



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Triennale in Informatica

TESI DI LAUREA

Guida IA: Sviluppo di un'IA Interattiva per Musei in Realtà Virtuale

RELATORE

Prof. Fabio Palomba

Università degli Studi di Salerno

CANDIDATO

Raffaele Monti

Matricola: 0512116048

Questa tesi è stata realizzata nel



A chi non c'è più, in vita eterna nel ricordo.

Abstract

Negli ultimi anni, la Realtà Virtuale, l'Intelligenza Artificiale e il Metaverso hanno conosciuto una rapida evoluzione, rendendo possibile lo sviluppo di ambienti immersivi e chatbot avanzati. Questa tesi presenta la progettazione e lo sviluppo di un Museo Virtuale interattivo, arricchito dalla presenza di una Guida Intelligente basata su modelli di IA. Il Museo Virtuale, realizzato in Unity, offre un'esperienza immersiva suddivisa in tre sale tematiche. L'utente, attraverso un visore VR, può esplorare gli ambienti, interagire con gli oggetti esposti e chiedere informazioni in tempo reale alla Guida Intelligente. Quest'ultima, sviluppata con il supporto del modello Google Gemini e di ElevenLabs, è in grado di comprendere domande vocali e fornire risposte pertinenti, migliorando l'esperienza di visita grazie a un'interazione fluida e naturale. Il progetto vuole evidenziare come l'integrazione di IA e VR possa rivoluzionare la fruizione del patrimonio culturale, rendendolo più accessibile, coinvolgente e personalizzato.

Indice

Elenco delle Figure	iii
1 Introduzione	1
1.1 Contesto Applicativo	1
1.2 Motivazioni e Obiettivi	2
1.3 Risultati	2
1.4 Struttura della Tesi	3
2 Stato dell'arte	4
2.1 Metaverso	4
2.1.1 Turning point: Realtà Virtuale	6
2.1.2 Turning point: Intelligenza Artificiale	6
2.1.3 Metaverso: semplice evoluzione dei Social e Videogiochi? . .	7
2.2 Musei Virtuali	9
2.2.1 Evoluzione dei Musei Virtuali	9
2.3 Il Metaverso e le sue applicazioni nei musei	12
2.3.1 Digitalizzazione dei reperti museali	13
2.3.2 Realtà Virtuale	16
2.3.3 Gamification nei musei virtuali	20
2.3.4 Esempi di Musei Virtuali nel Metaverso	22

2.4 Intelligenza Artificiale	23
2.4.1 Natural Language Processing e Large Language Models	25
3 Applicazione Sviluppata	29
3.1 Progettazione del Museo Virtuale	29
3.1.1 Studio delle planimetrie ottimali per un museo VR	29
3.1.2 Scelta del metodo di movimento	31
3.1.3 Scelta del tema	32
3.2 Sviluppo dell'Ambiente Virtuale in Unity	32
3.2.1 Organizzazione degli elementi	33
3.2.2 Inserimento di elementi interattivi	34
3.2.3 Aree segrete	35
3.3 Integrazione dell'IA nella Guida turistica	38
3.3.1 Implementazione delle API di Google Gemini e ElevenLabs .	38
3.3.2 Feedback Utenti	48
4 Conclusioni	50
4.1 Sviluppi Futuri e Possibili Miglioramenti	51
Bibliografia	52

Elenco delle figure

2.1	Avatar di Second Life nel 2003.	5
2.2	Avatar di Second Life attuali.	5
2.3	Visore Meta Quest 2.	6
2.4	Videogioco Thrill of the fight 2.	6
2.5	Stanza creata in Horizon Workrooms.	7
2.6	Logo ed esempi di ambienti e avatar in SENEM ^{ai}	8
2.7	Esempio di opera ottenuta nel "Fax Channel".	10
2.8	Esempio di opera ottenuta nel "Personal Computer Channel".	10
2.9	Uno degli ambienti presenti in The Virtual Museum di Apple	11
2.10	Lisa Gherardini in Mona Lisa: Beyond the Glass	12
2.11	Esempio di immagini stereometriche, Di DaddabboA	14
2.12	Esempio di ambiente ricreato tramite fotogrammetria	14
2.13	The Bellini Bell - Manufatto originale.	15
2.14	Ricreazione del manufatto tramite fotogrammetria.	15
2.15	Modello 3D del manufatto ottenuto tramite fotogrammetria.	15
2.16	Dettaglio del modello 3D.	15
2.17	Stereoscopio in uso. (Credits: David Tett)	16
2.18	Sensorama in uso. (Credits: Osservatorio Metaverso)	17
2.19	VIVED - 1985.	18

2.20 Valve Index - 2019.	18
2.21 Guanto IBM - 1962. (Credits: computerhistory.org)	19
2.22 Esempio di riproduzione della posizione delle mani.	19
2.23 Esterno del padiglione ricreato nel Metaverso.	22
2.24 Esterno della prima Galleria d'Arte di MAG.	22
2.25 Schema di una rete neurale artificiale.	27
 3.1 Planimetria di base delle stanze virtuali.	30
3.2 L'utente verrà teletrasportato nell'area evidenziata.	31
3.3 L'utente si muoverà seguendo l'inclinazione scelta.	31
3.4 Esempio di cabine arcade.	33
3.5 Esempio di oggetto iconico.	33
3.6 Esempio di modelli 3D di personaggi iconici.	33
3.7 Esempio di console casalinga.	33
3.8 Esempio mappe di gioco.	33
3.9 Esempio console portatili.	33
3.10 Interazione con oggetti.	34
3.11 Interazione con console.	34
3.12 Prima area segreta.	35
3.13 Gettone interagibile.	35
3.14 Inserimento in un cabinato.	35
3.15 Seconda area segreta.	36
3.16 Console e cartuccia.	36
3.17 Inserimento nella console.	36
3.18 Terza area segreta.	37
3.19 Modem e cornetta telefonica.	37
3.20 Interazione con modem e cornetta.	37
3.21 Processo di interazione tra utente e Guida Intelligente.	39
3.22 Pulsanti presenti sul controller destro dell'utente.	43
3.23 Variazione del colore in base alla fase dell'interazione.	45
3.24 Grafico interesse per musei reali.	48
3.25 Grafico familiarità con Musei Virtuali.	48

3.26 Grafico apprezzamento Guida Intelligente.	49
3.27 Grafico livello di motivazione alla visita di un Museo Virtuale con Guida Intelligente.	49

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Contesto Applicativo

Ad oggi, sono oltre **100.000** i musei aperti al mondo¹, ciascuno contenente un vasto patrimonio culturale che spazia dall'arte alla scienza, dalla tecnologia all'artigianato, dall'antico al contemporaneo. Solo in Italia, nel 2023 il numero di visitatori è aumentato del 23% rispetto all'anno precedente², indice di quanto i musei abbiano un ruolo centrale sul turismo e l'interesse collettivo verso la cultura. Tuttavia, l'accesso ai musei fisici può essere limitato da diversi fattori, come la distanza geografica, i costi economici e le difficoltà fisiche, che possono rappresentare barriere significative per alcuni visitatori. *Quali possono essere le alternative al visitare un museo fisico?*

Con l'avanzamento tecnologico, sempre più istituzioni stanno sviluppando le proprie versioni di *Musei Virtuali*, ovvero delle versioni digitalizzate dei musei fisici, atte a modernizzare attraverso le tecnologie moderne il senso tradizionale della visita di un museo, offrendo nuove modalità di fruizione del patrimonio culturale. Questi ambienti virtuali permettono esperienze interattive e immersive, dando ai visitatori la possibilità di esplorare collezioni abbattendo le barriere fisiche ed economiche.

¹UNESCO - <https://tinyurl.com/3p5v6mnt>

²Direzione generale Musei - <https://tinyurl.com/56m3uxfz>

Inoltre, permettono di ammirare opere, reperti o intere mostre non più disponibili, come ad esempio reperti conservati in depositi museali, in collezioni private, o perché perduti o danneggiati nel tempo. Tra le tecnologie più innovative, il *Metaverso* si integra con il concetto di Museo Virtuale, ampliandone le possibilità. Oltre a consentire l’accesso simultaneo a più utenti, favorisce l’interazione tra i visitatori, rendendo l’esperienza ancora più coinvolgente e interattiva. Inoltre, permette di partecipare a eventi e mostre in tempo reale, come nel caso di *Make Art Gallery*, un museo completamente virtuale con esposizioni accessibili via web o nel Metaverso.

1.2 Motivazioni e Obiettivi

Questa tesi nasce dall’idea di integrare nei Musei Virtuali la figura di una Guida interattiva intelligente, capace di interagire con i visitatori e rispondere alle domande in modo autonomo e naturale. L’interazione avverrà attraverso domande e risposte vocali, per avere un’immersione totale durante la visita.

A tale scopo è stato ricreato su **Unity**, un motore grafico ampiamente impiegato per la creazione di Videogiochi, un Museo Virtuale suddiviso in vari livelli, in cui è stata introdotta la Guida. L’ambiente è stato progettato per l’utilizzo tramite visore di Realtà Virtuale (VR) per ottenere un livello di immersione maggiore. È comunque possibile fruirne in modalità desktop seppur con un livello d’immersione ridotto.

1.3 Risultati

L’introduzione della Guida ha permesso di esplorare il Museo Virtuale e di interagire con i manufatti senza perdere l’elevato livello di immersione dovuto all’utilizzo di un visore VR. Inoltre è stato possibile approfondire l’utilizzo di elementi di Gamification per amplificare l’esperienza esplorativa dell’utente, l’utilizzo di prompt engineering per migliorare il rendimento della Guida e l’utilizzo di API per comunicare sia con l’IA sia per la sintesi vocale delle risposte.

1.4 Struttura della Tesi

La tesi è formata da quattro capitoli:

1. Introduzione, in cui viene presentato il lavoro di tesi svolto.
2. Stato dell'arte, che approfondisce i concetti di Metaverso, Musei Virtuali Realtà Virtuale e Gamification.
3. Applicazione sviluppata, contenente nel dettaglio la realizzazione del Museo Virtuale e le API utilizzate.
4. Conclusioni, in cui sono presenti i possibili sviluppi futuri.

CAPITOLO 2

Stato dell'arte

2.1 Metaverso

Cos'è il Metaverso? Come definito da Ritterbusch et al., il Metaverso è:

"Un ambiente online tridimensionale (decentralizzato) persistente e coinvolgente, in cui gli utenti, rappresentati da avatar, possono partecipare socialmente ed economicamente tra loro in modo creativo e collaborativo in spazi virtuali separati dal mondo fisico reale". [1]

Il termine però, nasce molto prima di questa definizione. Infatti è nel romanzo fantascientifico "Snow Crash" di Neal Stephenson, pubblicato nel 1992, in cui per la prima volta viene coniato il termine per indicare una realtà alternativa creata in computer grafica, accessibile tramite appositi terminali e in cui gli utenti venivano rappresentati tramite avatar. Considerando sia la visione di Stephenson che la definizione di Ritterbusch et al., potremmo pensare che qualsiasi ambiente online in cui avviene interazione tra utenti possa essere definito un Metaverso. Tuttavia, ciò che distingue realmente il Metaverso da altre piattaforme digitali è il suo **elevato grado di immersione**, reso possibile dall'impiego di tecnologie come la Realtà Virtuale e l'interazione spaziale con l'ambiente e sociale tra gli utenti in tempo reale.

Esempio di Metaverso I primi tentativi di realizzare un Metaverso risalgono già al 2003 con *Second Life* sviluppato da Linden Lab, tutt’oggi ancora attivo con una media mensile di 600 mila utenti. Consideriamo la sua evoluzione nel tempo degli aspetti chiave che contribuiscono all’immersione in un Metaverso.

Evoluzione grafica La caratteristica più evidente dell’evoluzione di Second Life è il realismo raggiunto nella qualità degli avatar, come mostrato nelle Figure 2.1 e 2.2. Infatti, la qualità e personalizzazione del proprio avatar sono uno dei suoi principali punti di forza. Non solo nel fisico e nelle caratteristiche del viso, ma anche nella qualità del vestiario e delle acconciature.



Figura 2.1: Avatar di Second Life nel 2003.



Figura 2.2: Avatar di Second Life attuali.

Evoluzione interazioni sociali Alla pubblicazione, Second Life permetteva la comunicazione tra utenti unicamente tramite chat testuali. Solo nel 2007 è stata introdotta la chat vocale di prossimità, permettendo un livello di interazione più immediato e immersivo con gli utenti nelle proprie vicinanze.

Cosa manca? Nonostante Second Life sia ancora un ottimo Metaverso, gli utenti attivi sono quasi dimezzati rispetto al picco massimo di un milione di utenti raggiunto nel 2013. Ad oggi, molti altri Metaversi, come *VRChat* e *Horizon Worlds* di Meta, permettono di raggiungere livelli di immersione e interazione tra gli utenti ben superiori tramite l’utilizzo di visori per Realtà Virtuale (VR) e tramite la possibilità di tracciare e ricreare nel mondo virtuale i movimenti del proprio corpo. (si veda il Capitolo 2.3.2 per un approfondimento su queste tecnologie).

2.1.1 Turning point: Realtà Virtuale

Uno degli avanzamenti tecnologici che ha davvero permesso al concetto di Metaverso di riaffermarsi negli ultimi 10 anni è sicuramente quello della Realtà Virtuale. Parafrasando la definizione di Treccani¹, la Realtà Virtuale è una simulazione digitale di un ambiente reale, in cui l'utente può immergersi e interagire attraverso sensori di movimento e un visore dedicato. Questa tecnologia consente un livello di immersione totale, sostituendo completamente la percezione del mondo reale con l'esperienza digitale, permettendo all'utente di interagire ed esplorare ambienti virtuali.



