

# POLITECNICO DI TORINO

Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica



Politecnico  
di Torino

Tesi di Laurea Magistrale

## Progettazione e sviluppo di un framework di testing per ausili alla navigazione in ambienti virtuali immersivi

Supervisori

Prof. Andrea BOTTINO

Dr. Francesco STRADA

Candidato

Manuel PEPE

Luglio 2023



# Sommario

Nel contesto delle applicazioni desktop 2D tradizionali, le interfacce utente hanno raggiunto uno stato di standardizzazione consolidato nel corso del tempo. Tuttavia, per quanto riguarda le interfacce 3D, queste mancano di un approccio solido nello sviluppo e i metodi proposti per la suddivisione del ciclo di vita spesso mancano di focus sull'analisi dell'usabilità. Tali interfacce sono spesso specializzate e mancano di una diffusa adottabilità tra diversi settori. Nonostante la mancanza di standardizzazione complichino lo sviluppo, le interfacce 3D sono in grado di offrire maggior libertà e un'interazione naturale. Gli sviluppatori devono quindi considerare attentamente i vantaggi, gli svantaggi e l'esperienza utente nel contesto dell'interfaccia.

Gli studi analizzati hanno esaminato l'efficacia di diversi tipi di ausili alla navigazione, come frecce 2D e 3D, metafore radar e altre soluzioni innovative. Tuttavia, uno dei principali problemi riscontrati nella letteratura riguarda la mancanza di una procedura standard di test per verificare l'utilità delle soluzioni proposte e la mancanza di una serie predefinita di ambienti di test delle stesse. Ogni studio analizza il comportamento della propria soluzione in un insieme limitato di condizioni, spesso non eterogenee.

Tra le interfacce 3D, una particolare rilevanza è attribuita agli ausili alla navigazione, che risolvono il complesso problema del *wayfinding*, ovvero la capacità di orientarsi e navigare in uno spazio fisico o ambientale attraverso l'individuazione, il tracciamento e la comprensione di informazioni visive, segnali o indicatori che consentono di determinare una posizione e raggiungere una destinazione desiderata.

Per valutare l'efficacia dei vari ausili alla navigazione proposti, il lavoro di tesi si propone di fornire tutti gli strumenti necessari per poter testare la propria soluzione ed ottenere dati rilevanti sull'impatto di essa sugli utenti. Per fare ciò, sono stati realizzati due ausili diversi: una rappresentazione di una freccia in uno spazio tridimensionale, al fine di fornire indicazioni direzionali o suggerimenti di orientamento agli utenti; e uno innovativo basato sul concetto di outline, in modo tale da poter fornire un esempio di integrazione di un ausilio nel sistema proposto. A questi si aggiunge una baseline senza alcun aiuto, affinché si possa affermare che la propria soluzione sia o meno efficace. Sono state poi realizzate due

tipologie di mappe in cui poter testare il proprio ausilio alla navigazione in modo da poterlo comparare con altre soluzioni: un labirinto, in modo tale da poter studiare il comportamento degli utenti in un ambiente chiuso; e una mappa che permettesse un movimento più libero possibile al fine di poter studiare il comportamento dell'utente in un ambiente senza eccessive limitazioni di movimento. Durante l'esperimento, vengono raccolte delle metriche per valutare l'efficacia della soluzione proposta, ovvero il tempo impiegato per completare il compito, la distanza percorsa e la frequenza d'uso degli strumenti, se applicabile. Infine, viene proposto un protocollo sperimentale con relativi questionari pre- e post-condizione per valutare anche l'accettabilità e la soddisfazione degli utenti.

*Ai nonni,  
a quelli che c'erano e a quelli che non ci sono più*



# Indice

<b>Elenco delle tabelle</b>	IX
<b>Elenco delle figure</b>	X
<b>Acronyms</b>	XIII
<b>1 Introduzione</b>	1
1.1 Background . . . . .	1
1.2 Panoramica della Tesi . . . . .	1
1.3 Obiettivi e Ipotesi . . . . .	2
<b>2 Stato dell'Arte</b>	4
2.1 Introduzione alla Realtà Virtuale . . . . .	4
2.1.1 Definizione di Realtà Virtuale . . . . .	4
2.1.2 Elementi costitutivi della Realtà Virtuale . . . . .	5
2.1.3 Ambiti di utilizzo della Realtà Virtuale . . . . .	6
2.2 Interazioni in Ambienti 3D . . . . .	7
2.2.1 Selezione e Manipolazione . . . . .	10
2.2.2 System Control . . . . .	10
2.2.3 Navigazione . . . . .	12
2.3 Affordance Grafiche . . . . .	13
2.3.1 Applicazioni . . . . .	14
2.3.2 Testing di Affordance Grafiche . . . . .	17
<b>3 Tecnologie e Metodi Utilizzati</b>	20
3.1 Software . . . . .	20
3.1.1 Unity 3D . . . . .	20
3.1.2 Blender . . . . .	21
3.2 Hardware . . . . .	22
3.2.1 Oculus Quest 2 . . . . .	22
3.3 Experimental Design . . . . .	22

3.3.1	Condizioni . . . . .	23
3.3.2	Outline . . . . .	23
3.3.3	Ordine dei Test . . . . .	23
3.4	Campioni . . . . .	24
3.5	Metriche . . . . .	24
3.5.1	Questionario Preliminare . . . . .	24
3.5.2	Questionario Post-Condizione . . . . .	25
3.5.3	Questionario Finale . . . . .	25
3.6	Protocollo Sperimentale . . . . .	27
3.6.1	Preparazione . . . . .	27
3.6.2	Esecuzione . . . . .	27
3.6.3	Termine . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Lavoro Svolto</b> . . . . .	<b>29</b>
4.1	Ausili alla navigazione . . . . .	29
4.1.1	Baseline . . . . .	29
4.1.2	Freccia 3D . . . . .	30
4.1.3	Outline . . . . .	31
4.2	Software . . . . .	31
4.2.1	GameManager . . . . .	32
4.2.2	FileLogger . . . . .	32
4.2.3	AffordanceHandler . . . . .	33
4.2.4	HeatmapDrawer . . . . .	33
4.2.5	Interfacce Grafiche . . . . .	33
4.3	Scene Realizzate . . . . .	34
4.3.1	Menù Principale . . . . .	34
4.3.2	Dungeon . . . . .	35
4.3.3	Open Map . . . . .	36
4.3.4	Heatmap . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Risultati</b> . . . . .	<b>38</b>
5.1	Dati Raccolti . . . . .	38
5.2	Valutazione dell'Esperienza . . . . .	40
5.3	Valutazione degli Ausili alla Navigazione . . . . .	40
5.3.1	Presenza . . . . .	40
5.3.2	Chiarezza ed Efficacia . . . . .	40
5.3.3	Distanza Percorsa e Tempo Impiegato . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b> . . . . .	<b>49</b>
6.1	Discussione dei risultati . . . . .	49
6.2	Sviluppi Futuri . . . . .	50

<b>A Listati</b>	52
<b>Bibliografia</b>	56

# Elenco delle tabelle

3.1	Ordine in cui ogni condizione e mappa viene gestito durante l'esperimento . . . . .	24
3.2	Domande sulla presenza . . . . .	25
3.3	Domande sulla presenza . . . . .	26
3.4	Domande sull'efficacia . . . . .	26

# Elenco delle figure

2.1	Esempio di visore che integra gli smartphone . . . . .	5
2.2	<i>VR Museum: Blacksmithing Through Time</i> , un Museo VR che fornisce un'esperienza educativa sull'antico mestiere del fabbro e su come gli archeologi comprendono le botteghe dei fabbri . . . . .	7
2.3	Esempi di game controllers (primo approccio per le interfacce di input)	8
2.4	Esempi di accessori per Nintendo Wii che aumentano il realismo dell'interazione (secondo approccio per le interfacce di input) . . . .	8
2.5	Esempi di interazione possibili con Kinect (terzo approccio per le interfacce di input) . . . . .	9
2.6	Interfaccia diegetica impiegata in <i>I Expect You to Die</i> : menu realizzato tramite un proiettore situato all'interno dell'ambiente virtuale [5] . . . . .	11
2.7	Il videogioco <i>Hogwarts Legacy</i> usa un'interfaccia diegetica tramite outline che consiste nell'evidenziare possibili oggetti d'interesse con l'uso della magia <i>Revelio</i> . . . . .	13
2.8	Il videogioco <i>Left Alive</i> usa un'icona rossa per indicare la direzione della posizione obiettivo . . . . .	14
2.9	Freccia 3D . . . . .	15
2.10	Freccia 2D . . . . .	15
2.11	Radar . . . . .	15
2.12	PanoCue . . . . .	16
2.13	"Geografic VE" utilizzato per i test per lo studio <i>Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids</i> [8] . . . . .	18
3.1	Oculus Quest II . . . . .	22
4.1	Freccia 3D . . . . .	30
4.2	Outline . . . . .	31
4.3	Menù principale . . . . .	34
4.4	Mappa Dungeon A . . . . .	35

4.5	Mappa Dungeon B . . . . .	35
4.6	Mappa Open Map A . . . . .	37
4.7	Mappa Open Map B . . . . .	37
5.1	Fruizione di videogiochi 3D dei partecipanti . . . . .	39
5.2	Utilizzo di software 3D da parte dei partecipanti . . . . .	39
5.3	Chiarezza ed efficacia per ausilio di navigazione . . . . .	41
5.4	Distanze percorse dagli utenti nelle varie mappe . . . . .	42
5.5	Tempi impiegati dagli utenti nelle varie mappe . . . . .	42
5.6	Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore .	43
5.7	Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa OpenMapA senza alcun ausilio alla navigazione . . . .	44
5.8	Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore .	45
5.9	Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa OpenMapB con l’ausilio alla navigazione “Freccia 3D”	46
5.10	Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore .	47
5.11	Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa OpenMapB con l’ausilio alla navigazione “Outline” . .	48



# Acronyms

**AR**

Augmented Reality

**BEV**

Bird's-Eye View

**GPU**

Graphics Processing Unit

**HDRP**

High Definition Render Pipeline

**HLSL**

High Level Shader Language

**HMD**

Head Mounted Display

**HUD**

Head Up Display

**MSP**

Minimum Spanning Tree

**QOE**

Quality of Environment

**SD**

Deviazione Standard

**SRP**

Scriptable Render Pipeline

**STS**

See-Through Surfaces

**UI**

User Interface

**URP**

Universal Render Pipeline

**VE**

Virtual Environment

**VR**

Virtual Reality

**XR**

Extended Reality

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Background

La navigazione efficace in ambienti complessi richiede una comprensione dettagliata dello spazio circostante e delle possibilità di azione offerte dagli oggetti presenti. Negli ultimi anni, il concetto di *visual affordance* ha guadagnato sempre più attenzione in quanto rappresenta un aspetto cruciale dell'aiutare le persone a orientarsi e a muoversi attraverso gli ambienti in modo intuitivo e efficiente. Il termine si riferisce alla capacità degli oggetti o delle caratteristiche visive di un ambiente di suggerire o fornire indizi sulle azioni possibili o sugli scopi di utilizzo. Gli studi sull'utilizzo di *visual affordance* come ausili alla navigazione si concentrano su come queste possono fornire informazioni utili per guidare il movimento e la scelta dei percorsi. Ad esempio, una serie di frecce sul pavimento di un centro commerciale può aiutare le persone a seguire un percorso specifico o a trovare una destinazione desiderata. Allo stesso modo, un sistema di segnaletica stradale ben progettato può fornire agli automobilisti informazioni chiare e visivamente comprensibili per navigare in modo sicuro. L'uso di *visual affordance* come ausili alla navigazione non è limitato agli ambienti fisici, ma può anche estendersi agli ambienti virtuali. Ad esempio nei videogiochi gli sviluppatori utilizzano spesso segnali visivi chiari per guidare i giocatori attraverso il mondo di gioco e indicare le possibili azioni da intraprendere.

### 1.2 Panoramica della Tesi

Gli studi analizzati hanno esaminato l'efficacia di diversi tipi di ausili alla navigazione, come frecce 2D e 3D, metafore radar e altre soluzioni innovative. Tuttavia, uno dei principali problemi riscontrati nella letteratura riguarda la mancanza di una procedura standard di test per verificare l'utilità delle soluzioni proposte e la

mancanza di una serie predefinita di ambienti di test delle stesse. Ogni studio analizza il comportamento della propria soluzione in un insieme limitato di condizioni, spesso non eterogenee.

Per ovviare a questo problema è necessario sviluppare una procedura standard per testare l'utilità dei vari ausili alla navigazione proposti, fornendo anche una serie predefinita di ambienti di test, che includano sia ambienti aperti che chiusi, nonché ambienti astratti in cui l'assenza di *landmark* renda la navigazione più difficile. Inoltre, è importante prevedere un questionario iniziale, precedente all'esperienza, per raccogliere dati riguardanti i partecipanti e poter valutare eventuali differenze nelle prestazioni in base all'esperienza pregressa nella navigazione in ambienti virtuali. Inoltre, è necessaria la possibilità di generare proceduralmente ambienti di test per evitare il bias di learning dell'ambiente, basandosi su di un *seed* per garantire la replicabilità.

Per valutare l'efficacia dei vari ausili alla navigazione proposti, è opportuno fornire ai ricercatori alcune soluzioni spesso utilizzate come metriche di paragone, come l'assenza di aiuti, frecce, radar, in modo da poter valutare le prestazioni di ogni ausilio e stabilire quale sia il più efficace. Durante l'esperienza è importante raccogliere alcune metriche come il tempo necessario per portare a termine il task proposto, la distanza percorsa e la frequenza d'uso dello strumento (ove applicabile), per valutare l'efficacia della soluzione fornita. Al termine dell'esperienza, occorre richiedere ai partecipanti di compilare un questionario soggettivo, in cui esprimere le proprie opinioni sulla soluzione proposta e sull'esperienza in generale, in modo da poter valutare anche l'accettabilità e la soddisfazione degli utenti.

La tesi si concentra dunque sulla realizzazione di un framework di testing per ausili alla navigazione. Si propone di fornire tutti gli strumenti necessari ai ricercatori per poter testare la propria soluzione ed ottenere dati rilevanti sull'impatto di essa sugli utenti. Il lavoro si compone di più parti: una parte software che permette l'inclusione di una soluzione personalizzata e la sua applicazione nelle mappe proposte, con annessa la possibilità di raccogliere metriche oggettive come il percorso eseguito e il tempo impiegato; due mappe in cui poter testare il proprio ausilio alla navigazione in modo da poterlo comparare con alcune soluzioni proposte e ampiamente utilizzate nella ricerca; infine, una proposta di protocollo sperimentale con relativi questionari pre- e post-condizione.

### 1.3 Obiettivi e Ipotesi

Il lavoro svolto durante il progetto di tesi ha come obiettivo principale quello di proporre un framework a supporto dei ricercatori per il testing di ausili alla navigazione.

