POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

DTforVR: Realtà virtuale per la formazione sul rischio idrogeologico



Relatori

Prof. Anna OSELLO

Prof. Santa DI CATALDO

Phd. Davide Lorenzo Dino ASCHIERI

Candidato Andrea DI BATTISTA

Aprile 2025

SOMMARIO

La Realtà Virtuale o Virtual Reality (VR) rappresenta una delle tecnologie più innovative attualmente in uso, offrendo esperienze immersive attraverso ambienti tridimensionali simulati. Grazie all'evoluzione dell'elettronica e delle tecnologie immersive, la VR ha dimostrato il suo potenziale non solo nel campo dell'intrattenimento e dei videogiochi, ma anche in ambiti come l'educazione, la formazione e l'addestramento.

Questa tecnologia consente di coinvolgere l'utente in esperienze realistiche e altamente formative, rendendolo parte attiva di ambienti simulati che possono riprodurre scenari complessi. Un esempio significativo è la sensibilizzazione della popolazione locale sui pericoli naturali, insegnando comportamenti sicuri e reattivi in caso di emergenza. Questo è l'obiettivo primario di questo progetto di tesi.

La tesi si inserisce nel progetto "DTforVR", parte dell'ecosistema NODES, finanziato dal MUR, e ha l'obiettivo di sviluppare un Digital Twin della Valle Cervo. Questo modello digitale consentirà di effettuare simulazioni e pianificazioni strategiche per la gestione dei rischi idrogeologici, in collaborazione con la Protezione Civile, supportando così la prevenzione e la risposta alle emergenze sul territorio.

La Regione Piemonte, essendo tra le aree più colpite in Italia da eventi naturali come alluvioni ed esondazioni, richiede un'attenzione particolare su questo fronte. Di conseguenza, è fondamentale potenziare la raccolta e l'analisi dei dati per migliorare la prevenzione e la gestione del rischio, ottimizzando le strategie di contenimento dei danni e di risposta alle emergenze.

Oltre all'integrazione di dispositivi IoT e alla mappatura dei rischi naturali attraverso piattaforma BIM/GIS, l'obiettivo sarà quello di educare la popolazione e formare nuovi operatori della protezione civile con un'applicazione dallo scopo educativo, ovvero un serious game, immergendoli, tramite visori per VR, nella valle riprodotta in un ambiente virtuale.

Al suo interno verranno progettate e implementate interfacce utente intuitive, consentendo un'esplorazione immersiva della zona in totale sicurezza. Gli utenti potranno accedere a informazioni dettagliate sui rischi idrogeologici, fornite da A.R.P.A. Piemonte, e apprendere le procedure corrette di allarme ed emergenza, grazie a un sistema di feedback interattivo e guidato.

La simulazione si apre in una stanza sospesa sulla Valle Cervo, dove l'utente potrà ottenere un'anteprima dell'esperienza, consultare le informazioni di contesto e visualizzare un panorama della valle dall'alto. Il percorso simulativo vero e proprio inizia ai piedi di Piedicavallo (BI), da cui si procederà lungo un sentiero montano prestabilito, affrontando scenari interattivi che riproducono dinamiche reali di rischio e gestione dell'emergenza.

Il giocatore avrà modo di interfacciarsi con tre diversi eventi collegati al rischio idrogeologico: una frana, l'esondazione di un torrente e un incendio boschivo. Per ogni incidente, l'utente avrà modo di capire quali sono le corrette procedure da applicare attraverso dei pannelli informativi e successivamente utilizzerà una metodologia di tipo trial and error per verificare la corretta memorizzazione dei processi. Per capire se l'esito è positivo o negativo, verranno utilizzati dei feedback visivi e sensoriali.

Questo progetto si pone come obiettivo di supportare la Protezione Civile nell'analisi dei rischi idrogeologici e fungere da strumento educativo per migliorare la preparazione della comunità nelle emergenze ambientali.

Ringraziamenti

Ringrazio le mie relatrici, la prof. Anna Osello e la prof. Santa Di Cataldo, per avermi dato l'opportunità di lavorare a questo bellissimo e impegnativo progetto che ha consolidato le mie competenze e mi ha permesso di crearmene delle nuove.

Ringrazio, inoltre, i miei correlatori, Davide Aschieri e Laura Fiorino, per avermi guidato e dato preziosi consigli sia nella fase di progettazione che poi durante l'implementazione vera e propria, oltre ad essere stati sempre disponibili per ogni chiarimento riuscendo a ritagliarsi del tempo per me nonostante i loro impegni istituzionali. Ringrazio Andrea Di Felice, mio compagno di disavventure in questo percorso di tesi.

Ringrazio la mia famiglia, che mi è sempre stata vicina anche se a chilometri di distanza e mi ha accompagnato in questo lungo viaggio.

Un ringraziamento speciale va a Valeria per il suo supporto, sia nei momenti di gioia che in quelli di sconforto.

Infine, ringrazio tutti i miei amici a Torino, in Sicilia e sparsi per il mondo con i quali ho condiviso risate e preoccupazioni.

Indice

\mathbf{E}	enco	delle tabelle	/II						
\mathbf{E}	enco	delle figure	III						
1	Intr	oduzione	1						
	1.1	Organizzazione dei contenuti	1						
	1.2	Contesto	2						
		1.2.1 Protezione Civile	2						
		1.2.2 Rischio idrogeologico	3						
		1.2.3 NODES	4						
	1.3	Obiettivo della tesi	5						
2	Stato dell'arte								
	2.1	Realtà Virtuale	7						
	2.2	Serious game	9						
	2.3	VR per la formazione	10						
		2.3.1 Vantaggi e svantaggi della VR	10						
			12						
3	Tecnologie utilizzate								
	3.1	Software	15						
		3.1.1 Unity	15						
		3.1.2 Visual Studio Code	17						
		3.1.3 Blender	18						
	3.2		20						
		3.2.1 Meta Quest 3	20						
4	Pro	gettazione	23						
	4.1	Corrette pratiche e procedure di Protezione Civile	24						
		4.1.1 Monitoraggio	24						
		4.1.2 Bollettini A.R.P.A	25						

		4.1.3 Campagna "Io non rischio"	7
	4.2	Game Design Document	l
		4.2.1 Ambientazione	1
		4.2.2 Meccaniche di gioco	3
		4.2.3 Scopo	3
		4.2.4 Feedback e Suggerimenti	3
		4.2.5 Fasi della simulazione	1
		4.2.6 Strumenti o oggetti utilizzabili	3
	4.3	Plugin di supporto)
		4.3.1 Vantaggi e Svantaggi)
		4.3.2 ArcGIS Maps SDK for Unity	Ĺ
		4.3.3 Autodesk Infraworks	Ĺ
		4.3.4 BlenderGIS	2
_	ъ		_
5		dizzazione 45	
	5.1	Struttura del progetto	
	5.2	OpenXR Plugin	
		5.2.1 Locomozione	
	r 9	5.2.2 Interazione	
	5.3	Creazione degli scenari	
		5.3.1 Hub	-
		5.3.2 Valle Cervo	
	F 1	5.3.3 Scenario simulato del sentiero E60	
	5.4	Tecniche di ottimizzazione	
		5.4.1 Caricamento delle Scene	
	F F	5.4.2 Livello di dettaglio	
	5.5	Elementi di gioco	
		5.5.1 Stazione meteorologica	
		5.5.2 Postazione di teletrasporto	
		5.5.4 Cellulare	
	5.6		
	5.7	Gestione degli eventi	
	5.7	5.7.1 Incendio	
		5.7.2 Alluvione	
		5.7.3 Frana	
	5.8	Feedback	
	5.0	5.8.1 Feedback aptici	
		5.8.2 Illuminazione a intermittenza	
		5.0.2 Indiminazione a intermittenza	J
6	Con	nclusioni 83	1

Elenco delle tabelle

4.1	Confronto tra	BlenderGIS,	ArcGIS Pro	SDK for	Unity e Au	$_{ m itodesk}$	
	InfraWorks						40

Elenco delle figure

2.1	Schermata di gioco estratta dal video dell'applicazione per il Rischio esondazione nel parco fluviale Gesso e Stura a Cuneo	12
2.2	Schermata di gioco estratta dal video dell'applicazione utilizzata dal Fire Service College.	13
2.3	Schermata di gioco estratta dal video dell'applicazione utilizzata dal	10
2.0	Johnson & Johnson e sviluppata da Osso VR	14
3.1	Interfaccia di Unity	16
3.2	Interfaccia di Blender	19
3.3	Dispositivo Meta Quest 3	21
3.4	Controller per Meta Quest 3	22
4.1	Stazione meteorologica	25
4.2	Bollettino allerta meteoidrologica e idraulica	26
4.3	La campagna "Io non rischio" durante la giornata nazionale del 2023.	27
4.4	Valle Cervo	32
4.5	Stazione meteorologica in una zona montana.	37
4.6	Pannello informativo nei pressi di un sentiero	38
4.7	Interfaccia dell'add-on BlenderGIS in Blender	43
5.1	Workflow della simulazione.	46
5.2	Controller sinistro del Meta Quest 3	47
5.3	Controller destro del Meta Quest 3	48
5.4	Hub	49
5.5	Vista della valle dall'hub	50
5.6	Valle Cervo in 3D	51
5.7	Piattaforma	52
5.8	Modello 3D del sentiero	53
5.9	Bosco	54
5.10	Fiume	55
5.11	Parete rocciosa	55

5.12	Script ScenePartLoader	57
5.13	LOD di un pino.	59
5.14	Stazione meteorologica in 3D	61
5.15	Interactable Events della stazione meteorologica	62
5.16	Postazione di teletrasporto	64
5.17	Pannello informativo	65
5.18	Cellulare	66
5.19	Event Manager	67
5.20	Incendio	70
5.21	Script FireController	71
5.22	Esondazione.	73
5.23	Script FloodController	74
5.24	Frana	75
5.25	Script ObjectPooler	77
	Script IlluminatePulseFeedback	

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Organizzazione dei contenuti

Il presente documento illustra le attività realizzate nell'ambito del progetto di tesi, il cui obiettivo principale è stato lo sviluppo di un ambiente virtuale interattivo, basato su dinamiche ludiche, per sensibilizzare i cittadini riguardo al tema del rischio idrogeologico e poter fornire un valido strumento per l'addestramento di personale della protezione civile. Il documento sarà suddiviso in capitoli, che percorreranno le tappe affrontate in questo progetto:

• Capitolo 1: Introduzione

Viene definita la struttura del documento, illustrato il contesto riguardo all'argomento trattato e l'obiettivo da raggiungere per il lavoro di tesi.

• Capitolo 2: Stato dell'arte

Include una panoramica sulla VR, dagli inizi ad oggi, dando maggior risalto al suo utilizzo nel campo della formazione e fornendo degli esempi di casi studio. Viene, inoltre, definito il concetto di serious game nell'ambiente videoludico.

• Capitolo 3: Tecnologie

Fornisce una descrizione delle tecnologie software e hardware utilizzate per il progetto.

• Capitolo 4: Progettazione

Illustra il processo di progettazione dell'applicazione e le strategie adottate.

• Capitolo 5: Realizzazione

Presenta in dettaglio la realizzazione degli elementi e strumenti contenuti all'interno dell'applicazione.

• Capitolo 6: Conclusioni

Riporta i risultati ottenuti e gli spunti futuri per poter proseguire nello sviluppo di questo progetto.

1.2 Contesto

1.2.1 Protezione Civile

La protezione civile è l'insieme delle attività introdotte sul territorio per tutelare l'integrità della vita, dei beni, degli insediamenti, degli animali, dell'ambiente dalle conseguenze causate da calamità che possono verificarsi al livello nazionale e locale. Le attività svolte dalla Protezione Civile in Piemonte e nel resto d'Italia non sono assegnate ad un singolo ente, ma è compito di un sistema integrato, composto da strutture pubbliche e private, che prende il nome di Servizio Nazionale della Protezione Civile. Questo sistema, istituito con la legge n. 225 del 1992, trova come punto di raccordo il Dipartimento della Protezione Civile, che si occupa dei compiti di indirizzo, promozione e coordinamento delle attività[1].

Il Dipartimento, in collaborazione con le Regioni e le Province Autonome, sviluppa e coordina i Piani nazionali per i diversi scenari di rischio e si occupa a livello nazionale della previsione, prevenzione, gestione e superamento di disastri, calamità, umane e naturali, al soccorso e all'assistenza delle popolazioni in situazioni di emergenza e fornisce linee guida per la formazione di volontari della protezione civile.[2].

La legge n. 225/92 definisce le attività e i compiti della protezione civile, che hanno come obiettivo principale la tutela delle persone e la salvaguardia del territorio e vengono suddivise in:

- attività di previsione e prevenzione, valutazione degli scenari di rischio e studio e monitoraggio degli eventi attesi per determinarne le cause;
- attività di allertamento, pianificazione e diffusione delle conoscenze alla popolazione attraverso formazioni ed esercitazioni;
- attività di soccorso e prima assistenza alle popolazioni colpite dalle calamità;
- attività di superamento dell'emergenza attraverso iniziative per rimuovere gli ostacoli e procedere verso la ripresa delle normali condizioni di vita.

1.2.2 Rischio idrogeologico

L'idrogeologia è una branca delle scienze geologiche che si occupa dello studio delle acque sotterranee, esaminando anche il loro rapporto con le acque superficiali. Il termine dissesto idrogeologico è utilizzato per descrivere i fenomeni e i danni, reali o potenziali, provocati dalle acque, sia che si tratti di acque superficiali, in forma liquida o solida, sia di acque sotterranee. Tra i principali fenomeni idrogeologici vi sono le frane, le alluvioni, l'erosione delle coste, le subsidenze e le valanghe. Nel sistema di allertamento, il rischio può essere classificato come:

- Rischio idrogeologico: riguarda gli effetti provocati sul territorio dal superamento dei livelli pluviometrici critici lungo i versanti, dal superamento dei livelli idrometrici dei corsi d'acqua della rete idrografica minore e dalla gestione delle acque piovane.
- Rischio idraulico: concerne gli impatti sul territorio derivanti dal superamento dei livelli idrometrici critici lungo i corsi d'acqua principali, che possono causare eventi alluvionali.

Il territorio italiano è particolarmente soggetto al dissesto idrogeologico a causa della sua conformazione geologica e geomorfologica, caratterizzata da una complessa orografia e dalla presenza di bacini idrografici di piccole dimensioni. La combinazione di queste due caratteristiche porta ad un immediato tempo di risposta alle precipitazioni che, se localizzate e intense, possono innescare fenomeni violenti come inondazioni improvvise e colate di fango[3].

L'azione dell'uomo è un'ulteriore causa che aggrava il rischio idrogeologico. La crescente densità abitativa, l'abusivismo edilizio, la continua urbanizzazione, l'abbandono delle terre montane, il continuo disboscamento, l'uso di pratiche agricole poco sostenibili e la scarsa manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua hanno senza dubbio contribuito ad aggravare il dissesto e a mettere in evidenza la vulnerabilità del territorio italiano.

Le politiche di previsione e prevenzione adottate per far fronte a questi episodi di dissesto idrogeologico pongono particolare attenzione sull'individuazione delle condizioni di rischio e sull'attuazione di interventi per poterne ridurre la frequenza. Attraverso provvedimenti normativi, sono stati introdotti un sistema di allertamento e sorveglianza dei fenomeni, oltre all'imposizione di una perimetrazione delle aree a rischio e una pianificazione comunale di protezione civile, per ottenere come obiettivo delle risorse fondamentali per mitigare il rischio.

1.2.3 **NODES**

NODES (Nord-Ovest Digitale E Sostenibile) è un progetto finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) nell'ambito del PNRR con il Decreto Dirigenziale n.1054 del 23 Giugno 2022. NODES risulta quindi essere un ecosistema di innovazione che ha come obiettivo quello di supportare la crescita sostenibile e l'inclusività dei territori del Piemonte, della Valle d'Aosta e delle provincie occidentali della Lombardia mediante la doppia transizione digitale ed ecologica [4].

Il progetto NODES si articola in 7 temi principali:

- 1. Industria 4.0 per la mobilità e l'aerospazio
- 2. Sostenibilità industriale e green
- 3. Industria del turismo e cultura
- 4. Montagna digitale e sostenibile
- 5. Industria della Salute e silver economy
- 6. Agroindustria primaria
- 7. Agroindustria secondaria

Il tema di cui si occupa questa tesi è il numero 4, ovvero "Montagna digitale e sostenibile", che promuove l'uso delle tecnologie digitali per migliorare le performance e la sostenibilità delle imprese situate in aree montane.

NODES mira a potenziare la competitività di industrie e enti di ricerca, attraverso una visione a lungo termine e posizionando i territori inclusi nell'ecosistema come un "sistema territoriale" con grande potenza attrattiva in modo tale da ottenere attenzioni da parte di talenti qualificati e finanziamenti da enti privati.

Tra le missioni principali di questo ecosistema dell'innovazione vi è la risoluzione del problema delle carenze strutturali del territorio implementando strumenti e attività con un nuovo approccio collaborativo. Questo approccio mira a rispondere alle sfide strategiche di transizione ecologica e digitale con una visione interdisciplinare.

L'intento è quello di promuovere le idee, le competenze e le realtà attuali, incentivando la nascita di nuove opportunità e favorendo il trasferimento tecnologico, l'imprenditorialità e la crescita di spin-off, start-up e piccole e medie imprese [4].

Il progetto di tesi rientra nel PoC (Proof of Concept) "DTforVR", il quale ha come obiettivo quello di realizzare una tecnologia avanzata e completamente funzionale che combini in modo sinergico realtà aumentata, piattaforma BIM/GIS e network IoT per la prevenzione dei disastri naturali[5].

