtuale: selezionandone uno, la camera viene immediatamente trasportata alla sua posizione di ingresso, riducendo i tempi di navigazione e migliorando l'efficienza dell'esplorazione.



**Figura 5.10:** Il menù interattivo per il sistema di teletrasporto.

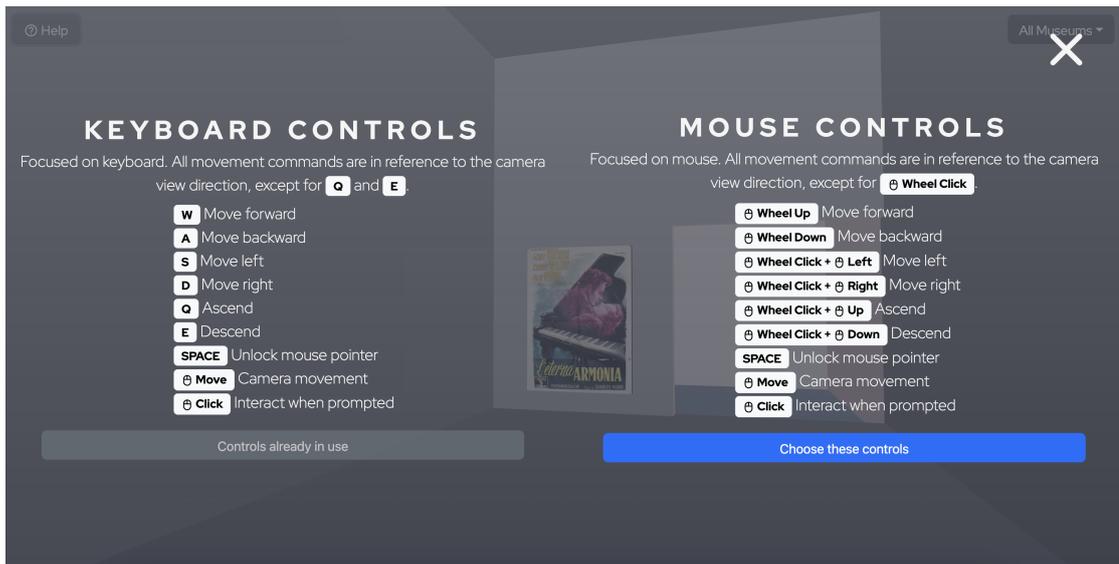
In aggiunta al menù interattivo, il sistema è stato ampliato con l'introduzione del teletrasporto basato sul puntamento della visuale su un museo virtuale lontano: cliccando con il tasto sinistro del mouse in seguito alla notifica della possibilità di teletrasporto, la camera viene immediatamente trasportata alla sua posizione di ingresso. In questo modo, l'utente può farsi ispirare sia dalla parola chiave del museo virtuale, tramite il menù interattivo, sia dall'architettura dello stesso, tramite il sistema di teletrasporto a puntamento.



**Figura 5.11:** Notifica della possibilità di teletrasporto tramite sistema di puntamento.

Successivamente, considerando che molti dei musei virtuali sono stati progettati con un'architettura sviluppata in verticale, è emersa la necessità di migliorare i comandi di navigazione per facilitare l'esplorazione verticale, in quanto puntare la visuale verso l'alto o il basso e muoversi in avanti risultava scomodo e precludeva la possibilità di apprezzare le opere durante la salita o la discesa. Per risolvere questo problema, sono stati introdotti due nuovi comandi specifici per l'ascesa e la discesa della camera che permettono agli utenti di spostarsi verticalmente senza dover modificare l'angolo della visuale, rendendo la navigazione più fluida.

Inoltre, per garantire che gli utenti possano sfruttare appieno tutte le funzionalità del sistema di navigazione della piattaforma, è stata introdotta una pagina di aiuto dettagliata, accessibile in qualsiasi momento durante l'esplorazione cliccando sul relativo pulsante. La pagina che viene proposta all'utente contiene una lista completa dei comandi disponibili e permette di selezionare uno dei due sistemi di navigazione: con mouse e tastiera oppure solo con mouse.