A supporto di tale lavoro, è stata eseguita una sessione di test utilizzando due ausili alla navigazione, uno molto usato in letteratura ed uno proposto. Di conseguenza, sono state valutate le seguenti ipotesi:

1. entrambi gli ausili alla navigazione migliorano le performance degli utenti
2. l'uso di un'interfaccia semi-diegetica come l'outline porta ad una sensazione di presenza più alta rispetto alla freccia 3D

# Capitolo 2

## Stato dell'Arte

### 2.1 Introduzione alla Realtà Virtuale

#### 2.1.1 Definizione di Realtà Virtuale

La Realtà Virtuale (VR) è una tecnica di simulazione di un mondo reale o virtuale che applica la teoria dell'immersione in uno spazio virtuale tridimensionale in cui la visione stereoscopica, l'udito, il tatto e l'olfatto sono molto simili a quelli del mondo reale all'interno di una determinata area. Volendo usare una definizione più formale, potremmo dire che "La realtà virtuale è una tecnologia scientifica di interazione uomo-macchina per la comprensione e la simulazione dell'ambiente reale o virtuale in uno spazio tridimensionale molto simile a quello di un ambiente reale e per sperimentare la natura in una certa gamma emergendo e mostrando la presenza fisica in quell'ambiente utilizzando computer ad alte prestazioni insieme ad attrezzature sensoriali come guanti, cuffie, ecc."[1]

Alla base del concetto di realtà si trovano due livelli: uno che riguarda le azioni del mondo verso l'utente e uno che riguarda le azioni dell'utente verso il mondo. Pertanto, qualcosa viene considerato reale se è percepito e se si può agire su di esso. Il mondo visualizzato non dovrebbe essere statico, ma interattivo, e risponde istantaneamente agli input dell'utente. La percezione del mondo avviene attraverso i sensi e le azioni coinvolgono diversi canali sensoriali: per questo motivo il mondo digitale viene definito come multimodale. La realtà virtuale (VR) si basa sull'immersione, ovvero la sensazione di essere fisicamente presente nel mondo virtuale, con l'obiettivo di estraniare l'utente dal contesto reale. Maggiore è il numero di canali sensoriali umani stimolati, maggiore sarà il senso di immersione. Inoltre, è estremamente importante che l'audio sia spaziale. Il concetto di immersione è anche correlato alle informazioni che il sistema può fornire. Ad esempio, esistono dispositivi a basso costo (come i visori che integrano gli smartphone) che non

riescono a registrare tutti i dati necessari, e quindi il sistema non è in grado di includere determinati input, compromettendo l'immersione immediatamente.



**Figura 2.1:** Esempio di visore che integra gli smartphone

Per poter fornire un miglior grado di immersione, vengono utilizzati dispositivi speciali come i visori *Head Mounted Display* (HMD), un dispositivo di visualizzazione indossato sulla testa per presentare agli utenti scene virtuali in 3D e fornire un'immersione completa nel mondo virtuale senza alcun rischio. Questi visori sono dotati di schermi e sensori che rilevano il movimento della testa e delle mani dell'utente. L'audio viene riprodotto tramite cuffie o altoparlanti integrati nel visore, mentre l'immagine viene visualizzata sui display all'interno del visore. Quando l'utente si muove o interagisce con l'ambiente virtuale, il visore registra questi movimenti e li traduce nell'esperienza virtuale. Attraverso il visore VR, l'utente può vedere e sentire l'ambiente virtuale come se fosse reale, creando una sensazione di presenza e immersione.

### 2.1.2 Elementi costitutivi della Realtà Virtuale

La presenza viene definita come la sensazione di appartenenza al mondo virtuale. Per raggiungere tale sensazione, è necessaria una "sospensione dell'incredulità", ovvero la volontaria soppressione delle facoltà critiche da parte dello spettatore. Maggiore è il senso di presenza, maggiore sarà la probabilità che l'applicazione raggiunga i suoi obiettivi.

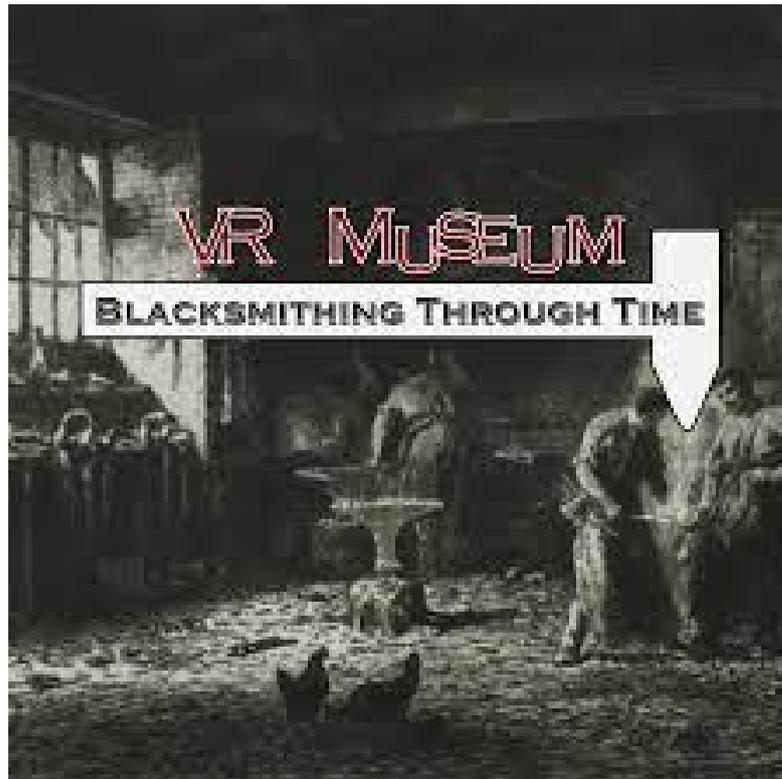
La presenza è funzione del livello di immersione e interazione, e consiste prevalentemente nella illusione di luogo e di presenza, o plausibilità. L'illusione di luogo

rappresenta la sensazione di "essere in un luogo" malgrado la consapevolezza di non esserci realmente. L'immersione costituisce i limiti entro cui l'illusione di luogo può avvenire. Sono necessari feedback sensoriali e motori coerenti con le azioni e i cambiamenti dell'ambiente perché se si hanno dei feedback che non sono frequenti o coerenti con quelli del mondo reale, l'illusione di luogo crolla.

Oltre all'illusione di luogo, si può avere anche illusione di plausibilità, ovvero l'illusione che ciò che avviene nell'ambiente virtuale stia effettivamente avvenendo anche nella realtà. La plausibilità, in questo contesto, si riferisce alla misura in cui gli eventi osservati possano essere considerati reali. Questo concetto si discosta dall'illusione di luogo in quanto è possibile percepire di trovarsi in un determinato luogo, ma non credere in ciò che sta accadendo. L'ambiente deve reagire in maniera plausibile (per esempio, gli avatar devono interagire con l'utente) ma non è necessario il "realismo" dell'ambiente. Si possono infatti avere ambienti totalmente fantastici, come un mondo popolato da dinosauri[2], ma che non distruggono l'esperienza perché percepiti come plausibili. Un altro concetto che contribuisce sostanzialmente all'illusione di plausibilità è il *virtual embodiment*, ovvero l'immedesimazione dell'utente nel corpo virtuale, avvalorato dal feedback sensoriale relativo al corpo virtuale e ai suoi effetti sul sistema cognitivo dell'utente.

### 2.1.3 Ambiti di utilizzo della Realtà Virtuale

L'acquisizione di Oculus da parte di Facebook e la collaborazione di Valve con HTC sono servite a portare la VR nel mainstream e l'iniziativa Cardboard di Google l'ha portata alle masse. Oggi, le varie applicazioni della VR sono nel campo dei giochi, dell'intrattenimento, della medicina, della formazione e dell'istruzione, dei social network, degli affari, del marketing, e molto altro[1].



**Figura 2.2:** *VR Museum: Blacksmithing Through Time*, un Museo VR che fornisce un'esperienza educativa sull'antico mestiere del fabbro e su come gli archeologi comprendono le botteghe dei fabbri

Nell'educazione, la realtà virtuale permette agli studenti di interagire l'uno con l'altro in ambienti 3D, fornendo un metodo di studio *learn and fun* senza che sia necessaria la presenza in aula. La realtà virtuale è anche ampiamente utilizzata nel campo medico, sia per permettere a professionisti di fare pratica in un ambiente simulato senza causare danni ad eventuali pazienti, sia nella terapia di esposizione, in particolare nel trattamento delle fobie[3].

## 2.2 Interazioni in Ambienti 3D

Nelle applicazioni desktop 2D tradizionali, le interfacce utente sono state in grado di evolvere per molto tempo e diventare a tutti gli effetti degli standard. Al giorno d'oggi queste interfacce si sviluppano ulteriormente a ritmi molto lenti, perché funzionano molto bene per la maggior parte degli scopi e gli utenti hanno già molta familiarità con i componenti e le tecniche standard utilizzate. Al contrario, nelle interfacce utente 3D non esistono standard. L'assenza di tale standardizzazione ne

rende lo sviluppo complesso e impegnativo e richiede un'attenta considerazione dei compromessi tra i diversi metodi.



**Figura 2.3:** Esempi di game controllers (primo approccio per le interfacce di input)



**Figura 2.4:** Esempi di accessori per Nintendo Wii che aumentano il realismo dell'interazione (secondo approccio per le interfacce di input)

Nonostante le sfide, le interfacce 3D offrono più gradi di libertà e un'interazione naturale, che può portare a interfacce più potenti e innovative. Ad esempio, è possibile utilizzare la presa per selezionare e manipolare gli oggetti in 3D, un modo di interazione molto naturale che conosciamo nel mondo reale. Inoltre, è possibile

sviluppare interfacce utente completamente nuove che non sarebbero possibili nel mondo reale, perché gli sviluppatori non sono vincolati a restrizioni fisiche nelle applicazioni 3D. Tuttavia, a causa della mancanza di standard, le interfacce sono spesso specializzate per un'applicazione specifica, piuttosto che essere ampiamente applicabili in diversi campi. Di conseguenza, gli sviluppatori devono valutare bene i vantaggi e gli svantaggi di altri metodi e considerare attentamente l'esperienza utente della loro interfaccia.

Un'interazione 3D è un'azione in cui sia l'applicazione che l'utente si trovano in uno spazio 3D, spesso dinamico. Per quanto riguarda l'implementazione, esistono diverse interfacce di input diverse, sia 2D che altri dispositivi che hanno un mapping diretto verso il 3D. Ci sono tre tipi principali di dispositivi usati. Il primo è basato su approcci tradizionali come mouse e tastiera, joystick, game controllers. Un secondo approccio consiste nell'uso di repliche di oggetti reali, fornendo una corrispondenza immediata tra l'oggetto e la sua funzionalità: non forniscono necessariamente interazione 3D ma aumentano il realismo dell'interazione. Il terzo approccio sfrutta il controllo di oggetti 3D attraverso il movimento spaziale dell'utente e i suoi gesti, come *Playstation Eye*, *Kinect*<sup>1</sup>, *Wii mote*, interfacce *tracker-based*.



**Figura 2.5:** Esempi di interazione possibili con Kinect (terzo approccio per le interfacce di input)

L'utilizzo di metafore di interazione può semplificare il problema. Queste

---

<sup>1</sup><https://marketplace.xbox.com/en-gb/Product/Kinect-Sports/66acd000-77fe-1000-9115-d8024d5308c9>

riproducono concetti conosciuti dall'utente in un contesto, al fine di trasferire questa conoscenza in un nuovo contesto legato all'esecuzione di un certo task. Consentono dunque di fornire un'interfaccia immediata per permettere all'utente di interagire immediatamente col sistema in questione. Una buona metafora deve essere rappresentativa del task, compatibile con la conoscenza dell'utente e con i vincoli fisici dell'interfaccia usata. La selezione della metafora d'interazione è quindi uno dei punti fondamentali della progettazione di un sistema di VR, perché fornisce la base dell'usabilità del sistema. L'obiettivo è infatti anche quello di usare l'interfaccia come se fosse una cosa naturale. Siccome molte interfacce hanno anche dei limiti fisici, il tipo di metafora su cui ci si vuole basare deve anche essere compatibile con essi.

L'interazione in un ambiente interattivo 3D può essere definita in termini di tre attività [4]: Navigazione; Selezione e Manipolazione; System Control.

### 2.2.1 Selezione e Manipolazione

Per “selezione” si intende il processo di identificazione di un oggetto, di una sua parte, o di un insieme di oggetti, che sono poi obiettivi di un'azione seguente. Per “manipolazione” si intende la definizione delle proprietà di un oggetto (posizione e orientamento, ma anche altri attributi). È un'operazione fondamentale in VR perché influenza tutti gli altri task. Selezione e manipolazione sono spesso usate insieme, ma la selezione può essere anche un'operazione a sé stante, come nel caso di una selezione per eliminare un oggetto o metterlo in evidenza.

La progettazione di metafore 3D per la selezione e la manipolazione è complessa perché, mentre in 2D gli oggetti sono sempre accessibili per selezione o manipolazione diretta, le applicazioni 3D aggiungono un grado di complessità ulteriore che non sempre è facilmente gestibile, come la valutazione della profondità (specie con monitor 2D), o i problemi di occlusione.

### 2.2.2 System Control

*System Control* si riferisce alla comunicazione tra l'utente e il sistema che non fa parte dell'ambiente e riguarda la modifica interattiva dello stato del sistema o delle modalità di interazione, come il caricamento di una scena, l'attivazione di un tipo di vista, la modifica della risoluzione, ecc... Generalmente è basato su una serie di comandi inviati al sistema stesso. Questa parte del sistema è particolarmente delicata perché deve evitare il più possibile di creare distrazione all'utente. Infatti, ogni volta si interagisce con un'interfaccia che non sia ben integrata nel sistema, l'esperienza nell'ambiente virtuale viene sospesa. Queste interfacce devono quindi essere veloci da usare, facili da usare o ricordare e il più trasparenti possibile, per mantenere l'utente focalizzato su quello che sta facendo nell'ambiente virtuale. Esse

dovrebbero anche dare dei feedback sul risultato dell'azione e garantire la massima affordance, ovvero essere studiati in maniera tale da suggerire all'utente come usare certi strumenti.

Come riconosciuto da Steed et al. [5], a volte i giochi cercano di adottare un approccio diegetico in cui i controlli del sistema sono incorporati negli oggetti del mondo. Questo non è sempre possibile, soprattutto se i controlli sono numerosi o non hanno una rappresentazione diegetica logica. Per questo motivo, molte delle attuali applicazioni VR includono menu o pannelli di controllo di qualche tipo. Due strategie comuni sono quelle di includere pannelli di controlli sospesi nello spazio che sembrano essere di fronte all'utente a una distanza comoda (ad esempio, a portata di mano) o a qualche metro di distanza.



**Figura 2.6:** Interfaccia diegetica impiegata in *I Expect You to Die*: menu realizzato tramite un proiettore situato all'interno dell'ambiente virtuale [5]

La *User Interface* (UI) comprende metodi e interfacce di interazione col mondo VR. L'*Head Up Display* (HUD) rappresenta il metodo con cui le informazioni di stato corrente vengono comunicate all'utente ed è una parte essenziale dell'interfaccia utente. Questa, come accennato precedentemente, è una delle parti più critiche perché rischia di distruggere l'esperienza immersiva.

Le interfacce diegetiche esistono invece nel mondo VR senza distruggere l'esperienza. Fanno infatti spesso parte del contesto dell'applicazione. Esempi di interfaccia diegetica sono orologi o documenti da leggere direttamente nell'applicazione. Le interfacce non diegetiche sono invece in genere interfacce 2D sovrimpressioni alla schermata di gioco. Le interfacce meta si integrano con la narrazione dell'ambiente, ma non con lo spazio VR 3D (in genere sono 2D). Le interfacce spaziali sono

invece interfacce inserite nel mondo 3D ma slegate dalla narrativa (es. tutorial).

### 2.2.3 Navigazione

Per *Navigazione* si intende la navigazione all'interno della scena, ovvero il controllo della posizione e dell'orientamento del punto di vista all'interno dell'ambiente virtuale. Il termine si riferisce dunque al processo di movimento all'interno di un ambiente virtuale: include una componente motoria che si riferisce al movimento fisico da un posto all'altro, definita *travel*, e una cognitiva, o decisionale, chiamata *wayfinding*.