Figura 2.4: Videogioco Thrill of the fight 2.

Figura 2.3: Visore Meta Quest 2.

Un esempio di dispositivo per la Realtà Virtuale è il Meta Quest 2, mostrato in Figura 2.3, composto da visore dotato di schermi, altoparlanti e microfono e due controller usati per tracciare il movimento di mani e braccia. In Figura 2.4 invece è mostrato un simulatore in Realtà Virtuale di boxing.

2.1.2 Turning point: Intelligenza Artificiale

Oltre alla Realtà Virtuale, il ruolo dell'Intelligenza Artificiale ha avuto un enorme impatto sul Metaverso. Infatti, tramite essa è possibile creare all'interno di questi ambienti dei "Personaggi Non Giocanti" (NPC) intelligenti, che si adattino alle richieste degli utenti, con interazioni umane e dinamiche, ed empatici tramite il riconoscimento delle emozioni, rispetto ai tradizionali NPC pre-programmati.

¹Enciclopedia Treccani - <https://tinyurl.com/yck3f32j>

2.1.3 Metaverso: semplice evoluzione dei Social e Videogiochi?

A prima vista, il Metaverso può dare l'idea di un nuovo social network o di un nuovo modo di giocare online. Ma il suo utilizzo non si limita a questo. Infatti sono numerosi quelli progettati per l'istruzione, la cultura e la formazione professionale. Gli spazi virtuali creati nel Metaverso, grazie all'alto livello di interattività degli ambienti e alla loro versatilità, risultano adatti a ogni attività. Ad esempio, negli anni della pandemia, il lockdown ha causato scuole e uffici la chiusura forzata, creando così la necessità di alternative immersive e interattive. Tramite il Metaverso è stato possibile rincontrarsi in sicurezza usando *Horizon Workrooms* di Meta, che permetteva di creare riunioni in Realtà Virtuale, ricreando l'atmosfera delle riunioni in ufficio.



Figura 2.5: Stanza creata in Horizon Workrooms.

Come mostrato in Figura 2.5, un team di 12 persone ha potuto interagire sia in totale immersività (tramite gli avatar presenti nel mondo virtuale) sia in una modalità più tradizionale tramite schermo e webcam. Questa forma ibrida del Metaverso permetterebbe di ampliare e non sostituire le attuali modalità di comunicazione.

Nel contesto educativo, *SENEM^{ai}* è un Metaverso dove gli studenti possono riunirsi e interagire tra di loro. Oltre le semplici interazioni vocali, è possibile simulare delle presentazioni a un pubblico composto sia da studenti reali, che da *Smart Students*, ovvero degli studenti basati su intelligenza artificiale che simulano le interazioni, ponendo domande pertinenti alla presentazione. Ciò permette allo studente presentatore di allenarsi in un contesto sicuro e dinamico, in maniera coinvolgente.



Figura 2.6: Logo ed esempi di ambienti e avatar in *SENEM^{ai}*.

SENEM^{ai} è un progetto open-source sviluppato nel SeSa Lab in continuo sviluppo. È possibile provarlo e ampliarlo gratuitamente attraverso la repository GitHub.²

²Repository GitHub - <https://tinyurl.com/496fhjkh>

2.2 Musei Virtuali

Cos'è un Museo Virtuale? Dare una definizione al concetto di Museo Virtuale è ancora oggi oggetto di dibattito. Il termine può infatti riferirsi a una semplice digitalizzazione di collezioni fisiche, a esperienze interattive basate sul web, fino ad arrivare a veri e propri ambienti tridimensionali immersivi accessibili tramite Realtà Virtuale. Come riportato da Schweibenz, nel corso degli anni sono state proposte molteplici definizioni, che si sono evolute per adattarsi all'avanzamento tecnologico, abbracciando in maniera più o meno ampia ciò che potrebbe rientrare nel concetto di Museo Virtuale [2]. Tra le definizioni messe a confronto da Schweibenz, e considerando le caratteristiche dell'applicazione sviluppata, quella che meglio rappresenta l'idea di Museo Virtuale adottata in questo lavoro è quella proposta dal Virtual Multimodal Museum:

"Un museo virtuale (VM) è un'entità digitale che attinge alle caratteristiche di un museo, al fine di integrare, migliorare o ampliare il museo attraverso la personalizzazione, l'interattività, l'esperienza dell'utente e la ricchezza dei contenuti. Sia il museo "fisico" (PhM) che il VM condividono un impegno comune per la validazione istituzionale dei contenuti e della qualità dell'esperienza attraverso il processo curatoriale, insito nella definizione dell'ICOM."

2.2.1 Evoluzione dei Musei Virtuali

Come documentato da Huhtamo, uno dei primi progetti di Museo Virtuale fu "The Museum Inside the Telephone Network", seguito poi dai primi esempi di ambienti tridimensionali con "The Virtual Museum" di Apple e dalle prime iniziative di digitalizzazione su supporti fisici, come il CD-ROM "Le Louvre, Collections & Palace", acquistabili come souvenir dai musei fisici [3]. Per comprendere meglio l'evoluzione del concetto di Museo Virtuale, esaminiamo questi tre esempi.

The Museum Inside the Telephone Network Nel 1991, il Project InterCommunication Center (ICC), fondato dall'azienda giapponese di telecomunicazioni NTT, propose una mostra interattiva completamente "invisibile", priva di uno spazio fisico, accessibile esclusivamente attraverso i mezzi di comunicazione dell'epoca, ovvero telefono, fax e computer personali.

I "visitatori" potevano accedere a 5 canali della mostra:

1. *"Voice & Sound Channel"*, permetteva di ascoltare registrazioni di letture e dibattiti sui temi della comunicazione attraverso il telefono;
2. *"Interactive Channel"*, in cui gli utenti potevano creare melodie mediante la pressione dei numeri numerici presenti sui propri telefoni;
3. *"Fax Channel"*, dove racconti, opere d'arte, fumetti e saggi venivano trasmessi e stampati tramite fax;
4. *"Live Channel"*, in cui artisti e intellettuali si esibivano in diretta o partecipavano a discussioni telefoniche;
5. *"Personal Computer Channel"*, dove era possibile scaricare e visualizzare materiale visivo di vario genere sul proprio computer personale.

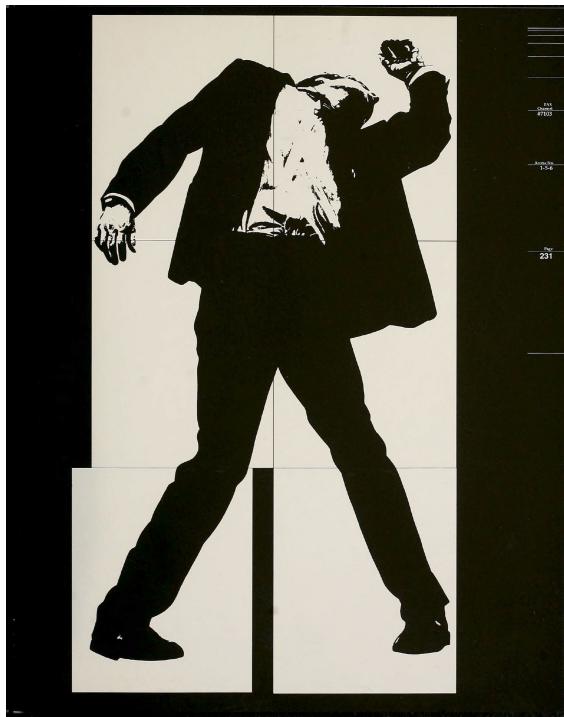


Figura 2.7: Esempio di opera ottenuta nel "Fax Channel".

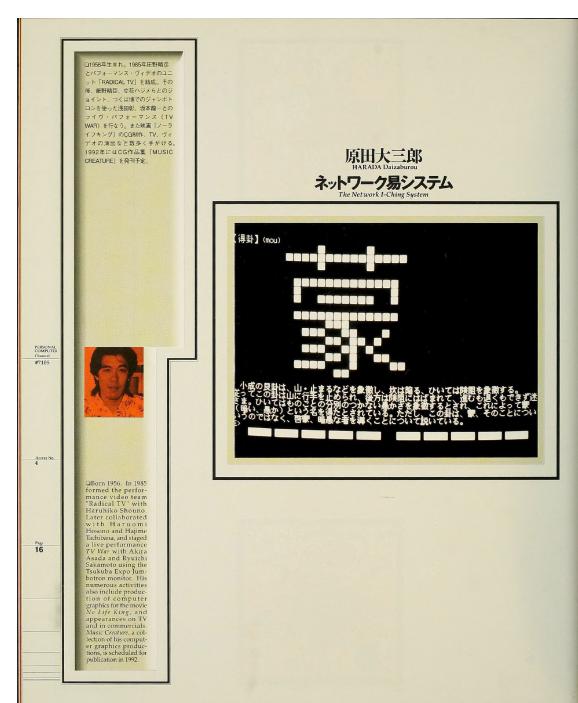


Figura 2.8: Esempio di opera ottenuta nel "Personal Computer Channel".

Le opere diffuse nei cinque canali furono successivamente raccolte e pubblicate in un libro, da cui sono tratte Figura 2.7 e Figura 2.8.

The Virtual Museum Nel 1992 Apple sviluppò "The Virtual Museum", oggi riconosciuto come uno dei primi Musei Virtuali su CD-ROM [3]. Il software permetteva ai possessori di computer Apple di navigare in ambienti tridimensionali rappresentanti le varie stanze di un museo. Erano presenti diverse sezioni, dall'astronomia alla botanica, contenenti diversi oggetti 3D ed opere esposte. L'utente poteva interagire con essi per ottenere maggiori informazioni.

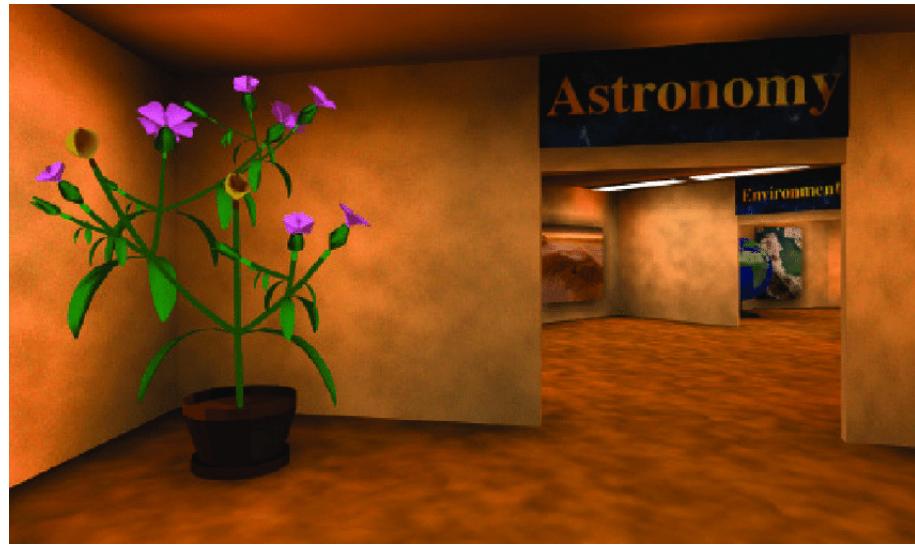


Figura 2.9: Uno degli ambienti presenti in The Virtual Museum di Apple

Come mostrato in Figura 2.9, l'ambiente era caratterizzato da un design minimista, dovuto alle limitazioni hardware dell'epoca.

Le Louvre, Collections & Palace Vincitore di diversi premi, tra cui "Best multimedia product of the year" nel 1995, "Le Louvre, Collections & Palace" (precedentemente noto come *Le Louvre, The Palace & Its Paintings*), offriva agli utenti un tour virtuale interattivo del Museo del Louvre, seguendo lo stile di un videogioco "punta e clicca". Erano presenti più di 300 dipinti famosi, 200 pagine di testo, narrazione e musica corrispondenti a diversi periodi storici. Era possibile non solo visualizzare le diverse opere d'arte, ma anche l'architettura del Louvre e i suoi cambiamenti nei secoli. [4]

Questi esempi, attraverso l'innovazione tecnologica, l'interattività e prime forme di immersività, hanno gettato le basi per lo sviluppo dei Musei Virtuali odierni, come ad esempio *Mona Lisa: Beyond the Glass*.

Mona Lisa: Beyond the Glass Non è possibile parlare di musei senza considerare il Louvre e il quadro più famoso del mondo, La Gioconda di Leonardo da Vinci. *Mona Lisa: Beyond the Glass* è il primo progetto in Realtà Virtuale del Louvre, sviluppato da Excurio (precedentemente Emissive VR) e HTC Vive Arts, in cui è possibile, tramite un dispositivo per la Realtà Virtuale, vivere l'esperienza di passare dal semplice osservare il quadro nella famosa *Salle des Etats*, al vivere un vero e proprio viaggio nel tempo arrivando alla collocazione originale del dipinto ed incontrare *Lisa Gherardini*, il soggetto originale del dipinto come mostrato in Figura 2.10.



Figura 2.10: Lisa Gherardini in *Mona Lisa: Beyond the Glass*

2.3 Il Metaverso e le sue applicazioni nei musei

Abbiamo visto come il Metaverso consenta la creazione di ambienti interattivi e immersivi adatti a molteplici contesti e come i musei si stiano evolvendo insieme alla tecnologia per offrire nuove modalità di comunicazione del patrimonio artistico e culturale. L'integrazione di questi due concetti risulta quindi un passo naturale, e infatti sono numerosi i progetti che prevedono la completa digitalizzazione dei musei all'interno del Metaverso. Questo non solo amplia l'accessibilità al pubblico, ma offre anche un'opportunità per preservare le opere d'arte da potenziali danni.