1.3 Obiettivo della tesi

Alla base del progetto di tesi, si proietta come obiettivo quello della realizzazione di un'attività in VR partendo da un Digital Twin precedentemente ottenuto. Le suddette attività riguarderanno la formazione per la risposta ai rischi naturali in un progetto all'interno di NODES, in collaborazione con la protezione civile. All'interno di questo ambiente verranno progettate e implementate interfacce utente che permetteranno l'esplorazione, l'accesso a informazioni sui rischi idrogeologici e l'apprendimento alle corrette procedure di allarme ed emergenza.

Tramite l'utilizzo dei visori e della realtà virtuale sarà dunque possibile educare e sensibilizzare la popolazione locale sui pericoli naturali e imparare i comportamenti sicuri e reattivi in caso di emergenza. Inoltre, fornirà un valido strumento per l'addestramento di volontari della Protezione Civile, col quale è stata progettata una sequenza di azioni da seguire per rispondere al pericolo.

Capitolo 2

Stato dell'arte

2.1 Realtà Virtuale

La Realtà Virtuale, o Virtual Reality (VR), è una tecnologia che crea un ambiente simulato in cui l'utente può immergersi completamente e interagire con il mondo virtuale. Nella realizzazione di questi ambienti tridimensionali(3D), bisogna tener conto di dover garantire una elevata qualità grafica per poter influenzare il senso dominante dell'essere umano, che è la vista, senza però discriminare gli altri.

L'obiettivo della VR è quello di mettere in relazione, attraverso il fotorealismo grafico ed interfacce sofisticate come i visori e i guanti tattili, due componenti fondamentali che prendono il nome di immersione e presenza che, unite, danno origine al Virtual Embodiment, ovvero l'illusione di avere un corpo virtuale.

Per immersione si intende la percezione di essere fisicamente presente nel mondo virtuale e l'estraniamento dal contesto reale, coinvolgendo ed impiegando le risorse cognitive dell'utente e non limitandosi alla percezione sensoriale, ma includendo anche processi e reazioni mentali[6].

Per presenza, invece, viene intesa la sensazione di appartenenza al mondo virtuale, mentalmente, fornendo delle reazioni causa/effetto dalle interazioni al suo interno che corrispondo a quelle presenti nella realtà. Cio che ne consegue è un alto livello di realismo e di coerenza in modo da rispettare le previsioni e le aspettative dell'utente come reazione alle sue azioni[6].

Attraverso questi legami con la cognizione, la realtà virtuale diventa un valido strumento da utilizzare per videogiochi educativi e per applicazioni formative, denominate serious game[6].

La tecnologia VR negli anni ha limato diverse caratteristiche che la rendevano di difficile accesso, come ad esempio i costi proibitivi dei visori e la complessa portabilità delle periferiche. Il dispositivo col quale ha fatto il suo esordio nel 1962 è stato il Sensorama, un dispositivo meccanico composto da un seggiolino e un

display all'interno di una cabina, contenente altri sensori che stimolavano gli altri sensi della persona.

Successivamente, nel 1968 il ricercatore Ivan Sunderland e il suo assistente Bob Sproull crearono il primo visore da indossare, chiamato "Spada Di Damocle". Questo dispositivo, a causa del peso eccessivo, doveva essere mantenuto sospeso da supporti adatti e ciò che riuscirono a creare i due ricercatori era una versione primitiva degli attuali visori, poichè a causa della sua bassa potenza computazionale era necessario agire sulla grafica che lo componeva per ridurre la complessità dei calcoli. La grafica che costituiva questo visore permetteva la creazione di stanze in wireframe che riproducevano solo gli spigoli degli oggetti[6].

Nel 1977 si ebbe il primo dispositivo definibile per la realtà virtuale, creato sotto forma di software dal MIT e chiamato "Aspen Movie Map", in grado di ricreare digitalmente la città di Aspen e consentirne l'esplorazione camminando tra le sue vie.

La peculiarità di questo software era la possibilità di scegliere tra tre diverse modalità: per le prime due venivano utilizzati filmati delle strade in base alla scelta della stagione(estate o inverno), la terza invece era basata su poligonazione tridimensionale. Nonostante il realismo fornito dai filmati utilizzati, dal punto di vista grafico per la poligonazione 3D i risultati erano di bassa qualità a causa della potenza computazionale dell'epoca e dei suoi limiti tecnologici [6].

I decenni successivi sono stati caratterizzati da miglioramenti considerevoli dal punto di vista grafico, riuscendo a sostenere calcoli sempre più complessi da parte dei dispositivi e questo ha portato a delle rese realistiche degli ambienti 3D forniti dai visori. Inoltre, numerose modifiche al design hanno aumentato la portabilità dei dispositivi e i costi sempre più accessibili ne hanno permesso la diffusione.

Nonostante ciò, il campo della Realtà Virtuale è ancora in via di sviluppo per cercare di rendere sempre minore la differenza percepita tra l'ambiente virtuale e l'ambiente reale e di integrare oltre al senso della vista anche gli altri quattro sensi, attualmente trascurati.

Di rilevante importanza è lo studio e l'impiego della Realtà Aumentata, o Augmented Reality, che consiste nell'ampliare la percezione sensoriale umana attraverso l'introduzione di informazioni, generalmente trattate e trasmesse elettronicamente, che non potrebbero essere percepite tramite i cinque sensi[7].

Tra i dispositivi innovativi presenti sul mercato che integrano la tecnologia AR si possono citare il Meta Quest 3 e l'Apple Vision Pro. Una delle caratteristiche di quest'ultimo è la possibilità di interagire con gli oggetti negli ambienti virtuali senza l'uso di controller fisici e sfruttando i progressi nel tracciamento oculare e nelle interfacce neurali. I display impiegati oggi offrono alta risoluzione e un ampio campo visivo e permettono la visualizzazione dell'ambiente realte circostante mentre si interagisce con gli oggetti virtuali, rendendo impercettibile la differenza tra virtuale e reale[8].

2.2 Serious game

I Serious Game, letteralmente "giochi seri", hanno radici profonde nella storia dell'uomo. Infatti, già nell'800, erano nati dei giochi logico-matematici per la formazione degli studenti nelle scuole e più avanti altri esempi sono iniziati via via a prender piede, fin ad arrivare ai videogiochi educativi.

Per Serious Game si intendono giochi che non hanno come unico obiettivo quello di intrattenere la persona, ma sono ideati per promuovere l'apprendimento ed essere utili dal punto di vista formativo bilanciando gli aspetti seri e ludici e utilizzando il "learning by doing" [9].

Diversi studi hanno confermato l'utilità di questa metodologia di formazione per apprendere contenuti empirici, perché le persone tendono a preferire giochi e simulazioni rispetto alle tradizionali attività in aula. Di fatto, un coinvolgimento più motivato e attento porta a delle modifiche sostanziali negli atteggiamenti e un'apprendimento basato sull'esperienza, quindi in modo attivo, risulta più semplice paragonato alla classica lezione frontale con apprendimento passivo[10].

Tra i grandi vantaggi dei Serious Game si possono elencare la possibilità per l'utente di agire in ambiente virtuale e protetto, di poter ripetere l'esercizio per fissare bene i concetti del caso e aumentarne il coinvolgimento grazie all'aspetto ludico.

La differenza sostanziale tra un Serious Game e l'utilizzo della gamification è che, nonostante si faccia uso in entrambi di elementi ludici, nel primo caso viene realizzato un gioco progettato come una simulazione della realtà, mentre nel secondo caso si applicano le meccaniche dei giochi a contesti non ludici[11].

Tra le numerose applicazioni dei serious game, alcuni studi hanno evidenziato la possibilità di essere utilizzati per la formazione degli studenti nelle scuole, ma per poter essere applicati in modo corretto bisogna che vengano creati dei mezzi di verifica e di monitoraggio dei progressi per gli utenti che ne fanno uso, oltre a determinare il contributo che dovrà essere riconoscibile nel contesto utilizzato, che sia formativo o educativo [12].

2.3 VR per la formazione

Nel corso degli anni, si è sempre cercato di fornire le risorse adeguate per permettere l'istruzione e l'addestramento su come affrontare determinate problematiche, sia in ambito culturale che lavorativo. In casi specifici, come per le frane e le alluvioni, risulta difficile dimostrarne la loro pericolosità e far vedere come si dovrebbe reagire correttamente, a causa della difficoltà della replica di questi eventi in sicurezza, ma anche dei suoi eventuali costi.

La tecnologia VR riesce a dare una soluzione a queste necessità, ottenendo col tempo sempre maggior successo. Dal punto di vista dell'utilizzo, sia le scuole che le industrie promuovono attività e insegnamenti adottando la realtà virtuale, e il periodo storico colpito dal COVID-19 ne ha velocizzato la diffusione.

Secondo il report della International Data Corporation (ITC), la spesa europea per la realtà virtuale è aumentata e raggiungerà i 4,8 miliardi di dollari e gli investimenti per questi ambiti segneranno nei prossimi 5 anni un tasso di crescita annuale composto del 21,9% fino a raggiungere i 10,2 miliardi di dollari nel 2028 [13]. In particolare, il settore della formazione dovrebbe registrare il maggior tasso annuo di crescita composto (Cagr), seguito da quello della manutenzione aumentata e del sanitario, quello che avrà la crescita più rapida.

La vendita al dettaglio continuerà a essere il settore principale per gli investimenti, con il 17,8% della spesa complessiva B2B (business-to-business) destinata alla realtà virtuale, mentre il settore bancario registrerà la crescita più veloce in termini di budget impiegato.

Nelle aziende, attualmente, l'uso più comune della VR è legato alle riunioni online. La VR viene anche usata per il team building in ambienti digitali, in risposta all'aumentare dei dipendenti che lavorano da casa o che per questioni lavorative si trovano distanti dai propri posti di lavoro.

2.3.1 Vantaggi e svantaggi della VR

I vantaggi che la VR ha portato in ambito lavorativo e che hanno spinto le aziende ad investire su questa in modo deciso sono molteplici.

In primo luogo bisogna considerare l'accessibilità a questa tecnologia, attraverso visori di ultima generazione a prezzi inferiori rispetto a quelli delle prime generazioni e quindi dando la possibilità di essere acquistati da sempre più persone.

Un'altra caratteristica importante è la possibilità di proporre determinati addestramenti e poterli modificare per avere nuove varianti per preparare il personale, oltre a fornire un ambiente sicuro e controllato che può riguardare una situazione di pericolo nella vita reale e di difficile replicazione in sicurezza. Il tutto con un conseguente abbattimento dei costi di organizzazione e pianificazione, anche perchè non c'è necessariamente bisogno di un constante supervisore per chi ha indosso il visore.

Un altro vantaggio è quello di dare un forte senso di presenza e immersione nel mondo virtuale da parte dell'utente, facendogli credere di essere in una situazione reale e motivandolo a credere che le azioni che farà al suo interno avranno una reazione realistica. Il tutto genera interesse e curiosità da parte di una grande fetta della popolazione che, come dimostrato da uno studio, risulta essere quella dei giovani, i quali sembrano maggiormente coinvolti rispetto ai metodi classici proposti dalle scuole[14].

Di rilevante importanza è anche la facilità col quale possono essere dati dei feedback immediati sull'esperienza appena effettuata ed avere una misura oggettiva su come sia andata la simulazione

Riguardo agli svantaggi, si segnalano la possibilità di sviluppare in alcuni individui i sintomi della chinetosi (motion sickness), causata dalla percezione visiva del movimento del corpo, senza che ci sia un effettivo movimento reale.[15]. Un sondaggio effettuato da VR Heaven su 300 intervistati ha evidenziato che il 57.8% degli utenti che ha utilizzato il visore ha sviluppato motion sickness almeno una volta [16]. Al momento, sono presenti numerosi studi che cercano di identificarne le cause e i possibili rimedi, ma ad esempio è stato analizzato che il miglioramento della tecnologia dei visori non ha portato ad un significativo abbassamento della presenza del sintomo[17].

I sensi come l'olfatto e il gusto non sono stati ancora integrati nei dispositivi, nonostante gli studi in corso, riducendo la completa immersione nell'ambiente virtuale.

Infine, le interfacce grafiche non sono ancora abbastanza semplici e intuitive, per non influenzare in modo negativo la User Experience degli utenti, portandoli ad uno stato di disorientamento.

2.3.2 Casi Studio

Di seguito sono elencati degli esempi e dei casi studio dove la VR viene utilizzata per l'ambito formativo.

• Il primo caso studio preso in considerazione è un'applicazione, sviluppata per il progetto PRODIGE, che ha tra i suoi obbiettivi la creazione di nuovi protocolli di addestramento per gli operatori basati sulla VR per prepararli ad una pronta risposta a disastri naturali[18]. In questo caso lo scenario è quello di un rischio esondazione all'interno del Parco fluviale Gesso e Stura nella provincia di Cuneo.

Nell'applicazione, l'utente fara parte di una simulazione dove, in seguito ad un peggioramento della situazione metereologica, dovrà attuare le procedure della Protezione Civile e avrà il compito di evacuare le persone presenti nella zona e chiudere i possibili accessi al parco.

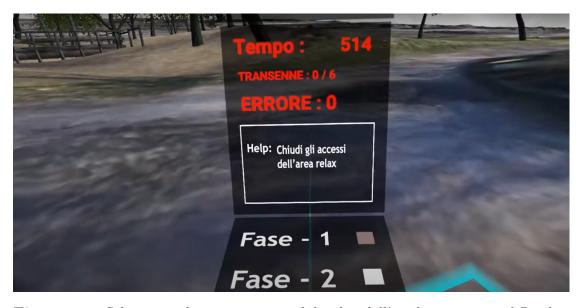


Figura 2.1: Schermata di gioco estratta dal video dell'applicazione per il Rischio esondazione nel parco fluviale Gesso e Stura a Cuneo.

• Il Fire Service College di Gloucestershire ha introdotto dei nuovi metodi di formazione e addestramento per i pompieri basati su VR utilizzando un software, creato dalla RiVR, e dei kit composti da visori HTC VIVE e da vesti aptiche, in grado di generare calore, per simulare le procedure di estinzione di un incendio[19].

Oltre al risparmio derivato dalla possibilità di poter effettuare le simulazioni più volte, diversi studenti del college che hanno testato le loro competenze ne hanno confermato l'utilità, sottolineando la sicurezza nel non dover inalare sostanze cancerogene o tossiche per i polmoni provenienti da fumi e veleni derivanti da possibili simulazioni reali.



Figura 2.2: Schermata di gioco estratta dal video dell'applicazione utilizzata dal Fire Service College.

• Il team Technology & Innovation di Johnson & Johnson ha collaborato con Osso VR, un fornitore di software indipendente, per creare più di una decina di moduli formativi che dessero ai chirurghi la possibilità di fare pratica con i dispositivi medici più innovativi.

Come ha affermato Sandra Humbles, la vice presidente della Global Education Solutions per Johnson & Johnson Medical Devices Companies, grazie a questa collaborazione, i chirurghi apprendono nuove procedure più velocemente e commettono meno errori nel mondo reale[20].

Gli studi hanno dato come risultato che l'83% dei chirurghi che si sono addestrati con la VR sono stati in grado di svolgere una operazione chirurgica con la minima guida, rispetto a chi si è formato con metodi tradizionali.

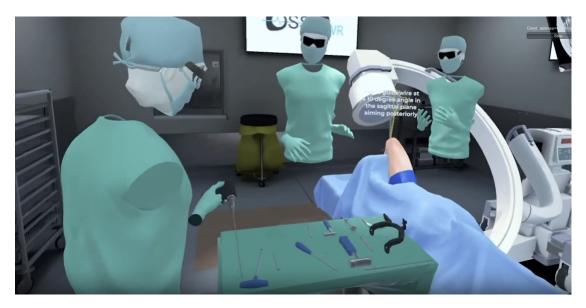


Figura 2.3: Schermata di gioco estratta dal video dell'applicazione utilizzata dal Johnson & Johnson e sviluppata da Osso VR.

Capitolo 3

Tecnologie utilizzate

3.1 Software

3.1.1 Unity

Unity è un motore grafico e un potente ambiente di sviluppo integrato (IDE) multipiattaforma per sviluppatori creato per la realizzazione di prodotti interattivi, come videogiochi e animazioni 3D in tempo reale. Esso permette di sviluppare applicazioni eseguibili su Windows, Linux, macOs, Android, e molti altri ambienti.

Secondo il vice presidente dei laboratori di ricerca di Unity Technologies Sylvio Drouin, Unity non è altro che il sistema operativo 3D del mondo, poichè esso non viene utilizzato solamente per realizzare videogiochi, ma anche per esperienze 3D nel settore cinematografico e automobilistico, oltre alla progettazione e realizzazione di simulazioni in VR e in realtà aumentata per applicazioni con scopo formativo ed educativo.

Unity, come motore di gioco, offre numerose funzionalità essenziali per lo sviluppo di videogiochi, tra cui la simulazione della fisica, il rendering 3D e il rilevamento delle collisioni. Uno dei vantaggi di Unity, che lo rende tra software più utilizzati tra i consumatori e i professionisti, è il suo ampio "Asset Store", una piattaforma dove gli sviluppatori possono caricare i propri contenuti per condividerli con la comunità di Unity, oppure scaricarli e utilizzarli nei propri progetti.

Questo software consiste in un ambiente unico dove al suo interno sono integrati un editor (Figura 3.1) e un motore di gioco. L'editor viene utilizzato per posizionare e organizzare gli elementi virtuali nell'ambiente di gioco, mentre il motore di gioco esegue l'applicazione, permettendo di verificarne il corretto funzionamento. Unity consente anche la creazione di shader, che definiscono l'aspetto degli oggetti virtuali. Questi possono essere programmati direttamente o realizzati utilizzando una composizione a nodi.

Un altro vantaggio di Unity è la possibilità di importare e utilizzare modelli 3D e texture creati con software esterni, come Blender e Maya, permettendo di costruire l'ambiente di gioco gradualmente, componente per componente. Inoltre, è possibile estendere le funzionalità di Unity tramite pacchetti, che sono raccolte di strumenti, librerie, risorse e modelli di progetto che arricchiscono l'engine.