#### Wayfinding

Il termine *wayfinding* si riferisce alla pratica di orientarsi e navigare in uno spazio fisico o ambientale. Riguarda l'abilità di individuare, seguire e comprendere le informazioni visive, segnali o indicatori per determinare una posizione e raggiungere una destinazione desiderata. Per navigare efficacemente in un ambiente, gli esseri umani si basano su diverse forme di conoscenza spaziale e strategie per codificare e ripercorrere un percorso[6]. Le due più importanti sono la strategia basata sui punti di riferimento (o *landmark*), in cui un individuo impara che un particolare punto di riferimento indica una svolta (ad esempio, girare a sinistra al negozio di dolci), e la strategia direzionale, in cui un individuo impara un percorso come una sequenza di incroci (ad esempio, girare a sinistra, poi di nuovo a sinistra e poi a destra). Queste strategie non si escludono a vicenda, ma possono essere utilizzate insieme per un apprendimento efficace del percorso, per esempio mediante la comprensione delle connessioni spaziali tra i diversi punti di riferimento.

Il *wayfinding* è dunque particolarmente importante in ambienti complessi come grandi edifici, aeroporti, ospedali, centri commerciali e città, dove le persone possono sentirsi disorientate o confuse a causa della complessità o della mancanza di indicazioni chiare. L'obiettivo della ricerca per il *wayfinding* è dunque semplificare la navigazione e fornire indicazioni visive o informative che guidino le persone verso la loro destinazione desiderata, al fine di migliorare l'esperienza dell'utente e rendere la navigazione più efficiente e senza stress.

Il *wayfinding* può essere implementato sia in ambienti fisici che digitali, come ad esempio attraverso applicazioni mobili o mappe interattive che aiutano le persone a trovare la strada in un luogo sconosciuto. È importante considerare le esigenze degli utenti, come le persone con disabilità visive o motorie, per garantire un *wayfinding* accessibile a tutti.

In sintesi, quando ci troviamo in ambienti sconosciuti, la conoscenza dei punti di riferimento costituisce il fondamento della nostra capacità di navigazione. Successivamente, acquisiamo la conoscenza dei percorsi, che ci permette di collegare

i punti di riferimento in un quadro mentale coerente dell'ambiente. Le strategie di *wayfinding* possono infatti includere l'uso di segnaletica, mappe, sistemi di navigazione, colori, simboli e layout ben progettati per facilitare l'orientamento e la navigazione. Combinando queste forme di conoscenza spaziale, siamo in grado di navigare con successo e di orientarci in nuovi ambienti.

## 2.3 Affordance Grafiche

Trapp et al. [7] presentano un framework di visualizzazione sviluppato per consentire una migliore comprensione di ambienti 3D complessi e per facilitare l'interazione con essi. Gli autori hanno identificato tre categorie di tecniche di evidenziazione che possono essere utilizzate per mettere in risalto gli oggetti all'interno di un ambiente 3D.

La prima categoria di tecniche di evidenziazione è quella delle tecniche di variazione di stile. Queste tecniche modificano direttamente l'aspetto degli oggetti, ad esempio cambiando il colore della loro texture. Questo tipo di tecnica può essere utile per evidenziare gli oggetti in modo sottile e discreto, senza interrompere l'esperienza visiva complessiva dell'utente.

La seconda categoria è quella delle tecniche di outline. Queste tecniche aggiungono un contorno o una silhouette all'oggetto per evidenziarlo. Le tecniche di outline sono particolarmente utili per evidenziare oggetti in modo rapido e chiaro, poiché il contorno li distingue facilmente dagli altri oggetti circostanti.



**Figura 2.7:** Il videogioco Hogwarts Legacy usa un'interfaccia diegetica tramite outline che consiste nell'evidenziare possibili oggetti d'interesse con l'uso della magia *Revelio*

La terza categoria è infine quella delle tecniche basate sui glifi. Queste tecniche utilizzano icone o glifi e li collegano a un oggetto per attirare l'attenzione dell'utente.

I glifi possono essere utilizzati per evidenziare parti specifiche di un oggetto o per indicare l'importanza di un oggetto all'interno dell'ambiente 3D.



**Figura 2.8:** Il videogioco Left Alive usa un'icona rossa per indicare la direzione della posizione obiettivo

### 2.3.1 Applicazioni

Come accennato in precedenza, sono molti gli studi effettuati sulle possibilità di nuovi ausili alla navigazione e di quale sia il loro impatto sugli utenti. Le visual affordance considerate in letteratura sono di vario tipo. Alcuni esempi sono rappresentati dalla “freccia” e dal “radar”. Per “freccia” [8, 9, 10, 11] si intende una freccia in due o tre dimensioni la cui testa punta direttamente alla posizione dell'obiettivo. Nel caso tridimensionale la freccia viene renderizzata direttamente in scena, altrimenti nel caso bi-dimensionale questa viene proiettata su un piano 2D  $xy$  e renderizzata come HUD, come visibile nelle figure 2.9 e 2.10. È possibile anche variarne lunghezza e scala in base alla distanza dell'obiettivo [10]. L'ausilio alla navigazione “radar” [8, 10, 11, 12] fornisce all'utente una vista radar che rappresenta la posizione del target rispetto all'utente in un piano circolare 2D, simile ad una prospettiva aerea *top-down*. All'interno del piano circolare viene segnata la posizione dell'obiettivo, se questo si trova all'interno dell'area coperta dal radar, mentre il centro indica la posizione dell'utente, come visibile in figura 2.11. Un ausilio di questo tipo permette di fornire all'utente indicazioni sulla direzione e la distanza relativa verso l'obiettivo.

Le affordance appena descritte sono state impiegate anche in alcuni studi che meritano un approfondimento particolare. Per esempio, Chittaro e Burigat [8] hanno condotto uno studio sulle prestazioni degli utenti, basandosi principalmente sulla “quantità di riferimenti visivi”, confrontando un ambiente geografico che rappresenta un'area all'aperto con un ambiente astratto che non assomiglia a

nessun ambiente esistente. Nel *virtual environment* (VE) geografico, gli utenti hanno utilizzato la metafora di navigazione “Walking”, comunemente usata in molti VE e videogiochi: le loro posizioni erano limitate al piano 2D del terreno e comprendevano solo traslazioni e rotazioni lungo il loro asse principale. Nel VE astratto, invece, gli utenti hanno utilizzato una metafora di navigazione “Fly”, che permette loro di muoversi e girarsi in qualsiasi direzione. Per lo studio sono stati proposti tre strumenti di navigazione: frecce 2D e 3D che puntano verso gli oggetti e le posizioni che devono essere raggiunte dagli utenti, fornendo un orientamento assoluto verso la posizione del bersaglio, e una metafora radar. D'altra parte, Chen et al.[9] conducono uno studio su tre indicazioni direzionali mediante l'uso di un'icona di freccia visiva, simile ad una freccia 2D; un effetto sonoro spaziale generato dall'oggetto target; e una vibrazione direzionale sulla testa mediante un dispositivo vibrotattile. Inoltre, viene valutato il loro impatto sulla ricerca di un obiettivo in uno scenario di realtà virtuale multitasking. L'esperimento coinvolge la ricerca di due obiettivi, con l'introduzione di distrazioni.



Figura 2.9: Freccia 3D



Figura 2.10: Freccia 2D



Figura 2.11: Radar

Al di là delle affordance appena considerate, ve ne sono altre che sono state studiate in relazione alla navigazione. Infatti, Chittaro e Scagnetto [13] indagano l'uso della trasparenza come aiuto alla navigazione, proponendo una soluzione basata su una prospettiva in prima persona, definita *See-Through Surfaces* (STS) e un'altra in terza persona, definita *Bird's-Eye View* (BEV). La prima consiste nel rendere trasparente una parte di muro al click del mouse per poter vedere cosa si trovi al di là di esso; la seconda invece consiste in una visuale full-screen a volo d'uccello dell'edificio, col tetto trasparente, evidenziando la posizione corrente del giocatore.

È inoltre possibile sviluppare delle affordance personalizzate, come fatto da Chung et al.[10], i quali propongono una nuova *visual affordance* chiamata *PanoCue*, confrontandola con una vista radar, una freccia e una baseline senza alcun aiuto. *PanoCue* consta in un'immagine panoramica omnidirezionale dell'ambiente circostante in 3D, allo scopo di poter fornire indicazioni a 360 gradi sulla posizione del target, visibile nell'immagine 2.12. Il riquadro rettangolare verde semitrasparente si trova sempre al centro della vista panoramica per indicare il campo visivo attuale dell'utente. Il riquadro trasmette implicitamente all'utente la direzione del bersaglio per decidere quale direzione prendere (sinistra o destra), la sua altitudine e la distanza dall'utente, visualizzando il bersaglio in una vista panoramica. Ad esempio, un bersaglio di dimensioni relativamente grandi mostrato nell'angolo in alto a destra della vista panoramica indica che l'utente deve girare di quasi 180 gradi nella direzione giusta per trovare un bersaglio vicino situato in alto. Per poterlo confrontare con alcune delle soluzioni più utilizzate in letteratura, ai partecipanti è stato richiesto di trovare un target in spazi 3D sotto quattro differenti condizioni: *PanoCue*, radar, freccia, e una baseline senza aiuti.

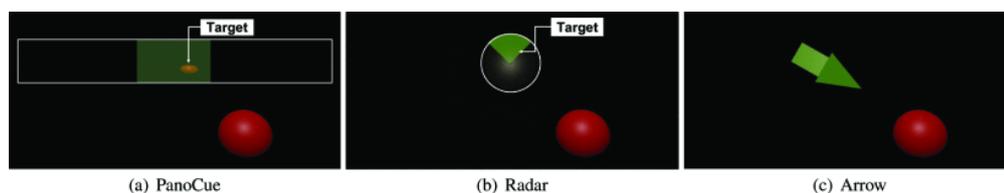


Figura 2.12: PanoCue

Approcci diversi sono stati impiegati da Moura, Irshad e Burigat. Moura e Bartram [14] propongono uno studio su un gioco creato ad hoc per ispezionare come i cambiamenti nelle *wayfinding cues* influenzino il comportamento dei giocatori all'interno del gioco, e la loro esperienza soggettiva. Irshad et al [15] effettuano uno studio sul wayfinding mediante l'uso di un *serious game*. L'applicazione consiste in una simulazione di alluvione durante la quale gli utenti devono uscire da un parcheggio sotterraneo e trovare un posto sicuro.

### 2.3.2 Testing di Affordance Grafiche

Durante l'analisi degli studi effettuati, non risulta alcuna metodologia standard per l'analisi dell'efficacia degli ausili alla navigazione. Inoltre, il loro utilizzo è spesso insufficiente per l'assistenza all'utente durante l'esplorazione di mondi virtuali [16]. Solitamente, l'utente viene lasciato da solo nell'esplorazione o non viene assistito in maniera sufficiente: questo può causare frustrazione dell'utente, possibilità di perdere parti del mondo interessanti e sensazione di non aver esplorato adeguatamente il mondo dopo il completamento dell'esperienza. Questo problema è spesso ingrandito se si parla di ambienti in larga scala, e/o in cui la visibilità è drasticamente influenzata da una grande quantità di occlusioni.

Per lo studio su quanto gli elementi grafici di un ambiente influenzino le prestazioni dell'utente effettuato da parte di Chittaro e Burigatt [8], sono stati sviluppati due ambienti virtuali differenti. Il primo consiste in un ambiente in larga scala che include una base aerea circondata da aree urbane, con strade ed edifici, alcuni dei quali progettati appositamente come landmark. L'altro ambiente consiste in una sfera cava in cui l'utente può "volare", rappresentata in wireframe per facilitare la percezione della distanza e del movimento, e per mettere in evidenza i bordi. Al fine dell'esperimento, gli utenti devono cercare target differenti in ognuno dei due ambienti. L'esperimento ha confrontato le performance dell'utente relative alla navigazione, definite in termini di tempo totale impiegato per cercare 5 target, in quattro possibili condizioni: senza ausilio alla navigazione; con l'ausilio di frecce 2D; frecce 3D; radar. In ogni condizione, il tempo impiegato dall'utente per trovare i 5 target viene salvato tramite log. Nel "Geografic VE", tutti gli ausili alla navigazione sono stati efficaci nel supportare gli utenti rispetto ai test di controllo. Analizzando l'efficacia, si è riscontrato che le frecce 3D hanno permesso agli utenti inesperti di ottenere il miglior risultato, mentre per gli utenti esperti le tre tecniche hanno prodotto risultati molto simili. Considerando gli ausili alla navigazione e il compito specifico studiato (ricerca informata), i risultati mostrano che una forma di indicazione 3D è una soluzione appropriata per i tradizionali VE in cui gli utenti camminano su un piano 2D e eseguono solo traslazioni e rotazioni lungo il loro asse principale, e per i VE in cui gli utenti devono traslare e ruotare in qualsiasi direzione. Tuttavia, per generalizzare questo risultato, occorre estendere l'indagine ad altri tipi di ausili alla navigazione e di VE.

I risultati dello studio mostrano che esistono differenze significative tra gli utenti inesperti e gli utenti esperti riguardo ai benefici degli ausili alla navigazione considerati, e che queste differenze sono influenzate dall'ambiente in cui si opera. Lo studio evidenzia quindi la necessità di prendere in considerazione l'esperienza degli utenti nella navigazione dei VE desktop in modo specifico quando si progettano ausili alla navigazione e si studia la loro efficacia.

Nello studio condotto da Chen et al. [9] sulle tre indicazioni direzionali proposte,



**Figura 2.13:** “Geografic VE” utilizzato per i test per lo studio *Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids* [8]

sono state definite due difficoltà per i test. Come compito principale, ai partecipanti è stato chiesto di individuare il più velocemente possibile un target rappresentato da una sfera, utilizzando una per volta le tre indicazioni visive disponibili. Successivamente, la difficoltà è stata aumentata mediante l’aggiunta di distrazioni e compiti paralleli. Per le distrazioni sono state scelte 100 sfere, oltre a quella “corretta”. Oltre a questo compito, è stato richiesto ai partecipanti di completare un compito secondario, che consisteva nell’identificare un oggetto specifico tra gli oggetti di distrazione. Sono state effettuate sei sessioni per ciascun partecipante, con un ordine di presentazione dei compiti basato su un modello di Latin square. Al termine di ogni sessione, è stato chiesto a ciascun soggetto di compilare un questionario *NASA Task Load Index* (NASA-TLX)<sup>2</sup> e un questionario sulla user-experience per valutare il carico di lavoro percettivo e cognitivo sperimentato durante le attività. Ai fini dello studio, sono stati raccolti il tempo necessario per completare il task primario; il range di movimento della testa; l’accuratezza del secondo task. Oltre a questi, sono stati raccolti commenti qualitativi sull’applicazione.

Per testare le loro soluzioni basate sulla trasparenza, Chittaro e Scagnetto [13] hanno formulato un task consistente nel cercare un percorso verso un oggetto

---

<sup>2</sup><https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLXScale.pdf>

specifico (rappresentato graficamente da un pozzo) partendo da una posizione predefinita, ovvero l'ingresso, in un VE di un edificio. Ogni partecipante deve completare il task in tre condizioni diverse: una di controllo senza alcun aiuto, una con la metafora STS e una con la metafora BEV.