2.3.1 Digitalizzazione dei reperti museali

Nei secoli della storia, sono innumerevoli le opere d’arte perse, rubate o distrutte. Anche solo considerando i numeri di *Art Loss Register*, uno dei database più famosi al mondo di opere d’arte perse, sono oltre 700'000³. Oltre ai quadri, artefatti e statue, anche numerosi edifici dal valore artistico immenso sono andati distrutti o sono stati gravemente danneggiati, come ad esempio la *Cattedrale di Notre-Dame* che nell’aprile del 2019, un incendio causò enormi danni, tra cui la distruzione del tetto.

Con l’ausilio delle odierni tecnologie, la preservazione di queste opere permetterebbe di avere una fedele riproduzione digitale, grazie alla quale sarebbe possibile non solo conservarle in eterno e al sicuro, ma anche avere una base di partenza ad altissima qualità per un futuro restauro. Esaminiamo alcune delle tecniche più utilizzate per la digitalizzazione delle opere d’arte.

Digitalizzazione di sculture e manufatti 3D Quando l’opera d’arte da digitalizzare è un oggetto tridimensionale, i principali metodi utilizzati sono *la modellazione 3D, la fotogrammetria e il Laser Scanner*.

La modellazione 3D è la tecnica basata sulla ricreazione manuale di un manufatto, senza l’ausilio di strumenti di scansione. Viene utilizzata prevalentemente nei casi in cui il manufatto risulta danneggiato o perduto, permettendo di ricrearlo digitalmente attraverso l’uso di immagini di riferimento.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo che consente di acquisire la forma, le dimensioni e la posizione dell’oggetto interessato attraverso una serie di fotografie, dette *immagini stereometriche*. Esse consistono in coppie di fotografie dello stesso soggetto ma scattate in due posizioni leggermente differenti. Questa differenza permette di ricostruire le informazioni tridimensionali dell’oggetto. Questo stesso principio è presente anche nella percezione umana; infatti non è il singolo occhio a darci la percezione delle distanze e della tridimensionalità di ciò che osserviamo, ma è la distanza che separa gli occhi che permette al cervello di elaborare prospettiva e profondità degli oggetti. Un esempio di immagini stereometriche è la Figura 2.11 (Credits: Di DaddabboA - Opera propria, Pubblico dominio).

³Art Loss Register - <https://tinyurl.com/4bwsndh5>



Figura 2.11: Esempio di immagini stereometriche, Di DaddabboA

Tramite appositi software, è possibile ricostruire digitalmente un intero ambiente come mostrato in Figura 2.12 (Credits: Di DaddabboA - Opera propria, Pubblico dominio), o un singolo oggetto d'interesse, come mostrato nelle Figure 2.13, 2.14, 2.15, 2.16 (Credits: FACTUM arte).

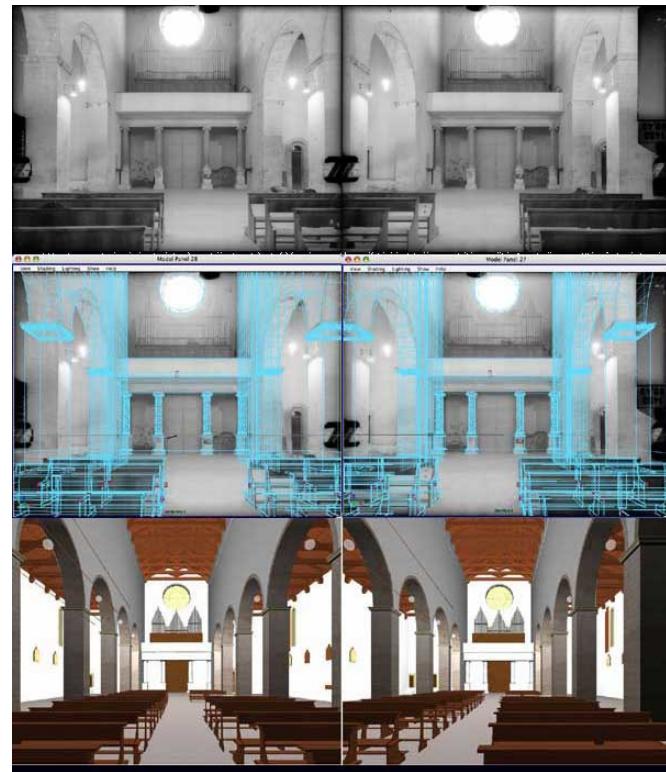


Figura 2.12: Esempio di ambiente ricreato tramite fotogrammetria



Figura 2.13: The Bellini Bell - Manufatto originale.

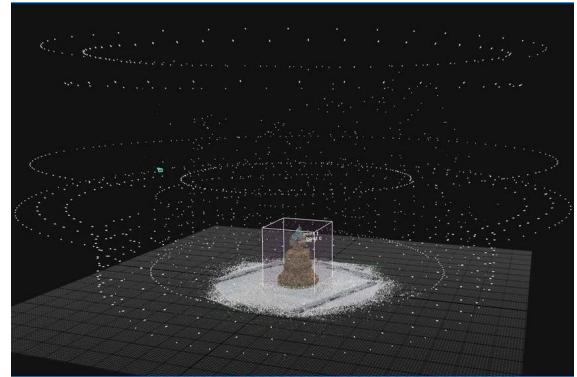


Figura 2.14: Ricreazione del manufatto tramite fotogrammetria.



Figura 2.15: Modello 3D del manufatto ottenuto tramite fotogrammetria.

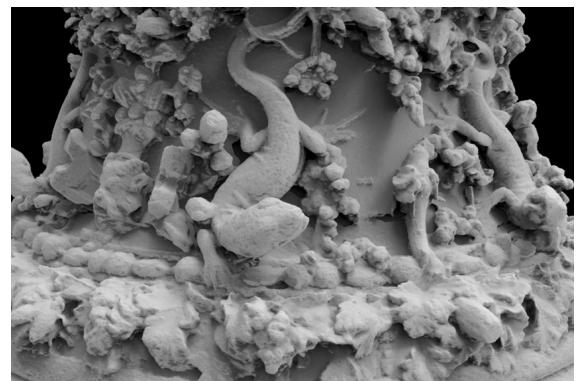


Figura 2.16: Dettaglio del modello 3D.

La fotogrammetria offre ottimi risultati a un costo contenuto, essendo possibile applicarla attraverso un elevato numero di fotografie in alta risoluzione. Tuttavia, dove è necessario un livello di dettaglio superiore, si utilizza una seconda tecnica di digitalizzazione, ovvero il Laser Scanner. Questa seconda tecnologia permette di ottenere un maggiore grado di precisione, attraverso l'ottenimento delle precise coordinate spaziali dell'oggetto interessato. Il funzionamento consiste nell'emissione di un fascio di laser verso l'oggetto e nell'analisi dei riflessi, ottenendo così dati da utilizzare nella realizzazione del modello 3D dell'opera da digitalizzare. Nonostante il maggiore livello di dettaglio ottenibile tramite Laser Scanner, le due tecniche vengono spesso utilizzate insieme grazie alla possibilità di unire i due modelli per ottenere, non solo un modello 3D estremamente dettagliato, ma anche una fedele ricostruzione delle caratteristiche cromatiche del manufatto.

2.3.2 Realtà Virtuale

Avendo definito nel Capitolo 2.1.1 cos'è la Realtà Virtuale (VR) e la sua importanza per l'immersività richiesta dal Metaverso, approfondiamo ora il funzionamento dei dispositivi VR e la loro evoluzione nel tempo.

I primi dispositivi capaci di ingannare la percezione dell'utente risalgono già al 1800, quando Sir Charles Wheatstone inventò lo *stereoscopio*, mostrato in Figura 2.17. Questo strumento era capace di creare l'illusione di profondità osservando due immagini *stereoscopiche*. Esse sono concettualmente molto simili alle immagini stereometriche utilizzate nella fotogrammetria, ma progettate per simulare la percezione della profondità anziché ricavare precise misurazioni dell'oggetto fotografato.



Figura 2.17: Stereoscopio in uso. (Credits: David Tett)

L'illusione di profondità è oggi riprodotta nei dispositivi per VR attraverso l'uso di una coppia di display ad alta risoluzione, elevato refresh rate (ovvero quante volte l'immagine mostrata cambia in un secondo), e ampio Field Of View (FOV) (ovvero l'ampiezza del campo visivo). Nel dettaglio, come descritto da Julian Keil et al. [5]:

- L'alta risoluzione permette di avere immagini quanto più nitide possibili, evitando di rompere l'illusione di trovarsi in un ambiente virtuale per il riconoscimento dei singoli pixel dello schermo;
- L'elevato refresh rate permette alleviare la *motion-sickness*, ovvero quella sensazione di nausea e disorientamento, permettendo movimenti più fluidi;
- L'ampio FOV aumenta l'immersività potendo stimolare maggiormente la vista.

La tecnologia continuò ad evolversi, arrivando nel 1950 alla creazione di *Sensorama* del regista Morton Heilig, mostrato a Figura 2.18, un dispositivo creato per aumentare l'immersività durante la visione di una pellicola cinematografica. Permetteva la visione stereoscopica a colori, con un ampio FOV, effetti come vento, vibrazioni ed odori, ma soprattutto un impianto stereo per il suono.



Figura 2.18: Sensorama in uso. (Credits: Osservatorio Metaverso)

Il suono è infatti un secondo elemento cruciale per l'immersività nel VR. Il cervello umano è in grado di individuare la sorgente di un suono attraverso la differenza di tempo con cui lo stimolo raggiunge l'orecchio destro e sinistro. Ciò implica che per non rompere l'immersività, il dispositivo e gli ambienti virtuali hanno il compito di simulare non solo i suoni ma anche come il cervello interpreti questi segnali per non avere un'incongruenza tra ambiente reale e virtuale. L'*audio spaziale* gioca quindi un ruolo fondamentale nel VR, e come riportato da Broderick et al., migliora la percezione dell'ambiente e aiuta la navigazione e la consapevolezza spaziale degli utenti all'interno di ambienti virtuali [6].

Nel 1985, la NASA sviluppò il *Virtual Visual Environment Display* (VIVED), il primo dispositivo commerciale per il VR. Come mostrato in Figura 2.19, e messo a confronto con un moderno visore come il Valve Index mostrato in Figura 2.20, si può notare quanto il VIVED condivida importanti caratteristiche con i visori moderni, dimostrando quanto fosse innovativo per l'epoca e quanto già allora seguisse i principi alla base della moderna Realtà Virtuale.



Figura 2.20: Valve Index - 2019.

Figura 2.19: VIVED - 1985.

L'ultimo tassello per completare l'immersività dei dispositivi VR è l'interazione con l'ambiente. Infatti, per quanto vista e udito abbiano ruoli fondamentali nell'esperienza di un ambiente virtuale, è l'interazione con esso che la completa. L'interazione con l'ambiente si può dividere in due integrazioni: la riproduzione dei movimenti del corpo e la riproduzione dei movimenti delle mani.

Per la riproduzione dei movimenti del corpo si intende la replica nell'ambiente virtuale di tutti quei movimenti come la rotazione e l'altezza dal pavimento della vista o lo spostamento nell'ambiente. I primi dispositivi, infatti, non integravano il movimento del corpo, permettendo solo un'osservazione passiva dell'ambiente. Tramite l'utilizzo di sensori come accelerometri, giroscopi e videocamere, i moderni dispositivi acquisiscono dati sull'ambiente reale, come altezza, posizione e rotazione del proprio viso e possono replicarli all'interno dell'ambiente virtuale, permettendo un'osservazione attiva dell'ambiente. Infatti è grazie a questi sensori se è possibile muoversi all'interno dell'ambiente in grande libertà e ruotare la propria visuale a proprio piacimento, aumentando il livello di immersività.

Per la riproduzione dei movimenti delle mani, invece, si intendono tutti quei movimenti come la posizione delle mani, la loro rotazione, l'azione di aprire o chiudere le dita e la possibilità di interagire attivamente con l'ambiente, come raccogliere gli oggetti. Nel corso dell'evoluzione dei dispositivi per VR, sono stati numerosi i tentativi di acquisire queste informazioni tramite diverse tecnologie differenti. Ad esempio, IBM nel 1962 propose un "guanto", mostrato in Figura 2.21 capace di acquisire le informazioni sui movimenti delle dita e codificarli in testo. Infatti, inizialmente il prodotto era pensato come alternativa alle classiche tastiere, ma fu di grande ispirazione per i futuri tentativi di dispositivi di input nella forma di guanti. Anche il VIVED della NASA, mostrato in precedenza, utilizzava dei guanti per poter acquisire le informazioni relative ai movimenti delle mani.

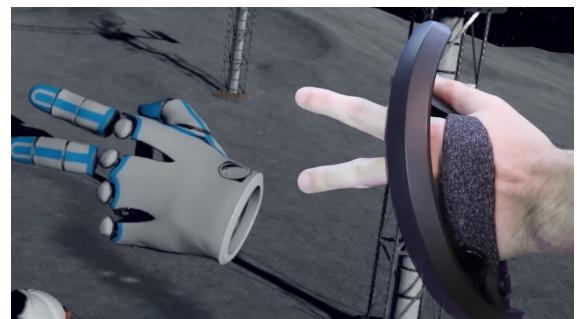
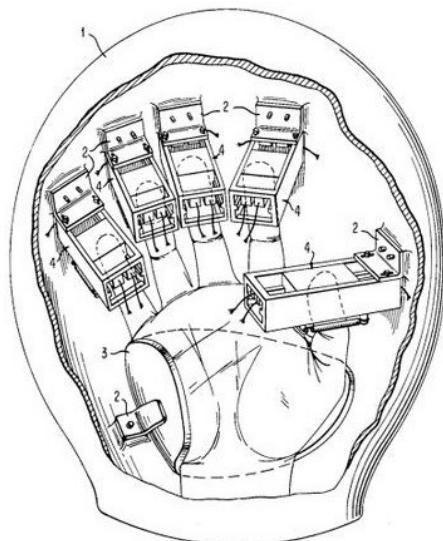


Figura 2.22: Esempio di riproduzione della posizione delle mani.