**Figura 5.12:** I due sistemi di comandi disponibili sulla piattaforma web.

#### 5.4.9 Realizzazione del sito vetrina

Nelle fasi finali del progetto è stato realizzato un sito vetrina, allo scopo di presentare il progetto di ricerca VTM e fornire agli utenti tutte le informazioni necessarie per iniziare l'esplorazione dei musei virtuali. L'utilizzo della libreria React Bootstrap in questa fase è stata fondamentale per garantire un'interfaccia moderna e responsive.

La homepage è stata progettata per offrire una panoramica accattivante ma al tempo stesso informativa del progetto. Tutti gli elementi presenti sulla pagina sono cliccabili:

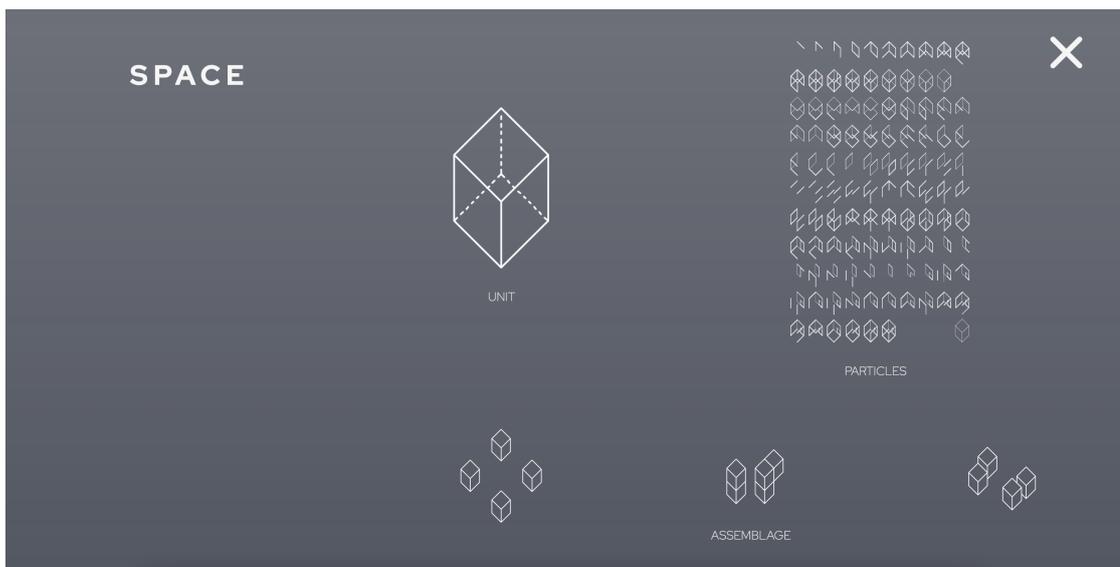
- Al centro, il logo del progetto di ricerca porta al menù di navigazione del sito;
- Intorno al logo del progetto di ricerca, si trovano i venti musei virtuali. Cliccandone uno, si viene indirizzati alla pagina specifica del museo;
- Sul fondo della pagina è presente una carrellata di alcune delle opere facenti parte della collezione virtuali. Cliccandone una, si viene indirizzati alla pagina specifica dell'opera.