Poiché l'utilizzo dello stesso edificio per tutti i test avrebbe portato a un bias di apprendimento, sono state create tre mappe separate, in modo che ogni utente navigasse ogni ambiente solo una volta. I tre edifici rappresentano ambienti diversi e volutamente non familiari: il primo è in pietra, uno si ispira ad un tema fantasy-gotico e l'altro ad uno di fantascienza.

La variabile indipendente utilizzata per le ricerche è il tempo richiesto per il completamento. Inoltre, gli utenti sono stati invitati a valutare il livello di difficoltà nell'utilizzo di ciascuna proposta di supporto alla navigazione. Infine, sono stati osservati diversi comportamenti degli utenti nell'utilizzo dell'STS, tra cui la frequenza d'uso, il numero di STS attivati simultaneamente (è possibile rendere trasparenti più muri alla volta) e la simultaneità nel movimento (alcuni utenti si sono fermati per attivarlo, mentre altri hanno continuato senza interruzioni).

Per testare PanoCue [10], sono stati utilizzati come target 48 oggetti della stessa dimensione, colore e forma, di cui solo uno visibile per volta. Il background dell'ambiente virtuale è stato impostato a nero per eliminare ogni fattore visivo che potrebbe distrarre i partecipanti. Le metriche oggettive raccolte durante lo studio sono il tempo di completamento del compito e la distanza di spostamento.

Dopo aver completato ogni condizione, sono state raccolte le valutazioni soggettive dei partecipanti in termini di facilità, fatica e soddisfazione in una scala Likert a 5 punti. Alla fine dello studio sono state raccolte anche altre risposte soggettive, come la preferenza. Infine, sono stati studiati l'effetto dell'altezza e della lontananza del target sulle performance nel task.

Per il loro studio, Irshad et al [15] dividono i partecipanti ai test in tre gruppi, analizzando l'applicazione senza alcun aiuto, con degli aiuti statici come cartelli stradali, e con aiuti dinamici come segnali lampeggianti. Per i dati soggettivi, è stato proposto un test definito da alcune sezioni del *Game Experience Questionnaire* (GEQ) [17] per misurare competenza, immersione, flow, tensione, sfida, effetti positivi e negativi. Esaminando il battito cardiaco dei partecipanti con un *Fitbit Sense*, i risultati hanno mostrato che l'uso di indicazioni di orientamento ha indotto meno tensione, sfida ed effetti negativi nell'esperienza complessiva percepita dagli utenti. Allo stesso modo, sono stati osservati effetti positivi più elevati per i gruppi sperimentali con indicazioni per il wayfinding. È interessante notare che non ci sono stati effetti significativi del wayfinding sulla competenza, sul flusso e sull'immersione; tuttavia, la frequenza cardiaca era significativamente alta nel gruppo di controllo. Questi risultati suggeriscono che le indicazioni di wayfinding possono promuovere la qualità percepita degli utenti nella VR.

## Capitolo 3

# Tecnologie e Metodi Utilizzati

### 3.1 Software

#### 3.1.1 Unity 3D

*Unity 3D*<sup>1</sup> è un game engine multi-piattaforma che consente agli sviluppatori di creare videogiochi, simulazioni interattive e altre esperienze digitali. È stato sviluppato da *Unity Technologies* ed è diventato uno dei motori di gioco più popolari e utilizzati nell'industria del gioco. Offre un ambiente di sviluppo completo con un'ampia gamma di strumenti e funzionalità per creare giochi in 2D e 3D. Supporta più piattaforme, tra cui PC, console, dispositivi mobili, realtà virtuale e realtà aumentata (AR). Ciò significa che gli sviluppatori possono creare un gioco una volta e distribuirlo su diverse piattaforme senza dover riscrivere il codice da zero per ogni piattaforma.

*Unity 3D* utilizza il linguaggio di scripting *C#* come principale linguaggio di programmazione per lo sviluppo di giochi. Fornisce un editor visuale intuitivo che permette agli sviluppatori di creare scene, animazioni, fisica, intelligenza artificiale e gestire risorse come grafica, audio e modelli 3D. Grazie alla sua flessibilità, viene utilizzato non solo nell'industria del gioco, ma anche in settori come l'architettura, la progettazione di prodotti, la formazione e la simulazione, la visualizzazione di dati scientifici e altro ancora.

---

<sup>1</sup><https://unity.com/>

## XR Interaction Toolkit

Il pacchetto *XR Interaction Toolkit*<sup>2</sup> è un sistema di interazione di alto livello sviluppato da Unity e basato su componenti che permettono di realizzare interazioni in *extended reality* (XR) veloci e semplici con il minimo sforzo. È parte dell'architettura *XR Plugin* di Unity (*XR Tech Stack*) e fornisce un framework che rende disponibili le interazioni 3D e UI dagli eventi di input di Unity. Il nucleo di questo sistema è costituito da un insieme di componenti di base *Interactor* e *Interactable* e da un *Interaction Manager* che collega questi due tipi di componenti. Contiene anche componenti che possono essere utilizzati per la locomozione e il disegno di interfacce. Il toolkit, che permette di sviluppare applicazioni XR per diversi tipi di HMD, supporta *OpenXR*, un open standard impiegato per gestire la comunicazione tra game engine e dispositivi.

### 3.1.2 Blender

Blender<sup>3</sup> è un software gratuito e open-source per la modellazione 3D, l'animazione, il rendering, la creazione di grafica computerizzata e molto altro ancora. È stato sviluppato dalla Blender Foundation ed è disponibile per diverse piattaforme, tra cui Windows, macOS e Linux. Blender offre un'ampia gamma di strumenti e funzionalità per la creazione di contenuti 3D. Può essere utilizzato per creare modelli 3D, sia organici che geometrici, utilizzando strumenti come la modellazione poligonale, la modellazione mediante curve, la modellazione di superfici e altro ancora. Il software supporta anche la creazione di materiali, l'illuminazione, la simulazione di fluidi e particelle, la creazione di animazioni, l'editing video e il rendering.

Una delle caratteristiche distintive di Blender è la sua interfaccia altamente personalizzabile e il suo sistema di modifica basato su nodi, che consente agli artisti di creare materiali complessi, effetti e animazioni utilizzando una logica visuale basata su nodi interconnessi. Blender è ampiamente utilizzato sia dagli artisti e dagli animatori indipendenti che dalle aziende e studi di produzione per la creazione di film, cortometraggi, videogiochi, effetti visivi, animazioni 3D, grafica per la stampa e molto altro ancora. La sua natura open-source ha contribuito a una comunità attiva di sviluppatori e artisti che continuano a migliorare il software e condividere risorse, tutorial e plugin gratuiti.

---

<sup>2</sup><https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.3/manual/index.html>

<sup>3</sup><https://www.blender.org/>

## 3.2 Hardware

### 3.2.1 Oculus Quest 2



**Figura 3.1:** Oculus Quest II

L'Oculus Quest 2 è un visore all-in-one per la realtà virtuale realizzato da Meta e rilasciato sul mercato il 13 ottobre 2020. Le specifiche tecniche includono display LCD a commutazione rapida con una risoluzione di 1832x1920 pixel per occhio con un supporto per frequenza di aggiornamento a 60, 72 e 90 Hz.

## 3.3 Experimental Design

L'esperimento consiste di tre condizioni, una delle quali rappresenta una "Baseline" in cui l'utente esplora la mappa senza alcun ausilio alla navigazione. L'obiettivo principale del lavoro è la comparazione tra le altre due, ovvero la "Fraccia 3D" e l'"Outline": queste permettono all'utente di ottenere informazioni utili sulla posizione del punto di arrivo.

Ogni condizione comincia con il caricamento della relativa mappa. Al segnale di partenza del ricercatore, i comandi relativi al movimento vengono attivati e il

partecipante è libero di muoversi all'interno della mappa. Per ogni condizione, il partecipante deve andare a trovare nella mappa un preciso obiettivo, nel caso in questione un forziere, ed alla sua collisione con esso, dopo un feedback consistente in un'animazione e un suono di vittoria, verrà attivata la mappa successiva.

### 3.3.1 Condizioni

#### Baseline

La "Baseline" consiste nella navigazione dell'utente nell'ambiente virtuale senza alcun ausilio alla navigazione. Questa condizione permette all'utente di riflettere sul miglioramento dovuto all'ausilio alla navigazione successivamente testato. Inoltre essendo mappe comparabili, è possibile mettere a confronto i tempi impiegati per la ricerca con un certo ausilio alla navigazione, nonostante le due mappe siano diverse.

#### Freccia 3D

Per "freccia" si intende una freccia in tre dimensioni la cui testa punta direttamente alla posizione dell'obiettivo. Nel caso di questo lavoro di tesi, la freccia viene renderizzata direttamente in scena, leggermente in basso rispetto alla vista dell'utente, in modo tale da non intralciarne il campo visivo.

### 3.3.2 Outline

La condizione "Outline" è una tecnica tecniche che aggiunge un contorno all'oggetto per evidenziarlo. Si ispira ad una navigazione "a waypoint", evidenziando il waypoint nella direzione successiva rispetto al punto in cui si trova l'utente, all'interno del percorso verso il punto d'arrivo. Quando l'utente si trova in prossimità di un waypoint, questa tecnica si aggiorna e va ad evidenziare il punto successivo.

### 3.3.3 Ordine dei Test

Ogni partecipante ai test andrà a provare un ausilio alla navigazione. In particolare, la composizione dei test è la seguente, divisa per gruppi nella tabella 3.1:

1. mappa *Dungeon A* (DA) senza alcun ausilio alla navigazione
2. mappa *Dungeon B* (DB) con l'ausilio alla navigazione assegnatogli ("Freccia 3D" o "Outline")
3. mappa *Open Map A* (OA) senza alcun ausilio alla navigazione

4. mappa *Open Map B* (OB) con l’ausilio alla navigazione assegnatogli (“Freccia 3D” o “Outline”)

<i>1° gruppo</i>	<i>2° gruppo</i>
DA None	DA None
DB Arrow	DB Outline
OA None	OA None
OB Arrow	OB Outline

**Tabella 3.1:** Ordine in cui ogni condizione e mappa viene gestito durante l’esperimento

### 3.4 Campioni

Essendo gli ausili alla navigazione proposti una soluzione generale al problema del wayfinding, non sono state applicate particolari restrizioni sul tipo di requisiti richiesti ai partecipanti. Essendo dati raccolti prevalentemente in ambito universitario, le età dei partecipanti spaziano dai 21 ai 32 anni, con differenti livelli di competenza per quanto riguarda applicazioni 3D e VR.

### 3.5 Metriche

Di seguito le metriche oggettive e soggettive raccolte durante l’esperienza. In particolare, il sistema sviluppato prevede la raccolta di dati oggettivi per quanto riguarda l’utilizzo dell’affordance da parte dell’utente, come il tempo impiegato per arrivare all’obiettivo; e di dati soggettivi raccolti tramite questionari. Per poter raccogliere i dati in maniera automatica è stato realizzato un questionario reso disponibile tramite Google Docs e condiviso con il partecipante durante l’esperimento.

#### 3.5.1 Questionario Preliminare

Il questionario preliminare ha lo scopo di raccogliere informazioni demografiche sul partecipante e sulla sua esperienza riguardo al tipo di applicazioni in esame. In particolare:

- ID partecipante (assegnato dal ricercatore)
- Ausilio alla navigazione testato (assegnato dal ricercatore)

- Età
- Esperienza con sistemi di Realtà Virtuale
- Esperienza con i videogiochi (esclusi giochi VR)
- Esperienza con sistemi 3D

Le domande sull'esperienza con sistemi 3D, di Realtà Virtuale, e videogiochi hanno lo scopo di studiare al meglio il risultato di tutti i questionari, in particolare per quanto concerne la difficoltà nell'uso del sistema e la sua qualità percepita da utenti esperti e utenti neofiti.

### 3.5.2 Questionario Post-Condizione

Dopo aver provato ogni tipologia di mappa con e senza ausilio alla navigazione, al partecipante viene richiesto di rispondere ad un breve questionario su quanto si sia sentito parte (o immerso) in un ambiente virtuale, rappresentato in tabella 3.2. Le domande fanno parte del questionario *VRUSE* [18], raggruppate come *Usability Factor 9 Sense of Immersion/Presence*.

<b>Sense of Immersion/Presence</b>
1 (Fortemente in disaccordo), 3 (Neutral), 5 (Fortemente d'accordo)
Ho provato una sensazione di immersione nell'ambiente virtuale
Non avevo bisogno di sentirmi immerso nell'ambiente virtuale per completare il mio compito
Ho avuto una sensazione di presenza (cioè di essere lì)
La qualità dell'immagine ha ridotto la mia sensazione di presenza
Ho pensato che il campo visivo migliorasse la mia sensazione di presenza
La risoluzione dello schermo ha ridotto la mia sensazione di immersione
Mi sono sentito isolato e non parte dell'ambiente virtuale
Avevo un buon senso di scala nell'ambiente virtuale

**Tabella 3.2:** Domande sulla presenza

L'obiettivo di tale questionario è quello di poter confrontare quanto i diversi ausili alla navigazione vadano ad impattare il senso di presenza all'interno dell'ambiente virtuale.

### 3.5.3 Questionario Finale

Alla fine dell'esperienza, al partecipante viene richiesto di rispondere ad un questionario per la valutazione dell'usabilità dell'intero sistema attraverso alcune domande

dal questionario *VRUSE* [18]. Queste domande sono mostrate nelle tabelle 3.3 e 3.4.

<b>Chiarezza dell'Interfaccia</b>
1 (Fortemente in disaccordo), 3 (Neutrale), 5 (Fortemente d'accordo)
Ho trovato l'interfaccia facile da usare
Non ho avuto bisogno di ulteriore assistenza
Sono rimasto confuso dal funzionamento dell'interfaccia
L'interfaccia era molto stabile e affidabile
Il livello di funzionalità (controllo) fornito dall'interfaccia era appropriato per il compito da svolgere
La funzionalità fornita dall'interfaccia era ambigua
Avrei preferito un'interfaccia alternativa per svolgere l'attività
Quanto è stata impegnativa mentalmente l'attività considerando l'interfaccia utilizzata per svolgerla?
L'interfaccia utilizzata per svolgere il compito specifico era soddisfacente
L'interfaccia si è comportata come mi aspettavo

**Tabella 3.3:** Domande sulla presenza

<b>Efficacia dell'Interfaccia</b>
1 (Fortemente in disaccordo), 3 (Neutrale), 5 (Fortemente d'accordo)
L'interfaccia era troppo complicata da utilizzare in modo efficace
L'interfaccia forniva protezione contro gli errori banali
Non era possibile commettere errori stupidi
Continuavo a fare errori durante la navigazione dell'ambiente virtuale
Non ero consapevole di commettere errori
Spesso non sapevo dove mi trovavo nell'ambiente virtuale
Mi sono divertito a svolgere i compiti

**Tabella 3.4:** Domande sull'efficacia

Infine, il partecipante ha la possibilità di lasciare un commento su qualsiasi aspetto dell'esperimento.

## 3.6 Protocollo Sperimentale

### 3.6.1 Preparazione

Per ogni esperimento, il primo step da eseguire all'arrivo del partecipante consiste in una breve introduzione alla ricerca e al task che andrà a svolgere.