Figura 2.21: Guanto IBM - 1962. (Credits: computerhistory.org)

Attualmente, queste informazioni vengono acquisite da appositi controller dotati anch'essi di sensori per la posizione come giroscopi e accelerometri, ma sono anche dotati di speciali sensori capaci di comprendere se una data area del controller è toccata o meno dalla mano. In questo modo è possibile acquisire la posizione delle singole dita in maniera efficace per poter poi ricreare nell'ambiente virtuale ogni movimento compiuto dalle nostre mani, come mostrato in Figura 2.22.

2.3.3 Gamification nei musei virtuali

La *Gamification* è una tecnica di design che promuove l'utilizzo di elementi solitamente presenti nei videogiochi per migliorare la partecipazione, la motivazione e la fidelizzazione degli utenti nelle applicazioni e nei servizi software.⁴ Elementi come la ricerca e raccolta di oggetti o il completamento di missioni, vengono spesso inseriti in contesti al di fuori di videogiochi per permettere all'utente di sentirsi protagonista dell'esperienza. Uno studio condotto da Saif Alatrash et al. ha messo a confronto tre scenari VR di un Museo Virtuale a vari livelli di Gamification:

1. *Scenario Immersivo*: in cui non sono stati inseriti elementi aggiuntivi all'esperienza base del Museo Virtuale.
2. *Scenario Narrato*: in cui è stata inserita una struttura narrativa per guidare i visitatori attraverso l'esperienza.
3. *Scenario Gamification*: in cui, in aggiunta alla struttura narrativa, sono stati inseriti elementi come puzzle e raccolta di punti tipici dei videogiochi.

I risultati dello studio evidenziano come elementi di Gamification e narrativa permettano ai visitatori di avere un'esperienza significativamente più immersiva, coinvolgente e ne migliorino l'apprendimento e l'interpretazione del patrimonio esposto. Infatti, la narrativa permette una migliore contestualizzazione dei contenuti presenti nel museo, mentre elementi di Gamification motivano i visitatori all'esplorazione attiva dell'ambiente e all'interazione con esso [7].

⁴Definizione di ScienceDirect - <https://tinyurl.com/4825vett>

Uno studio condotto da Lorena Robaina-Calderín et al., ha considerato quanto l’uso delle esperienze immersive possa promuovere il turismo museale nella Generazione Z (nati tra il 1995 e il 2010) e i Millennial (nati tra il 1980 e il 1994). Sono stati messi a confronto tre scenari di *Mona Lisa: Beyond the Glass* (esposto al capitolo 2.2.1) a diversi livelli di immersione:

1. *VR completa*: utilizzo di un visore per VR di ultima generazione.
2. *VR semi-immersiva*: utilizzo di un’app mobile con video a 360° e visori in cartone.
3. *Non immersivo*: visualizzazione di un video statico su schermo

I risultati dello studio dimostrano anche in questo caso un riscontro positivo all’augmentare del livello di immersività, risultando in maggiore coinvolgimento emotivo, apprezzamento dell’esperienza e sull’intenzione di visitare il museo [8].

Considerando gli studi esposti, risultano evidenti i benefici nell’utilizzo del Metaverso e di dispositivi per la Realtà Virtuale nel contesto museale. Essi consentono una fruizione del patrimonio artistico e culturale dei musei in chiave estremamente inclusiva, accessibile, personale e coinvolgente, andando ad eliminare barriere legate alle distanze e al tempo e permettendo un’esperienza unica nel suo genere.

2.3.4 Esempi di Musei Virtuali nel Metaverso

Per concludere questo capitolo inerente ai Musei Virtuali e al Metaverso, consideriamo due esempi che evidenziano i principali punti di forza di questa innovativa forma di divulgazione museale.

Finnish National Gallery Nel 2022, la Finnish National Gallery ricrea sul Metaverso il padiglione nazionale finlandese presentato all’Esposizione universale di Parigi del 1900 (mostrato in Figura 2.23). Ciò ha permesso la ricreazione di un patrimonio storico-artistico ormai perduto, evidenziando le potenzialità del Metaverso come spazio per la conservazione e la diffusione del patrimonio culturale.



Figura 2.23: Esterno del padiglione ricreato nel Metaverso.



Figura 2.24: Esterno della prima Galleria d’Arte di MAG.

Make Art Gallery Nata nel 2009, Make Art Gallery oggi propone tre Gallerie d’Arte completamente virtuali nel Metaverso (la prima mostrata in Figura 2.24), concepite principalmente per eventi e mostre speciali in tempo reale. Un aspetto distintivo di questo progetto è la possibilità di fruire delle esposizioni non solo all’interno del Metaverso, ma anche attraverso dirette streaming sui principali social network, permettendo così a un pubblico più ampio di partecipare, indipendentemente dalla disponibilità di dispositivi compatibili o dalla familiarità con gli ambienti virtuali. In questo modo si eliminano ulteriormente le barriere economiche e tecnologiche, rendendo l’arte e la cultura accessibili a chiunque.

2.4 Intelligenza Artificiale

Secondo turning point per il Metaverso, l’Intelligenza Artificiale (IA) è sempre più presente nelle nostre vite, dalle applicazioni che usiamo, alle notizie che leggiamo, fino ai programmi e agli spot pubblicitari⁵ in televisione. Prima di dare una definizione dell’IA, esaminiamo la sua evoluzione nel tempo per avere una maggiore comprensione dei suoi utilizzi.

Scacchi L’obiettivo del gioco è riuscire a dare scacco matto al *Re* avversario, ovvero metterlo nella condizione di essere inevitabilmente catturato.

L’interesse verso gli scacchi nasce dall’enorme numero di partite diverse che possono svilupparsi, un numero nell’ordine di $10^{10^{50}}$ [9], più degli atomi nell’universo osservabile (“solo” 10^{80}). La vastità pressoché infinita del gioco, unita alla semplicità delle regole basilari, risultò in una perfetta sfida su cui misurare le prestazioni dei primi programmi intelligenti capaci di giocare a scacchi.

Un primo successo di computer capace di giocare a scacchi fu *Deep Blue*, sviluppato da IBM nel 1997, che riuscì a battere il campione del mondo Garry Kasparov in una partita. Nonostante sia considerato una delle prime importanti tappe per lo sviluppo dell’IA, il vero successo di Deep Blue è da attribuire alla sua *capacità di calcolo* più che alla sua “intelligenza”, infatti era capace di simulare 200 milioni di mosse al secondo e di analizzare l’andamento della partita ipotizzando fino a 14 turni successivi. Questo stile di ragionamento è basato principalmente sulla *forza bruta*, andando ad analizzare esaustivamente ogni singola possibile mossa alla ricerca della migliore, e considerando la vastità del gioco degli scacchi, ci porta a scontrarci con l’impossibilità di analizzarle tutte. L’evoluzione degli algoritmi di IA risiede proprio nell’utilizzo di *euristiche*, ovvero delle strategie per guidare la ricerca della mossa migliore, andando ad escludere situazioni che difficilmente ci porterebbero ad essa.

Ad oggi, *AlphaZero* è uno degli algoritmi più interessanti, che ha imparato a giocare a scacchi giocando contro se stesso, sviluppando uno stile di gioco estremamente creativo e “umano” capace di battere nel 2017 Stockfish, considerato il più potente algoritmo di scacchi basato sulla forza bruta.

⁵Spot Pocket Coffee con IA - <https://tinyurl.com/33xe8u6u>

Robot Tra il 1966 e il 1972, l'Artificial Intelligence Center dell'Istituto di Ricerca di Stanford sviluppò *"Shakey the robot"*, il primo robot capace di agire senza l'intervento umano "ragionando" sugli ordini che gli venivano richiesti. Shakey era in grado di analizzare l'ordine e di suddividerlo in piccole azioni che era in grado di svolgere in un ambiente semplificato. Il suo sviluppo permise importanti passi avanti nella "computer vision", "route finding" e "object manipulation", arrivando nel 2004 allo sviluppo e messa in funzione dei rover *Spirit* e *Opportunity*, mandati su Marte dalla NASA, capaci di prendere decisioni autonome in tempo reale sulla navigazione attraverso l'ostico terreno marziano tramite l'uso di sistemi di IA.

Chatbot Nel 1966, Joseph Weizenbaum sviluppò *ELIZA*, uno dei primi programmi in grado di simulare una conversazione. ELIZA interpretava il ruolo di un terapeuta ed era in grado di rispondere al testo inserito dall'utente. L'illusione di parlare con un vero terapeuta deriva dall'uso di risposte preconfigurate, in cui venivano modificate delle parole chiave in base all'analisi del testo fornito dall'utente, creando così un livello di "intelligenza" che normalmente non si attribuiva ai computer.

I chatbot hanno subito un'evoluzione significativa negli ultimi anni, diventando sempre più presenti nella vita quotidiana. Inizialmente si basavano esclusivamente su risposte preconfigurate, arrivando oggi all'uso di tecniche di Natural Language Processing (NLP) per comprendere, elaborare e generare risposte sempre più naturali, tenendo conto del contesto e delle risposte precedenti. Strumenti come ChatGPT, Gemini e DeepSeek sono solo alcuni dei più famosi chatbot odierni e ne rappresentano la nuova generazione, capaci non solo di fornire risposte contestualizzate e personalizzate, ma anche di integrare informazioni aggiornate tramite la ricerca sul web, utilizzando un linguaggio sempre più umano.

L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale si è manifestata in diversi ambiti e in diverse forme, dai primi programmi basati sulla pura capacità computazionale ai moderni algoritmi di apprendimento autonomo, raggiungendo comportamenti sempre più vicini a quelli umani tramite gli ultimi traguardi raggiunti dai chatbot.

Ora che abbiamo analizzato alcuni esempi concreti, possiamo comprendere più facilmente la definizione di Intelligenza Artificiale:

"Se l'organismo porta nella sua testa un 'modello in scala' della realtà esterna e delle proprie possibili azioni sarà in grado di provare varie alternative, decidere quali di esse sia la migliore, reagire a situazioni future prima che si manifestino, utilizzare la conoscenza di eventi passati per gestire quelli presenti e futuri, e sotto ogni aspetto reagire in modo molto più ricco, affidabile e competente alle emergenze che si troverà a fronteggiare."

Questa definizione di Kenneth Craik del 1943 è ancora oggi una delle migliori definizioni di Intelligenza Artificiale.

2.4.1 Natural Language Processing e Large Language Models

Come discusso in precedenza, l'Intelligenza Artificiale trova applicazione in diversi ambiti e con molteplici scopi. In questo lavoro di tesi, ci concentreremo in particolare sui chatbot, sul Natural Language Processing (NLP) e sui Large Language Models (LLM), al fine di comprenderne meglio il funzionamento della Guida Intelligente sviluppata nel Capitolo 3.3.

Oracle definisce i chatbot come *"un software che simula ed elabora le conversazioni umane (scritte o parlate), consentendo agli utenti di interagire con i dispositivi digitali come se stessero comunicando con una persona reale. I chatbot possono essere semplici come programmi rudimentali che rispondono a una semplice query con una singola riga oppure sofisticati come gli assistenti digitali che apprendono e si evolvono per fornire livelli crescenti di personalizzazione quando raccolgono ed elaborano le informazioni"*.⁶

I chatbot più avanzati non si basano su semplici risposte predefinite, ma sull'utilizzo di Large Language Models (LLM), reti neurali di grandi dimensioni addestrate su vasti dataset testuali. Questi modelli permettono ai chatbot di comprendere il linguaggio in modo più naturale, adattarsi al contesto e generare risposte coerenti e personalizzate. Prima di approfondire cosa sono i LLM, analizziamo come avviene l'*elaborazione, comprensione e generazione* del linguaggio naturale.

⁶Oracle - <https://tinyurl.com/3pv6f885>

Natural Language Processing L’elaborazione del linguaggio naturale (NLP) è un sottocampo dell’informatica e dell’Intelligenza Artificiale che consente ai sistemi di comprendere ed elaborare il linguaggio umano, analizzando grandi quantità di dati testuali e vocali. In questa fase, la difficoltà principale risiede nell’ambiguità dei linguaggi naturali, dovendo considerare grammatica, lessico e struttura dei dati che verranno analizzati. Per affrontare questa difficoltà, uno dei primi procedimenti è la preparazione e pulizia dei dati, per renderli più comprensibili per un computer, ad esempio spezzare lunghi paragrafi in frasi più contenute oppure identificare il ruolo che ogni parola ha in una frase per comprenderne il concetto.

Natural Language Understanding La comprensione del linguaggio naturale (NLU) è un sottocampo della PNL che si concentra sull’interpretazione del significato del linguaggio naturale per comprenderne meglio il contesto utilizzando l’analisi sintattica e semantica. In questa fase si cerca di definire e determinare le relazioni tra parole e frasi indipendenti in un contesto specifico, andando ad esempio a categorizzare i diversi elementi presenti in un testo, come luoghi e persone, o il riconoscimento di entità ed intento per risolvere l’ambiguità del testo.

