

POLITECNICO DI TORINO

Laurea Magistrale
in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

Realtà virtuale per la gestione degli incendi boschivi:
*Un sistema per l'addestramento e la valutazione del comportamento
degli operatori*



Relatore

Prof. Fabrizio Lamberti

Candidata

Carla Capello

Sessione di Ottobre 2020

Sommario

Questo lavoro di tesi si sviluppa nell'ambito della collaborazione tra il Dipartimento di Automatica e Informatica del Politecnico di Torino e la Protezione Civile del Piemonte, nel contesto del progetto Interreg V-A Italia-Francia ALCOTRA 2014-2020 denominato RISK-FOR. La Regione Piemonte, partner di questo progetto, ha selezionato la Protezione Civile come beneficiario e ha scelto il Politecnico come soggetto attuatore. La Protezione Civile ha quindi individuato due possibili scenari: incendi boschivi e rischio idrogeologico.

All'interno della Protezione Civile è il Corpo Volontari AIB del Piemonte a occuparsi di prevenzione, sorveglianza e lotta attiva agli incendi boschivi. I volontari del Corpo diventano tali solo dopo essere stati adeguatamente formati e addestrati.

All'inizio della collaborazione c'è stata quindi una fase di confronto volta a capire su quali aspetti fosse più utile focalizzare il lavoro: si è deciso di creare un sistema in Realtà Virtuale incentrato sulla valutazione dell'esecuzione di procedure già note (supporto al *training*) nello spegnimento di incendi boschivi, ottenuto attraverso l'uso di tecnologie all'avanguardia e uno studio accurato dei protocolli.

Sebbene in letteratura vi siano vari esempi dell'uso della Realtà Virtuale nella gestione delle emergenze, questo sistema non vuole proporsi come un'alternativa all'addestramento fatto in aula e durante le esercitazioni, ma come integrazione ai momenti di apprendimento già esistenti. La richiesta specifica da soddisfare è stata quella di fornire ai volontari un mezzo di valutazione oggettivo, che facesse prendere coscienza, anche ai volontari veterani dell'AIB, di eventuali comportamenti scorretti e pericolosi da loro adottati da anni. Essenziale per l'elaborazione del progetto si è rivelata dunque l'attenzione all'utente finale del sistema, il volontario del Corpo Volontari AIB, che ha indirizzato il tipo di comunicazione adottata verso un linguaggio che fosse comprensibile per tutti.

Le procedure analizzate sono quelle che riguardano gli incendi boschivi in cui l'altezza delle fiamme non supera i 50 cm, fiamme sulle quali si può intervenire individualmente attraverso l'uso di tre strumenti: pala, rastro e flabello.

La pala può essere usata per soffocare il fuoco tramite compressione del combustibile per alcuni secondi o per sottrarre il combustibile alla combustione.

Il rastro è un attrezzo usato per sottrarre alla combustione il combustibile di piccole dimensioni (cespugli, arbusti, radici presenti nella cotica erbosa e combustibile morto che forma la lettiera). È anche utilizzato in fase di bonifica per scoprire, arieggiare, diradare le braci e facilitarne lo spegnimento.

Il flabello viene utilizzato per soffocare le fiamme tramite compressione del combustibile.

Ognuno di questi strumenti comporta dei rischi per il volontario che li utilizza e per chi gli sta intorno: si deve pertanto prestare sempre la massima attenzione e si deve fare in modo di ridurre i pericoli per tutti gli operatori presenti.

Ringraziamenti

Questa tesi segna la fine di un percorso iniziato tanto tempo fa e determina l'inizio di una fase successiva della mia vita, per cui mi sento di ringraziare tutte le persone che hanno rivestito un ruolo importante in questo viaggio. In primis la mia Professoressa di latino e greco del Liceo, Venturella Frogheri, che mi ha insegnato l'importanza dell'amare quello che si fa e della perseveranza, oltre ad avermi sempre esortata ad osare ("*Memento audere semper*").

Ringrazio i miei genitori, che mi hanno aiutato nelle difficoltà e che mi hanno sostenuto, e mio fratello, che nel momento del bisogno c'è sempre.

Ringrazio infine i miei amici, che erano e saranno con me a festeggiare i successi e a dimenticare le sconfitte.

Indice

Sommario	3
Ringraziamenti	5
Indice	7
Elenco delle figure	12
CAPITOLO 1	16
Introduzione	16
1.1 Contesto del progetto	16
1.1.1 Progetto PITEM RISK FOR	16
1.1.1.1 Protezione Civile	17
1.2 Il Corpo Volontari AIB	17
1.2.1 Diventare volontari	17
1.2.2 Formazione in aula	18
1.2.3 Esercitazioni pratiche	21
1.2.2.1 Uso degli strumenti	21
1.2.2.2 Verifica	22
1.3 Incendi boschivi	22
1.3.1 Fuoco	23
1.3.1.1 Triangolo del fuoco	24
1.3.2 Incendio boschivo	25
1.3.2.1 Tipi di incendio	25
1.3.2.2 Propagazione e struttura	25
1.3.2.3 Rischi	27
1.4 Scopo e organizzazione della tesi	28
CAPITOLO 2	30