*Quella che stai andando a provare è un'applicazione in realtà virtuale. L'applicazione si compone di due tipologie di mappe: un labirinto e una mappa aperta. Per ogni mappa, ne proverai una versione senza alcun ausilio alla navigazione ed una con l'ausilio alla navigazione Freccia 3D/Outline.*

*Prima di cominciare con il test, dovrai compilare un questionario con alcune informazioni anagrafiche e riguardanti la tua esperienza con applicazioni 3D. Dopo ogni step, ti verrà richiesto di rimuovere il visore e compilare un questionario riguardante la qualità dell'ambiente appena provato.*

*Quando l'applicazione partirà, ci sarà una scena iniziale in cui prendere familiarità con i controlli. Una volta a tuo agio, sarai pronto per procedere con l'esperimento.*

*Se avessi problemi con il concludere l'esperimento, puoi chiedere di fermare l'applicazione in qualsiasi momento senza dover dare alcuna spiegazione.*

Lo studio comincia raccogliendo informazioni personali sul partecipante, come età, genere, esperienza con la realtà virtuale, dopo aver firmato un modulo di consenso. Al partecipante viene poi richiesto di prendere posto su una posizione fissa. Una volta a proprio agio, vengono spiegati all'intervistato i controlli principali. In seguito, viene aiutato ad indossare il visore HMD e tenere i controller.

### 3.6.2 Esecuzione

Il ricercatore esegue l'applicazione, inserendo nei relativi campi della scena *Main Menu* l'ID del partecipante e il seed del test. Inoltre, vengono riordinati gli ausili alla navigazione e le mappe in base all'ordine stabilito secondo un *latin square*, come rappresentato in tabella 3.1. In seguito, il ricercatore preme il pulsante *Start* e fa partire l'esperienza. Una volta che la scena viene caricata, il ricercatore spiega al partecipante il suo obiettivo e funzionalità dell'ausilio alla navigazione che andrà a testare in quel momento.

*L'obiettivo è la ricerca di un forziere del tesoro all'interno della mappa. Nel Dungeon, questo si trova all'interno di una stanza dedicata e*

*facilmente riconoscibile. Non è quindi nascosto dietro ad altri oggetti o in posizioni poco visibili. Nella Mappa Aperta l'obiettivo è il solito, con l'eccezione che si troverà sparso per la mappa.*

*L'ausilio alla navigazione Freccia consiste in una freccia ben visibile la cui direzione è quella del forziere.*

*L'ausilio alla navigazione Outline evidenzia il waypoint successivo sul percorso tra la tua posizione e l'obiettivo.*

Dopo che il partecipante ha capito l'obiettivo e la modalità dell'esperimento corrente, il ricercatore farà partire il test premendo il bottone *Esecuzione Scena*. Al termine di ogni test, viene chiesto al partecipante di rispondere ad un questionario basato sull'ausilio alla navigazione appena utilizzato.

### **3.6.3 Termine**

Al termine di tutti i test, il ricercatore aiuta il partecipante a togliere il visore e lo invita a rispondere al questionario di fine esperienza, descritto nelle tabelle 3.3 e 3.4. Oltre a questo, se di suo grado, l'utente può rilasciare un commento generale sull'esperienza.

# Capitolo 4

## Lavoro Svolto

### 4.1 Ausili alla navigazione

Per garantire di poter confrontare la propria *navigation aid* con altre, ne sono state proposte alcune tra le più utilizzate in letteratura [10][8].

Per una fruizione immediata all'interno del progetto, sono stati realizzati dei *Prefab* già impostati correttamente da poter inserire direttamente in scena.

#### 4.1.1 Baseline

Fornisce uno scenario base che prevede che non vi sia alcun ausilio alla navigazione. Questa condizione è necessaria affinché si possa affermare che la propria soluzione sia o meno efficace.

### 4.1.2 Freccia 3D



**Figura 4.1:** Freccia 3D

Fornisce una rappresentazione di una freccia in uno spazio tridimensionale, al fine di fornire indicazioni direzionali o suggerimenti di orientamento agli utenti. Viene comunemente utilizzata in ambienti virtuali per assistere agli utenti nella navigazione. Nel caso specifico di questa tesi, il modello della freccia viene proiettata al centro della vista dell'utente, e il suo orientamento varia dinamicamente verso la direzione dell'obiettivo corrente.

Presentando una freccia 3D come ausilio alla navigazione, gli utenti possono comprendere rapidamente e intuitivamente la direzione desiderata, facilitando la navigazione in ambienti complessi, individuando punti di interesse specifici o seguendo percorsi predefiniti.

Il modello 3D della freccia è stato realizzato sul software di modellazione Blender ed esportato in seguito su Unity. Ad esso è stato successivamente applicato un materiale semitrasparente in modo tale che sia visibile anche quando occluso.

### 4.1.3 Outline

Questo ausilio alla navigazione consiste nel mettere in evidenza i vari waypoint presenti sul percorso dalla posizione dell'utente a quella dell'arrivo. Ad ogni aggiornamento della posizione dell'utente, viene calcolato il waypoint più vicino all'utente e all'obiettivo da raggiungere, e questo viene messo in evidenza mediante uno shader di *outline*.



**Figura 4.2:** Outline

Il materiale si basa su un *vertex shader* che renderizza il contorno degli oggetti estrudendoli e invertendone le normali, secondo una tecnica conosciuta come *inverted hull*. Per non avere discontinuità dovute agli *hard edge*, è stata applicata una fase di pre-processing col compito di smussare le normali.

## 4.2 Software

Il framework di testing si basa su tre classi principali, *GameManager*, *FileLogger*, e *AffordanceHandler*.

### 4.2.1 GameManager

La classe *GameManager* contiene lo stato corrente dell'esperienza. Permette di tracciare attraverso le diverse scene le sessioni effettuate e quelle future. Oltre a questo, espone al resto delle classi l'identificativo dell'utente, la scena e l'ausilio alla navigazione corrente. Definisce anche un *enum* contenente tutti gli ausili alla navigazione nell'applicazione.

È la classe che gestisce il cambio di scena e di affordance. Ogni volta che viene completata una scena *Dungeon* o una *OpenMap*, il *GameManager* carica una scena vuota per bloccare il flusso del test e permettere all'utente di compilare il questionario post-sessione. Una volta compilato, è possibile passare alla successiva coppia di test premendo sul bottone relativo.

La lista delle scene e affordance da utilizzare viene caricata dal *MenuController* in base alle impostazioni nella scena *MainMenu*.

### 4.2.2 FileLogger

La classe *FileLogger* implementa un *Singleton* allo scopo di permettere di scrivere su file le metriche relative alle sessioni di test dell'applicazione. Espone due funzioni, *SaveEvent* e *SavePositionEvent*, che permettono di scrivere una stringa basata sul parametro *event* ricevuto in input, all'interno di un file contenuto in *path*. La funzione *SaveEvent* permette di salvare l'inizio e la fine di ogni sessione (nel campo *eventName*), con relativo *PlayerID*, nome della scena, affordance utilizzata e tempo dall'inizio dell'applicazione, al fine di calcolare il tempo impiegato per ciascuna scena. La funzione *SavePositionEvent* permette invece di salvare su file le posizioni successive dell'utente. La classe espone anche due funzioni, *StartLogPositions* e *StopLogPositions*, rispettivamente per iniziare e terminare il logging delle posizioni successive dell'utente durante l'esperienza.

#### BaseEvent

Per poter incapsulare i dati necessari per i log su file, è stata realizzata una classe *serializable* definita come *BaseEvent*. La classe contiene i seguenti campi:

- *dateTime*: un *TimeStamp* del log
- *playerID*: l'ID dell'utente attuale
- *eventName*: il nome dell'evento
- *affordance*: l'ausilio alla navigazione corrente
- *scene*: la scena corrente

- `timeSinceStartup`: il tempo reale in secondi dall'inizio dell'applicazione

Per poter effettuare il log del percorso intrapreso dall'utente e del miglior percorso per quella mappa, la classe *BaseEvent* è stata ereditata dalla classe *PositionEvent* che oltre ai campi disponibili aggiunge il campo *PlayerPosition*.

### 4.2.3 AffordanceHandler

La classe *AffordanceHandler* si occupa della gestione dei *Prefab* relativi alla Visual Affordance corrente. All'interno della funzione *SetupCurrentAffordance* vengono eseguite tutte le inizializzazioni necessarie in base all'*Affordance* corrente, ritornata da *GameManager.CurrentAffordance*.

### 4.2.4 HeatmapDrawer

La classe *HeatmapDrawer* espone un'interfaccia per disegnare una *heatmap* basata sulle successive posizioni dell'utente. In particolare, questa effettua il parsing dei log in base alla scena attuale e alla *visual affordance* selezionata, ottenendo una lista di tutte le posizioni successive degli utenti. In seguito, effettua un merge delle posizioni utilizzando una *HashMap*, ottenendo una struttura contenente per ogni posizione il numero delle volte che è stata visitata durante i test. I dati così raccolti sono poi passati ad uno shader che ne effettuerà il rendering su un piano semitrasparente.

E' presente anche un valore booleano che permette di selezionare se disegnare la heatmap riguardante tutti i percorsi degli utenti oppure se disegnare solamente il percorso migliore.

Per rendere disponibile la visualizzazione della heatmap senza eseguire l'applicazione è stato realizzato un *CustomInspector* dedicato che permette di richiamare la funzione *DrawHeatmap* da editor con un semplice bottone.

### 4.2.5 Interfacce Grafiche

Per poter utilizzare al meglio l'applicazione e per lasciare il più possibile controllo dell'applicazione all'utente, sono state realizzate diverse *script* relativi al comportamento dell'interfaccia.

Tutte queste interfacce sono realizzate per assistere il ricercatore durante i test, e sono dunque invisibili per gli utenti.

## MenuController

La classe *MenuController* è responsabile della gestione del menu principale. Definisce il comportamento quando l'utente va a selezionare i bottoni *Start Tutorial* e *Start First*.

Una volta selezionato uno dei due bottoni, *MenuController* va a validare il campo *User ID* del form. Se valido, vengono inseriti nel *GameManager* gli ausili alla navigazione e le scene selezionate, in modo tale da essere eseguite in ordine dall'alto verso il basso, da sinistra verso destra. Se il bottone premuto è *Start Tutorial*, verrà inserita la scena tutorial come prima; altrimenti saranno caricate nel *GameManager* solamente l'ausilio alla navigazione e le mappe sulla prima riga.

## DragController

La classe *DragController* permette all'utilizzatore di poter riordinare facilmente tramite *drag and drop* gli ausili alla navigazione e le scene secondo l'ordine stabilito per i test. Ne sono state realizzate due sottoclassi, *VisualAffordanceDragController* e *SceneDragController*, rispettivamente per rappresentare un ausilio alla navigazione o una scena.

## 4.3 Scene Realizzate

### 4.3.1 Menù Principale

The screenshot shows the main menu for NAVITEST (Navigational Visual Aid Testing Framework). At the top, there is a title bar with 'NAVITEST' and 'Navigational Visual Aid Testing Framework'. Below the title bar is a 'User ID' input field. The main content area is divided into three columns: 'Visual Affordances', 'Dungeon', and 'Open Map'. Each column contains a list of options with checkboxes. At the bottom, there are two buttons: 'Start Tutorial' and 'Start First'.

Visual Affordances	Dungeon	Open Map
<input checked="" type="checkbox"/> None	<input checked="" type="checkbox"/> Dungeon A	<input checked="" type="checkbox"/> Open Map A
<input checked="" type="checkbox"/> Arrow 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Dungeon B	<input checked="" type="checkbox"/> Open Map B
<input type="checkbox"/> Outline		

Start Tutorial      Start First

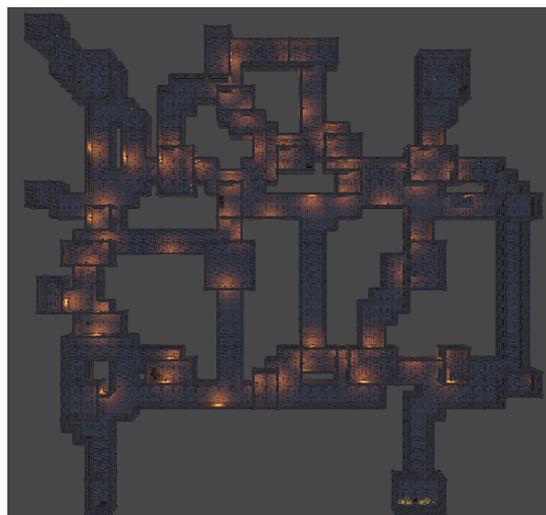
Figura 4.3: Menù principale

Nel menù principale è possibile impostare l'identificativo dell'utente corrente e definire l'ordine in cui l'utente andrà ad affrontare le diverse scene e affordances, con la possibilità di eseguirle in ordine oppure eseguire solo il primo scenario con la prima affordances in base all'ordine in cui sono posizionate le rispettive interfacce visuali.

### 4.3.2 Dungeon



**Figura 4.4:** Mappa Dungeon A



**Figura 4.5:** Mappa Dungeon B

La prima tipologia di mappa proposta è una mappa chiusa rappresentante un labirinto (chiamato successivamente dungeon) generato proceduralmente basato su stanze e corridoi. Per la generazione procedurale della scena del dungeon, ci si è basati sul codice fornito dall'utente Github vazgriz <sup>1</sup>, riadattato successivamente per il supporto di stanze custom. L'algoritmo funziona nel seguente modo:

1. Le stanze vengono posizionate in modo arbitrario, in modo che non si sovrappongano l'una all'altra. Non servono stanze di dimensioni o posizioni specifiche, quindi si è optato per posizione e dimensione casuale, limitate dai parametri in input. Per garantire che le stanze non si tocchino, viene utilizzato uno span di 1 unità di larghezza su ogni lato.

---

<sup>1</sup><https://github.com/vazgriz/DungeonGenerator>

2. Utilizzando l'algoritmo di Bowyer-Watson, viene costruito un grafico di triangolazione di Delaunay delle stanze.
3. A partire dalla triangolazione, viene creato un *Minimum Spanning Tree* (MST). In questo caso, è stato usato l'algoritmo di Prim. L'MST garantisce che ogni stanza sia raggiungibile. Tuttavia, essendo un albero, non contiene cicli, e dunque esiste un solo percorso da una stanza a qualsiasi altra stanza.
4. Ripercorrendo ogni edge dell'albero del passo precedente viene creato un elenco di corridoi. L'albero contiene tutte le stanze, per cui è possibile creare una lista di corridoi garantendo l'esistenza di un percorso per ogni stanza. A questi, vengono aggiunti dei corridoi casuali al fine di avere più di un possibile percorso disponibile tra due stanze.
5. Per ogni corridoio dell'elenco, viene utilizzato l'algoritmo A\* per trovare il percorso dal nodo di partenza del corridoio a quello di fine.

Grazie alla possibilità di generare proceduralmente dungeon basati su dimensioni della mappa, numero di stanze e seed casuale, sono state facilmente realizzate tre versioni diverse. A queste mappe sono stati aggiunti anche alcune decorazioni, come tavoli, sedie o camini, in modo tale da facilitare l'utente al riconoscere di avere già visitato una certa stanza.

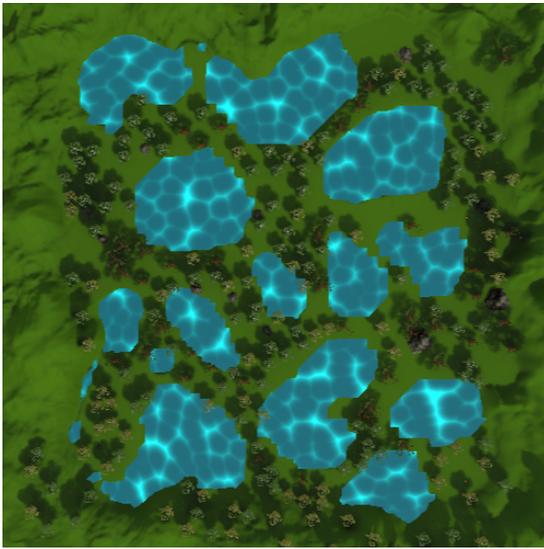
### 4.3.3 Open Map

Al fine di poter studiare il comportamento dell'utente in un ambiente senza eccessive limitazioni di movimento, è stata progettata una tipologia di mappa che permettesse un movimento più libero possibile.