Figura 3.1: Interfaccia di Unity

3.1.2 Visual Studio Code

Visual Studio Code (o VS code) è un editor di codice sorgente prodotto da Microsoft e compatibile con i sistemi operativi Windows, Linux e macOS[21]. La sua prima versione è stata rilasciata nel 2015 e ha la caratteristica di avere una interfaccia utente semplice e altamente personalizzabile.

Questo software consente di programmare utilizzando diversi linguaggi di programmazione, tra cui C#, C++, F#, HTML e altri linguaggi web come PHP e Java. VS code è costituito su Electron, un framework che permette di sviluppare applicazioni desktop utilizzando Node.js. Tra le numerose funzionalità è possibile trovare il supporto per il debugging, che permette di eseguire il codice passo dopo passo per identificare e correggere gli errori. Inoltre, integra un controllo per Git integrato, offre il syntax highlighting per rendere il codice più leggibile e possiede la funzionalità di Intellisense. Quest'ultima fornisce suggerimenti automatici per il completamento del codice e rende più veloce la scrittura di codice anche grazie agli snipper, che permettono di inserire rapidamente blocchi di codice predefiniti.

3.1.3 Blender

Blender è un software open source e multipiattaforma che supporta l'intera pipeline 3D, che consiste nella modellazione, rigging, animazione, montaggio video, composizione, rendering e texturing di immagini 3D e 2D. Offre anche funzionalità per la mappatura UV, simulazioni di fluidi, rivestimenti, particelle, altre simulazioni non lineari e la creazione di applicazioni e giochi 3D (Figura 3.2). L'ultima versione è la 4.3.2.

Blender può essere utilizzato tramite la sua interfaccia o attraverso script in linguaggio Python, di difficile utilizzo e per utenti esperti, per personalizzare l'applicazione e realizzare Add-ons. Questi ultimi possono essere installati sul proprio software per facilitare l'utilizzo, arricchire le potenzialità o creare collegamenti con altri programmi.

Grazie alla sua semplicità, il programma è stato inizialmente utilizzato a livello consumer ma negli ultimi anni, con il suo notevole sviluppo, la conoscenza del suo funzionamento è diventata una competenza sempre più richiesta in ambito professionale, riuscendo a confrontarsi con altri programmi come Maya e LightWave 3D.

Blender è multipiattaforma ed è stata utilizzato come interfaccia OpenGL per fornire un'esperienza coerente. Inoltre, la Blender Foundation si occupa di risolvere eventuali bug e effettuare migliorie per questo progetto open source.

Tra le caratteristiche di Blender si possono elencare:

- il supporto per una moltitudine di primitive geometriche come le mesh poligonali, le curve di Bézier, le NURBS, le metaball e i font vettoriali;
- Strumenti per gestire le animazioni, tra cui la cinematica inversa, le armature (scheletri), la deformazione a lattice, la gestione dei fotogrammi chiave, le animazioni non lineari, i vincoli, il calcolo pesato di ogni vertice e la gestione delle particelle nelle mesh;
- Tracciamento della telecamera e degli oggetti e il controllo in tempo reale durante la simulazione fisica e il processo di rendering.
- La possibilità di poter importare ed esportare modelli 3D in diversi formati, come ad esempio obj e fbx, che possono successivamente essere riutilizzati su Unity o su altri software.

Per il rendering della scena e degli oggetti contenuti al suo interno, Blender fornisce tre diversi engine grafici: Cycles, Eevee e Workbench.

Il primo è basato su path tracing, che fornisce un effetto estremamente realistico e cinematografico per rendering con oggetti/materiali complessi, ma è molto pesante a livello di calcolo computazionale.

Eevee è basato sul rendering in tempo reale ed è molto più leggero di Cycles, ma proprio per questo comporta delle carenze nelle riflessioni della luce e nelle ombre e quindi il mancato raggiungimento dell'effetto fotorealistico.

Infine, Workbench viene utilizzato semplicemente per rendering real-time, per riprodurre immagini all'interno del software, per creare preview delle animazioni, ma non è inteso come motore di rendering finale.

Ci sono anche altri engine di rendering sia gratuiti (come YafaRay, Mitsuba Rendered), che a pagamento (ad esempio Pixar RenderMan e Octane Render).

Come scritto prima, Blender permette l'animazione e il rigging di modelli tridimensionali. Alla base dell'animazione vi è la creazione di uno scheletro per il modello 3D che poi potrà essere deformato o utilizzato per effettuare dei movimenti precisi con i posizionamenti e rotazioni delle ossa e mediante i key frames, che ne salvano le informazioni come posizione, rotazione e scalamento. Successivamente, il software andrà ad interpolare i key frames per rendere il movimento continuo e fluido. Per l'animazione possono essere utilizzate due strategie differenti: cinematica diretta e cinematica inversa.

Un'altra importante funzione fornita da Blender è quella di poter sviluppare delle semplici simulazioni di fumo, fluidi e sistemi particellari utilizzando i metodi reticolari di Boltzmann (LBM).

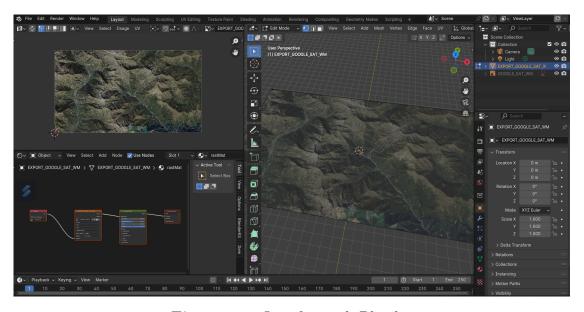


Figura 3.2: Interfaccia di Blender

3.2 Hardware

3.2.1 Meta Quest 3

Meta Quest 3 (Figura 3.3) è l'ultimo dispositivo hardware per la VR standalone sul mercato prodotto da Reality Labs, una unità della compagnia Meta Platforms. Questo visore è stato sviluppato per supportare la realtà virtuale, la realtà aumentata e la realtà mista (Mixed Reality), che permette la sovrapposizione di oggetti virtuali nell'ambiente reale.

La sua presentazione avviene per la prima volta nel 1 Giugno 2023 e rilasciato nel successivo 10 Ottobre dello stesso anno. Come per i modelli precedenti, al suo interno è presente il sistema operativo Meta Horizon OS e le applicazioni possono essere eseguite sia sul dispositivo che collegandolo ad un PC tramite il Wi-Fi o via cavo USB-C.

Rispetto al precedente visore, il Meta Quest 3 si distingue per diversi miglioramenti delle caratteristiche sia tecniche che fisiche.

Questo dispositivo dispone di un paio di Display LCD con una risoluzione per occhio di 2064x2208, che corrisponde ad un aumento del 30% in confronto al predecessore e prende il nome di "Infinite Display 4K+", ed è inoltre possibile modificare la posizione delle lenti per avere una migliore visione poichè ogni display mostra tutti i pixel.

Questa caratteristica, rispetto al Meta Quest 2 ad unico display, conferisce un ulteriore incremento del 10-15% del Campo di visuale (FOV). La frequenza di aggiornamento del display può essere 72Hz, 90Hz fino a raggiunge 120Hz.

Le lenti montate non sono più delle lenti "Fresnel" ma delle lenti della tipologia "Pancake", più sottili e con una migliore chiarezza risolutiva delle immagini grazie anche alla riduzione degli artefatti luminosi e le stray lights.

Meta Quest 3 è composto da 2 fotocamere RGB da 18 PPD che permettono di avere una risoluzione del pass-through a colori 4,5 volte più alta rispetto al precedente modello e migliorano il tracking delle mani con l'inserimento del Direct Touch, ovvero la possibilità di utilizzare le mani per cliccare e muoversi tra i pannelli delle interfacce. Inoltre, sono stati integrati degli altoparlanti stereo con audio spaziale 3D che migliorano del 40% l'intervallo di audio e dei bassi.

Un'altra novità di questo dispositivo è l'utilizzo del processore Qualcomm Snapdragon XR2 Gen 2, che grazie alla sua GPU fornisce una potenza di calcolo computazionale raddoppiata per caricamenti più veloci di applicazioni pesanti e prestazioni grafiche migliori e più fluide.

Anche la RAM ha subito un miglioramento, avendo adesso a disposizione 8 GB rispetto ai precedenti 6 GB, mentre lo spazio di archiviazione raggiunge i 512 GB.

Infine, il peso complessivo del visore è minore del 10% circa in meno in confronto al Meta Quest 2, che lo rendono quindi più maneggevole, e il cinturino per la testa

diventa altamente personalizzabile per rispondere alle esigenze di adattamento alla testa della persona.

Utilizzando la modalità di collegamento via cavo, è possibile utilizzare la funzione di Meta Link che permette di collegare il visore al PC e sfruttare le sue potenzialità per avere esperienze grafiche e interazioni migliori [22].



Figura 3.3: Dispositivo Meta Quest 3

3.2.1.1 Controller I controller, che prendono il nome di Touch Plus, hanno avuto un cambiamento sostanziale nel loro design che, minimalista e privo di anelli, garantisce movimenti naturali e un controllo preciso, facendo sembrare il controller un'estensione della mano (Figura 3.4).

La tecnologia tattile TruTouch, invece, fornisce un feedback sensoriale che crea esperienze immersive e aumenta la realisticità negli ambienti virtuali.

Ciascun controller presenta due pulsanti di trigger cliccabili, uno con gli indici e uno con i medi, levette analogiche ruotabili e dei pulsanti frontali.



Figura 3.4: Controller per Meta Quest 3

Capitolo 4

Progettazione

Per sviluppare il progetto di questo lavoro di tesi, sono state fondamentali le fasi di progettazione e idealizzazione per delineare la struttura e le caratteristiche dell'applicazione. In particolare, nella fase di pre-produzione, è avvenuta la raccolta di informazioni attraverso delle riunioni con la Protezione Civile della Regione Piemonte per determinare quale potesse essere lo scenario migliore per rappresentare un evento di rischio idrogeologico.

Oltre a queste riunioni, la raccolta di dati dai siti web del dipartimento della Protezione Civile e dai documenti messi a disposizione inerenti a queste situazioni di pericolo, hanno permesso la stesura di un Game Design Document (GDD) dal quale fare riferimento per avere un quadro delle caratteristiche che avrebbe dovuto avere l'applicazione.

Nei prossimi paragrafi verrano elencate le informazioni prese come riferimento e la struttura dello scenario virtuale.

4.1 Corrette pratiche e procedure di Protezione Civile

4.1.1 Monitoraggio

Il Centro Funzionale Centrale del dipartimento della Protezione Civile ha il compito di raccogliere i dati provenienti dai satelliti meteorologici, dalla rete radar nazionale e dalle stazioni al suolo, garantendo un monitoraggio continuo dei fenomeni meteo-idrologici e della loro evoluzione su tutto il territorio, in collaborazione con i centri funzionali decentrati[23].

Le informazioni e i dati raccolti permettono al Centro Funzionale Centrale di mantenere aggiornato il centro di coordinamento nazionale nella Sala Situazione Italia, denominato "Sistema". Quest'ultimo assolve al compito di monitorare e sorvegliare il territorio nazionale per individuare emergenze, che possono verificarsi o che stanno effettivamente avvenendo, e allertare e attivare le altre componenti e strutture operative del Servizio nazionale della Protezione Civile[24].

Per effettuare il monitoraggio e la sorveglianza vengono utilizzati degli strumenti specifici, ovvero la rete relativa alle stazioni meteoidropluviometriche e la rete radar nazionale:

• Le stazioni meteoidropluviometriche sono stazioni di telemisura (Figura 4.1) che rilevano continuamente i dati meteorologici e successivamente li trasmettono in tempo reale. Queste stazioni hanno come obiettivo quello di stimare la presenza e l'intensità delle precipitazioni nell'atmosfera, oltre a osservare lo spostamento delle perturbazioni.

I sensori inclusi in una stazione meteorologica possono essere:

- Termometro
- Barometro
- Igrometro
- Anemometro
- Banderuola
- Pluviometro



Figura 4.1: Stazione meteorologica.

• La rete radar nazionale, invece, integra i dati radar con quelli satellitari, che rilevano la copertura nuvolosa, e con i sensori pluviometrici, che forniscono dati locali spesso non rappresentativi di un intero bacino idrografico. La combinazione di questi dati risulta utile per misurare le possibili variazioni del livello dei fiumi e la quantità delle precipitazioni cadute al suolo.

4.1.2 Bollettini A.R.P.A.

Per poter valutare la gravità delle allerte e delle criticità meteo-idrogeologiche ed idrauliche, la Protezione Civile usa delle tabelle che illustrano per ogni livello di criticità o allerta, ed ognuno suddiviso per tipologia di rischio (idrogeologico, idraulico e temporali), i possibili scenari di evento che si possono verificare sul territorio nazionale, insieme ai possibili effetti e danni collaterali.

La Protezione Civile nella regione Piemonte, in particolare, monitora il pericolo riguardo al rischio idrogeologico mediante i bollettini emessi dal Centro Funzionale del Piemonte che si possono trovare sul sito dell'A.R.P.A. Piemonte [25].

Questi bollettini vengono aggiornati in modo continuo ad intervalli di 15 minuti e forniscono l'attuale condizione di pericolo sul territorio comunale definito dai dati ottenuti dagli strumenti messi a disposizione, ovvero quelli registrati dagli idrometri della rete idrografica e dai pluviometri (Figura 4.2), e dal superamento strumentale di determinate soglie.

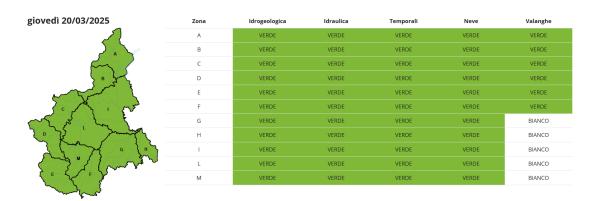


Figura 4.2: Bollettino allerta meteoidrologica e idraulica.

L'allerta può essere classificata con 4 livelli, che sono rispettivamente:

- VERDE : assenza di effetti significativi che possono essere previsti sul territorio;
- GIALLO: effetti limitati a specifiche aree del territorio;
- ARANCIONE : effetti rilevanti sul territorio;
- ROSSO : effetti numerosi o diffusi sul territorio.

4.1.3 Campagna "Io non rischio"

Promossa e realizzata dal Dipartimento della Protezione Civile in collaborazione con altre istituzioni nazionali e territoriali, la campagna "Io non rischio" ha come scopo quello di comunicare le buone pratiche di protezione civile combinando scienza, volontariato e istituzioni e rivolgendosi a tutta la comunità con messaggi di facile comprensione e con continuità durante tutto l'anno (Figura 4.3) [26].

Come viene scritto nel manifesto, queste comunicazioni cercano di aumentare la consapevolezza riguardo ai rischi, sia naturali che derivanti dalle attività umane, ai quali le persone sono esposte come individui e come comunità, e di incoraggiare azioni e comportamenti finalizzati a prevenirli o a mitigarne gli effetti.



Figura 4.3: La campagna "Io non rischio" durante la giornata nazionale del 2023.

- **4.2.3.1 Alluvione** Di seguito, vengono elencate le procedure da seguire in caso di alluvione presenti sul sito della Protezione civile[27]:
 - Durante i temporali, evitare di uscire di casa e staccare gli elettrodomestici dalla rete elettrica, telefonica e TV.
 - Se si è fuori casa, cercare un rifugio e non ripararsi sotto alberi isolati, antenne, tralicci; è preferibile scegliere di ripararsi in un bosco fitto, sotto un albero non isolato e più basso di quelli circostanti.
 - Se si è in viaggio, fermare l'auto sotto un riparo sicuro e restare all'interno coi finestrini chiusi.
 - Stare lontano dai corsi d'acqua e non soffermarsi sui ponti.
 - Scegliere una zona a debita distanza dal letto del fiume e adeguatamente rialzata rispetto al livello del torrente stesso.
 - In caso di vento forte, non fermarsi sotto cartelloni, ponteggi, strutture sospese, alberi, etc.
 - Evitare attività ludico/sportive.

4.2.3.2 Incendio Boschivo In caso di incendi boschivi, la Protezione Civile [27] indica di:

- Non gettare mozziconi di sigaretta / fiammiferi ancora accesi dall'auto o andando a piedi.
- Non accendere fuochi nei boschi, se non nelle aree destinate / attrezzate, e prima di andare via verificare che sia completamente spento.
- Non parcheggiare l'auto sopra erba o foglie secche, o assicurarsi che la marmitta non ne sia a contatto.
- Non abbandonare rifiuti nel bosco.
- Non bruciare stoppie o residui agricoli vicino al bosco o ad aree incolte, specialmente nelle giornate calde e ventose.
- In caso di incendio boschivo, avvisare subito le autorità preposte al numero 1515, ovvero l'Amministrazione forestale.
- Non fermarsi a guardare l'incendio lungo la strada o in zone sovrastanti l'incendio o sottovento, facilita l'intervento dei mezzi di soccorso.
- Non sostare in luoghi verso i quali soffia il vento.
- Stendersi a terra in un luogo dove non c'è vegetazione incendiabile, poichè il fumo tende a salire ed in questo modo si evita di respirarlo.
- Se si è in auto fermare il veicolo in zone aperte e prive di vegetazione con le luci accese, senza lasciarla, chiudendo i finestrini e le prese d'aria.
- Se ci si trova nell'incendio e non si ha altra scelta, assicurarsi una via di fuga verso la zona già bruciata.