Natural Language Generation La generazione del linguaggio naturale (NLG) è un sottocampo della NLP che si concentra maggiormente sulla generazione di linguaggio naturale. Lo scopo principale di NLG è creare risposte in formato testuale o vocale. Rappresenta la parte finale dell’interazione con un chatbot, garantendo una risposta il più “umana” possibile.

L’evoluzione delle tecniche utilizzate in queste tre fasi ha portato allo sviluppo di modelli sempre più sofisticati, capaci di generare risposte sempre più contestualizzate, coerenti e fluide. Tra le innovazioni più significative, i Large Language Models rappresentano una delle tecniche più avanzate e che ritroviamo nel funzionamento dei chatbot come ChatGPT, Gemini di Google e DeepSeek.

Large Language Models Un Large Language Model (LLM) è un tipo di programma di Intelligenza Artificiale progettato per riconoscere, comprendere e generare testo. Questi modelli sono addestrati su enormi quantità di dati testuali, da cui deriva il termine "*large*". Gli LLM utilizzano un particolare tipo di Machine Learning chiamato *Deep Learning*, basato su reti neurali artificiali. Queste reti si ispirano al funzionamento del cervello umano, essendo composte da nodi connessi tra loro che elaborano informazioni attraverso tre livelli principali (mostrati in Figura 2.25):

- *Livello di input*: ovvero il livello che riceve dati in ingresso.
- *Livelli nascosti*: in cui si elaborano le informazioni attraverso connessioni pesate.
- *Livello di output*: si occupa di generare il risultato.

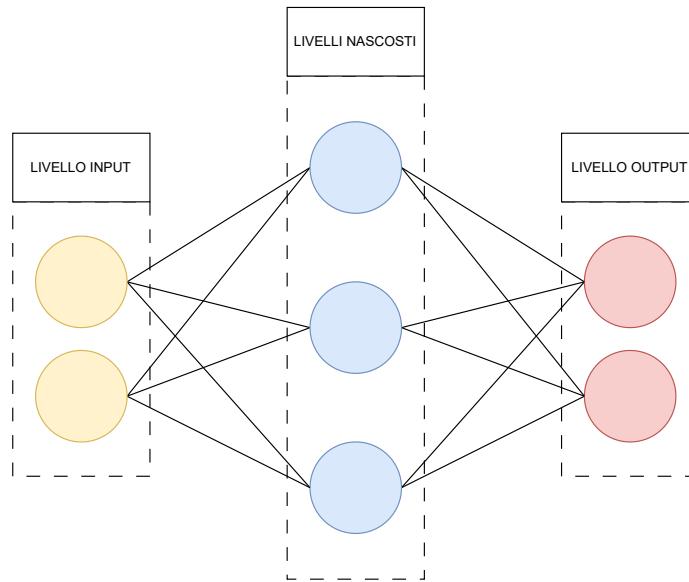


Figura 2.25: Schema di una rete neurale artificiale.

Gli LLM utilizzano una particolare tipologia di rete neurale artificiale chiamata *Transformer*, capace di analizzare le relazioni tra le parole in una frase, indipendentemente dalla loro posizione, tramite un meccanismo chiamato *self-attention*. In questo modo, l'analisi della frase non si limita alla singola parola, rendendo possibile interpretare il linguaggio naturale anche quando risulta ambiguo o poco strutturato.

Gli LLM apprendono il linguaggio naturale analizzando milioni di esempi di testo e vengono allenati attraverso due principali tecniche:

- *Next-Token Prediction*, in cui deve predire la parola successiva in una sequenza di testo.
- *Masked Language Modeling*, in cui viene presentato un testo con delle parole "mascherate" e deve predire correttamente la parola originale.

Queste strategie permettono al modello di apprendere la struttura statistica del linguaggio, affinando le sue capacità di generazione testuale. In altre parole, un LLM riesce a predire l'insieme ottimale di parole da usare, e in quale ordine, per costruire una frase che abbia senso compiuto, simulando il linguaggio umano.

Nonostante l'elevata capacità degli LLM di comprendere e produrre linguaggio naturale, presentano dei limiti e difetti che potrebbero portare a generare risposte diverse dalle nostre aspettative. In particolare:

- *Bias e Stereotipi* possono manifestarsi nelle risposte generate, specialmente se i dati utilizzati per l'addestramento contengono pregiudizi.
- *Allucinazioni*, ovvero delle risposte generate contenenti informazioni inesatte o completamente inventate.
- *Informazioni non aggiornate*, ovvero l'impossibilità per un LLM di rispondere in maniera accurata ad eventi accaduti successivamente al proprio addestramento, poiché non hanno accesso in tempo reale alle informazioni.

Per mitigare problemi come le allucinazioni, i bias e gli stereotipi, gli LLM vengono sottoposti a un processo di feedback in cui le risposte generate vengono classificate e valutate da annotatori umani. Questo permette di perfezionare il modello, affinché le sue risposte siano più in linea con le aspettative degli utenti. Per quanto riguarda l'aggiornamento delle informazioni in tempo reale, una soluzione prevede l'integrazione della ricerca via web, che permetta agli LLM di accedere a dati aggiornati, migliorando così la loro capacità di rispondere in modo preciso.

CAPITOLO 3

Applicazione Sviluppata

3.1 Progettazione del Museo Virtuale

Il progetto di tesi è stato sviluppato durante il periodo di tirocinio formativo presso *NTT DATA Italia*, che ha proposto la realizzazione di un Museo Virtuale ad alto livello di immersività e di inserire al suo interno la figura della Guida Intelligente capace di supportare il visitatore rispondendo alle sue domande. In questo capitolo approfondiremo tutte le fasi di progettazione e realizzazione del progetto.

3.1.1 Studio delle planimetrie ottimali per un museo VR

Il primo passo è stato uno studio delle planimetrie dei musei reali, per comprendere come creare un ambiente virtuale di semplice navigazione anche per utenti neofiti alla Realtà Virtuale. Sono state studiate le planimetrie dei seguenti musei:

- *Galleria degli Uffizi*
- *Musei Vaticani*
- *Louvre*
- *Museo Cappella Sansevero*

Questi musei condividono alcune caratteristiche comuni, come lunghi corridoi e numerose stanze dedicate a precise collezioni o periodi storici, suddivisi in più piani accessibili attraverso scale e ascensori, ad eccezione del *Museo Cappella Sansevero*, composta da un'unica sala al cui centro è posta l'opera principale, circondata da altre opere esposte lungo le pareti.

Per garantire una navigazione semplice e intuitiva per l'utente, le stanze visitabili del Museo Virtuale sono state progettate con una forma rettangolare, presentando oggetti esposti lungo le pareti e al centro della stanza. Per non limitare l'ambiente a una singola sala esplorabile, si è optato per la creazione di un ascensore virtuale che consente di spostarsi tra i diversi ambienti sviluppati. In Figura 3.1 è presente la planimetria base delle stanze create.

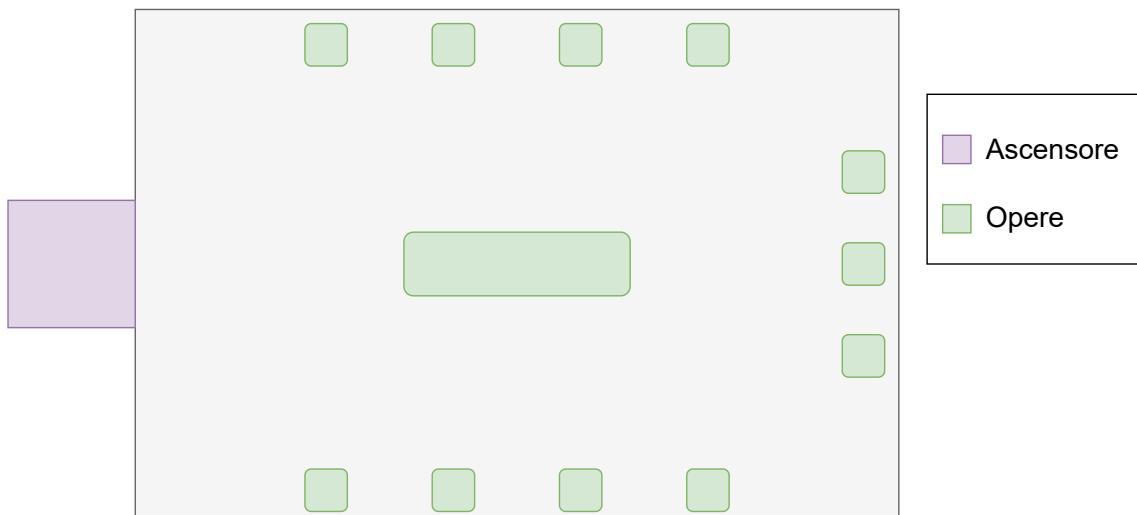


Figura 3.1: Planimetria di base delle stanze virtuali.

In questo modo l'utente ha la possibilità di concentrarsi sugli elementi proposti senza sentirsi sopraffatto, in un ambiente semplice, compatto e di facile navigazione, catturando la sua attenzione con l'uso di fasci di luce per evidenziare gli oggetti presenti, mentre l'uso dell'ascensore permette di visitare diverse stanze senza la necessità di percorrere lunghi corridoi, permettendo all'utente una visita di più stanze con maggiore facilità.

3.1.2 Scelta del metodo di movimento

All'interno di un ambiente virtuale ad alta immersività, i principali metodi di movimento adottati sono due:

- L'utilizzo del *teletrasporto*, selezionando il punto di destinazione nell'ambiente virtuale che si desidera raggiungere. Un esempio è mostrato in Figura 3.2.

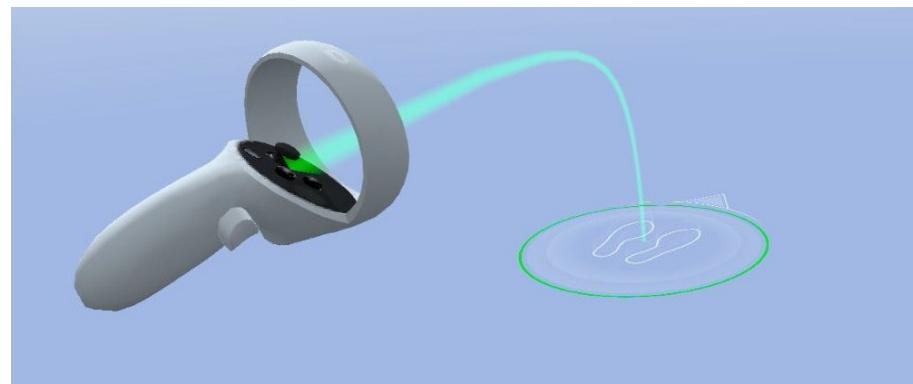


Figura 3.2: L'utente verrà teletrasportato nell'area evidenziata.

- L'utilizzo del *controller* per muovere il proprio avatar nello spazio, in base all'inclinazione dello *stick analogico*. Un esempio è mostrato in Figura 3.3

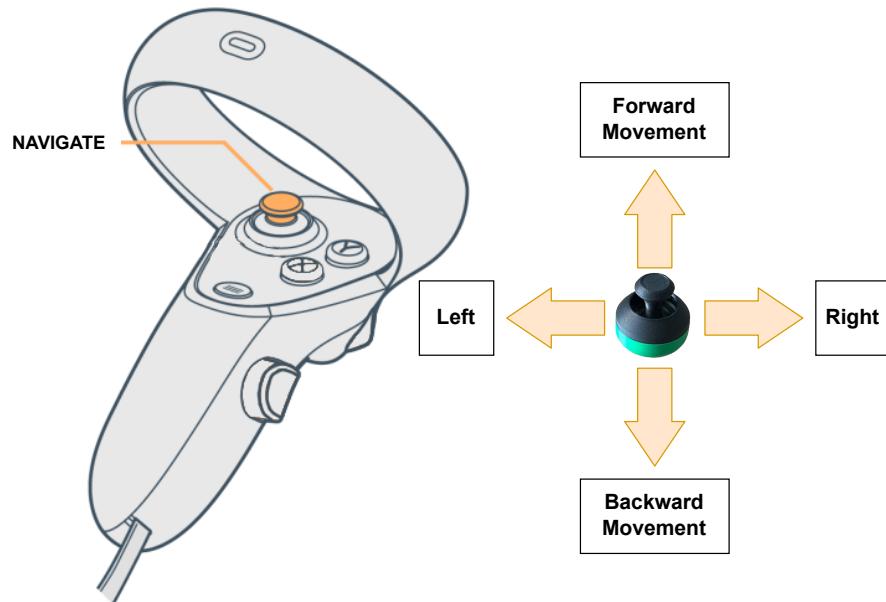


Figura 3.3: L'utente si muoverà seguendo l'inclinazione scelta.

L’uso del controller permette una maggiore immersività, potendo muoversi liberamente nello spazio virtuale a proprio piacimento e in qualsiasi direzione, ma spesso l’uso prolungato, soprattutto per utenti neofiti, comporta il rischio di provare “*motion sickness*”, ovvero una sensazione di nausea e disorientamento. L’uso del teletrasporto, invece, mitiga il rischio di motion sickness a discapito dell’immersività, risultando più comodo per utenti neofiti, allineandosi di più agli obiettivi del progetto.

3.1.3 Scelta del tema

Il tema scelto per il Museo Virtuale è l’evoluzione del videogioco. L’obiettivo è offrire ai visitatori delle sale contenenti le tappe fondamentali della storia del videogioco, mostrando l’evoluzione delle console e delle icone videoludiche più rappresentative. Il museo è suddiviso in tre sale tematiche dedicate a un’era specifica:

1. *Anni ’70-’80*, in cui sono presenti cabinati arcade e le prime console casalinghe.
2. *Anni ’90-’2000*, contenente i primi modelli 3D delle più famose mascotte dei videogiochi.
3. *Anni 2000-2010*, dove console portatili, internet ed il gaming online vengono proposti.