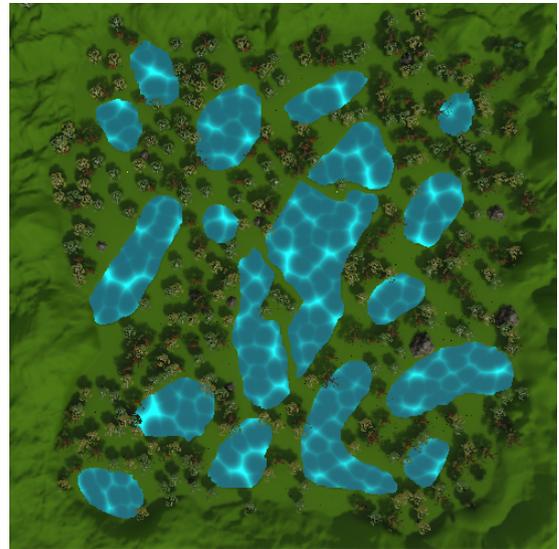
In particolare, sono state realizzate due versioni simili di una mappa rappresentante un bosco con alcuni corsi d'acqua e laghi al loro interno, al fine di simulare una mappa di un'applicazione reale con ampia visibilità, con più percorsi possibili ma non del tutto lineari.

### 4.3.4 Heatmap

Si tratta di una serie di scene sviluppate per poter studiare il movimento degli utenti durante l'uso di una certa affordance in una particolare mappa. Permette di visualizzare rapidamente una heatmap rappresentante il percorso effettuato dagli utenti durante i vari test, disegnata su un piano semitrasparente, e di poterla confrontare in maniera immediata con la mappa stessa e con il miglior percorso per raggiungere l'obiettivo. Il rendering della heatmap è gestito dalla classe *HeatmapDrawer* e basato sui log relativi al percorso impiegato dagli utenti, i cui dati vengono estratti, compattati e infine renderizzati tramite uno *shader* custom.



**Figura 4.6:** Mappa Open Map A



**Figura 4.7:** Mappa Open Map B

# Capitolo 5

## Risultati

Tutte le prove sono state eseguite su un calcolatore con le seguenti caratteristiche:

- Processore: Intel(R) Core(TM) i5-9300H CPU 2.4 GHz
- Scheda grafica: NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti
- Memoria RAM installata: 16 GB
- Memoria principale installata: SSD 1 GB
- Sistema operativo: Windows 11 Home

### 5.1 Dati Raccolti

I campioni raccolti rappresentano 22 candidati da 21 a 32 anni, con un'età media di circa 26 anni. I candidati hanno partecipato volontariamente, senza alcuna ricompensa economica, e sono stati scelti casualmente tra studenti e dottorandi del Politecnico di Torino.

Per quanto riguarda l'esperienza con dispositivi di Realtà Virtuale:

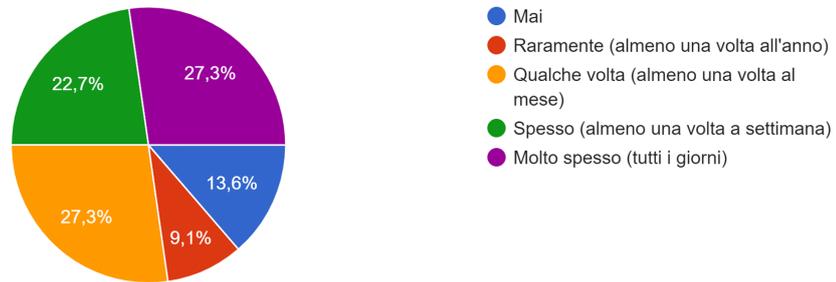
- 27.3% non avevano mai utilizzato applicazioni di Realtà Virtuale
- 18.2% hanno affermato che potrebbe essere capitato loro di utilizzare strumenti di Realtà Virtuale
- 18.2% a volte utilizzano strumenti di Realtà Virtuale
- 27,3% usano spesso tool di Realtà Virtuale
- 9.1% usano applicazioni di Realtà Virtuale tutti i giorni

Trasponendo le risposte in una scala Likert a 5 punti, per l'esperienza con dispositivi di Realtà Virtuale la media è di 2.81, con una deviazione standard di 1.36.

In seguito, è stato chiesto agli utenti quale fosse la loro esperienza con i videogiochi con modalità d'interazione diverse dalla VR e quanto spesso siano soliti utilizzare sistemi 3D come Unity, Blender, Unreal o Maya. I risultati sono visibili rispettivamente nei grafici in figura 5.1 e 5.2.

Quanto spesso giochi a videogiochi usando modalità d'interazione diverse dalla VR?

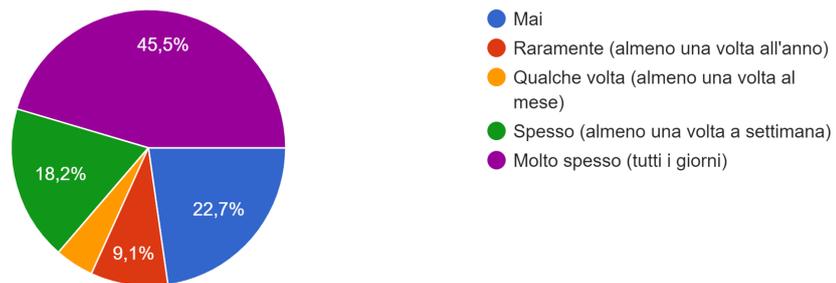
22 risposte



**Figura 5.1:** Fruizione di videogiochi 3D dei partecipanti

Quanto spesso usi sistemi 3D come Unity, Blender, Unreal, Maya?

22 risposte



**Figura 5.2:** Utilizzo di software 3D da parte dei partecipanti

L'alta percentuale di utenti che utilizzano spesso sistemi di Realtà Virtuale o software 3D può essere spiegata dal fatto che la maggior parte dei partecipanti

ai test ha studiato o studia attualmente Ingegneria Informatica o Ingegneria del Cinema.

## 5.2 Valutazione dell'Esperienza

La valutazione soggettiva complessiva dell'esperienza è stata soddisfacente. Il 95% dei soggetti ha ammesso di essere soddisfatto positivamente dall'interfaccia, con una media di 4.41 e di essersi divertito durante l'esperienza, con una valutazione media di 4.63.

Nel dettaglio, il valore medio ottenuto dal *Usability Factor 9 Sense of Immersion/Presence* definito nel questionario VRUSE [18], è stato 4.16, basato su una scala Likert su 5 punti.

## 5.3 Valutazione degli Ausili alla Navigazione

Gli ausili alla navigazione proposti sono stati valutati secondo alcune metriche soggettive derivate da alcune domande raccolte dal questionario VRUSE [18] e alcune metriche oggettive come tempo impiegato per completare una scena e distanza percorsa. In particolare, secondo i dati raccolti dai questionari 3.3 e 3.4, questi sono stati valutati in termini di chiarezza ed efficacia.

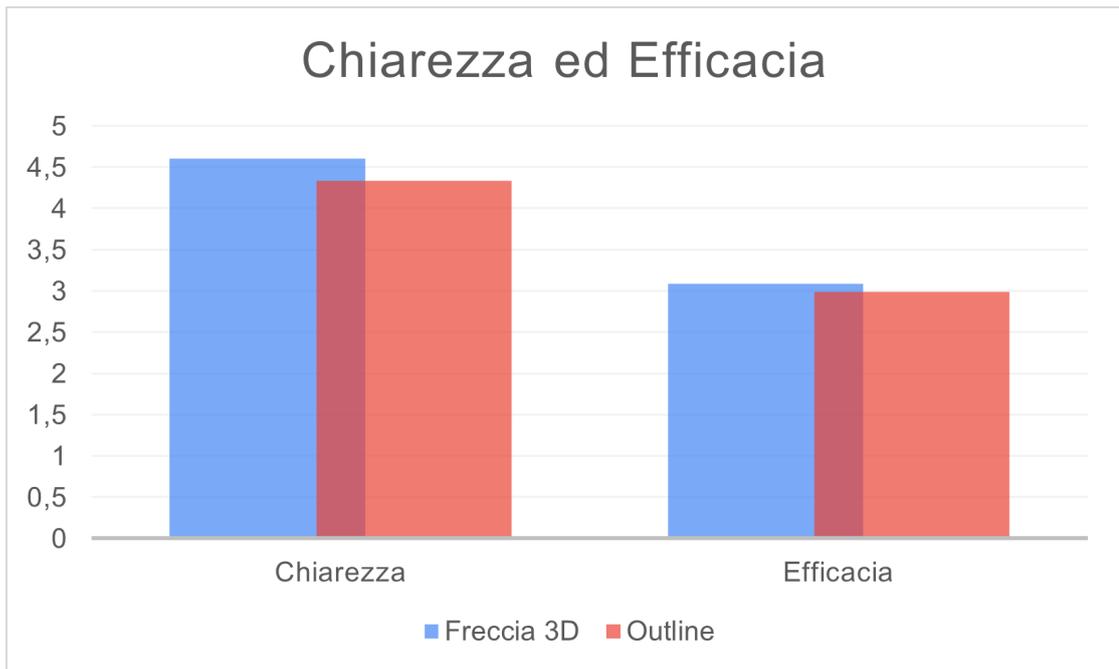
### 5.3.1 Presenza

Per valutare il fattore di presenza per ciascuno degli ausili alla navigazione, è stato proposto un questionario di valutazione della presenza derivato dal VRUSE [18]. Un *t-test* sulla presenza e sul tipo di mappa ha ottenuto un *p-value* di 0.93, permettendo di affermare che la presenza totale del test non dipende dal tipo di mappa. Le medie di presenza per ciascuna tipologia di mappa sono di 4.244 per i Dungeon, e 4.256 per le Mappe Aperte, con una media totale di 4.25 e una deviazione standard di 0.38.

### 5.3.2 Chiarezza ed Efficacia

È possibile vedere una comparazione di efficacia e chiarezza dei singoli ausili alla navigazione nell'immagine 5.3.

Per quanto riguarda l'ausilio alla navigazione "Freccia 3D", i valori ottenuti sono 4.59 per la chiarezza, con una deviazione standard di 0.26; e 3.07 per l'efficacia con una deviazione standard di 0.26. Per quanto riguarda invece l'ausilio alla navigazione "Outline", i valori ottenuti sono 4.36 per la chiarezza, con una deviazione standard di 0.45; e 2.99 per l'efficacia con una deviazione standard di 0.21.



**Figura 5.3:** Chiarezza ed efficacia per ausilio di navigazione

### 5.3.3 Distanza Percorsa e Tempo Impiegato

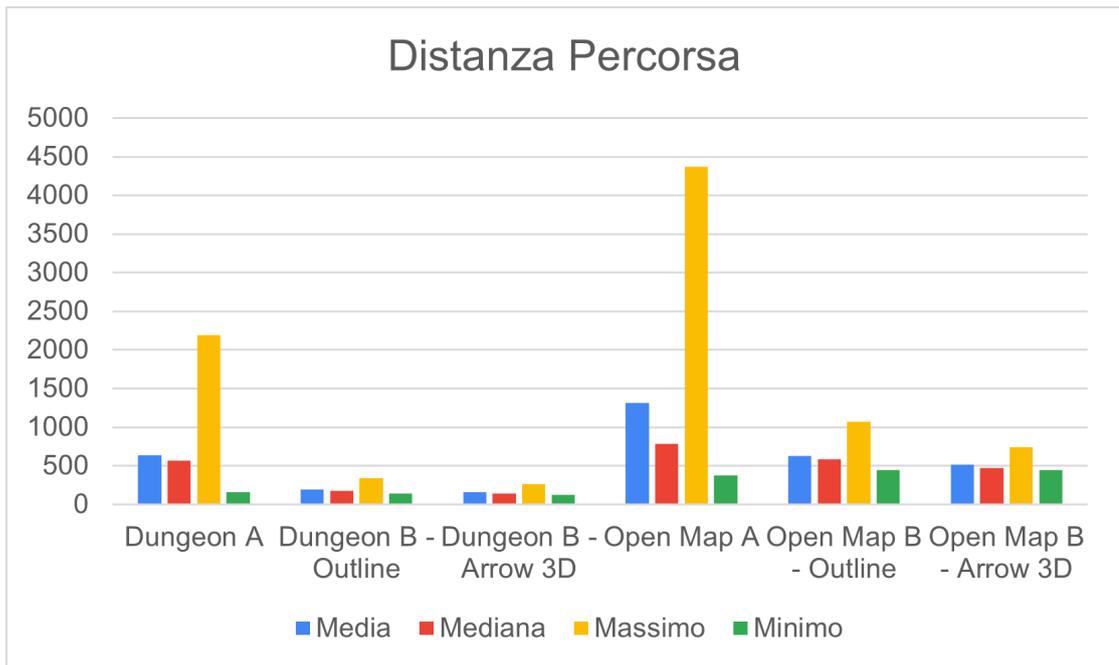
Nel corso di ogni test, sono stati raccolti per ogni mappa i tempi di completamento e il percorso intrapreso. Questi dati sono stati poi pre-processati, divisi per affordance e mappa, ed importati sul software d'analisi. Dall'analisi di questi dati è risultato una significativa diminuzione dei tempi medi e della distanza percorsa per portare a compimento la mappa. È possibile visualizzare media, mediana, massimo e minimo per le distanze percorse e per i tempi impiegati rispettivamente nel grafico 5.4 e nel grafico 5.5.

#### Heatmap

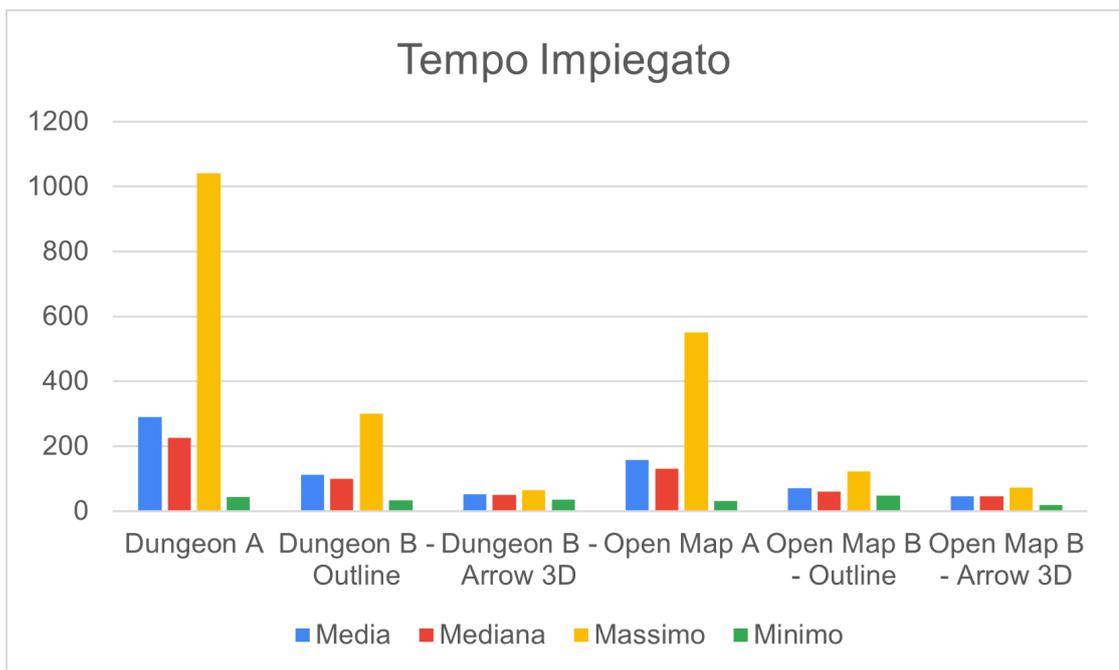
Per avere una metrica qualitativa di paragone immediato tra i percorsi effettuati usando i due diversi ausili alla navigazione e come essi si comportano, le posizioni successive dei partecipanti sono state utilizzate per renderizzare delle heatmap.