- **4.2.3.3 Frana** Nel caso di una allerta frana in seguito a un fenomeno idrogeologico, sul sito della Protezione Civile le procedure da adottare[27] sono quelle di:
 - Se la casa viene colpita, ripararsi sotto un architrave o un muro portante.
 - Restare in ascolto di notiziari e comunicati delle autorità.
 - Collaborare con gli operatori in caso di evacuazione.
 - Se si è in spazi aperti, spostarsi verso zone più elevate e non sostare vicino a manufatti o edifici coinvolti nella frana.
 - Allontanarsi dagli edifici, dagli alberi, dai lampioni e dalle linee elettriche o telefoniche.
 - Non avventurarsi all'interno della frana, poichèanche se appare stabile può nascondere pericolose cavità sottostanti.
 - Se ci si trova nel tragitto della frana o subito sopra di essa, allontanarsi il più velocemente possibile, cercando di raggiungere un posto più elevato o stabile.
 - Se non è possibile scappare, rannicchiarsi il più possibile su se stessi, proteggendosi la testa.
 - Guardare sempre verso la frana facendo attenzione a pietre o ad altri oggetti che, rimbalzando, potrebbero colpire la persona.
 - Non soffermarsi sotto pali o tralicci: potrebbero crollare o cadere.
 - Non avvicinarsi al ciglio di una frana perché è instabile.
 - Se si sta percorrendo una strada e ci si imbatte in una frana appena caduta, cercare di segnalare il pericolo alle altre automobili che potrebbero sopraggiungere.

4.2 Game Design Document

Un Game Design Document (GDD) è un documento dettagliato e aggiornato costantemente, utilizzato nella progettazione e nello sviluppo di videogiochi. Questo viene stilato e aggiornato dal team di sviluppo e serve a organizzare e coordinare il lavoro all'interno del team[28].

4.2.1 Ambientazione

La progettazione dell'ambiente di gioco è stata costruita per rendere ogni scena dell'applicazione semplice e intuitiva per l'utente. Lo scenario principale è stato suddiviso in tre ambienti distinti, ciascuno con diversi livelli di interazione e con scopi ben definiti: un hub centrale, una piattaforma panoramica per osservare la Valle Cervo dall'alto e un sentiero montano che guida l'utente attraverso le attività che dovrà svolgere.

Di seguito, vengono descritti i tre ambienti che compongono l'applicazione:

• Hub informativo

La struttura dell'hub è stata ideata come punto di partenza dell'applicazione.

Gli scopi dell'hub sono molteplici, e al suo interno si troveranno diversi oggetti con i quali interagire. L'hub si trova sospeso sulla Valle Cervo e fornisce una visuale della valle attraverso una finestra che si trova alla fine della stanza. Sulle pareti della stanza l'utente potrà vedere delle immagini che spiegano i comandi associati ai vari pulsanti dei joystick, alcune foto degli altri due ambienti e delle informazioni che gli potranno essere utili per le attività. Al centro della stanza è stata posizionata una versione in scala ridotta della Valle Cervo in 3D, ma con minor dettagli, per avere una visuale completa della zona.

Una zona della stanza è dedicata alla stazione meteorologica, con un pannello informativo che ne spiega il funzionamento e le possibili interazioni con esso.

Infine, prima della finestra che si affaccia sulla valle, sono presenti delle postazioni di teletrasporto che porteranno l'utente negli altri ambienti disponibili.

• Vista aerea

L'ambiente in questione ha il compito di mostrare la Valle Cervo dall'alto ed è raggiungibile tramite una delle postazioni di teletrasporto presenti nell'hub. In questo scenario, l'utente verrà teletrasportato su un pannello trasparente, che si troverà sospeso nel cielo sopra la valle, in modo da fornirgli una visuale a 360° dell'ambiente rappresentante il caso studio e comprenderne la struttura fisica (Figura 4.4)



Figura 4.4: Valle Cervo.

• Scenario simulato di un sentiero della Valle Cervo

Questo ambiente, raggiungibile anch'esso tramite i teleport, ha un ruolo chiave, poichè al suo interno sono presenti le principali dinamiche dell'applicazione.

Lo scenario consiste in un grande spazio aperto, che ha come obiettivo quello di replicare il più fedelmente possibile il sentiero montano E60. Questo sentiero si trova nella Valle Cervo e inizia dal paese di Piedicavallo (BI), passando per le Piane, fino a raggiungere il Rifugio Rivetti.

L'area è percorsa da un torrente che la divide in due zone. Su una sponda del fiume è presente una zona boschiva, percorsa da un sentiero che prosegue costeggiando sia fiume che la base di una delle montagne. L'altra sponda del fiume, invece, non è percorribile ed è composta solo da montagne e alberi.

Alla fine di ogni tratto di sentiero, si avrà la possibilità di continuare in direzione dell'attività successiva o di ritornare nell'hub tramite il teletrasporto.

4.2.2 Meccaniche di gioco

All'interno della simulazione, le meccaniche di base disponibili e messe a disposizione per l'utente sono il movimento e la possibilità di interagire con oggetti. Queste meccaniche potranno essere utilizzate nell'hub e nel sentiero per poter esplorare e selezionare i pannelli informativi per avere informazioni sugli eventi oppure interagire con gli strumenti presenti negli scenari.

Un'altra meccanica a disposizione dell'utente è quella di potersi teletrasportare in alcune zone della simulazione grazie alle postazioni di teletrasporto presenti nei tre scenari. Inoltre, per lo scenario della valle aerea l'utente utilizza la meccanica base del movimento invece della meccanica di volo, in modo tale da ridurre la sensazione di motion sickness che potrebbe influenzare l'esperienza della simulazione.

4.2.3 Scopo

Lo scopo di questa esperienza sarà quello di insegnare ai cittadini e ai volontari della Protezione Civile come reagire quando si troveranno ad interfacciarsi con eventi correlati al rischio idrogeologico.

L'utente, durante il percorso del sentiero, troverà di fronte a se tre diversi pericoli. Per capire in che modo procedere in modo sicuro, dovrà fare affidamento e attuare le procedure che saranno scritte nei pannelli informativi posti in prossimità degli eventi di pericolo. Le spiegazioni sul come rispondere a questi eventi verranno inserite nell'hub e quindi consultabili gia agli inizi dell'esperienza.

4.2.4 Feedback e Suggerimenti

Per poter guidare correttamente l'utente nella sua esperienza, saranno presenti altri feedback oltre ai pannelli informativi.

La corretta direzione da prendere durante il percorso sarà illuminata se verranno prese direzioni sbagliate o ci si trova in difficoltà sul dove andare. L'effetto luminoso sarà ripreso anche per segnalare eventuali oggetti col quale interagire e necessari per il prosieguo della simulazione.

Inoltre, nella simulazione verranno posizionati dei pannelli informativi per spiegare e indicare i vari eventi di pericolo e per indicare la destinazione finale di ogni postazione di teletrasporto.

Per includere anche il senso dell'udito nella simulazione, saranno integrati dei suoni ambientali per garantire un maggiore senso di immersione e dei suoni con lo scopo di segnalare un comportamento corretto o errato.

4.2.5 Fasi della simulazione

Gli scenari principali dell'applicazione sono tre, e l'utente inizialmente si troverà all'interno dell'hub.

All'interno dell'hub, come detto precedentemente, sarà possibile interagire con i pannelli illustrativi nella stanza e visualizzare la valle sia in miniatura che dalla finestra. Inoltre, l'utente potrà avvicinarsi alla stazione meteorologica e capire per ogni parte che la compone quali informazioni si possono ottenere e le loro finalità.

Dopo aver visionato la stanza, l'utente potrà scegliere se utilizzare il teletrasporto per ottenere una panoramica dall'alto della Valle Cervo oppure teletrasportarsi nel sentiero.

4.3.5.1 Fase 1: L'incendio

Quando l'utente sceglie di utilizzare il teletrasporto per il sentiero, verrà inserito in uno scenario che vuole riproporre il sentiero E60 ai piedi di Piedicavallo (BI). Quello che si troverà davanti sarà una vegetazione composta da alberi e cespugli, e il delinearsi di un percorso in terra. Oltre a questi, saranno posizionati dei cartelli che indicano cosa si incontrerà durante l'attività.

Già da qui, inizieranno a funzionare i feedback per aiutare l'utente a capire dove andare e cosa guardare.

Per il primo scenario di un evento collegato al rischio idrogeologico l'utente dovrà interfacciarsi con il pericolo causato da un incendio boschivo.

Inizialmente avrà di fronte a se un bosco con al centro un piazzale dove sono presenti una stazione meteorologica e dei pannelli illustrativi. Dopo aver controllato i dati forniti dalla stazione ed essersi formato su questi dati, inizieranno a verificarsi le situazioni di pericolo.

In particolare, a causa di forte vento, steppaglie secche e alte temperature, verranno generate delle piccole fiamme nelle vicinanze dell'utente che colpiranno gli alberi della zona. Questi alberi inizieranno a prendere fuoco creando una coltre di fumo e diversi principi di incendi diffusi nella zona.

Anche in questo caso, le procedure da seguire sono scritte nel pannello informativo e consistono nell'allontanarsi il più possibile dalla zona, accovacciarsi per evitare di respirare i fumi causati dalla combustione e, solo quando ci si troverà in una zona sicura, chiamare il numero 1515 utilizzando il telefono che gli verrà dato in dotazione all'inizio della simulazione.

Dopo aver completato correttamente le procedure, le fiamme inizieranno a poco a poco ad affievolirsi e l'aria tornerà ad essere respirabile, permettendo il prosieguo del sentiero.

4.3.5.2 Fase 2: L'alluvione

Successivamente, seguendo le indicazioni dei cartelli e proseguendo lungo il sentiero, l'utente si avvicinerà al fiume e lo costeggerà per un breve tratto. Nel momento in cui raggiunge le prossimità di un pannello informativo, si verranno a creare delle condizioni di rischio.

Nello specifico, il cielo diventerà grigio e inizierà a piovere. Per questa condizione di pericolo si vuole simulare una "Flash Flood", ovvero un'alluvione lampo, che si verifica a seguito di intensi temporali associati a nubifragi in lento movimento o anche stazionari su piccoli bacini idrici, fiumi, torrenti e ruscelli. Il tempo che intercorre fra la pioggia e l'onda di piena può variare da poche decine di minuti a qualche ora[29].

Nella simulazione, dopo che l'utente si è informato tramite i dati del pannello informativo e della stazione meteorologica, il fiume inizierà a superare i suoi argini nel giro di pochi secondi, fino a esondare, sommergendo il sentiero e mettendo l'utente in una situazione di pericolo. In questo caso, il corretto modo di agire sarà quello di allontanarsi il più possibile, cercando di raggiungere una zona sopraelevata, e seguire le altre procedure elencate nel pannello informativo.

Dopo aver svolto correttamente le procedure, smetterà di piovere e l'utente potrà procedere attraversando il sentiero che costeggia il fiume e dirigersi ai teleport. Anche qui le possibili scelte sono tornare all'hub o proseguire con gli altri scenari.

4.3.5.3 Fase 3 : La frana

Proseguendo per il tratto finale del sentiero, l'utente dovrà passare sotto una zona ad alto rischio di frana. L'utente si troverà alla base di una parete rocciosa, con dei pannelli nelle vicinanze che spiegano quali sono le corrette procedure da adottare per mettersi al sicuro nel caso della frana.

Dopo aver interagito con il pannello, delle pietre inizieranno a cadere lungo la parete rocciosa e la procedura da adottare sarà quella di allontanarsi dalla frana. Dovrà inoltre cercare di mantenere la visuale sulla frana per evitare di esser colpito da pietre che potrebbero rimbalzare nella sua direzione e non avvicinarsi agli alberi sulla linea di caduta. Fin quando i sassi continueranno a cadere, l'utente dovrà mantenere le distanze e solo all'assestarsi delle pietre potrà proseguire.

Dopo che la frana sarà conclusa, l'utente non potrà più percorrere il sentiero, poichè reso inagibile dai massi. Inoltre, come è scritto sul pannello che gli comparirà davanti, dovrà utilizzare una piattaforma di teletrasporto dietro di lui che lo farà ritornare nell'hub, per successivamente scegliere di nuovo cosa fare nella simulazione.

4.2.6 Strumenti o oggetti utilizzabili

Durante la simulazione, l'utente farà uso di strumenti finalizzati al corretto svolgimento delle procedure di messa in sicurezza e al comprendere come determinare quando il rischio può effettivamente accadere attraverso il raccoglimento di dati.

4.3.6.1 Stazione meteorologica

La stazione meteorologica è un insieme di strumenti utilizzati per il monitoraggio delle condizioni fisiche dell'atmosfera in un determinato luogo e per un periodo di tempo indefinito, e vengono utilizzati i suoi parametri per scopi meteorologici e climatici (Figura 4.5) [30].

Gli strumenti che possono comporre la stazione meteorologica sono molteplici, ma per questa applicazione non sono stati inseriti tutti. Inoltre, per la simulazione è stato pianificato di permettere all'utente di poter analizzare i dati forniti da ogni componente. In particolare, mentre nell'hub si avrà una panoramica di come funziona ogni strumento, in prossimità degli scenari di pericolo verranno evidenziati attraverso feedback visivi e i pannelli informativi quali sono i più importanti in quel determinato momento. Infine, l'utente, tramite la stazione meteorologica, ha la possibilità di visualizzare i bollettini A.R.P.A. che forniranno dei dati fittizi ma coerenti per le attività della simulazione.

I componenti con il quale verrà composta la stazione meteorologica nella simulazione sono i seguenti:

- Un termometro per misurare la temperatura;
- Un barometro per la misurazione della pressione dell'aria;
- Un anemometro per quantificare la velocità del vento;
- Una banderuola per determinare la direzione del vento;
- Un pluviometro per misurare la quantità di pioggia caduta nella zona;



Figura 4.5: Stazione meteorologica in una zona montana.

4.3.6.2 Cellulare

Per poter effettuare la chiamata al numero 1515 durante la simulazione di pericolo a causa di un incendio boschivo, è stato scelto di dotare l'utente di un cellulare. Questo potrà essere visualizzato premendo un bottone del joystick e sarà possibile digitare il numero da chiamare soltanto durante la casistica precedentemente detta.

Inoltre, sarà possibile visualizzare il cellulare per controllare la temperatura e il meteo corrente in tutti gli scenari, in modo tale da ricordare i comportamenti da adottare.

4.3.6.3 Pannello informativo

Durante la simulazione, l'utente potrà apprendere i funzionamenti degli strumenti e le corrette procedure da adottare attraverso le immagini presenti nell'hub e i pannelli informativi sparsi nelle zone esplorabili (Figura 5.17).

Nonostante l'obiettivo di mantenere alto il realismo sia costante durante tutto il processo di creazione della simulazione, la scelta del design del pannello entra in contrasto con questa linea. Il suo design replica uno schermo digitale fluttuante che ha come scopo quello di risaltare nella scena per aiutare l'utente a essere in grado di riconoscerlo immediatamente.



Figura 4.6: Pannello informativo nei pressi di un sentiero.

4.3 Plugin di supporto

La simulazione si svolge nella Valle Cervo. La scelta del software adatto per ottenere la replica digitale della valle è stato un passaggio fondamentale. Inizialmente, è stato necessario definire se la valle dovesse essere creata su Unity o prima modellata in Blender e successivamente importare la mesh su Unity.

In questo paragrafo verranno elencate le funzionalità di alcuni software e plugin specifici per creare la valle in 3D. La sua creazione ha due funzioni: la prima è quella di utilizzare il modello creato per inserirlo nello scenario dove l'utente potrà vederlo da una zona sopraelevata; la seconda è di utilizzare il modello come riferimento per la creazione degli scenari successivi. In particolare, i software analizzati sono ArcGIS Maps SDK for Unity, Autodesk Infraworks e BlenderGIS.

Per gli scenari della frana, dell'esondazione e dell'incendio, invece, è stata utilizzata la funzione di Unity chiamata Terrain, che permette la rappresentazione 3D di paesaggi esterni all'interno di un ambiente virtuale e predispone la base per i terreni naturali, modificabili dallo sviluppatore in modo più agevole.

4.3.1 Vantaggi e Svantaggi

Lo studio che ha portato alla scelta del plugin per la realizzazione del modello si è basato sulla necessità di avere determinate caratteristiche specifiche per quel modello. In particolare, le caratteristiche sono le seguenti:

- Il modello deve replicare fedelmente la valle;
- Il livello di dettaglio del modello deve essere sufficientemente alto da permettere di distinguere la presenza di vegetazione o di strutture;
- Il modello deve essere manipolabile, ovvero si può modificare la dimensione dell'area, alterare gli elementi presenti o eliminare tratti specifici;

I plugin analizzati, ovvero BlenderGIS, ArcGIS Maps e InfraWorks, presentano ciascuno punti di forza e debolezze che verranno elencati e confrontati.

Partendo dalla facilità d'uso, BlenderGIS risulta il più semplice poichè sfrutta l'interfaccia di Blender e non richiede conoscenze aggiuntive particolari. Per InfraWorks vale lo stesso concetto, ma nell'ambiente di Autodesk, mentre per ArcGIS Maps bisogna avere delle buone conoscenze di Unity e ArcGIS.

Per quanto riguarda il costo del plugin, anche in questo caso BlenderGIS è la scelta migliore poichè è gratuito e open-source, mentre ArcGIS e InfraWorks richiedono l'acquisto di una licenza che, se assente, riduce le funzionalità a disposizione.

Dal punto di vista dell'integrazione con Unity, ArcGIS Maps è l'unico che è stato progettato per integrare i dati GIS con Unity. Per gli altri due plugin, la

soluzione consiste nell' esportare i modelli creati nei rispettivi ambienti e importarli su Unity.

Invece, considerando il livello di dettaglio e la qualità dei modelli generati, la migliore resa è fornita da ArcGIS Maps grazie alla precisione dei suoi dati geospaziali. Uno degli ostacoli, però, è la difficoltà nel poter manipolare e modificare il modello come in Blender o su InfraWorks.

Infine, BlenderGIS è un plugin con il quale si può lavorare completamente offline dopo aver scaricato i dati GIS da internet. Per ArcGIS e InfraWorks, invece, è necessaria una connessione internet costante per la sincronizzazione e l'aggiornamento dei dati. Su InfraWorks e ArcGIS è possibile lavorare offline, ma è prima necessario scaricare i dati e inoltre molte funzionalità non sono disponibili.

In conclusione, dopo aver analizzato i seguenti plugin, per questo progetto si è scelto di utilizzare BlenderGIS perchè rispetta le specifiche delle richieste iniziali e per la sua comodità di utilizzo.