L’obiettivo del Museo Virtuale non è solo informare, ma coinvolgere attivamente il visitatore attraverso elementi interattivi, come oggetti iconici o riproduzioni di cartucce e console.

3.2 Sviluppo dell’Ambiente Virtuale in Unity

Unity è una piattaforma di sviluppo software utilizzata per creare giochi 2D e 3D, esperienze di realtà virtuale e altre applicazioni interattive multipiattaforma.¹ Si compone di un game engine, un IDE e una suite di servizi, sviluppati da Unity Technologies. Per la creazione degli ambienti è stata utilizzata la versione 6.0.0.27f1.

¹Geek and Job - <https://tinyurl.com/hjffynvb>

3.2.1 Organizzazione degli elementi

Seguendo la planimetria base mostrata in Figura 3.1, le tre stanze sono state principalmente allestite ponendo le console al centro della sala e modelli 3D di personaggi e oggetti lungo le pareti. Sono stati inseriti anche quadri contenenti principalmente le copertine dei videogiochi da cui sono tratti gli oggetti messi in mostra. A seguire sono mostrate varie immagini provenienti dagli ambienti sviluppati:



Figura 3.4: Esempio di cabine arcade.



Figura 3.5: Esempio di oggetto iconico.



Figura 3.6: Esempio di modelli 3D di personaggi iconici.



Figura 3.7: Esempio di console casalinga.



Figura 3.8: Esempio mappe di giochi.

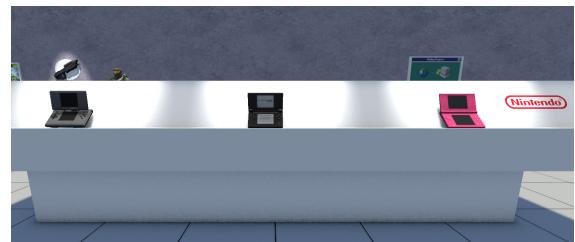


Figura 3.9: Esempio console portatili.

3.2.2 Inserimento di elementi interattivi

L’uso di dispositivi per la Realtà Virtuale permette non solo un’esperienza altamente immersiva, ma anche la possibilità di interagire con gli elementi inseriti nell’ambiente. Infatti, all’interno delle varie sale sono presenti numerosi elementi con cui è possibile interagire, permettendo in questo modo un’esperienza più personale e nostalgica per utenti familiari con gli oggetti presenti nell’ambiente, ma anche avvincente e interessante per l’utente che non ha esperienze sul tema videoludico.

A seguire sono mostrate delle interazioni possibili all’interno dell’ambiente:



Figura 3.10: Interazione con oggetti.



Figura 3.11: Interazione con console.

3.2.3 Aree segrete

Abbiamo discusso nel capitolo 2.3.3 come elementi di Gamification possano avere risultati positivi sull’immersività, rendendo l’esperienza più coinvolgente. Nel Museo Virtuale sviluppato è stata inserita, come elemento tipico dei videogiochi, la presenza di aree segrete accessibili senza chiare istruzioni. Ogni sala ha un meccanismo segreto che permette l’accesso a un ambiente alternativo.

Sala anni ’70-’80 Gli anni ’70 e ’80 rappresentano la nascita del videogioco. Un’epoca in cui le sale giochi rappresentavano l’ambiente ideale per gli appassionati, in cui era possibile giocare a numerosi cabinati arcade, ottenendo un’esperienza che le console casalinghe non erano in grado di replicare. Per questo motivo, nella sala anni ’70-’80 l’ambiente segreto simula una sala giochi ricca di cabinati arcade e luci al neon, come mostrata in Figura 3.12.

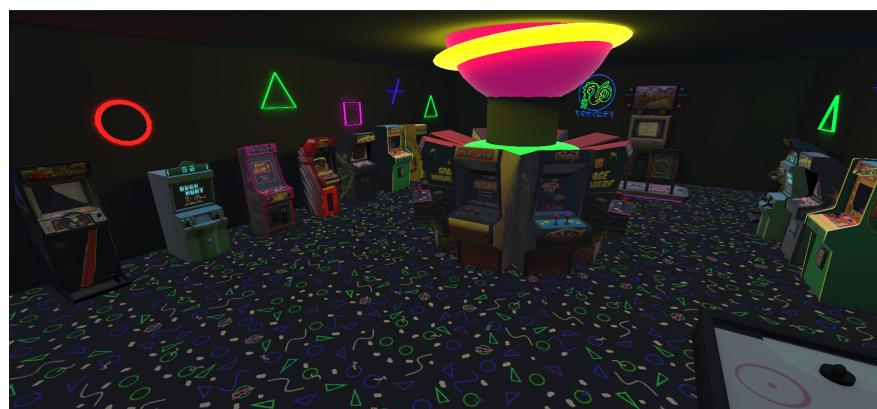


Figura 3.12: Prima area segreta.

Per accedere bisogna simulare l’azione di inserire un gettone all’interno di uno dei cabinati presenti nella prima sala, come mostrato in Figura 3.13 e 3.14.

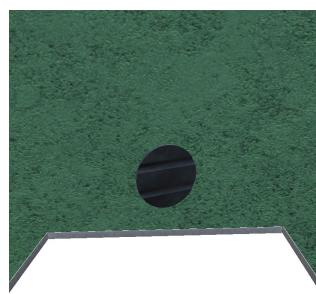


Figura 3.13: Gettone interagibile.



Figura 3.14: Inserimento in un cabinato.

Sala anni '90-2000 Gli anni '90-2000 rappresentano una svolta per le console casalinghe, raggiungendo la qualità che era prima esclusiva dei cabinati. Il mercato delle console si espande e le maggiori aziende videoludiche introducono le proprie mascotte iconiche. Per l'area segreta di questa sezione si è deciso di inserire un intero livello di Super Mario 64, mostrato in Figura 3.15, titolo che per la prima volta mostra con grafica tridimensionale l'iconico idraulico Mario di Nintendo.



Figura 3.15: Seconda area segreta.

Per accedere bisogna inserire la cartuccia del gioco nella corretta console, come mostrato in Figura 3.16 e 3.17



Figura 3.16: Console e cartuccia.



Figura 3.17: Inserimento nella console.

Sala anni 2000-2010 Gli anni 2000-2010 sono stati per il videogioco l’inizio dell’era di internet, del gaming online e dello sviluppo delle prime community online. Per l’area segreta di questa sala, è stata ricreata una tipica stanza da letto di un giovane appassionato di videogiochi, per cercare di ricreare un effetto di nostalgia nel visitatore, come mostrato in Figura 3.18



Figura 3.18: Terza area segreta.

Per accedere all’ultima area segreta bisogna interagire con il modem esposto dopo aver alzato la cornetta del telefono posto nelle sue vicinanze, ricreando in questo modo l’accesso a internet tipico degli anni 2000, come mostrato in Figura 3.19 e 3.20



Figura 3.19: Modem e cornetta telefonica.



Figura 3.20: Interazione con modem e cornetta.

3.3 Integrazione dell'IA nella Guida turistica

In questo capitolo approfondiamo lo sviluppo della Guida Intelligente inserita all'interno del Museo Virtuale. Il primo passo svolto è stata la scelta del modello da utilizzare. Come discusso nel Capitolo 2.4.1, per ottenere un chatbot il più avanzato possibile, capace di interagire con l'utente in modo fluido e usando un linguaggio naturale, risulta ottimale l'impiego di un Large Language Model.

Uno degli obiettivi della Guida Intelligente è la capacità di rispondere alle domande dell'utente senza comprometterne l'immersività ottenuta tramite l'uso di dispositivi per la Realtà Virtuale. Per questo motivo, oltre alla qualità delle risposte generate, è necessaria anche che la generazione di risposte sia tempestiva, affinché l'utente non perda interesse in ciò che sta osservando. Ciò comporta la necessità di poter elaborare le domande dell'utente nel minor tempo possibile, senza l'uso di passaggi intermedi che aumenterebbero il tempo di attesa dell'utente.

Considerando il periodo in cui è stata sviluppata la Guida Intelligente, la scelta è stata influenzata dalla tecnologia disponibile al momento. Dopo un'attenta analisi, il modello più adatto per garantire un'interazione fluida, naturale e con tempi di risposta ridotti è risultato essere *Gemini* di Google, grazie alla sua capacità di interagire direttamente con registrazioni audio, rimuovendo in questo modo la necessità di trascrivere in forma testuale le domande poste dall'utente, azione capace di allungare di molto i tempi di attesa per la generazione della risposta.

3.3.1 Implementazione delle API di Google Gemini e ElevenLabs

L'implementazione di *Gemini* all'interno di Unity è stata possibile grazie al lavoro di *Uralstech* e al suo progetto *UGemini* disponibile su GitHub². Inserendo il suo lavoro all'interno del progetto Unity relativo allo sviluppo della Guida Intelligente, mi è stato possibile creare il codice necessario per permettere la comunicazione dell'utente visitatore con *Gemini*, attraverso l'uso di registrazioni vocali.

²UGemini - <https://github.com/Uralstech/UGemini>

Prima di analizzare il codice, esaminiamo il processo di interazione tra l'utente e la Guida Intelligente. Come mostrato in Figura 3.21, il processo si divide in 3 fasi:

- *Acquisizione* della domanda dell'utente e ciò che sta osservando.
- *Elaborazione* della risposta della Guida Intelligente, in forma testuale.
- *Conversione* della risposta dal formato testuale al formato vocale da fornire all'utente.

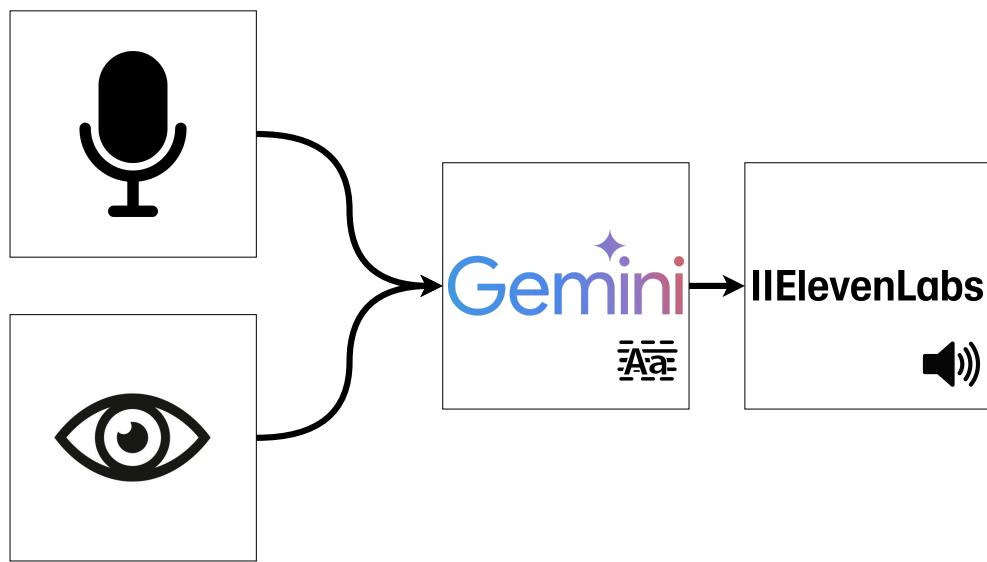


Figura 3.21: Processo di interazione tra utente e Guida Intelligente.

Acquisizione Quando l'utente pone una domanda, il primo passo è registrare ciò che chiede. Questo è possibile in Unity grazie al codice mostrato in Listing 1, attraverso l'uso di *StartRecording()* e *StopRecording()*.

In Unity, quando definiamo la lunghezza massima della registrazione (tramite *lengthSec*) e ne avviamo una, anche se decidessimo di terminarla prima della durata massima, in automatico verrà creata una registrazione di durata uguale al limite massimo imposto, risultando in una registrazione composta dalla domanda e da silenzio. Per rimuovere il silenzio finale contenuto nella registrazione viene utilizzato *TrimClip()*, riducendo la registrazione in modo da contenere solo la domanda.

```

1  public class RecordAudio : MonoBehaviour{
2      //Clip contenente la domanda dell'utente.
3      private AudioClip recordedClip;
4
5      //Inizio e durata della registrazione.
6      private float startTime;
7      private float recordingLength;
8      [...]
9
10     //Metodo per avviare la registrazione.
11    public void StartRecording(){
12        string device = Microphone.devices[0];
13        int sampleRate = 44100;
14        int lengthSec = 180;
15
16        recordedClip = Microphone.Start(device, false,
17                                         lengthSec, sampleRate);
18        startTime = Time.realtimeSinceStartup;
19    }
20
21     //Metodo per terminare la registrazione.
22    public AudioClip StopRecording(){
23        Microphone.End(null);
24        recordingLength = Time.realtimeSinceStartup - startTime;
25        recordedClip = TrimClip(recordedClip, recordingLength);
26
27        return recordedClip;
28    }
29
30     //Metodo per ritagliare la registrazione, eliminando la parte finale.
31    private AudioClip TrimClip(AudioClip clip, float length){
32        int samples = (int) (clip.frequency * length);
33        float[] data = new float[samples];
34        clip.GetData(data, 0);
35
36        AudioClip trimmedClip = AudioClip.Create(clip.name, samples,
37                                                clip.channels, clip.frequency, false);
38        trimmedClip.SetData(data, 0);
39
40        return trimmedClip;
41    }
42}

```

Listing 1: Classe C# per la registrazione audio in Unity

In questo modo registriamo la domanda posta dall'utente, ma Gemini non ha informazioni sul soggetto a cui ci stiamo riferendo. Domande del tipo "In quale anno è stata prodotta questa console?" oppure "Da quale videogioco proviene questo oggetto?" risulterebbero in domande impossibili a cui rispondere.