Com'è possibile vedere nelle immagini 5.6 e 5.7, senza alcun ausilio alla navigazione la ricerca è casuale: per prima cosa gli utenti tendono ad esplorare i confini della mappa, e poi imparano a concentrarsi su punti d'interesse incontrati o meno.

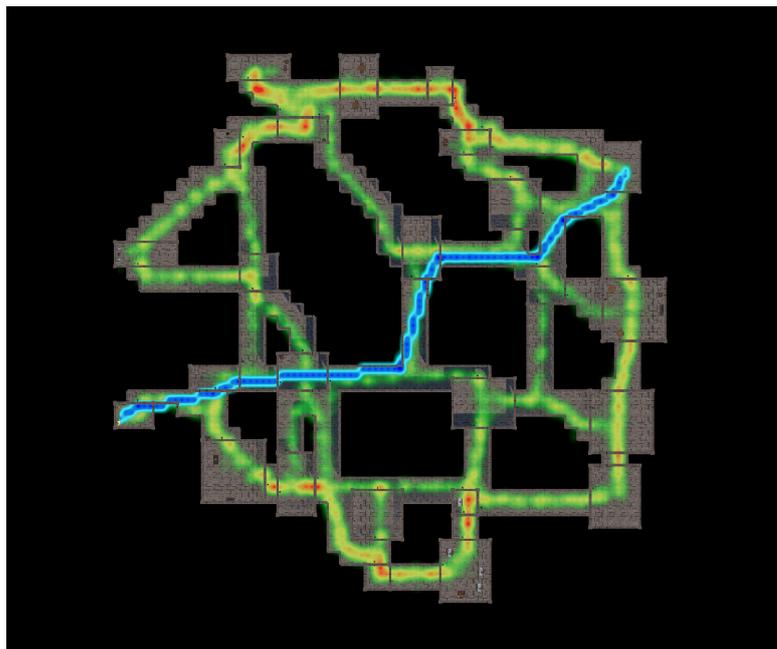
Nelle immagini 5.8 e 5.9 è possibile osservare la heatmap generata dai cammini dei partecipanti ai test utilizzando l'ausilio alla navigazione "Freccia 3D", comparata con una heatmap generata basandosi sul percorso migliore per quella mappa. Si



**Figura 5.4:** Distanze percorse dagli utenti nelle varie mappe



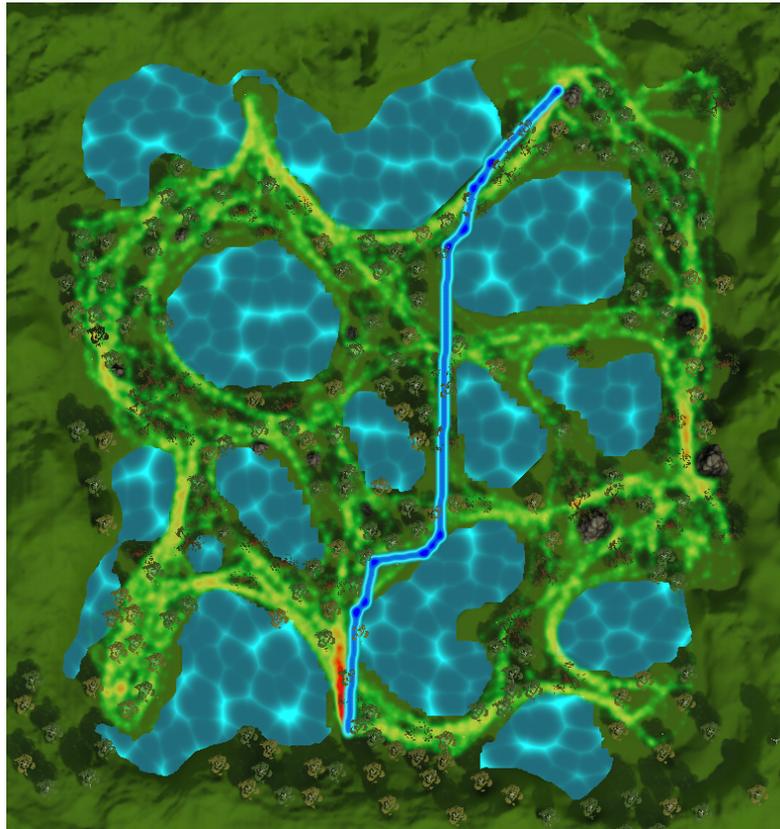
**Figura 5.5:** Tempi impiegati dagli utenti nelle varie mappe



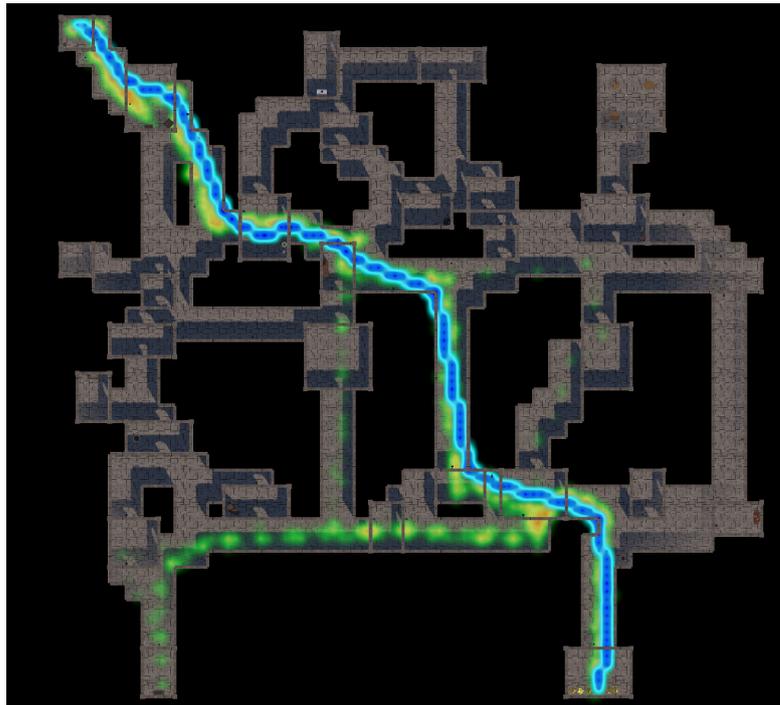
**Figura 5.6:** Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa DungeonA senza alcun ausilio alla navigazione

può notare che la “Freccia 3D”, indicando la direzione assoluta verso l’obiettivo, permetta ai partecipanti di dirigersi in maniera diretta verso di esso, rendendo più raro lo smarrimento. Tuttavia nel Dungeon, essendo un ambiente chiuso e ristretto con molti muri, alcuni utenti hanno trovato difficoltà nel capire quale direzione prendere per aggirare un particolare ostacolo.

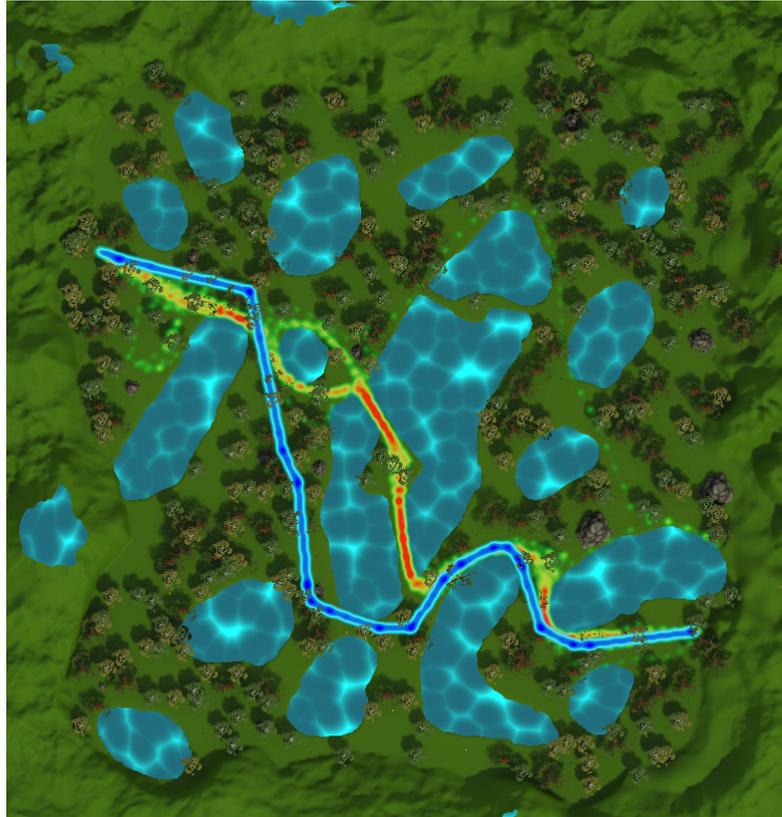
Nelle immagini 5.10 e 5.11 è possibile osservare la heatmap generata dai cammini dei partecipanti ai test utilizzando l’ausilio alla navigazione “Outline”, comparata con una heatmap generata basandosi sul percorso migliore per quella mappa. In questo caso si può notare che il percorso intrapreso dagli utenti, si discosta particolarmente da quello evidenziato come migliore, ovvero il più breve. Questo perché la tecnica utilizzata consiste nella ricerca del prossimo waypoint in base alla posizione corrente dell’utente; quello che ne deriva è che il risultato sarà un ottimo locale, non globale. Per quando concerne invece la Mappa Aperta, il risultato è molto simile a quello ottenuto con l’uso dell’ausilio “Freccia 3D”.



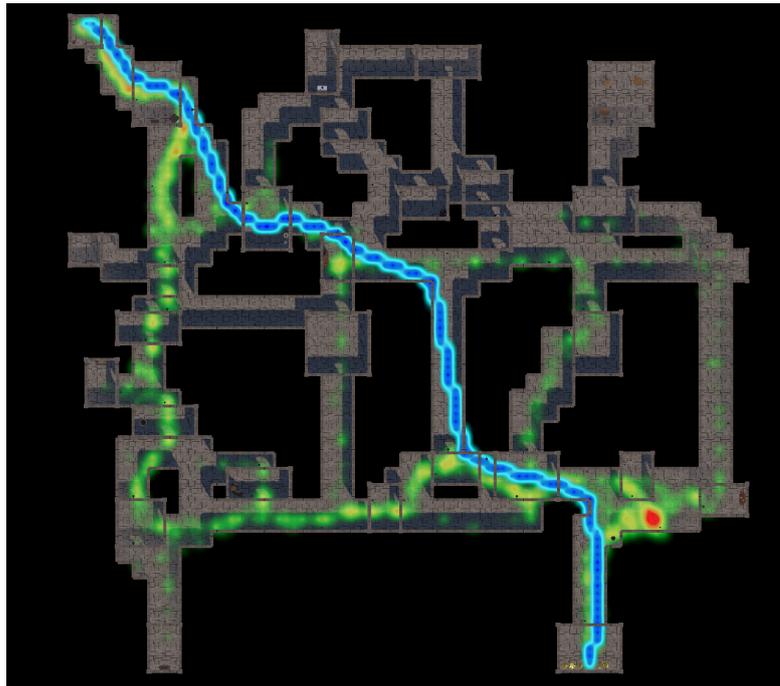
**Figura 5.7:** Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa OpenMapA senza alcun ausilio alla navigazione



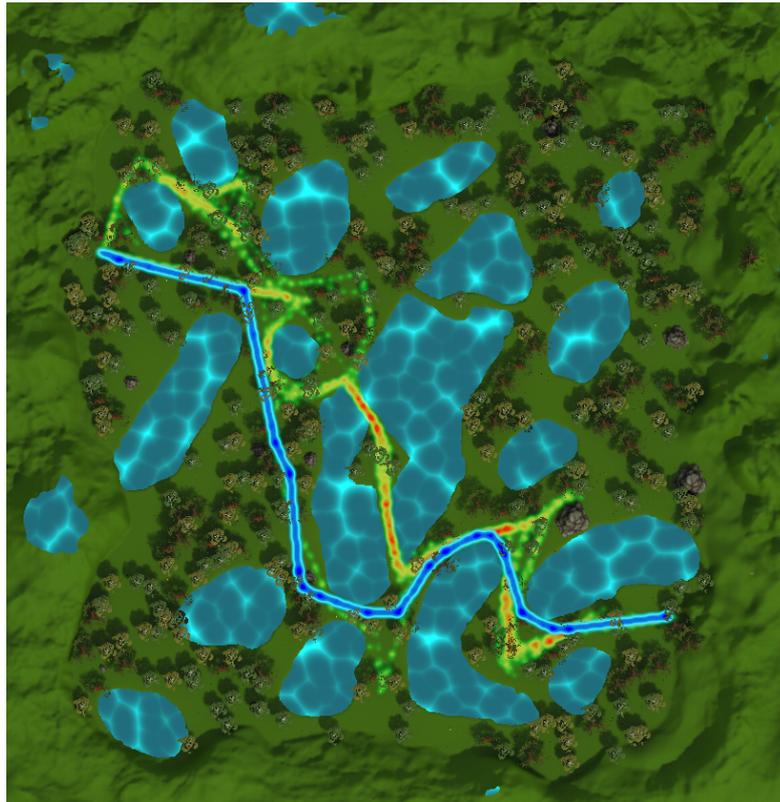
**Figura 5.8:** Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa DungeonB con l'ausilio alla navigazione "Freccia 3D"



**Figura 5.9:** Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa OpenMapB con l'ausilio alla navigazione "Freccia 3D"



**Figura 5.10:** Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa DungeonB con l'ausilio alla navigazione "Outline"



**Figura 5.11:** Heatmap generata dai percorsi degli utenti e dal percorso migliore nella mappa OpenMapB con l'ausilio alla navigazione "Outline"

# Capitolo 6

## Conclusioni

### 6.1 Discussione dei risultati

Il lavoro di questa tesi ha portato all'elaborazione di un framework di test per gli ausili alla navigazione e ha introdotto l'outline come metodo innovativo per questo fine.

Qui di seguito alcuni commenti lasciati dai partecipanti ai test.

*Nel dungeon sono stati importanti gli oggetti distribuiti nelle stanze ai fini dell'orientamento senza l'utilizzo di affordance, ma è stato comunque molto difficile riuscire nel compito senza l'ausilio della affordance. L'ambiente della mappa aperta è stato molto piacevole graficamente.*

*Il confronto è interessante per quanto riguarda l'aspetto della navigazione. L'aggiunta di molteplici modalità di navigazione potrebbe a parer mio essere fruttuosa a livello di ricerca e per stimolare nuovi confronti.*

*Esperienza molto soddisfacente e funzionale a livello immersivo.*

*Mi sono divertito, era molto realistico.*

Considerando che i risultati ottenuti tramite i questionari per quanto riguarda la qualità dell'ambiente e dell'esperienza sono stati molto soddisfacenti, si può affermare che gli ambienti proposti sono validi per lo scopo.