Caratteristica	BlenderGIS	ArcGIS Maps	InfraWorks
Facilità d'uso	Sì	No	Sì
Costo	Gratuito	A pagamento	A pagamento
Integrazione con Unity	No	Sì	No
Dati GIS avanzati	Limitati	Sì	Sì
Modifiche sul terreno 3D	Sì	Parziale	Sì
Supporto offline	Sì	Parziale	Parziale
Livello di dettaglio	Buono	Ottimo	Ottimo

Tabella 4.1: Confronto tra BlenderGIS, ArcGIS Pro SDK for Unity e Autodesk InfraWorks

4.3.2 ArcGIS Maps SDK for Unity

ArcGIS Maps SDK for Unity è un plugin sviluppato da Esri e permette di dare l'accesso a mappe del mondo reale e di contenuti 3D presenti all'interno di ArcGIS [31].

Il Software Development Kit mette a disposizione numerosi esempi col quale iniziare ad approcciarsi a questo plugin, e da la possibilità di creare mappe e ambienti virtuali attraverso tre diverse modalità di sviluppo: utilizzando la Map Creator UI, facendo uso dei components o predisponendo tutti gli script corretti con la C# API.

Per la creazione di una mappa, le procedure da seguire sono:

- La scelta della sezione di terreno fornendo le cordinate e i riferimenti spaziali Well-Known ID (WKID);
- L'integrazione della Fotocamera di Unity per poter visualizzare correttamente il terreno durante la modalità "Play";
- La selezione della basemap che si intende visualizzare del terreno;
- L'inserimento della API key per avere accesso alle mappe;
- La scelta dell'elevazione e dei layer da utilizzare;
- Infine, aggiustare le componenti riguardanti l'ambiente e le luci.

4.3.3 Autodesk Infraworks

Autdesk Infraworks è un software di modellazione e progettazione, appartente a Autodesk, e permette di creare in modo rapido dei modelli 3D di determinate porzioni di territorio. Grazie a questo software è possibile modellare, analizzare e visualizzare dei concept di progetto delle infrastrutture nel contesto reale del sito di costruzione in un ambiente virtuale

La funzione offerta da Infraworks, quindi, è quella di aggregare grandi moli di dati, tra i quali anche quelli GIS e topografici, per creare modelli 3D ed esporre in modo chiaro l'idea progettuale. Con questi modelli verrà simulato come un progetto si adatterà al contesto geografico e all'ambiente reale, valutandone l'impatto nel contesto e consentendo ai progettisti di esplorare le soluzioni a disposizione grazie a strumenti di visualizzazione avanzata.

Per creare un modello 3D su Infraworks si può procedere in questo modo:

- Scegliere la porzione di terreno di interesse attraverso "Model Builder";
- Selezionare il sistema di coordinate;
- Creare il modello.

Dopo aver seguito i passaggi, il modello 3D potrà essere esportato da Infraworks e importato su Blender, sul quale sarà possibile effettuare delle modifiche, oppure direttamente su Unity in formato .fbx.

4.3.4 BlenderGIS

BlenderGIS è un add-on (plugin) per Blender che permette di integrare facilmente dati geografici e GIS (Geographic Information Systems) all'interno di progetti di modellazione 3D (Figura 4.7).

In particolare, BlenderGIS consente di importare e visualizzare dati geografici reali (come mappe, dati topografici, rilievi, e modelli digitali del terreno) direttamente in Blender, utilizzando informazioni provenienti da fonti GIS come shapefiles, dati raster, e dati elevazione [32].

Per creare un modello 3D su Blender con BlenderGIS si può procedere in questo modo:

- Inizialmente bisogna caricare la Basemap visualizzando i geodati forniti da Google come sorgente e utilizzando il layer "satellite";
- Successivamente viene scelta la selezione di terreno che verrà poi convertita in mesh;
- Per ottenere maggiori dettagli, si può far uso dello zoom e bloccarlo dopo aver raggiunto il dettaglio desiderato;
- Dopo aver creato la mesh, si aggiunge l'elevazione del terreno facendo la richiesta ai geodati forniti dalla NASA e contenuti nel Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), dove sono presenti dati rappresentanti circa l'80% della superficie terrestre[33];
- Opzionalmente, possono essere aggiunti degli edifici, i fiumi e le strade, oltre ad altri siti di interesse rilevati dai dati satellitari e presenti in Open Street Map (OSM);

Oltre alla facilità di utilizzo di questo add-on, con BlenderGIS è possibile modificare la mesh e successivamente esportarla da Blender e importarla su Unity. Inoltre, l'importazione dei materiali della mesh su Unity è semplificata dal fatto che è sufficiente inserire negli asset di Unity l'immagine satellitare corrispondente al terreno scelto e creato su Blender.



Figura 4.7: Interfaccia dell'add-on BlenderGIS in Blender.

Capitolo 5

Realizzazione

Questo lavoro di tesi ha avuto come obiettivo quello di progettare e realizzare per intero un'applicazione in realtà virtuale, occupandosi sia della creazione dei modelli 3D che della scrittura degli script necessari.

In questo capitolo viene analizzata in dettaglio la struttura del progetto realizzato e il sistema di interazione adottato per la tecnologia VR. Inoltre, viene spiegato come sono stati creati gli scenari degli ambienti virtuali, gli oggetti che compongono le scene e i relativi script che ne permettono i funzionamenti.

5.1 Struttura del progetto

La realizzazione del progetto è avvenuta mediante l'utilizzo di Unity nella sua versione 2022. Oltre ad esso e agli asset messi a disposizione dall'asset store, è stato utilizzato Blender (versione 4.3.2) per la creazione e la modifica di modelli, come ad esempio per la Valle Cervo utilizzando BlenderGIS.

Infine, l'applicazione è stata studiata e progettata per funzionare correttamente sul visore Meta Quest 3, rispettando l'indicazione di evitare di superare la soglia dei 1.8 milioni di triangoli visualizzabili durante l'esecuzione dell'applicazione per mantere alte le prestazioni. Infatti, riducendo il numero di triangoli si diminuisce il carico computazionale sulla GPU del visore, mentre un numero elevato di triangoli causerebbe ritardi(lag) e bassa frequenza di aggiornamento[34].

Durante la simulazione, l'utente ha la possibilità di scegliere con quale evento correlato al rischio idrogeologico interfacciarsi (Figura 5.1). Questo è possibilie all'interno dell'hub, che funge da prologo, e alla fine di ogni simulazione dell'evento. In questo modo, l'esperienza dell'utente non viene limitata.

Inoltre, in ottica di utilizzo da parte dei cittadini e dei volontari della Protezione Civile, questa modalità permette di potersi addestrare ripetutamente e senza vincoli sullo stesso evento.

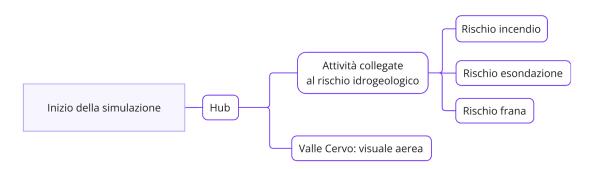


Figura 5.1: Workflow della simulazione.

5.2 OpenXR Plugin

OpenXR è uno royalty-free standard, sviluppato da Khronos, che mira a semplificare lo sviluppo di applicazioni XR (Extended Reality) rendendo l'interoperabilità tra dispositivi e piattaforme più semplice [35]. Un altro aspetto rilevante è che si tratta un API estendibile, ovvero è possibile aggiungere altre estensioni per usufruire di nuove funzioni.

Questo plugin è stato scelto per il progetto di tesi per la sua semplicità di configurazione grazie all'integrazione diretta di Unity con OpenXR tramite l'XR Plugin Management. Inoltre, OpenXR permette di preparare l'applicazione per altri visori applicando minime modifiche al codice e gestisce automaticamente le impostazioni per ottimizzare le performance, adattandosi alla potenza hardware del visore.

Per gestire input e interazioni, è stato utile installare "XR Interaction Toolkit". Questo pacchetto è un sistema di interazione di alto livello, basato su componenti e utile per la creazione di esperienze in VR e AR. Mette a disposizione un framework che rende possibili le interazioni 3D e con la UI (User Interface) tramite l'Input Events System di Unity [36].

Il fulcro di questo sistema è formato da componenti base "Interactor" e "Interactable", e da un "Interaction Manager" che collega insieme questi due tipi di componenti. Oltre a questi, sono inclusi componenti utilizzabili per la locomozione e per i componenti grafici per la UI.

5.2.1 Locomozione

Controller Sinistro

Per il metodo di locomozione si è scelto di utilizzare il sistema fornito da XR Interaction Toolkit, che permette di muoversi all'interno di una scena in una esperienza XR e prende il nome di "XR Origin". Questo sistema è un insieme di GameObject e componenti che lavorano insieme per trasformare i dati ottenuti mediante il tracciamento XR nell'ambiente virtuale [37].

In particolare, tra i componenti principali sono presenti il Locomotion Mediator, il Dynamic Move Provider, il Snap Turn Provider e il Teleportation Provider.

Nella simulazione l'utente potrà muoversi usando l'analogico del controller sinistro e avrà la possibilità di modificare la direzione della visuale attraverso l'analogico del controller destro(Figura 5.2). Il componente Teleportation Provider è stato inserito per gestire la logica del teletrasporto e funzionare da mediatore tra l'utente e le postazioni di teletrasporto.

Movimento Selezione Oggetti

Figura 5.2: Controller sinistro del Meta Quest 3.

5.2.2 Interazione

Come detto precedentemente, per poter interagire con un oggetto è necessario aggiungere al Gameobject, oltre allo script XR Grab Interactable, la componente Collider e un RigidBody. In questo modo, l'utente potrà selezionare l'oggetto indicandolo con il controller e, quando il raggio raggiunge l'oggetto desiderato, premere il pulsante interno del controller.

Invece, per interagire con i pannelli informativi e altri bottoni bisogna indicarli con il raggio e poi premere il pulsante presente dietro al controller (Figura 5.3).

Nella simulazione, inoltre, l'utente può visualizzare e riporre il telefono premendo il pulsante "A".

Controller Destro



Figura 5.3: Controller destro del Meta Quest 3.

5.3 Creazione degli scenari

Gli scenari principali sono tre: l'hub, la Valle Cervo e il sentiero E60. Mentre per il primo ambiente è stata scelta una sala generica con all'interno tutte le funzioni necessarie, per gli altri due è stata presa come riferimento la valle. Lo stile scelto è quello del realismo per offrire un'esperienza immersiva all'utente, cercando dove possibile di ridurre il costo computazionale legato della grafica.

5.3.1 Hub

Il modello 3D dell'hub è stato realizzato direttamente su Unity (Figura 5.4). Questo consiste in un GameObject ed è rappresentato sotto forma di sala. La parte iniziale consiste in un breve corridoio che va a finire in una ampia sala esagonale, con al centro un globo incavato a terra e in fondo un ampio finestrone.

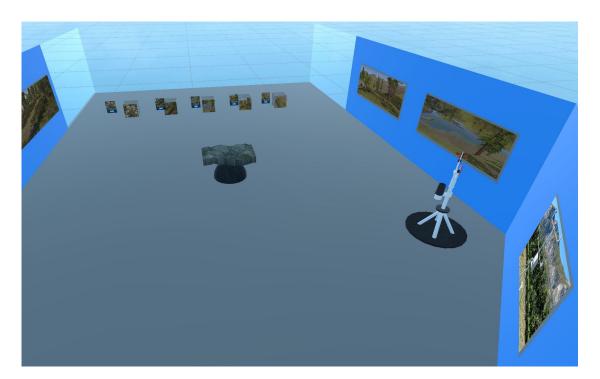


Figura 5.4: Hub.

Le pareti, come il pavimento e il finestrone, possiedono la componente collider in modo tale da non permettere all'utente di passarci attraverso. I materiali e i colori utilizzati per la realizzazione dell'hub sono principalmente neutri e semplici, creando un distacco visivo con l'ambientazione della valle. Il vetro del finestrone è stato realizzato con un materiale trasparente, con la componente smoothness impostata a 1, per permettere di vedere la valle dall'hub (Figura 5.5).

Il globo funge da piedistallo fittizio e sopra di esso si trova una replica in miniatura della valle Cervo in 3D che ruota su se stessa. Questa è stata realizzata mediante BlenderGIS, come verrà spiegato nel paragrafo successivo. La miniatura possiede la componente Mesh Collider in modo tale da non poter essere attraversata dall'utente e lo script che ne permette la rotazione è chiamato Rotator, appartenente a VRTemplate. La velocità angolare con il quale gira intorno all'asse y è stata impostata a 1 grado al secondo, mentre per gli altri assi, dove non avviene la rotazione, è lasciata a 0.

Sulle pareti sono state messe delle immagini che raffigurano delle zone della valle Cervo, una stazione meteorologica e delle guide per capire come funzionano i controller. In un angolo della sala è stata collocata la stazione meteorologica e in fondo alla sala si trovano le postazioni di teletrasporto. Il loro numero corrisponde al numero di ambienti che l'utente può raggiungere e ognuno di questi oggetti ha il proprio pannello illustrativo.

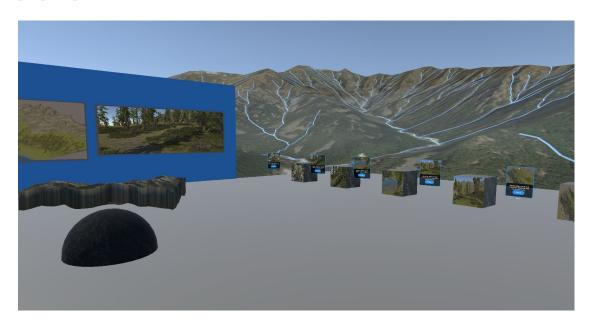


Figura 5.5: Vista della valle dall'hub.

5.3.2 Valle Cervo

Dopo aver provato diverse combinazioni di zoom e zone di territorio da considerare, la scelta finale è ricaduta su questi parametri da inserire su BlendeGIS:

- La zona scelta raggruppa la Valle Cervo, Piedicavallo e una porzione di Rosazza;
- Lo zoom per localizzare la zona da esportare è stato impostato a 14 su un massimo di 22, mentre per il livello di dettaglio per la visualizzazione della superficie è stato scelto lo zoom a 17;
- Il server dal quale prendere la corretta elevazione è "OpenTopography SRTM 30m";



Figura 5.6: Valle Cervo in 3D.

Successivamente, è stata esportata la zona di terreno sotto forma di mesh e con i modificatori applicati di "subdivision surface" e "displace".

Per fornire maggiori dettagli durante la visione della valle, si è deciso di evidenziare i corsi d'acqua presenti. Per fare ciò, tramite BlenderGIS e il comando "get OSM"
(OpenStreetMap), sono stati importati i dati presenti su OpenStreetMap riguardo
alle posizioni e alle coordinate dei corsi d'acqua. Questa scelta è stata adottata
per poter analizzare meglio i possibili danni che potrebbe causare l'esondazione di
un fiume. Dopo aver importato le mesh dei fiumi, è stato utile renderle più spesse
convertendo prima le mesh in curve e poi aumentandone lo spessore modificando il
valore di "depth" a 4 metri per individuarle più facilmente.

Lo shader della mesh della valle corrisponde a un "Uv map" collegato a un "image texture", che ha come immagine la foto satellitare della Valle Cervo.

Infine, la mesh è stata esportata e importata su Unity insieme alla foto satellitare, dove sono avvenute delle correzioni che riguardavano principalmente il dettaglio visivo della mesh. In particolare, sono stati modificati i parametri di "Smooth" e la risoluzione dell'immagine satellitare.

All'interno dell'applicazione, la mesh della valle è visibile sia all'interno dell'hub in formato miniatura che dalla finestra dell'hub, oltre che nel suo scenario dedicato.

Dopo aver utilizzato la postazione di teletrasporto collegata alla valle, l'utente si ritroverà su una superficie trasparente e posizionata in una zona sopraelevata rispetto alla Valle Cervo(Figura 5.7). Per evitare che si possa cadere dalla piattaforma, sono state aggiunte delle pareti opache con la componente collider.

In questo spazio, l'utente può muoversi liberamente e ha la possibilità di vedere completamente la valle simulando una visualizzazione aerea. Inoltre, è presente un pannello e un teleport per poter fare ritorno nell'hub.



Figura 5.7: Piattaforma.

5.3.3 Scenario simulato del sentiero E60

Lo scenario simulato, che riproduce un sentiero montano della Valle Cervo, è stato interamente realizzato su Unity utilizzando il plugin Terrain.

Grazie alle funzionalità di Terrain, è stato possibile creare un'ambientazione composta da una valle attraversata da un fiume. Mentre la sponda a sinistra del fiume non è percorribile, la sponda a destra, che si trova alle pendici della montagna, presenta un sentiero popolato da alberi e cespugli (Figura 5.8).



Figura 5.8: Modello 3D del sentiero.

Per poter realizzare le simulazioni per la corretta risposta a pericoli legati al rischio idrogeologico è stato utilizzato uno scenario unico, che può essere suddiviso in tre tratti: uno per la simulazione di un incendio, uno per l'esondazione e l'ultimo per la frana.

Nello specifico, l'utente avrà la possibilità di percorrere tutto il sentiero che inizia dalla zona boschiva. Dopo averla attraversata, proseguirà per il tratto che lo obbliga ad avvicinarsi al fiume e, infine, raggiungerà il tratto che costeggia una parete rocciosa.

Se l'utente desidera intraprendere un'attività specifica anziché percorrere l'intero sentiero, nell'hub può selezionare quale attività avviare. Una volta scelta, i tratti del percorso che conducono ad attività diverse verranno bloccati da una parete invisibile.

Questa parete è una mesh realizzata con materiale trasparente e un Collider per evitare che venga attraversata e ha come scopo quello di far muovere l'utente verso la direzione desiderata.