**Figura 5.13:** Il menù di navigazione del sito che appare cliccando sul logo del progetto VTM.

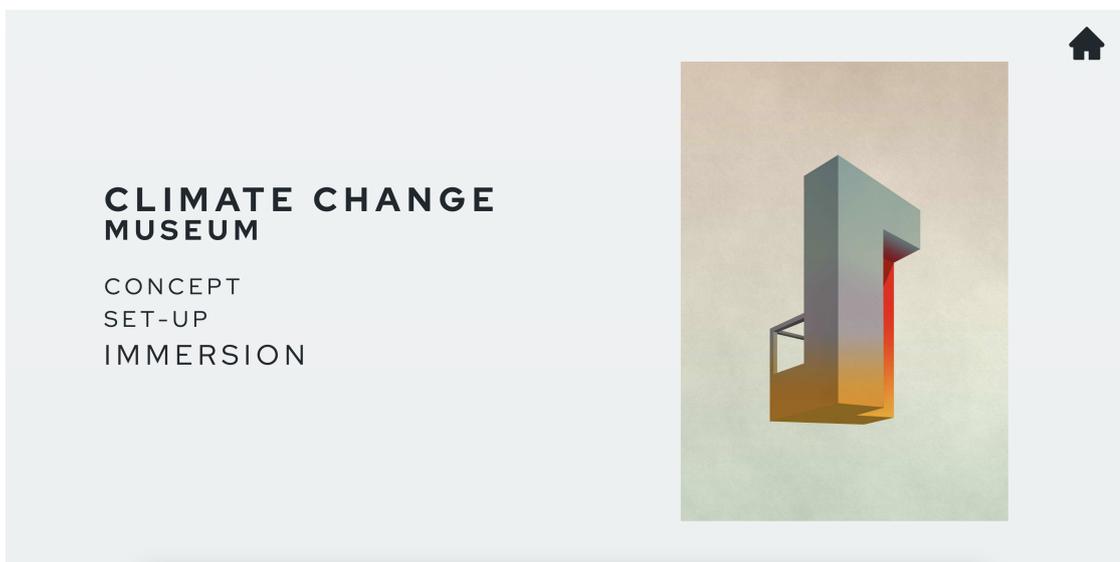
Il design della homepage è stato studiato in modo da risultare minimal, per catturare l'attenzione degli utenti facendoli ispirare da ciò che più li colpisce di primo acchito, invogliandoli a esplorare ulteriormente.

Le diverse pagine informative approfondiscono le basi e gli aspetti teorici del progetto di ricerca, come l'unità spaziale minima utilizzata per la creazione dei musei virtuali e lo studio delle parole chiave scelte per i temi presenti nelle opere. Ogni pagina è stata strutturata in modo da essere facilmente navigabile, grazie alla suddivisione dei contenuti in sezioni tematiche e il supporto di immagini esplicative, con l'obiettivo di fornire una panoramica dettagliata del progetto di ricerca e al tempo stesso rendere accessibili tutte le informazioni anche ad un pubblico non tecnico.



**Figura 5.14:** La pagina "Space" del sito vetrina.

Un elemento chiave del sito vetrina è rappresentato dalle pagine dedicate agli specifici musei virtuali, che forniscono informazioni dettagliate sull'architettura, sul tema del museo e sulle opere esposte al suo interno. Inoltre, da queste pagine è possibile accedere direttamente alla piattaforma di esplorazione, denominata "Immersion", permettendo agli utenti di iniziare la visita virtuale partendo dal museo scelto.



**Figura 5.15:** La pagina specifica del Museo del Cambiamento Climatico.



# Capitolo 6

## Risultati

La realizzazione della piattaforma web descritta nei capitoli precedenti ha portato ad una serie di risultati significativi che dimostrano la presenza di numerose opportunità ancora da esplorare, e confermano l'efficacia dell'approccio adottato, suggerendo ulteriori sviluppi e applicazioni future nel campo della museologia digitale.

### 6.1 Opportunità per l'educazione e la divulgazione culturale

La piattaforma ha aperto nuove strade per l'educazione e la divulgazione culturale in ambito museale: grazie alla varietà dei contenuti offerti, gli utenti hanno potuto approfondire le loro conoscenze in modo autonomo e interattivo. Gli hotspot informativi, presenti su ogni opera all'interno della collezione virtuale, hanno fornito un valore aggiunto, permettendo agli utenti di accedere a informazioni dettagliate e contestualizzate.

Inoltre, la realizzazione di un'applicazione web per un progetto di questo tipo ha dimostrato di essere sostenibile sia dal punto di vista tecnologico sia da quello economico. L'utilizzo di tecnologie open-source riduce drasticamente i costi di sviluppo e manutenzione, mentre la possibilità di aggiornare i contenuti presenti e aggiungerne di nuovi garantisce la longevità del progetto.

## 6.2 Accessibilità dei contenuti museali

Uno degli obiettivi principali del progetto era quello di rendere i contenuti museali più accessibili al pubblico. Grazie alla creazione di una piattaforma web, è stato possibile superare le barriere geografiche e fisiche, offrendo a chiunque disponga di una connessione ad internet la possibilità di esplorare uno spazio tridimensionale contenente venti musei virtuali tematici. Questo approccio ha consentito ai musei virtuali di raggiungere un pubblico più ampio, inclusi coloro che vivono in aree remote o che hanno difficoltà a visitare fisicamente i musei.