Un ulteriore motivo per cui è stato scelto Gemini è la sua capacità di rispondere a domande composte da una porzione in formato vocale e una porzione in formato testuale. Questa sua capacità ci permette di comunicargli in formato vocale la domanda registrata in precedenza e allegare in formato testuale delle informazioni su ciò che sta osservando l'utente per poter dare contesto e informazioni che difficilmente sono presenti nella domanda vocale, permettendogli di rispondere con precisione a qualsiasi domanda in cui il soggetto non è esplicito.

Durante l'esplorazione delle sale del Museo Virtuale, senza che l'utente ne sia a conoscenza, viene proiettata dal centro del suo punto di vista una linea invisibile che, interagendo con gli oggetti presenti, ne salva il nome. In questo modo, quando l'utente sta osservando un determinato oggetto e pone una domanda su quest'ultimo, possiamo comunicare a Gemini cosa l'utente sta osservando.

Il codice in Listing 2 viene utilizzato per questo scopo attraverso il metodo *CheckForColliders()*. Quando il raggio invisibile (*Ray*) attraversa un qualsiasi oggetto che abbia il tag *GeminiInteractable* (affinché vengano salvati solo i nomi degli oggetti in mostra), viene salvato in *hitInfo* il nome dell'oggetto per poter essere comunicato successivamente a Gemini.

```

1  public class RayInfo : MonoBehaviour{
2      //Raggio invisibile
3      Ray ray;
4      //Lunghezza massima del raggio
5      float maxDistance = 100;
6      //Layer con cui può interagire
7      public LayerMask layersToHit;
8      //Nome dell'oggetto osservato
9      public string hitInfo = "";
10
11     //Creazione del raggio invisibile
12     void Start() {
13         ray = new Ray(transform.position, transform.forward);
14     }
15     //Aggiornamento della posizione per seguire i movimenti del giocatore
16     // e controllo degli oggetti osservati
17     void Update() {
18         ray.origin = transform.position;
19         ray.direction = transform.forward;
20         CheckForColliders();
21     }
22     //Metodo per salvare il nome dell'oggetto osservato
23     void CheckForColliders(){
24         if(Physics.Raycast(ray, out RaycastHit hit, maxDistance,
25             layersToHit, QueryTriggerInteraction.Ignore))
26         {
27             if (hit.collider.CompareTag("GeminiInteractable"))
28             {
29                 if (hitInfo != hit.collider.gameObject.name)
30                 {
31                     hitInfo = hit.collider.gameObject.name;
32                 }
33             }
34         }
35     }
36 }
```

Listing 2: Classe C# per ottenere il nome dell'oggetto osservato in Unity

All'interno del Museo Virtuale, l'utente può comunicare vocalmente con la Guida Intelligente attraverso la pressione del tasto presente sul controller destro indicato con il logo di Gemini, mostrato in Figura 3.22. La pressione del tasto avvia la registrazione della domanda attraverso il microfono e salva il nome dell'oggetto osservato. Al rilascio del tasto, la registrazione e il nome dell'oggetto vengono comunicati a Gemini affinché possa generare la risposta.



Figura 3.22: Pulsanti presenti sul controller destro dell'utente.

Elaborazione Avendo la domanda e il soggetto osservato dall'utente, è possibile ora inviare queste informazioni per generare una risposta. Come mostrato nel Listing 3, ciò avviene attraverso l'uso dei metodi di *UGemini*. Affinché Gemini lavori anche utilizzando richieste vocali, è richiesto l'uso della modalità Beta (tramite `_useBeta`). Il primo passo è dichiarare quale sia il ruolo di Gemini, nel nostro caso una *Guida esperta di videogiochi all'interno di un Museo virtuale*, attraverso l'uso del metodo `setSystemPrompt(string prompt)`. Ora è possibile utilizzare il metodo `sendPrompt` inserendo la domanda vocale e il nome dell'oggetto osservato per avviare il processo di generazione della risposta da parte di Gemini, che sarà nella forma di testo.

```

1  namespace Uralstech.UGemini.Samples{
2
3  public class GeminiChat{
4      private bool _useBeta = true;
5      private readonly List<GeminiContent> _chatHistory = new();
6      private GeminiContent _systemPrompt = null;
7      private GeminiRole _senderRole = GeminiRole.User;
8
9      public void setSystemPrompt(string prompt){
10         _systemPrompt = GeminiContent.GetContent(prompt);
11     }
12
13     public async Task<string> sendPrompt(AudioClip audio, string sight){
14         if(sight!= null){
15             sight = " attualmente sto guardando: " + sight;
16         }
17         else{
18             sight = "";
19         }
20         GeminiContent addedContent = GeminiContent.GetContent(sight,
21             audio, _senderRole);
22
23         _chatHistory.Add(addedContent);
24
25         GeminiChatResponse response = await
26             GeminiManager.Instance.Request<GeminiChatResponse>(
27                 new GeminiChatRequest(GeminiModel.Geminil_5Flash, _useBeta)
28                 {
29                     Contents = _chatHistory.ToArray(),
30                     SystemInstruction = _systemPrompt,
31                 });
32
33         _chatHistory.Add(response.Candidates[0].Content);
34         string aiResponseText = response.Candidates[0].
35             Content.Parts[0].Text;
36
37         return aiResponseText;
38     }
39 }
```

Listing 3: Classe C# per interagire con Gemini in Unity

Conversione Essendo la risposta generata da Gemini in forma di testo, nasce l'esigenza di convertirla in forma vocale, affinché l'interazione con la Guida Intelligente risulti naturale e coinvolgente. Tra i servizi disponibili che permettono il Text-to-Speech, ovvero la conversione da testo a voce, si è scelto di utilizzare *ElevenLabs*, un generatore di voce AI che utilizza le tecnologie d'intelligenza artificiale per generare contenuti audio realistici e offre funzioni come la clonazione avanzata della voce e la generazione di voci uniche. Anche in questo caso, l'integrazione di ElevenLabs all'interno di Unity è stata possibile grazie al lavoro di *sopermannspace* e al suo progetto *Elevenlabs* disponibile su GitHub³. Il codice che permette all'utente di ascoltare la risposta generata da Gemini, permettendo quindi il completamento della Guida Intelligente, è mostrato nel Listing 4 e 5. Il codice riceve il testo generato da Gemini, genera la voce e la riproduce immediatamente affinché l'utente possa ottenere un'esperienza fluida riducendo al minimo i tempi di attesa. Inoltre, il controller dell'utente mostra tutte le fasi in cui si trova la Guida Intelligente come mostrato in Figura 3.23.



Figura 3.23: Variazione del colore in base alla fase dell'interazione.

³Elevenlabs - <https://tinyurl.com/2nfenb6f>

```
1 [Serializable]
2 public class VoiceSettings {
3     public float stability;
4     public float similarity_boost;
5 }
6
7 [Serializable]
8 public class TTSData {
9     public string text;
10    public string model_id;
11    public string language_code;
12    public VoiceSettings voice_settings;
13 }
14
15 public class Elevenlabs : MonoBehaviour {
16     public ElevenLabsConfig config;
17     private AudioSource audioSource;
18     private string text;
19     private AudioClip audioClip;
20
21     public void SetTextAndGenerateAudio(string newText)
22     {
23         text = newText;
24         StartCoroutine(GenerateAndStreamAudio(text));
25     }
26
27     [...]
```

Listing 4: Classe C# per interagire con ElevenLabs in Unity

```

1  public IEnumerator GenerateAndStreamAudio(string text) {
2      string jsonData = JsonUtility.ToString(ttsData);
3      byte[] bodyRaw = System.Text.Encoding.UTF8.GetBytes(jsonData);
4      string modelId = "eleven_turbo_v2_5";
5      string url = string.Format(config.ttsUrl, config.voiceId);
6
7      TTSDATA ttsData = new TTSDATA {
8          text = text.Trim(), model_id = modelId, language_code = "it",
9          voice_settings = new VoiceSettings {
10              stability = 0.5f, similarity_boost = 0.8f }};
11
12     using (UnityWebRequest request =
13         new UnityWebRequest (url, UnityWebRequest.kHttpVerbPOST)) {
14         request.uploadHandler = new UploadHandlerRaw(bodyRaw);
15         request.downloadHandler =
16             new DownloadHandlerAudioClip(new Uri(url), AudioType.MPEG);
17         request.SetRequestHeader("Content-Type", "application/json");
18         request.SetRequestHeader("xi-api-key", config.apiKey);
19
20         yield return request.SendWebRequest();
21
22         if (request.result != UnityWebRequest.Result.Success) {
23             Debug.LogError("Error: " + request.error);
24             yield break;
25         }
26
27         audioClip = DownloadHandlerAudioClip.GetContent(request);
28
29         if (audioClip != null) {
30             AudioSource.clip = audioClip;
31             PlayAudio(audioClip);
32             // Wait for the audio clip to finish playing
33             yield return new WaitForSeconds(audioClip.length * 0.1f);
34         }
35         else{
36             // the audio is null so download the audio again
37             yield return StartCoroutine(GenerateAndStreamAudio(text));
38         }
39         // Wait for the audio clip to finish playing
40         yield return new WaitForSeconds(audioClip.length);
41     }
42 }
43 }
```

Listing 5: Classe C# per interagire con ElevenLabs in Unity

3.3.2 Feedback Utenti

Al termine dello sviluppo dell'applicazione, un ristretto numero di utenti ha avuto la possibilità di visitare il Museo Virtuale e di interagire con la Guida Intelligente, rilasciando le proprie opinioni attraverso un questionario anonimo. Le domande erano volte a indagare il livello di interesse per i musei reali, la familiarità con i Musei Virtuali, l'utilità percepita della Guida Intelligente e un feedback generale dell'esperienza complessiva. I risultati mostrano come gli utenti avessero un forte interesse per i musei reali, con una media di 4 su 5, come mostrato in Figura 3.24. Tuttavia, la familiarità con i Musei Virtuali risulta piuttosto variabile, con risposte che spaziano da utenti molto esperti ad altri completamente nuovi al concetto, come mostrato in Figura 3.25.

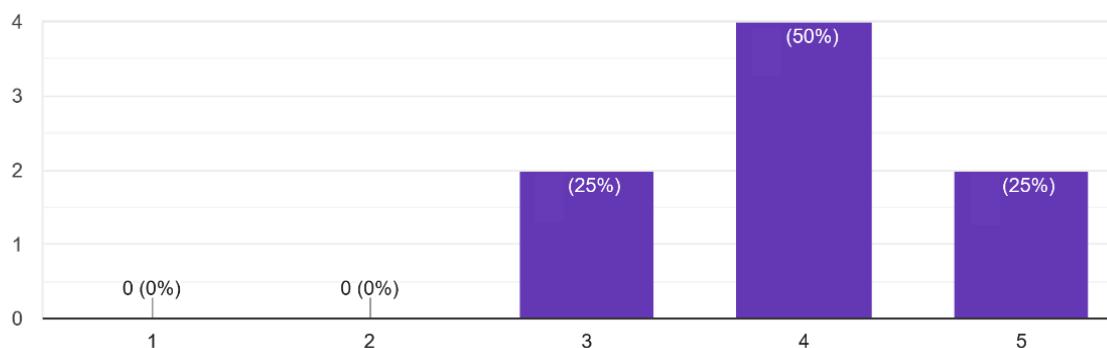


Figura 3.24: Grafico interesse per musei reali.

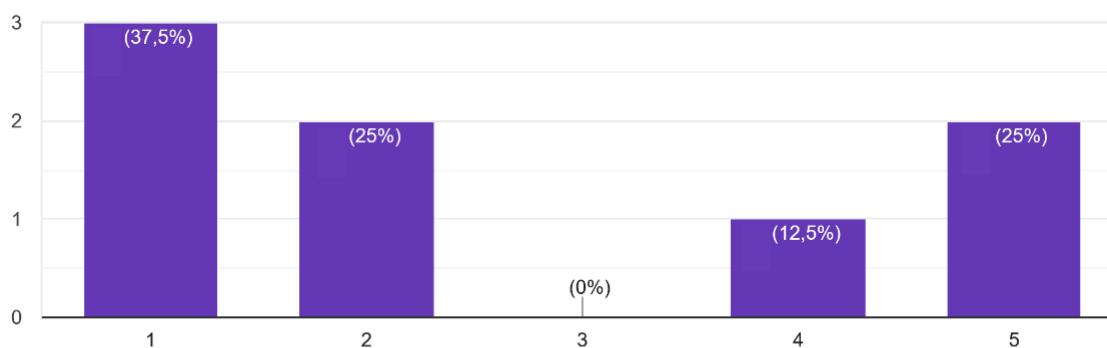


Figura 3.25: Grafico familiarità con Musei Virtuali.

Dopo aver sperimentato l'applicativo, gli utenti hanno espresso un alto gradimento per l'inserimento della Guida Intelligente all'interno di un Museo Virtuale, con una media di 4,4 su 5, come mostrato in Figura 3.26, motivandone il voto.