Sono state messe delle pareti invisibili anche lungo determinate zone del fiume, ai confini della mesh dello scenario e per tutto il perimetro della parete rocciosa, escludendo la parte necessaria per lo svolgimento di una delle attività, ovvero la frana. Queste scelte sono state fatte per evitare che l'utente si distragga dall'obiettivo principale della simulazione e per delimitare i confini dello scenario realizzato su Unity.

La zona boschiva è stata realizzata creando un terreno ricco di alberi e cespugli e, invece di utilizzare il verde per replicare un prato, il terreno avrà tonalità di marrone per richiamare l'aspetto di un'area coperta da foglie secche (Figura 5.9).



Figura 5.9: Bosco.

Nel tratto del sentiero che si avvicina al fiume è stata modellata una lieve depressione per consentire all'utente di avvicinarsi all'acqua. Nelle condizioni iniziali dello scenario, ovvero precendenti alle attività, è possibile raggiungere una zolla di terreno emersa. In questa area, il terreno è stato realizzato con una texture che riproduce l'aspetto di una zona fangosa (Figura 5.10).

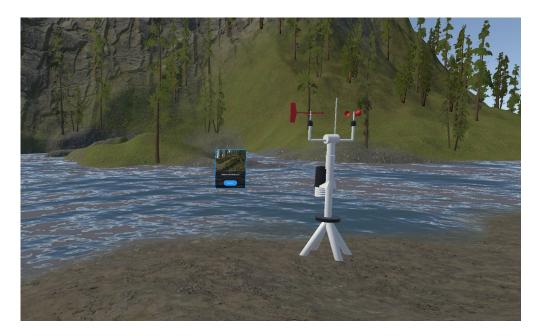


Figura 5.10: Fiume.

Il tratto finale, invece, guida l'utente lungo il sentiero che gli permetterà di evitare degli alberi caduti e un grosso masso e di costeggiare la parete rocciosa. Questa parete è stata levigata attraverso la modellazione mediante gli strumenti forniti da Terrain(Figura 5.11).



Figura 5.11: Parete rocciosa.

5.4 Tecniche di ottimizzazione

La gestione della complessità computazionale è stata un punto rilevante durante la realizzazione di questa applicazione. Come detto precedentemente, per poter ottenere delle prestazioni ottimali per l'esecuzione dell'applicativo in modalità standalone sul Meta Quest 3 il numero di triangoli totali nelle scene si dovrebbero mantenere in un intervallo tra i 1,3 e i 1,8 milioni.

Nonostante la resa grafica in formato "low poly" avrebbe ridotto il peso computazionale, si è scelto di mantenere una grafica realistica per aumentare la sensazione di immersione e di ricorrere ad altre tecniche di ottimizzazione.

5.4.1 Caricamento delle Scene

Una delle tecniche utilizzate è il caricamento delle scene. Durante l'esecuzione dell'applicazione, l'utente potrà spostarsi in 3 diversi scenari in zone distanti dalla posizione iniziale.

Grazie al fatto che ogni scenario è indipendente dagli altri, è stato implementata una modularità col fine di decidere quale scena caricare e quale può essere momentaneamente eliminata. In particolare, gli scenari sono stati divisi in Hub, Valle, Sentiero e SceneManager, con quest'ultimo che ha il compito di aggiornare i parametri di tutte le variabili necessarie per la simulazione.

Ad esempio, mentre l'utente si troverà all'interno dell'hub potrà vedere la valle, ma quando utilizzerà il teletrasporto per spostarsi all'inizio del sentiero, le scene Hub e Valle verranno eliminate.

Per poter organizzare il caricamento e lo scaricamento dinamico delle scene è stato realizzato il codice mostrato nell'immagine (Figura 5.12).

Lo script "Scene part loader" si basa sul prendere come riferimento la posizione dell'utente o l'ingresso di quest'ultimo in un'area precedentemente definita che fungerà da trigger. Questo script viene assegnato ad un numero di GameObject uguali al numero di scene presenti nel progetto, e per ognuno viene definita la distanza minima dall'utente o la grandezza dell'area del collider.

Andando ad analizzare lo script nel dettaglio, le variabili create corrispondono al riferimento del componente "Transform" dell'utente, al metodo da usare per il caricamento e la distanza entro la quale la scena verrà caricata.

Inoltre, sono state implementate due variabili booleane per tener traccia dello stato della scena, ovvero se è stata già caricata, e verificare se l'utente è entrato nell'area e, di conseguenza, è stato attivato il trigger per caricare la scena: isLoaded e ShouldLoad. Per distinguere quale metodo di caricamento è stato scelto, ovvero attraverso il calcolo della distanza o successivamente all'ingresso di un'area definita da un collider con un trigger, è stato definito un tipo enumerato composto da 2 valori: Trigger e Distance.

```
/oid Start(){
    if (SceneManager.sceneCount > 0){
        for (int i = 0; i < SceneManager.sceneCount; ++i){</pre>
            Scene scene = SceneManager.GetSceneAt(i);
            if (scene.name == gameObject.name){
                isLoaded = true;
void Update(){
    if (checkMethod == CheckMethod.Distance){
        DistanceCheck();
    else if (checkMethod == CheckMethod.Trigger){
        TriggerCheck();
void DistanceCheck(){
    if (Vector3.Distance(player.position, transform.position) < loadRange){</pre>
        LoadScene();
        UnLoadScene();
void LoadScene(){
    if (!isLoaded){
        SceneManager.LoadSceneAsync(gameObject.name, LoadSceneMode.Additive);
        isLoaded = true;
void UnLoadScene(){
    if (isLoaded){
        SceneManager.UnloadSceneAsync(gameObject.name);
        isLoaded = false;
```

Figura 5.12: Script ScenePartLoader.

Quando viene eseguita la funzione Start per ogni GameObject che possiede lo script, viene verificato il numero di scene già caricate nel gioco. Successivamente avviene un ciclo for che prende il nome di ogni scena presente e lo confronta con il nome del GameObject. Se viene trovata una corrispondenza, vorrà dire che la scena associata al GameObject è stata già caricata, e il valore della variabile isLoaded dovrà essere impostato a true. In questo modo si evita di caricare più di una volta la stessa scena.

Nella funzione di Update, e quindi dopo ogni frame, lo script verifica quale metodo di controllo è stato scelto, se a distanza o con il trigger, e chiama il metodo corrispondente.

La funzione "LoadScene" gestisce il caricamento delle scene dopo aver verificato la variabile isLoaded del GameObject, e verrà eseguita solo se il risultato della verifica è positivo.

Il caricamento della scena avverrà in modo asincrono prendendo il nome dell'oggetto come nome della scena e quest'ultima verrà aggiunta senza scaricare quelle già presenti. Infine, verrà modificato il valore della variabile booleana isLoaded. Al contrario, "Unload Scene" scaricherà la scena e imposterà il booleano a false.

I metodi "OnTriggerEnter" e "OnTriggerExit" verificano l'ingresso e l'uscita del giocatore da un'area definita dal collider del GameObject. Quando l'utente entra nell'area, viene modificato il valore del booleano ShouldLoad per caricare la scena, mentre verrà impostato a false quando uscirà da essa.

Il metodo "DistanceCheck" calcola la distanza tra il giocatore e l'oggetto che contiene lo script e se la distanza è inferiore ad un determinato valore, chiama la funzione "LoadScene", altrimenti chiama la "UnloadScene". "TriggerCheck", invece, effettua le stesse operazioni sulla scena, ma in questo caso verificando se la variabile ShouldLoad è a true o false.

Dopo aver implementato lo script, su Unity andrà aggiunta ogni scena che sarà gestita in questo modo all'interno dell'elenco delle scene che sono incluse nella build del progetto.

La scena principale è quindi composta dallo SceneManager dove sono presenti l'XR Origin, la luce per l'illuminazione degli ambienti Unity, e infine i GameObject con i nomi delle scene.

5.4.2 Livello di dettaglio

Negli scenari creati con Terrain, si è fatto uso di numerosi modelli 3D per poter rendere il sentiero montano realistico, tra cui alberi, cespugli e rocce.

Per compensare il peso computazionale dei modelli presenti, sono stati impostati dei livelli di dettaglio (LOD) che modificano la visualizzazione della mesh in base alla distanza da essa.

Come viene mostrato dalla schermata ripresa da Unity (Figura 5.13), la mesh viene modificata in modo tale da essere vista ad alto dettaglio grafico quando l'utente si trova nelle sue vicinanze, fino ad essere sostituita da una billboard, che corrisponde ad una immagine 2D, se abbastanza distanti da essa. Per operare sul LOD del terreno sono stati modificati i parametri di "Pixel error", che semplifica il terreno generato per ottimizzare il rendering, e di "Detail density scale", che riguarda la gestione della densità dei dettagli come l'erba, le pietre o altri oggetti.

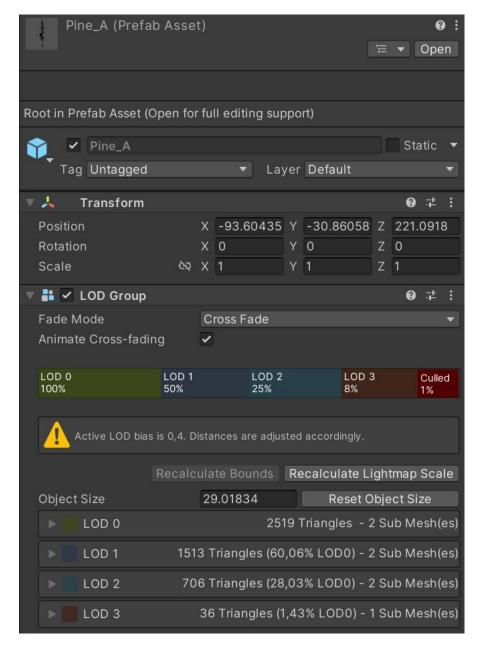


Figura 5.13: LOD di un pino.

5.5 Elementi di gioco

Durante la simulazione, l'utente potrà interagire con degli elementi di gioco che permetteranno di comprendere al meglio come reagire a situazioni di rischio idrogeologico. Nella maggior parte dei casi, l'interazione consisterà nel selezionare dei componenti o degli oggetti oppure premere dei bottoni.

5.5.1 Stazione meteorologica

Uno degli elementi più importanti della simulazione è la stazione meteorologica. Grazie a questo strumento, l'utente avrà la possibilità di comprenderne il funzionamento selezionando il componente che si vuole approfondire e imparando a utilizzare le informazioni in relazione allo scenario nel quale si troverà.

In particolare, in ogni scenario, eccetto nell'hub, verrà fatto riferimento ad uno o più componenti della stazione che daranno più informazioni sul come identificare il rischio e reagire per mettersi al sicuro.

La stazione meteorologica modellata per questo progetto ha come componenti un anemometro, una banderuola per la direzione del vento, un pluviometro, un'antenna e un termometro.

Per il pluviometro è stato aggiunto un componente che cerca di simulare uno schermo solare passivo Davis con un igrometro all'interno che misura l'umidità relativa dell'aria o di altri gas [38].

La realizzazione della mesh 3D è avvenuta su Blender (Figura 5.14). Tra le tecniche utilizzate si possono elencare:

- Bevel, per smussare i bordi dello strumento per controllare la direzione del vento;
- Mirror, che è stato utilizzato per duplicare il braccio che collega l'anemometro alla banderuola e all'antenna;
- Extrude, che permette l'estrusione di vertici o facce di una mesh. Per realizzare l'anemometro è stata adottata la tecnica spin di extrude per creare due copie di una unica pala e successivamente farle ruotare e disporle intorno ad un offset messo ad una sua estremità;
- Shade smooth con un angolo di circa 25° per rendere le forme meno spigolose;

Inoltre, sono stati creati dei materiali per la struttura della stazione e per i suoi componenti.

Per la struttura portante della stazione è stato utilizzato un materiale metallico realizzato nello shader editor mediante "Noise texture" e "Bump" per conferirgli una superficie ricollegabile al metallo.

Per le componenti, invece, si è deciso di utilizzare un materiale che simula l'aspetto della plastica. Successivamente, la mesh 3D è stata esportata ed importata su Unity, per poi essere collocata all'interno dell'hub e nei tre scenari dove è possibile svolgere le attività.

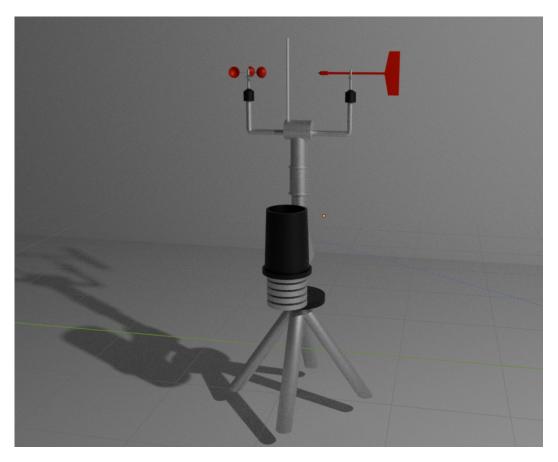


Figura 5.14: Stazione meteorologica in 3D.

Per la gestione delle interazioni con la stazione, il modello 3D è stato suddiviso in componenti. Ogni componente corrisponde a uno strumento e rappresenta un singolo GameObject. Come detto precedentemente, per poter interagire con questi oggetti è necessario lo script XR Grab Interactable di XR Interaction Toolkit. In particolare, grazie al componente "XR Grab Interactable" e tramite la sezione degli "Interactable events", è possibile definire cosa avviene in seguito ad una azione dell'utente con l'oggetto.

Nello scenario dell'hub, quando l'utente indirizza il puntatore nella direzione di un componente, può selezionarlo dopo aver sentito un feedback fisico dal controller. Se l'utente seleziona l'oggetto, nelle sue vicinanze comparirà un pannello informativo con le informazioni relative a quel componente. Inoltre, se si seleziona l'antenna, è possibile visualizzare una replica del bollettino A.R.P.A, accompagnata da una spiegazione su come questo bollettino dovrebbe essere consultato dall'utente. La comparsa del pannello è realizzata inserendo nella sezione Interactable events all'azione "First/last select" lo script che attiva il GameObject del pannello (Figura 5.15).

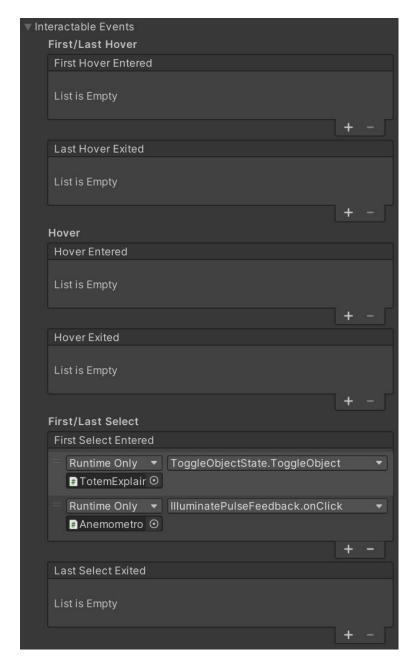


Figura 5.15: Interactable Events della stazione meteorologica.

Le stazioni presenti nel sentiero forniscono nuovamente informazioni e, per ogni attività, un feedback luminoso, realizzato con lo script "IlluminatePulseFeedback", indica all'utente da quali componenti bisogna ottenere dati per l'evento correlato al rischio idrogeologico che deve interfacciare. Alla selezione del componente, viene visualizzato il pannello e viene disattivato il feedback luminoso. Inoltre, viene impostata una variabile booleana a true dello script relativo alla frana, l'incendo o all'esondazione, in base a quale attività sta svolgendo l'utente. In questo modo, viene confermato che l'utente ha raccolto tutti i dati necessari e messi a disposizione.

5.5.2 Postazione di teletrasporto

Per facilitare il movimento dell'utente da una ambientazione all'altra, è stato scelto di implementare la funzione di teletrasporto. Il teletrasporto avviene tramite delle postazioni apposite presenti in ogni scenario ed ognuna è composta da un GameObject a forma di cubo e da un Canvas raffigurante la zona che verrà raggiunta (Figura 5.16).

Le interazioni che avvengono con le postazioni di teletrasporto sono gestite con gli script dell'XR Interaction Toolkit. In particolare, ogni GameObject possiede lo script "Teleportation Anchor" che permette di definire la destinazione finale andando a modificare il campo "Teleport Anchor Transform".

Questo GameObject diventerà un Interactable e sarà necessario utilizzare l'Interaction Manager per fare da mediatore e comunicare con il Teleportation Anchor. È possibile, inoltre, decidere l'orientamento dell'utente nella destinazione finale andando a modificare uno dei parametri di configurazione.

Per la realizzazione di questo elemento si è scelto di utilizzare un Canvas con un Button attaccato e messo di fronte ad un GameObject a forma di cubo. Quando questo bottone viene premuto, uno script associato manda la richiesta di teleport al Teleportation Anchor presente nel GameObject.

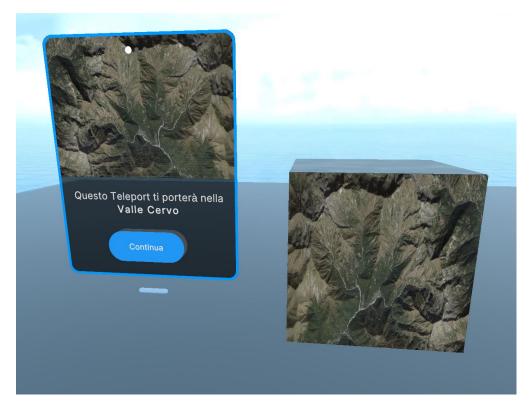


Figura 5.16: Postazione di teletrasporto.

5.5.3 Pannello informativo

All'interno della simulazione, l'utente dovrà interagire con determinati elementi, come la stazione meteorologica, che forniranno delle informazioni da tener conto per comprendere al meglio il contesto. Inoltre, avrà bisogno di linee guida da seguire durante le tre attività, come ad esempio come comportarsi di fronte al pericolo o a cosa si sta andando incontro lungo il percorso.