Per quanto riguarda le ipotesi iniziali i risultati sono i seguenti:

- *Ipotesi 1: entrambi gli ausili alla navigazione migliorano le performance degli utenti.* I risultati riguardanti la distanza percorsa e il tempo impiegato permettono di affermare che questa ipotesi è stata verificata. Infatti, sia nel caso delle due mappe *Dungeon*, sia nel caso delle due mappe *OpenMap* la distanza percorsa e il tempo impiegato sono diminuiti drasticamente con

l'introduzione delle affordance. È interessante notare che non c'è una differenza significativa tra i due tipi di affordance, dunque entrambe si rivelano utili allo stesso modo. Inoltre, per quanto riguarda la distanza percorsa, è evidente che questa è minore nelle mappe di tipo *Dungeon* rispetto alle mappe di tipo *OpenMap* sia senza l'impiego di affordance sia con esse. Per quanto riguarda il tempo impiegato, invece, non si evidenziano grandi differenze fra i due tipi di mappa nel momento in cui sono introdotti gli ausili alla navigazione.

- *Ipotesi 2: l'uso di un'interfaccia semi-diegetica come l'outline porta ad una sensazione di presenza più alta rispetto alla freccia 3D.* Considerando che i risultati riguardanti la presenza sono molto alti per entrambi i tipi di ausili alla navigazione testati, questa ipotesi non risulta verificata. Vi è infatti una differenza non significativa tra la presenza percepita per le mappe *Dungeon* e *Mappa Aperta* con l'uso di entrambi gli ausili alla navigazione

## 6.2 Sviluppi Futuri

Il lavoro descritto in questa tesi non si pone l'obiettivo di dare una risposta definitiva al problema dello studio degli effetti degli ausili alla navigazione sugli utenti. Dovrebbe invece rappresentare un punto di inizio. Infatti, sono necessari alcuni sviluppi futuri per rendere lo studio più rilevante. Per prima cosa, potrebbe essere utile un sistema di *eye-tracking* per poter tracciare cosa colga effettivamente l'attenzione dell'utente. Alcuni utenti hanno infatti affermato che l'ausilio alla navigazione utilizzato sia stato molto utile e divertente, ma che, focalizzandosi prevalentemente su di esso, la loro attenzione all'ambiente virtuale ne sia risultata ridotta.

[...] *La affordance ha comportato una piccola perdita dell'immersività ma una maggiore focalizzazione sul compito da svolgere (e meno sull'ambiente).;*

[...] *Senza suggerimenti avevo più consapevolezza di dov'ero e cosa stavo facendo mentre con il suggerimento attivo mi sono concentrato più sull'obiettivo.*

*Il metodo usato per la navigazione è molto efficace per eseguire il percorso A-B. Con la navigazione assistita però l'attenzione viene posta esclusivamente sulla ricerca della lanterna successiva perdendo un po' di vista l'ambientazione.*

*Ho trovato l'esperienza più immersiva quando non c'era l'interfaccia a guidarmi, in quanto dovevo essere io a fare attenzione a quello che mi circondava per trovare dei punti di riferimento.*

Un'altra possibilità potrebbe essere uno studio più approfondito di alcune caratteristiche comportamentali dei partecipanti ai test, prendendo in considerazione il tipo di giocatore [19] e le sue capacità [20]. Questo potrebbe portare all'analisi di quale sia l'interesse principale dell'utente, per esempio esplorare il più possibile la mappa oppure arrivare all'obiettivo nel minor tempo possibile. Infine, sono necessari ulteriori test per poter validare ulteriori ipotesi ed ottenere più dati sugli utenti.

Infine, la sezione commenti del questionario finale ha permesso di raccogliere consigli molto utili per possibili sviluppi futuri:

- l'introduzione di più mappe diverse, per poter confrontare gli ausili in ambienti differenti, magari derivanti da applicazioni pubblicate
- più interfacce alternative, come una bussola o una messa in evidenza del percorso mediante sistemi particellari

In conclusione, questo lavoro ha introdotto il problema del testing per ausili alla navigazione in ambienti virtuali immersivi, comparando tra di loro una tecnica utilizzata spesso in letteratura ed una nuova concettualizzata durante lo studio dello stato dell'arte. L'applicazione è stata apprezzata dagli utenti e gli ausili alla navigazione sono dimostrati essere efficaci ed hanno ottenuto un buon riscontro da parte dei soggetti che hanno preso parte ai test.

# Appendice A

## Listati

**Listing A.1:** Funzione DrawHeatmap per effettuare il rendering su piano

```
1 public void DrawHeatmap()  
2 {  
3     ResetArrays();  
4  
5     if (bestPath)  
6     {  
7         ParseBestPathFile();  
8     }  
9     else  
10    {  
11        ParseFile();  
12    }  
13  
14    MergeAndNormalizeValues();  
15  
16    UpdateMaterial();  
17 }
```

**Listing A.2:** Custom Editor per effettuare il rendering della Heatmap da Editor

```
1 [CustomEditor(typeof(HeatmapDrawer))]  
2 public class HeatmapInspector : Editor  
3 {  
4     public VisualTreeAsset InspectorXML;  
5  
6     public override VisualElement CreateInspectorGUI()  
7     {  
8         VisualElement myInspector = new VisualElement();  
9  
10        // Load and clone a visual tree from UXML;  
11        InspectorXML.CloneTree(myInspector);  
12    }  
13 }
```

```

12     VisualElement inspectorFoldout = myInspector.Q("
13     Default_Inspector");
14     InspectorElement.FillDefaultInspector(inspectorFoldout,
15     serializedObject, this);
16
17     Button button = myInspector.Q<Button>("Button");
18
19     button.RegisterCallback<ClickEvent>(OnDrawButtonClick);
20
21     return myInspector;
22 }
23 private void OnDrawButtonClick(ClickEvent evt)
24 {
25     if (evt.currentTarget is Button button)
26     {
27         button.SetEnabled(false);
28         HeatmapDrawer heatmapDrawer = (HeatmapDrawer)
29         serializedObject.targetObject;
30         heatmapDrawer.DrawHeatmap();
31         button.SetEnabled(true);
32     }
33 }

```

**Listing A.3:** Funzione per gestire il riordinamento degli ausili e navigazione e delle mappe per i test nella scena MainMenu

```

1 public void OnDrag(PointerEventData eventData)
2 {
3     var position = _currentTransform.position;
4     position =
5     new Vector3(position.x, eventData.position.y, position.z);
6     _currentTransform.position = position;
7
8     for (var i = 1; i < _totalChild; i++)
9         if (i != _currentTransform.GetSiblingIndex())
10            {
11                var otherTransform = _mainContent.transform.GetChild(i);
12                var distance = (int) Vector3.Distance(_currentTransform.
13                position,
14                otherTransform.position);
15                if (distance <= 10)
16                {
17                    var otherPosition = otherTransform.position;
18                    var otherTransformOldPosition = otherPosition;
19                    otherPosition = new Vector3(otherPosition.x,
20                    _currentPosition.y,
21                    otherPosition.z);

```

```

20         otherTransform.position = otherPosition;
21         var currentPosition = _currentTransform.position;
22         currentPosition = new Vector3(currentPosition.x,
otherTransformOldPosition.y,
23             currentPosition.z);
24         _currentTransform.position = currentPosition;
25         _currentTransform.SetSiblingIndex(otherTransform.
GetSiblingIndex());
26         _currentPosition = currentPosition;
27     }
28 }
29 }

```

**Listing A.4:** Funzioni di interesse dello shader per il calcolo della heatmap

```

1 float4 get_heat_for_pixel(const float weight)
2 {
3     if (weight <= pointRanges[0])
4     {
5         return colors[0];
6     }
7     if (weight >= pointRanges[4])
8     {
9         return colors[4];
10    }
11
12    for (int i = 1; i < 5; ++i)
13    {
14        if (weight < pointRanges[i])
15        {
16            const float dist_from_previous_color = weight -
pointRanges[i - 1];
17            const float size_of_point_range = pointRanges[i] -
pointRanges[i - 1];
18            const float ratio = saturate(dist_from_previous_color /
size_of_point_range);
19            return lerp(colors[i-1], colors[i], ratio);
20        }
21    }
22
23    return colors[0];
24 }
25
26 fixed4 frag(v2f i) : SV_Target
27 {
28     init();
29     float2 uv = i.uv;
30     float total_weight = 0.0f;
31

```

```
32     for (int k = 0; k < _HitCount; ++k)
33     {
34         const float2 work_pt = float2(_Points[k * 2], _Points[k * 2 + 1])
35         ;
36         const float pt_intensity = _Intensities[k];
37
38         total_weight += dist2(uv, work_pt) * pt_intensity;
39     }
40
41     float4 col = get_heat_for_pixel(total_weight);
42     return col;
}
```

# Bibliografia

- [1] Namrata Singh e Sarvpal Singh. «Virtual reality: A brief survey». In: *2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*. 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES). Feb. 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICICES.2017.8070720 (cit. alle pp. 4, 6).
- [2] Coatsink Software. *Jurassic Park Aftermath: un gioco di sopravvivenza in VR / Oculus*. 17 Dic. 2020. URL: <https://www.oculus.com/jurassic-world-aftermath/> (visitato il 24/06/2023) (cit. a p. 6).
- [3] Dorothy Strickland, Larry Hodges, Max North e Suzanne Weghorst. «Overcoming phobias by virtual exposure». In: *Communications of the ACM* 40.8 (1 ago. 1997), pp. 34–39. ISSN: 0001-0782. DOI: 10.1145/257874.257881. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/257874.257881> (visitato il 19/06/2023) (cit. a p. 7).
- [4] Chris Hand. «A Survey of 3D Interaction Techniques». In: *Computer Graphics Forum* 16.5 (1997). \_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1467-8659.00194>, pp. 269–281. ISSN: 1467-8659. DOI: 10.1111/1467-8659.00194. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-8659.00194> (visitato il 04/04/2023) (cit. a p. 10).
- [5] Anthony Steed, Tuukka M. Takala, Daniel Archer, Wallace Lages e Robert W. Lindeman. «Directions for 3D User Interface Research from Consumer VR Games». In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 27.11 (nov. 2021). Conference Name: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 4171–4182. ISSN: 1941-0506. DOI: 10.1109/TVCG.2021.3106431 (cit. a p. 11).
- [6] Rob Kitchin e Mark Blades. *The cognition of geographic space*. Vol. 4. Ib Tauris London, 2002 (cit. a p. 12).
- [7] Matthias Trapp, Christian Beesk, Sebastian Pasewaldt e Jürgen Döllner. «Interactive Rendering Techniques for Highlighting in 3D Geovirtual Environments». In: *Advances in 3D geo-information sciences*. Journal Abbreviation:

- Advances in 3D geo-information sciences. 22 Mar. 2011, pp. 197–210. ISBN: 978-3-642-12670-3. DOI: 10.1007/978-3-642-12670-3\_12 (cit. a p. 13).
- [8] Stefano Burigat e Luca Chittaro. «Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids». In: *International Journal of Human-Computer Studies* 65.11 (1 nov. 2007), pp. 945–958. ISSN: 1071-5819. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2007.07.003. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581907000985> (visitato il 14/04/2023) (cit. alle pp. 14, 17, 18, 29).
- [9] Taizhou Chen, Yi-Shiun Wu e Kening Zhu. «Investigating different modalities of directional cues for multi-task visual-searching scenario in virtual reality». In: *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. VRST '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 28 nov. 2018, pp. 1–5. ISBN: 978-1-4503-6086-9. DOI: 10.1145/3281505.3281516. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3281505.3281516> (visitato il 05/04/2023) (cit. alle pp. 14, 15, 17).
- [10] SeungA Chung, Hwayeon Joh, Eunji Lee e Uran Oh. «PanoCue: An Efficient Visual Cue With a Omnidirectional Panoramic View for Finding a Target in 3D Space». In: *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. 2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). Ott. 2021, pp. 218–223. DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00052 (cit. alle pp. 14, 16, 19, 29).
- [11] Jan Oliver Wallgrün, Mahda M. Bagher, Pejman Sajjadi e Alexander Klippel. «A Comparison of Visual Attention Guiding Approaches for 360° Image-Based VR Tours». In: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). ISSN: 2642-5254. Mar. 2020, pp. 83–91. DOI: 10.1109/VR46266.2020.00026 (cit. a p. 14).
- [12] Adalberto L. Simeone. «The VR motion tracker: visualising movement of non-participants in desktop virtual reality experiences». In: *2016 IEEE 2nd Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR)*. 2016 IEEE 2nd Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR). Mar. 2016, pp. 1–4. DOI: 10.1109/WEVR.2016.7859535 (cit. a p. 14).
- [13] Luca Chittaro e Ivan Scagnetto. «Is semitransparency useful for navigating virtual environments?» In: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. VRST '01. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 15 nov. 2001, pp. 159–166. ISBN: 978-1-58113-427-8. DOI: 10.1145/505008.505039. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/505008.505039> (visitato il 04/04/2023) (cit. alle pp. 16, 18).

- [14] Dinara Moura e Lyn Bartram. «Investigating players' responses to wayfinding cues in 3D video games». In: *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '14. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 26 apr. 2014, pp. 1513–1518. ISBN: 978-1-4503-2474-8. DOI: 10.1145/2559206.2581328. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2559206.2581328> (visitato il 04/04/2023) (cit. a p. 16).
- [15] Shafaq Irshad, Andrew Perkis e Waleed Azam. «Wayfinding in Virtual Reality Serious Game: An Exploratory Study in the Context of User Perceived Experiences». In: *Applied Sciences* 11.17 (gen. 2021). Number: 17 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 7822. ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/app11177822. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/7822> (visitato il 02/07/2023) (cit. alle pp. 16, 19).
- [16] Luca Chittaro, Roberto Ranon e Lucio Ieronutti. «Guiding visitors of Web3D worlds through automatically generated tours». In: *Proceedings of the eighth international conference on 3D Web technology*. Web3D '03. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 9 mar. 2003, pp. 27–38. ISBN: 978-1-58113-644-9. DOI: 10.1145/636593.636598. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/636593.636598> (visitato il 04/04/2023) (cit. a p. 17).
- [17] W.A. IJsselsteijn, Y.A.W. de Kort e K. Poels. *The Game Experience Questionnaire*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2013 (cit. a p. 19).
- [18] Roy S. Kalawsky. «VRUSE—a computerised diagnostic tool: for usability evaluation of virtual/synthetic environment systems». In: *Applied Ergonomics* 30.1 (1 feb. 1999), pp. 11–25. ISSN: 0003-6870. DOI: 10.1016/S0003-6870(98)00047-7. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687098000477> (visitato il 03/07/2023) (cit. alle pp. 25, 26, 40).
- [19] *Richard A. Bartle: Players Who Suit MUDs*. URL: <https://mud.co.uk/richard/hclds.htm> (visitato il 13/07/2023) (cit. a p. 51).
- [20] Hirotaka Suetake, Tsukasa Fukusato, Christian Arzate Cruz, Andy Nealen e Takeo Igarashi. «Interactive Design Exploration of Game Stages Using Adjustable Synthetic Testers». In: *Proceedings of the 15th International Conference on the Foundations of Digital Games*. FDG '20. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 17 set. 2020, pp. 1–4. ISBN: 978-1-4503-8807-8. DOI: 10.1145/3402942.3402982. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3402942.3402982> (visitato il 13/07/2023) (cit. a p. 51).