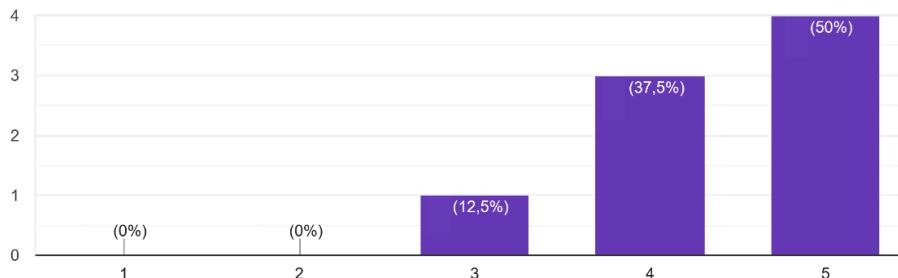


Figura 3.26: Grafico apprezzamento Guida Intelligente.

Da queste risposte emergono i seguenti aspetti positivi:

- Maggiore comprensione delle opere esposte, anche di quelle meno note.
- Possibilità di porre domande specifiche in qualsiasi momento.
- Possibilità per più utenti di porre domande senza attendere il proprio turno rispetto ad una guida tradizionale.

Tuttavia alcuni utenti hanno ricevuto, seppur di rado, risposte non del tutto corrette, dovute alle "allucinazioni" degli LLM già discusse nel Capitolo 2.4.1. Per concludere, gli utenti hanno espresso che la presenza di una Guida Intelligente simile in altri Musei Virtuali rappresenterebbe una buona motivazione alla visita, con una media di 4,5 su 5, come mostrato in Figura 3.27

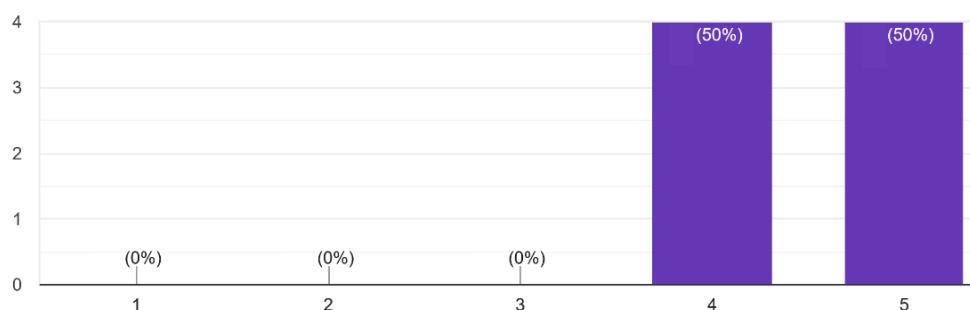


Figura 3.27: Grafico livello di motivazione alla visita di un Museo Virtuale con Guida Intelligente.

CAPITOLO 4

Conclusioni

L'esperienza è stata valutata in modo positivo dagli utenti, che ne hanno apprezzato l'innovatività, l'interattività e la capacità della Guida Intelligente di arricchire la visita. Lo sviluppo della Guida Intelligente per un Museo Virtuale mi ha permesso di esplorare in dettaglio gli argomenti di Realtà Virtuale, Intelligenza Artificiale e la loro integrazione all'interno di un contesto di Metaverso. La Guida Intelligente risulta essere capace di comprendere le domande del visitatore, rispondendo correttamente e in maniera approfondita, permettendo una fruizione dei contenuti museali più personale e interattiva. La scelta di utilizzare Gemini ed ElevenLabs ha permesso non solo di ottenere un risultato ottimale nella generazione delle risposte, ma anche di rispondere alle domande dell'utente in maniera fulminea, mantenendo alto l'interesse verso gli oggetti presenti nella mostra. Inoltre, l'uso di dispositivi ad alto livello di immersività per la Realtà Virtuale permette di vivere un'esperienza coinvolgente e personale, confermando i Musei Virtuali come valida alternativa ai Musei Reali nelle situazioni discusse nell'Introduzione.

4.1 Sviluppi Futuri e Possibili Miglioramenti

Il progetto offre numerosi spunti di miglioramento e ampliamento:

- Migliorare la Guida Intelligente con informazioni sulla planimetria del Museo Virtuale, rendendo possibile la generazione di risposte a domande relative alla posizione di specifici oggetti esposti.
- L'inserimento della Guida Intelligente in Musei Virtuali attualmente già esistenti, per permettere la fruizione dei reperti in qualsiasi orario senza la richiesta di un addetto specializzato.
- Integrazione di tecnologie di riconoscimento delle immagini, permettendo alla Guida Intelligente di poter rispondere a domande relative a qualsiasi reperto, eliminando la necessità di codificare all'interno dell'ambiente il nome, aumentando in questo modo anche informazioni come colori, dimensioni e dettagli unici del manufatto esposto.
- Integrazione della Guida Intelligente nel mondo reale, attraverso l'uso di occhiali dotati di microfono e videocamera, rendendo possibile il punto precedente anche all'interno di Musei Reali.

In conclusione, la realizzazione di questa Guida Intelligente dimostra come l'Intelligenza Artificiale possa migliorare la fruizione dei Musei Virtuali, rendendoli più accessibili, interattivi e coinvolgenti.

Bibliografia

- [1] G. D. Ritterbusch and M. R. Teichmann, "Defining the metaverse: A systematic literature review," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 12 368–12 377, 2023. (Citato a pagina 4)
- [2] W. Schweibenz, "The virtual museum: an overview of its origins, concepts, and terminology." *The Museum Review*, vol. 4, 08 2019. (Citato a pagina 9)
- [3] E. Huhtamo, "On the origins of the virtual museum," *Nobel Symposium*, 2013. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14237886> (Citato alle pagine 9 e 11)
- [4] E. Geber, ““le louvre - the palace & its paintings,” cd-rom: A review,” *Archives and Museum Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 138–147, Jun 1996. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/BF02802361> (Citato a pagina 11)
- [5] J. Keil, D. Edler, T. Schmitt, and F. Dickmann, "Creating immersive virtual environments based on open geospatial data and game engines," *KN - Journal of Cartography and Geographic Information*, vol. 71, 01 2021. (Citato a pagina 16)
- [6] J. Broderick, J. Duggan, and S. Redfern, "The importance of spatial audio in modern games and virtual environments," in *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM)*, 2018, pp. 1–9. (Citato a pagina 17)
- [7] S. Alatrash, S. Arnab, and K. Antlej, "Communicating engineering heritage through immersive technology: A vr framework for enhancing users'

- interpretation process in virtual immersive environments," *Computers & Education: X Reality*, vol. 3, p. 100040, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S294967802300034X> (Citato a pagina 20)
- [8] L. Robaina-Calderín, J. D. Martín-Santana, and F. Muñoz-Leiva, "Immersive experiences as a resource for promoting museum tourism in the z and millennials generations," *Journal of Destination Marketing & Management*, vol. 29, p. 100795, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212571X23000343> (Citato a pagina 21)
- [9] G. H. Hardy, *Ramanujan twelve lectures on subjects suggested by his life and work*. American Mathematical Society, 1999. (Citato a pagina 23)

Ringraziamenti

Eccoci qui, al termine di questo lavoro di tesi, a porgere i doverosi ringraziamenti. Ho attraversato momenti di pura gioia e di profondo dolore in questi anni, e non sarei mai riuscito a raggiungere questo traguardo senza l'aiuto di tutte le persone che mi hanno spronato, supportato e accompagnato in questo percorso. Premetto che l'ordine dei ringraziamenti è puramente casuale. Premessa fatta, iniziamo.

Ringrazio il Professore Fabio Palomba, relatore di questa tesi. La sua passione, disponibilità e professionalità senza eguali mi hanno permesso di completare questo lavoro con la consapevolezza di aver trattato un tema complesso ed affascinante come l'Intelligenza Artificiale, con entusiasmo e metodo, permettendomi di affrontare la stesura con spirito critico e dedizione. Se oggi posso guardare con serenità e consapevolezza al mio futuro accademico, è merito suo.

Ringrazio tutti i professori del mio corso di studi, la vostra passione e i vostri insegnamenti mi hanno permesso di essere qui oggi.

Ringrazio i miei genitori per avermi reso possibile questo percorso. Mi avete supportato ogni giorno e mi avete insegnato cosa sia l'impegno e il sacrificio. Questa conquista è anche vostra, e per questo vi sarò grato in eterno.

Ringrazio in particolare mia Mamma, che più di tutti mi ha spronato a continuare questo percorso universitario. Per un attimo ho pensato di abbandonare tutto, di cambiare completamente direzione e abbandonare gli studi, forse sarà stata una fase della crescita, ma se oggi porto questa corona in testa, il merito è tuo. Grazie di tutto Mamma, mi hai plasmato nell'uomo che oggi sono e vado fiero dell'educazione e dell'amore che mi hai insegnato. Spero di renderti orgogliosa ogni giorno, per sempre, come sono io orgoglioso di esserti figlio.

Ringrazio mia sorella Rossella, che nonostante i battibecchi tra fratelli, nell'ombra e in segreto mi ha sempre supportato ed è sempre stata presente per ogni mio problema. Non siamo mai stati bravi a dimostrarci il bene che ci vogliamo dal vivo, ma so che ci sarai sempre per me, come io per te.

Ringrazio mio fratello Francesco, che nei momenti più stressanti mi ha sempre permesso di vivere un momento di spensieratezza, che fosse tramite videogiochi, vedere una serie o anche il semplice stare in chiamata a parlare. Noi invece siamo bravi a dimostrarci il bene che ci vogliamo, e come io ci sarò sempre per te, so che anche tu ci sarai per me.

Ringrazio Balù. Quando si dice "il cane è il migliore amico dell'uomo" penso a quanto sia diminutivo per l'amore che mi dai. Sarai anche un cane-ladro, ma mi hai insegnato cos'è l'amore incondizionato, e ovunque andrai quando non ci sarai più, io vorrò andare nello stesso posto.

Ringrazio tutti i miei parenti, sono sempre stato un ragazzo un po' riservato, ma non mi avete mai fatto pesare il mio carattere chiuso, accogliendomi sempre come un figlio o un fratello. Mi avete sempre trattato come il genietto della famiglia e questo traguardo è stato possibile grazie all'amore che mi avete dato in tutti questi anni.

Ringrazio te, Veronica, amore mio. Mi hai visto nel bene e nel male, nella vittoria e nella sconfitta, nello stress e nel relax. Mi hai ascoltato, mi hai spronato e mi sei sempre stata vicina. Non basterebbe una vita di riconoscenza e di amore per egualare ciò che ogni giorno mi dai. Ogni giorno è più leggero sapendo che tu sei al mio fianco. Ti amo *eternamente*.

Ringrazio tutti i miei amici e colleghi che mi hanno accompagnato durante questo percorso. Chi durante lo studio, chi durante una pausa, chi durante un esame, mi avete permesso di completare questo percorso con ancora tutti i capelli in testa (per ora). Vi devo un caffè.

In particolare, ringrazio il gruppetto di *Anna Ti Odia*, o forse dovrei chiamarlo *Carlo nostro Re*. Nato dal nulla, abbiamo attraversato questo percorso insieme tra risate, disperazione e gioie condivise. Il mio traguardo è arrivato solo prima del vostro, e vi auguro ogni successo della vita. Sicuramente ci rivedremo alla prossima laurea, e quando anche l'ultima arriverà, spero che la vita non ci divida. CARLO VIVE.

Ancora più in particolare, ringrazio l'ingegnere Cristian, nemmeno l'allineamento degli astri è raro come le coincidenze che hanno contraddistinto la nostra conoscenza. Non so quanti treni e pullman abbiamo preso insieme, quanti progetti e linee di codice abbiamo scritto o quanti esami abbiamo superato grazie al supporto dell'altro. Ti auguro ogni bene e ricorderò sempre con gioia le nostre (dis)avventure.

Continuando con i particolari, ringrazio Luigi Salvatore Pio (sì, ha tre nomi), un fratello più che un collega. Se non fosse stato per le pazzie che proponevi di fare, probabilmente oggi starei studiando per superare qualche esame fatto insieme. Sei stato un diavolo tentatore, ma col senno di poi, sei stato un angelo custode degli esami. Ti auguro ogni bene e ti aspetto per la crostata. Anche più di una.

Cambiamo gruppo di amici. Ringrazio tutto il gruppo di *Forby*. Mi avete accolto come un fratello e abbiamo trascorso momenti indelebili nella memoria tra stupidagini e videogiochi. Siete stati la pausa studio, il momento spensierato, il divertimento e la compagnia. Prometto che verrò presto per festeggiare tutti insieme.

Finalmente tocca a te, Umberto. Grazie di esistere. Il tempo e lo spazio non hanno mai saputo allontanarci. Ti definisco il mio migliore amico solo perché l'italiano non ha pensato a un modo migliore di definirti. Sei la mia ancora e il mio supporto. Il nostro incontro è stato deciso dal destino, e le nostre risate riecheggeranno in eterno nel mio cuore. Grazie di tutto.

Ringrazio tutto il team di NTT DATA. La vostra passione mi ha travolto e la vostra accoglienza mi ha sostenuto. Ringrazio Antonio, Camilla, Michael e Francesco per tutto il supporto che mi avete dato durante lo sviluppo del progetto. Ricorderò per sempre questa esperienza e vi sarò per sempre grato per ciò che avete fatto per me.

Infine, ringrazio chi non c'è più. Questo traguardo lo dedico a voi, che oggi mi guardate dall'alto. So quanto siete orgogliosi di ciò che oggi sono diventato. Avete sempre creduto in me, mi avete sempre spronato e oggi sareste qui a festeggiare con me, ma so che ovunque voi siate, questo traguardo vi raggiungerà. Grazie Angelo, Zio Stany, Nonno, Enzo e tutti gli altri che porto nel cuore, perché il loro affetto e il loro amore non sarà mai dimenticato. Vivete in eterno nel mio cuore.

Questa tesi ha contribuito a piantare un albero in Kenya tramite il progetto Treedom.

<https://www.treedom.net/it/user/sesalab/event/se-sa-random-forest>