Per poter far fronte a queste richieste, si è scelto di inserire dei pannelli informativi o illustrativi vicino alle attività o agli elementi nella scena.

Questi pannelli (Figura 5.17) sono stati realizzati facendo uso di GameObject e di componenti Canvas di Unity. Essendo un oggetto interagibile, al GameObject sono stati attaccati il componente Collider, Rigidbody e l'XR Grab Interactable.

Il Canvas associato all'oggetto è stato strutturato in modo da adattarsi al contesto nel quale viene collocato. Esso possiede uno script chiamato "Step Manager" che ha il compito di, dato un determinato numero di canvas secondari inseriti in una lista, caricare il canvas successivo dopo che è stato premuto un bottone. In questo modo, verrà simulato lo scorrere di pagine con delle informazioni scritte.



Figura 5.17: Pannello informativo.

Per i pannelli che si trovano vicino alle postazioni di teletrasporto, la lista dello step manager avrà solo la pagina principale che contiene la destinazione del teleport

e un'immagine della destinazione stessa. Inoltre, è stato implementato un feedback sensoriale che emette un suono e una vibrazione quando il raggio passa sopra il bottone e quando viene premuto.

5.5.4 Cellulare

Il cellulare che l'utente utilizza durante la simulazione consiste in un GameObject con un Canvas collegato (Figura 5.18). Per poterlo visualizzare bisogna premere il pulsante "A" del controller e le possibili interazioni sono controllare la temperatura e digitare dei numeri per effettuare una chiamata.

La prima schermata che viene visualizzata dall'utente è composta da un numero che corrisponde ai gradi e un bottone "Digita". Dopo aver premuto questo bottone, viene mostrato il Canvas successivo con quattro numeri a disposizione: 1515, 4096, 1009 e 1215. In questo modo l'utente ha la possibilità di selezionare il numero corretto premendo il bottone sul Canvas. Per ogni bottone corrispondente ad un numero è stato associato un "Interactable event" che, quando selezionato, effettuerà dei controlli. In particolare, viene controllato se il numero è corretto e viene impostato un booleano a "True" in caso affermativo. Se il numero è errato, il bottone diventa rosso per un istante, grazie allo script 'RedBlock'. In questo modo l'utente capisce di aver sbagliato numero e dovrà digitare il numero corretto.

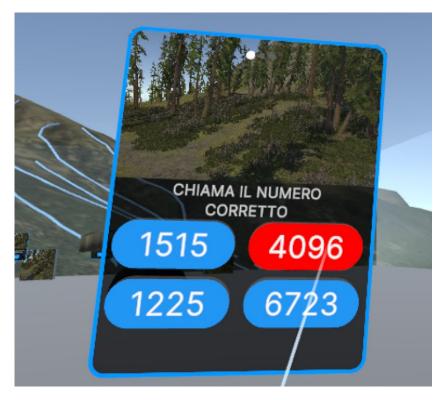


Figura 5.18: Cellulare.

5.6 Gestione degli eventi

Il corretto svolgimento delle attività e delle interazioni dell'utente nello scenario del sentiero E60 è gestito da un GameObject che possiede uno script chiamato "Event Manager".

Al suo interno sono state definite le funzioni che vengono attivate quando l'utente interagisce con la stazione meteorologica, con i pannelli informativi e il cellulare o successivamente all'ingresso di una zona definita da un collider. In particolare, il contenuto di queste funzioni consiste in variabili booleane che modificheranno i loro valori da false a true e, dopo che vengono rispettate determinate condizioni, l'Event Manager si occuperà di attivare o disattivare i GameObject relativi agli eventi correlati all'incendio, alla frana e all'esondazione.

Analizzando un estratto dello script Event Manager (Figura 5.19), è possibile notare il comportamento della funzione di Update nel caso dell'alluvione.

```
void Update()

// Gestione dell'Inondazione (Flood)
if (panelFlood && pluviometerFlood && anemometerFlood && !startFlood)
{
    // Inizia l'inondazione
    floodController.StartFlood();
    startFlood=true;

    // Resetta le variabili
    panelFlood = false;
    pluviometerFlood = false;
    anemometerFlood = false;
}

if (startFlood && safeFlood)
{
    // Ferma l'inondazione
    floodController.StopFlood();
    startFlood = false;
}
```

Figura 5.19: Event Manager.

Quando l'utente legge il pannello informativo e si informa ispezionando i componenti della stazione meteorologica, verranno richiamate le funzioni tramite l'interactable events. Queste aggiorneranno i valori delle variabili booleane.

Dopo che tutte le condizioni sono state rispettate, ovvero le variabili booleane sono impostate a true, l'Event Manager chiama la funzione StartFlood, dando

inizio all'evento di rischio correlato all'attività. Inoltre, è stato impostato un flag "startFlood" per evitare chiamate ridondanti della funzione. Successivamente, dopo che l'utente esegue tutte le procedure per mettersi in sicurezza, l'Event Manager gestirà le chiamate alle funzioni per disattivare gli script. In modo analogo viene effettuata la disattivazione e l'attivazione delle altre attività.

5.7 Realizzazione delle attività

Lo scopo delle attività che l'utente dovrà svolgere nel gioco sarà quello di combinare le conoscenze apprese durante le fasi di raccolta di informazioni nell'hub con gli elementi di gioco presenti e applicarle negli scenari virtuali.

In questo modo, l'utente riuscirà a interfacciarsi con eventi collegati al rischio idrogeologico in totale sicurezza e avrà la possibilità di ripetere le attività per fissare le procedure da adottare nel caso dovesse affrontare questi eventi nella realtà.

Le attività che l'utente può svolgere non saranno vincolate da un ordine preciso, ovvero l'utente potrà scegliere se effettuare solo l'attività desiderata o seguire un sentiero che proporrà, in sequenza: l'incendio, l'esondazione e infine la frana.

5.7.1 Incendio

Per raggiungere la prima attività, l'utente deve utilizzare il teletrasporto presente nell'hub con l'immagine di un bosco. Lo scenario che si trova davanti è l'inizio del sentiero, con una biforcazione e un cartello che indica di prendere la direzione a destra, verso l'interno del bosco. Questo cartello ha la stessa struttura di un pannello informativo, ma senza un Button associato.

Dopo essersi addentrato ed aver percorso qualche metro, l'utente si ritrova in un piazzale con un pannello illustrativo e una stazione meteorologica. Nel pannello è descritto cosa avverrà in questa attività e quali sono le procedure per mettersi al sicuro. La stazione meteorologica, invece, aiuta a capire in che direzione andare controllando l'anemometro e la direzione del vento, e dà la possibilità di verificare l'umidità presente nell'aria tramite l'igrometro e la temperatura. Questi elencati sono tutti possibili parametri che possono indicare il divampare di un incendio spontaneo(rendono la vegetazione più vulnerabile a fonti di calore come fiammiferi o sigarette).

I componenti della stazione che l'utente indicherà e selezionerà reagiranno fornendo un pannello informativo con le informazioni da leggere. Le interazioni avvengono con la stessa struttura definita precedentemente per la stazione meteorologica. In aggiunta, quando l'utente seleziona il componente corretto per l'attività che sta svolgendo, tramite l'interactable events viene impostato un booleano a true per indicare che sono state raccolte correttamente le informazioni e si può procedere con la fase successiva.

Anche il pannello informativo relativo all'attività ha uno script che imposta un booleano a true quando vengono lette tutte le schermate messe a disposizione.

Dopo aver letto il pannello ed aver selezionato i componenti della stazione, l'utente si interfaccerà con l'innesco di un incendio. Alcuni alberi inizieranno a prendere fuoco (Figura 5.20). Per creare questa situazione, è stato realizzato lo script "FireController".



Figura 5.20: Incendio.

Poichè l'utente aveva precedentemente controllato in che direzione stava soffiando il vento, il percorso da seguire per mettersi al sicuro sarà quello che evita di trovarsi sottovento. Inoltre, per non inalare i fumi della combustione, si dovrà muovere con il capo abbassato e questo movimento verrà riconosciuto dal visore. Le zone dove non deve andare sono bloccate da pareti trasparenti che al contatto diventeranno rosse. Queste saranno dei GameObject con uno script chiamato "RedBlock" che, dopo che l'utente tocca il collider associato, viene modificato il materiale della parete con un materiale di colore rosso per un istante, per poi tornare trasparente.

Per simulare la coltre di fumo, è stato inserito un sistema particellare di colore grigio scuro e posizionato ad altezza della Camera dell'XR Origin. In questo modo, l'utente dovrà abbassarsi per vedere che direzione prendere e verrà seguita la procedura per evitare di inalare gas tossici.

Il sistema particellare è stato realizzato su Unity e consiste nella simulazione e renderizzazione di piccole immagini o mesh per realizzare degli effetti visivi[39]. Nel dettaglio, è stata scelta la tipologia "fog" e sono stati modificati i valori di "Rate over time" e "Max particles" per mantenere basso il numero di particelle nella scena e ottenere l'effetto desiderato.

Infine, dopo aver raggiunto una zona sopraelevata al di fuori del bosco e al sicuro, l'utente deve chiamare il numero corretto, ovvero l'1515, cliccando il pulsante "A" del controller e premendo sul telefono il Button con il numero. In caso di numero errato, la schermata diventa rossa mediante lo script "RedBlock" finchè non preme

il Button corretto. Questo Button associato al Canvas imposta un booleano della funzione EventManager a true e, di conseguenza, verranno aggiornati i valori delle variabili dello script "FireController" e del sistema particellare. In questo modo, le fiamme che avvolgono gli alberi inizieranno lentamente a spegnersi e il fumo si dissiperà, completando così l'attività.

Il codice dell'incendio è strutturato nel seguente modo (Figura 5.21).

```
[Enumerator ToggleFireStartCorutine(GameObject[] gameObjects){
    for (int i=0; i<gameObjects.Length; i++) {</pre>
        Vector3 spawnPosition = AllGameObjects[i].transform.position + new Vector3(0, 2f, 0);
        GameObject spawnedObject = Instantiate(firePrefab, spawnPosition, Quaternion.identity);
        spawnedObjects.Add(spawnedObject);
        yield return new WaitForSeconds(timeToSpawn);
IEnumerator ToggleFireEndCorutine(GameObject[] gameObjects){
    for (int i=0; i<gameObjects.Length; i++) {</pre>
       Destroy(AllGameObjects[i]);
       Destroy(spawnedObjects[i]);
       yield return new WaitForSeconds(timeToDestroy);
void Start(){
   AllGameObjects = GameObject.FindGameObjectsWithTag("Tree");
   SortByDistance(AllGameObjects);
void Update(){
    if(startFire){
        StartCoroutine(ToggleFireStartCorutine(AllGameObjects));
        startFire = false;
        StartCoroutine(ToggleFireEndCorutine(AllGameObjects));
        stopFire = false;
private void SortByDistance(GameObject[] gameObjects){
   distances = new float[gameObjects.Length];
    for (int i=0; i<gameObjects.Length; i++){</pre>
        distances[i] = Vector3.Distance(this.transform.position, gameObjects[i].transform.position);
    SelectionSort(distances, gameObjects);
```

Figura 5.21: Script FireController.

Alla prima esecuzione dello script, la funzione Start cerca tutti i GameObject con il tag "Tree" presenti nella gerarchia del GameObject con lo script FireController e li inserisce in un vettore "AllGameObjects". Questo vettore, mediante un algoritmo di

"selection sort", viene ordinato in base alla distanza di ogni albero dal GameObject che possiede lo script.

La funzione di Update si occupa di controllare ad ogni frame se il booleano HasRead ha cambiato valore. Questa variazione avviene quando l'utente legge i dati forniti dal pannello e ottiene le informazioni dai componenti della stazione. Se HasRead viene impostato a true, viene avviata la coroutine ToggleFireStartCoroutine. Inoltre, quando l'utente si mette in sicurezza e chiama il numero di telefono corretto, la variabile booleana "isSafe" viene impostata a true e viene avviata la coroutine ToggleFireEndCoroutine.

La coroutine ToggleFireStartCoroutine gestisce l'istanziazione dei prefab del fuoco sugli oggetti nel gioco. Per ogni oggetto nel vettore AllGameObjects, ne viene memorizzata la posizione e aggiunto il prefab del fuoco, che viene reso visibile dopo un intervallo di tempo definito. In questo modo, gli alberi non prenderanno fuoco simultaneamente. Questi nuovi GameObject vengono salvati nel vettore spawnedObjects.

La coroutine ToggleFireEndCoroutine, invece, gestisce la distruzione degli oggetti nel gioco. Per ogni oggetto nel vettore AllGameObjects e spawnedObjects, questi vengono distrutti in un intervallo di tempo prestabilito.

5.7.2 Alluvione

La seconda attività in ordine di apparizione è quella dell'alluvione. In questo caso l'utente, dopo esser uscito dalla zona boschiva e ritornato sul sentiero, vede un cartello indicare la direzione da prendere e, quando si troverà nelle sue vicinanze, uno script modificherà il meteo e inizierà a piovere.

Per simulare la pioggia, è stato creato un sistema particellare che viene attivato quando l'utente entra nell'area del collider del cartello. Queste particelle hanno una forma allungata sull'asse delle y, sono progettate per scomparire dopo la collisione con il terreno e il sistema ha un valore di "Rate Over Time" di 200 particelle al secondo, garantendo una pioggia continua e realistica.

Quando raggiunge la zona emersa che costeggia il fiume, l'utente può leggere le informazioni scritte sul pannello informativo riguardo alle procedure da adottare in caso di esondazione e ottenere dati dai componenti della stazione meteorologica, in questo caso dal pluviometro e dall'anemometro. Inoltre, selezionando l'antenna può visualizzare un bollettino A.R.P.A. con dei dati realistici riguardo alla possibilità di "Flash Flood" nella zona.

Dopo essersi formato e aver raccolto tutte le informazioni necessarie, l'Event Manager imposterà i valori della funzione "FloodController" per far iniziare l'esondazione del fiume (Figura 5.22).

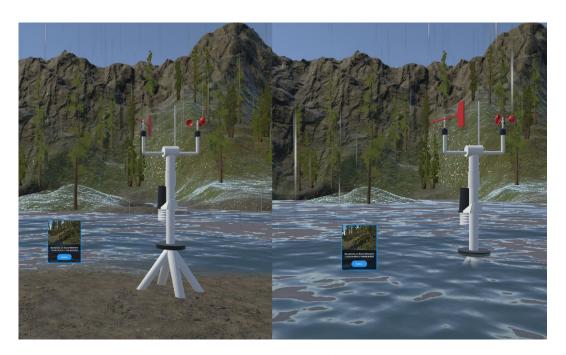


Figura 5.22: Esondazione.

In questo caso, l'utente dovrà allontanarsi dal fiume e cercare una zona sopraelevata, evitando di stare vicino agli alberi. Nella simulazione, il vento sarà un parametro da tenere in considerazione poichè, se molto forte, aumenta il rischio di caduta di alberi o cartelloni.

Infine, se tutte le indicazioni sono state eseguite correttamente, la pioggia si affievolirà e il fiume tornerà alla sua dimensione naturale, consentendo all'utente di completare l'attività e proseguire per il sentiero E60.

Lo script "FloodController" per modificare il comportamento del fiume ha le seguenti caratteristiche (Figura 5.23).

Alla prima esecuzione dello script, viene salvata la posizione iniziale del modello del fiume, che corrisponde ad un piano. Nella funzione di Update, invece, viene controllato se il Flash Flood deve iniziare o interrompersi: se la variabile startFlood è stata impostata a true, e non è ancora iniziata una coroutine, la avvia; altrimenti, se stopFlood viene impostata a true ed esiste una coroutine, questa viene fermata e il modello torna nella sua posizione iniziale.

La coroutine MoveRiver è un enumeratore che applica delle forze al modello del fiume. Inizialmente, viene prima alzato il livello del piano lungo l'asse y per far sommergere la zona di terreno dove si trova l'utente. Dopo l'elevazione, viene eseguito un loop determinato dal valore della variabile isMoving, che indica se una coroutine è stata attivata, e viene applicata una forza di tipo oscillatorio al piano che lo sposterà lungo l'asse y.

```
if (startFlood && !isMoving){
       isMoving=true;
       StartCoroutine(MoveRiver());
    else if (stopFlood && isMoving){
       isMoving=false;
       startFlood=false;
       StopCoroutine(MoveRiver());
       transform.position = startPosition;
IEnumerator MoveRiver(){
   float elapsedTime = 0f;
   Vector3 raisedPos = startPosition + Vector3.up * elevateWater;
   while (elapsedTime < elevateWater){</pre>
       transform.position = Vector3.Lerp(startPosition, raisedPos, elapsedTime);
       elapsedTime += Time.deltaTime;
       yield return null;
   transform.position = raisedPos;
   while (isMoving){
       float yOscillation = Mathf.Sin(Time.time * yOscillationSpeed) * yOscillationAmplitude;
       Vector3 oscillatingPosition = new Vector3(raisedPos.x, raisedPos.y + y0scillation, raisedPos.z);
       transform.position = oscillatingPosition;
       yield return null;
```

Figura 5.23: Script FloodController.

5.7.3 Frana

Infine, l'attività che l'utente può svolgere riguarda la reazione ad una frana. Per la realizzazione di questo scenario, è stato posizionato un masso sul sentiero principale che costringe ad avvicinarsi alla parete rocciosa.

Proseguendo lungo il sentiero, l'utente trova un pannello informativo che spiega le procedure da adottare in caso di frana e cosa può succedere nella simulazione. Inoltre, è presente la stazione meteorologica che ha come componente evidenziato il pluviometro.

Prima di potersi avvicinare al tratto franoso, un semaforo indica con una luce verde la possibilità di andare avanti. Quando l'utente analizza le informazioni del pannello e del componente della stazione, una variabile booleana dell'Event Manager viene impostata a true, gestendo gli eventi successivi. In particolare, il semaforo cambierà la sua luce da verde a rossa, indicando che non è possibile proseguire per il sentiero, e verrà attivato lo script "RockSpawner", dando inizio alla simulazione di una frana. Per non permettere all'utente di andare avanti prima e durante la frana, è stata posizionata una parete trasparente con lo script "RedBlock".