Le tecnologie utilizzate, come React e Three.js, hanno garantito un'esperienza immersiva e interattiva, avvicinando gli utenti ai contenuti museali in modo innovativo. Le valutazioni degli utenti raccolte durante le sessioni di user-testing hanno evidenziato un alto grado di soddisfazione, confermando che la piattaforma ha effettivamente migliorato l'accessibilità ai contenuti museali.

## 6.3 Estensione del target

La piattaforma ha dimostrato di essere particolarmente efficace nell'attrarre anche un pubblico più giovane rispetto a quello che di solito visita fisicamente i musei. Al giorno d'oggi, quasi tutti possiedono un dispositivo e una connessione ad internet, che senza dubbio possono essere usati non solo a scopo di intrattenimento, ma anche per la fruizione di contenuti informativi e culturali.

L'utilizzo della grafica tridimensionale e di interfacce utente intuitive ha reso l'esperienza di navigazione coinvolgente e stimolante per gli utenti più giovani. Inoltre, la possibilità di interagire con le collezioni e di capire il nesso tra il tema, le opere e la struttura del museo virtuale ha reso l'apprendimento più dinamico e interessante.



# Capitolo 7

## Conclusione

La realizzazione di una piattaforma web per l'esplorazione di venti musei virtuali tematici in uno spazio tridimensionale costituisce un significativo passo avanti nell'accessibilità e nella fruizione dei contenuti museali.

In questa tesi si è già discusso di come l'introduzione dell'intelligenza artificiale potrebbe rappresentare una svolta importante nella creazione dei musei virtuali grazie all'adozione dell'approccio al design generativo. Tramite l'ausilio di una IA, si potrebbe automatizzare e ottimizzare il processo di progettazione, creando spazi espositivi unici e personalizzati. L'intelligenza artificiale può analizzare enormi quantità di dati per identificare le tendenze e le preferenze degli utenti, permettendo la creazione di esperienze museali su misura che rispondono alle specifiche esigenze.

Inoltre, guardando al futuro, si possono identificare alcune direzioni promettenti per lo sviluppo della piattaforma.

Una delle possibilità più interessanti è l'espansione della navigazione con un sistema di realtà virtuale (VR), che permetterebbe agli utenti di vivere un'esperienza ancora più immersiva, "volando" in prima persona all'interno dei musei virtuali e interagendo con le opere esposte in modo più naturale e coinvolgente.

Un'altra interessante direzione di sviluppo riguarda l'introduzione di un sistema di navigazione per dispositivi mobili. Questo permetterebbe agli utenti di accedere allo spazio tridimensionale direttamente dai loro smartphone e tablet, rendendo l'esplorazione dei musei virtuali ancora più accessibile e flessibile.

In conclusione, la piattaforma realizzata rappresenta un'innovazione significativa nel campo della fruizione culturale, che non solo migliora l'accessibilità e l'interattività, ma offre anche nuove modalità di apprendimento, rendendo il patrimonio culturale dell'umanità più vicino e fruibile per tutti.



# Bibliografia

- [1] Carlo A. Mazzone. *Sviluppare per il web e il mobile*. A cura di Edizioni LSWR. 2022.
- [2] Travis Lowdermilk. *User-Centered Design*. A cura di Incorporated O'Reilly Media. 2013.
- [3] Westley Knight. *UX for Developers*. A cura di Apress. 2018.
- [4] Alessandro Barracco. *SketchUp per l'architettura*. A cura di Feltrinelli Editore. 2017.
- [5] Alessandro Miliucci. *React: Guida pratica allo sviluppo front-end*. A cura di Feltrinelli Editore. 2023.
- [6] Jos Dirksen. *Learning Three.js – the JavaScript 3D Library for WebGL*. A cura di Packt Publishing. Seconda Edizione. 2015.

# Sitografia

- [7] *Documentazione React*. URL: <https://react.dev/reference/react>.
- [8] *Documentazione Bootstrap*. URL: <https://getbootstrap.com/docs/5.3/getting-started/introduction/>.
- [9] *Documentazione React Bootstrap*. URL: <https://react-bootstrap.github.io/docs/getting-started/why-react-bootstrap>.
- [10] *Documentazione Three.js*. URL: <https://threejs.org/manual/#en/fundamentals>.
- [11] *Wikipedia, l'enciclopedia libera*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki>.