Successivamente, dei massi inizieranno a cadere dalla cima della montagna (Figura 5.24) con un comportamento randomico e bloccheranno la strada. Alla fine, il semaforo rimane con la luce rossa e l'unica azione disponibile per l'utente è quella di utilizzare la postazione di teletrasporto, comparsa vicino alla stazione, che lo riporta nell'hub.



Figura 5.24: Frana.

Di seguito viene fornita una descrizione dettagliata dello script. Per ottimizzare la gestione dei GameObject corrispondenti alle rocce nella scena della frana, è stato realizzato un sistema di Object Pooling (Figura 5.25) per riutilizzare gli oggetti senza crearne e distruggerne costantemente. Lo script RockSpawner è legato agli script "Object Pooler", "InitialBehaviour" e "IPooledObject":

• RockSpawner

In questo codice viene gestita la logica per la generazione di rocce in un intervallo di tempo definito dalla variabile spawnDelay. Quando viene eseguito per la prima volta, viene recuperata l'istanza del pool di oggetti, in questo caso composto da rocce, dallo script ObjectPooler.

Ad ogni frame, viene controllato il valore della variabile booleana isSpawning e, se non sono state inizializzate coroutine, ne inizializza una. Invece, quando isSpawning viene modificata a false, la coroutine viene fermata.

Infine, un enumeratore SpawnWithDelay richiama la funzione SpawnFromPool appartenente all'ObjectPooler e, finchè isSpawning è true, genera all'interno del gioco una roccia alla volta, presente dentro al pool, nella posizione del GameObject con questo script e ad intervalli regolari.

La variabile isSpawning è gestita dall'Event Manager, che si occupa di aggiornare questo valore quando l'utente legge le informazioni dal pannello e raccoglie dati dai componenti della stazione;

• Object Pooler

Questo script gestisce il pool di rocce. Al suo interno è stata definita una lista di pool e un dizionario: la prima contiene degli oggetti "pool" composti da una etichetta, un GameObject e la dimensione del pool, il secondo invece mappa l'etichetta degli oggetti a una coda dove vengno memorizzati tutti gli oggetti istanziati e li rende riutilizzabili.

Nel metodo Start è stato inizializzato il dizionario e, per ogni pool definito nella lista , vengono creati gli oggetti basati sul GameObject assegnato e aggiunti alla coda. Ogni oggetto viene disattivato subito dopo la creazione in modo da non essere visibile nel gioco. In seguito viene mappato nel dizionario ogni pool con la sua etichetta.

La funzione SpawnFromPool prende un oggetto dalla coda del pool in base alla sua etichetta, lo attiva e lo posiziona nello scenario in base alle coordinate passate come parametro dallo script RockSpawner. Successivamente, se l'oggetto ha una componente che implementa l'interfaccia "IPooledObject", verranno applicate delle forze mediante il metodo OnObjectSpawn e, infine, viene reinserito nel pool dopo l'utilizzo per essere riutilizzato;

Inoltre, il pattern Singleton garantisce che ci sia una sola istanza di Object Pooler accessibile globalmente.

Initial Behaviour

Questo codice definisce il comportamento degli oggetti gestiti tramite l'Object Pooler e implementa l'interfaccia IPooledObject. L'utilizzo di questo script ha la funzione di conferire all'oggetto prelevato dal pool una forza randomica lungo l'asse x e z, in modo da simulare un comportamento realistico. In questo caso, si è voluto replicare la caduta di rocce da una parete rocciosa;

```
public class Pool{
    public string tag;
    public GameObject prefab;
    public int size;
#region Singleton
public static ObjectPooler Instance;
private void Awake(){
    Instance = this;
#endregion
public List<Pool> pools;
public Dictionary<string, Queue<GameObject>> poolDictionary;
void Start(){
    poolDictionary = new Dictionary<string, Queue<GameObject>>();
    foreach (Pool pool in pools){
        Queue<GameObject> objectPool = new Queue<GameObject>();
        for (int i = 0; i < pool.size; i++){
            GameObject obj = Instantiate(pool.prefab);
            obj.SetActive(false);
            objectPool.Enqueue(obj);
        poolDictionary.Add(pool.tag, objectPool);
public GameObject SpawnFromPool(string tag, Vector3 position, Quaternion rotation){
    if (!poolDictionary.ContainsKey(tag)){
        Debug.LogWarning("Pool with tag: "+tag+"doesn't exists.");
        return null;
    GameObject objectToSpawn = poolDictionary[tag].Dequeue();
    objectToSpawn.SetActive(true);
    objectToSpawn.transform.position = position;
    objectToSpawn.transform.rotation = rotation;
    IPooledObject pooledObject = objectToSpawn.GetComponent<IPooledObject>();
    if (pooledObject != null){
        pooledObject.OnObjectSpawn();
    poolDictionary[tag].Enqueue(objectToSpawn);
    return objectToSpawn;
```

Figura 5.25: Script ObjectPooler.

5.8 Feedback

All'interno della simulazione sono stati aggiunti dei feedback con lo scopo di aiutare l'utente a muoversi all'interno dello scenario e a fornirgli delle risposte fisiche alle sue azioni.

5.8.1 Feedback aptici

Per consentire all'utente di avere una risposta immediata dopo aver interagito con un oggetto, è stata utilizzata una funzione fornita da XR Interaction Toolkit chiamata "HapticImpulsePlayer".

Tramite questa funzione, l'utente sentirà una piccola vibrazione provenire dal controller subito dopo aver selezionato o indicato un oggetto o un bottone. Questo indicherà con cosa potrà interagire e con cosa no all'interno degli scenari.

5.8.2 Illuminazione a intermittenza

Durante l'esperienza che si svolge negli scenari dell'applicazione, l'utente deve percorrere determinati percorsi per completare le attività e interagire con alcuni oggetti presenti nelle vicinanze. Se l'utente non riuscisse a capire dove andare o cosa fare, si attiverà uno script che avrà il compito di illuminare il percorso o l'oggetto col quale è necessario interagire.

Lo script "IlluminatePulseFeedback" (Figura 5.26) reagisce in base alla distanza dell'utente dal percorso o dall'oggetto e, dopo che saranno passati alcuni secondi di interazioni errate, inizieranno a lampeggiare. L'illuminazione si ferma quando l'utente seleziona l'oggetto o prosegue lungo il sentiero.

```
void Start(){
    illuminateObj = transform.gameObject;
    Renderer childRenderer = illuminateObj.GetComponent<Renderer>();
    if(childRenderer != null){
    material = childRenderer.material;
    material.EnableKeyword("_EMISSION");
void Update(){
    if (hasClicked) return;
        if(isInRange){
            if(hasTimerOn == false){
   hasTimerOn = true;
             timer += Time.deltaTime;
             if(timer >= 20){
             timeElapsed += Time.deltaTime * pulseSpeed;
            float intensity = Mathf.Lerp(minIntensity, maxIntensity, Mathf.PingPong(timeElapsed, 1f));
material.SetColor("_EmissionColor", Color.white * intensity*0.2f);
void OnTriggerEnter(Collider other) {
        isInRange = true;
void OnTriggerExit(Collider other) {
        isInRange = false;
        material.SetColor("_EmissionColor", Color.black);
public void onClick(){
    if(!hasClicked){
        hasClicked = true;
        timer = 0;
        material.SetColor("_EmissionColor", Color.black);
```

Figura 5.26: Script IlluminatePulseFeedback.

Capitolo 6

Conclusioni

Il progetto di tesi ha contribuito alla progettazione e realizzazione di un'applicazione utile per migliorare la formazione dei cittadini riguardo ai comportamenti da adottare in caso di eventi correlati al rischio idrogeologico.

Questo lavoro si inserisce nel progetto "DTforVR" ed è stato realizzato in collaborazione con i volontari della Protezione Civile del Piemonte, che hanno fornito durante gli incontri indicazioni fondamentali per il corretto inserimento delle informazioni nell'applicazione.

Nelle prime fasi di progettazione, è stata importante l'analisi e la scelta del software adatto per realizzare il modello 3D della Valle Cervo, per poi procedere nello sviluppo delle attività.

Nonostante il progetto realizzato rispetti le richieste iniziali dei volontari della Protezione Civile, l'applicazione possiede ampi margini di miglioramento:

- Miglioramento delle attività: le attività possono essere migliorate aumentando le interazioni dell'utente negli scenari di pericolo. Un esempio può essere l'individuazione della parete rocciosa che potrebbe franare dato un possibile gruppo;
- Aumento delle attività: si potrebbe implementare una situazione di pericolo dove l'utente si trova all'interno di un'auto;
- Sviluppo standalone: attualmente, l'applicazione è stata testata mediante la funzione Link fornita dal Meta Quest 3. Pertanto, risulta necessaria una fase di testing dell'applicazione in modalità standalone;
- Comunicazione con i server: la realizzazione di una connessione internet che consenta la comunicazione tra l'applicazione e i server di A.R.P.A., fornendo aggiornamenti in tempo reale dei bollettini riguardanti le condizioni meteorologiche e mettendoli a disposizione dell'utente;

Bibliografia

- [1] Protezione Civile. Servizio Nazionale della Protezione Civile. Accesso avvenuto il: 31 gennaio 2025. 2025. URL: https://servizio-nazionale.protezione civile.gov.it/it/ (cit. a p. 2).
- [2] Dipartimento della Protezione Civile. Attività Dipartimento della Protezione Civile. Accesso avvenuto il: 28 gennaio 2025. 2025. URL: https://www.protezionecivile.gov.it/it/dipartimento/attivita/(cit. a p. 2).
- [3] Protezione Civile. Descrizione del rischio meteo-idrogeologico e idraulico. Accesso avvenuto il: 31 gennaio 2025. 2025. URL: https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/descrizione-del-rischio-meteo-idrogeologico-e-idraulico/ (cit. a p. 3).
- [4] NODES. *Il Progetto*. Accesso avvenuto il: 2025-02-27. 2025. URL: https://ecs-nodes.eu/il-progetto (cit. a p. 4).
- [5] ECS Nodes. Montagna digitale e sostenibile DTForVR. Accesso avvenuto il: 2025-03-19. 2025. URL: https://ecs-nodes.eu/4-montagna-digitale-e-sostenibile/progetti-accademici/dtforvr (cit. a p. 4).
- [6] Wikipedia. Realtà virtuale. Accesso avvenuto il: 12 febbraio 2025. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Realt%C3%A0_virtuale (cit. alle pp. 7, 8).
- [7] Wikipedia. Realtà aumentata. Accesso avvenuto il: 28 febbraio 2025. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Realt%C3%A0_aumentata (cit. ap. 8).
- [8] ARWeb. I migliori visori per la realtà aumentata (AR). Accesso avvenuto il: 2025-03-19. 2025. URL: https://arweb.it/i-migliori-visori-per-la-realta-aumentata-ar/ (cit. a p. 8).
- [9] Wikipedia contributors. *Serious game*. Accesso avvenuto il: 26 febbraio 2025. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Serious_game (cit. a p. 9).

- [10] H. Davis, M. Williams e P. Fletcher. «Assessment in Simulation and Gaming: A Review of the Last 40 Years». In: Simulation Gaming 44.1 (2013). Accesso avvenuto il: 12 febbraio 2025, pp. 7–26. DOI: 10.1177/1046878112452529. URL: https://www.researchgate.net/publication/240280880_Asses sment_in_Simulation_and_Gaming_A_Review_of_the_Last_40_Years (cit. a p. 9).
- [11] Rome Future Week. Gamification e Serious Games nel futuro del lavoro. Accesso avvenuto il: 2025-03-19. 2025. URL: https://romefutureweek.it/gamification-e-serious-games-nel-futuro-del-lavoro/#:~:text=La%20gamification%20%C3%A8%20una%20metodologia,o%20formativi%20al%20proprio%20interno. (cit. a p. 9).
- [12] Sylvester Arnab, Riccardo Berta, Jeffrey Earp, De S, Margarida Romero, Maria Popescu e Ioana Stefan. «Framing the Adoption of Serious Games in Formal Education». In: *Electronic journal of e-Learning* 10 (lug. 2012), pp. 159–171 (cit. a p. 9).
- [13] Corriere delle Comunicazioni. X-reality, mercato in crescita del 22% spinta dalla workplace transformation. Accesso avvenuto il: 2025-02-12. 2025. URL: https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/x-reality-mercato-in-crescita-del-22-spinta-dalla-workplace-transformati on/ (cit. a p. 10).
- [14] Daniel W. Carruth. «Virtual reality for education and workforce training». In: 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICETA.2017.8102472 (cit. a p. 11).
- Joseph J. LaViola. «A discussion of cybersickness in virtual environments».
 In: SIGCHI Bull. 32.1 (gen. 2000), pp. 47–56. ISSN: 0736-6906. DOI: 10.1145/333329.333344. URL: https://doi.org/10.1145/333329.333344 (cit. ap. 11).
- [16] VR Heaven. VR Motion Sickness Statistics. Accesso avvenuto il: 2025-02-13. 2025. URL: https://vrheaven.io/vr-motion-sickness-statistics/(cit. a p. 11).
- [17] Eunhee Chang, Hyun-Taek Kim e Byounghyun Yoo. «Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements». In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 36 (lug. 2020), pp. 1–25. DOI: 10.1080/10447318.2020. 1778351 (cit. a p. 11).
- [18] PFG SCN. Video Title. Accesso avvenuto il: 2025-02-14. 2025. URL: https://www.youtube.com/watch?v=nQhsCGd-KEI&ab_channel=PFGSCN (cit. ap. 12).

- [19] BBC News. *Titolo dell'articolo*. Accesso avvenuto il: 2025-02-14. 2025. URL: https://www.bbc.com/news/articles/ceqdz315wl2o (cit. a p. 13).
- [20] Johnson & Johnson MedTech. Advancing Virtual Reality Training for Surgeons. Accesso avvenuto il: 2025-02-14. 2019. URL: https://www.jnjmedtech.com/en-US/news-events/advancing-virtual-reality-training-surgeons (cit. a p. 14).
- [21] Wikipedia contributors. *Visual Studio Code*. Accesso avvenuto il: 31 marzo 2025. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_Code (cit. a p. 17).
- [22] Wikipedia contributors. *Meta Quest 3*. Accesso avvenuto il: 2025-02-18. 2025. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Meta_Quest_3 (cit. a p. 21).
- [23] Dipartimento della Protezione Civile. *Monitoraggio e Sorveglianza*. Accesso avvenuto il: 2025-02-20. 2025. URL: https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/meteo-idro/attivita/centro-funzionale-centrale/monit oraggio-e-sorveglianza/ (cit. a p. 24).
- [24] Protezione Civile. Sistema Il Centro di Coordinamento Nazionale. Accesso avvenuto il: 1 marzo 2025. 2025. URL: https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/sistema--il-centro-di-coordinamento-nazionale-/(cit. a p. 24).
- [25] ARPAPiemonte. Bollettino di rischio idrogeologico. Accesso avvenuto il: 21 febbraio 2025. 2025. URL: https://www.arpa.piemonte.it/bollettino/pericolo-attuale-rischio-idrogeologico (cit. a p. 25).
- [26] Protezione Civile. Il Manifesto. Accesso avvenuto il: 2025-02-20. 2025. URL: https://iononrischio.protezionecivile.it/it/conosci/il-manifest o/ (cit. a p. 27).
- [27] Dipartimento della Protezione Civile. Sei preparato? Accesso avvenuto il: 2025-03-16. 2025. URL: https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/meteo-idro/sei-preparato/ (cit. alle pp. 28-30).
- [28] Wikipedia. Game design document. Accesso avvenuto il: 2025-03-19. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Game_design_document (cit. a p. 31).
- [29] IlMeteo.net. Alluvioni lampo: cosa sono e come difendersi. Accesso avvenuto il: 2025-03-19. 2025. URL: https://www.ilmeteo.net/notizie/divulgazio ne/alluvioni-lampo-cosa-sono-e-come-difendersi.html (cit. a p. 35).
- [30] Wikipedia contributors. *Stazione meteorologica*. Accesso avvenuto il: 2 marzo 2025. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Stazione_meteorologica (cit. a p. 36).

- [31] Esri. ArcGIS for Unity. Accesso avvenuto il: 2025-03-03. 2025. URL: https://developers.arcgis.com/unity/(cit. a p. 41).
- [32] Blender Addons. BlenderGIS Addon. Accesso avvenuto il: 3 marzo 2025. 2025. URL: https://blender-addons.org/blendergis-addon/ (cit. a p. 42).
- [33] NASA Earth Data. SRTM Shuttle Radar Topography Mission. Accesso avvenuto il: 3 marzo 2025. 2025. URL: https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/srtm (cit. a p. 42).
- [34] Meta. Unity Performance Optimization. Accesso avvenuto il: 2025-03-06. 2023. URL: https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-perf/ (cit. a p. 45).
- [35] Unity Technologies. OpenXR Plugin Documentation. Accesso avvenuto il: 2025-03-06. 2023. URL: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.openxr@1.14/manual/index.html (cit. a p. 46).
- [36] Unity Technologies. XR Interaction Toolkit Documentation. Accesso avvenuto il: 2025-03-06. 2023. URL: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@3.0/manual/index.html (cit. a p. 46).
- [37] Unity Technologies. XR Origin. Accesso avvenuto il: 2025-03-14. 2023. URL: https://docs.unity3d.com/6000.0/Documentation/Manual/xr-origin.html (cit. a p. 47).
- [38] Wikipedia contributors. *Igrometro*. Accesso avvenuto il: 2025-03-12. 2025. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Igrometro (cit. a p. 60).
- [39] Unity Technologies. *Particle Systems*. Accesso avvenuto il: 2023-03-21. 2023. URL: https://docs.unity3d.com/Manual/ParticleSystems.html (cit. a p. 70).