Stato dell'arte	30
2.1 Realtà Virtuale	30
2.1.1 Immersione e presenza	30
2.1.2 Ambiti di applicazione della VR	31
2.1.3 Serious game	32
2.2 Realtà Virtuale e supporto all'addestramento	33
2.2.1 Vantaggi	33
2.2.2 Svantaggi	33
2.3 Applicazioni simili	34
2.3.1 Nintendo Wii - Wii Sport ed evoluzioni	34
2.3.2 Flaim trainer	36
2.3.3 LUDUS	37
2.3.4 Simtable	38
2.3.5 Addestramento in Realtà Virtuale per i vigili del fuoco	39
2.3.6 XVR Simulation	40
CAPITOLO 3	43
Tecnologie	43
3.1 Software	43
3.1.1 Unity	43
3.1.2 Visual Studio	44
3.1.3 Blender	45
3.1.4 Make Human	45
3.2 Hardware	46
3.2.1 Vive - Virtual Reality System	46
3.2.1.1 Visore	47
3.2.1.2 Controller	48
3.2.1.3 Sensori	48
3.2.1.4 SteamVR Base Station 2.0	49
CAPITOLO 4	51
Progettazione	51

4.1	Acquisizione del materiale	51
4.2	Soggetto e Storyboard	51
4.3	Menù iniziale	52
4.3.1	Introduzione	53
4.3.2	Modalità	54
4.3.3	Strumento	55
4.3.4	Mano dominante	57
4.3.5	Caratteristiche dell'utente	58
4.3.6	Fuoco	58
4.3.7	NPC	59
4.4	Simulazione	61
4.4.1	Macro-area trasporto	63
4.4.2	Macro-area utilizzo	64
4.5	Valutazione	65
4.6	Validazione	66
CAPITOLO 5		68
Realizzazione		68
5.1	Realtà Virtuale in Unity	68
5.1.1	Steam VR	68
5.1.2	Open VR	68
5.1.3	Gestione delle collisioni	69
5.1.4	Locomozione	69
5.2	Struttura finale	70
5.3	Interazioni con l'ambiente	71
5.3.1	Elementi grafici	73
5.4	Il Sistema di valutazione	75
5.4.1	Parametri	75
5.4.1	Punteggio	78
5.5	Interfaccia utente	81
5.5.1	Icone e segnalazione errori	82
5.6	Voice-over	85
5.7	Animazioni	90

CAPITOLO 6	93
Conclusioni e sviluppi futuri	93
6.1 Conclusioni	93
6.2 Sviluppi futuri	93
Bibliografia e Sitografia	95

Elenco delle figure

Figura 1.1: Volontari Corpo AIB	18
Figura 1.2: Pala	19
Figura 1.3: Rastro	20
Figura 1.4: Flabello	20
Figura 1.5: Incendio boschivo a Mompantero (Susa)	23
Figura 1.6: Il triangolo del fuoco	24
Figura 1.7: Struttura di un incendio	27
Figura 2.1: Tipologie di "game thinking" e obiettivi di design	32
Figura 2.2: Nintendo Wii e telecomando Wii	34
Figura 2.3: Wii Sport Resort	35
Figura 2.4: Equipaggiamento di Flaim Trainer	36
Figura 2.5: Simulazione incendio in aeroporto	37
Figura 2.6: Simulazione incendio in un magazzino	38
Figura 2.7: Sistema Simtable	39
Figura 2.8: Le diverse versioni dell'applicazione	40
Figura 2.9: Simulazione XVR	41
Figura 3.1: Interfaccia di Unity	44
Figura 3.2: Interfaccia di Visual Studio	44
Figura 3.3: Interfaccia di Blender	45
Figura 3.4: Interfaccia di Make Human	46
Figura 3.5: Visore HTC Vive Pro	47
Figura 3.6: HTC Vive Pro e adattatore Wireless	48
Figura 3.7: Controller HTC Vive Pro	48
Figura 3.8: Tracker HTC Vive Pro	49
Figura 3.9: SteamVR Base Station 2.0	49
Figura 4.1: Flow chart del menù iniziale	53
Figura 4.2: Grafica della prima schermata del menù	54
Figura 4.3: Grafica della schermata di selezione della modalità	55
Figura 4.4: Grafica della schermata di selezione dello strumento	55
Figura 4.5: Riproduzione della pala in VR	56

Figura 4.6: Riproduzione del rastro in VR	56
Figura 4.7: Riproduzione del flabello in VR	57
Figura 4.8: Grafica della schermata di selezione della mano dominante	57
Figura 4.9: Grafica della schermata di inserimento dei parametri	58
Figura 4.10: Grafica della schermata di configurazione del fuoco	59
Figura 4.11: DPI per capo, viso, occhi e vie respiratorie	60
Figura 4.12: DPI per corpo e mani	60
Figura 4.13: Logica della modalità guidata	62
Figura 4.14: Le due macro-aree di trasporto e utilizzo	63
Figura 4.15: Logica macro-area trasporto	64
Figura 4.16: Logica macro-area utilizzo	65
Figura 5.1: Interfaccia OpenVR in game	69
Figura 5.2: Stanza iniziale - Introduzione	71
Figura 5.3: Tracker montato su un guanto	72
Figura 5.4: Tracker montato sullo strumento	72
Figura 5.5: Teletransport verde	73
Figura 5.6: Teletransport verde e teletransport azzurro in movimento	74
Figura 5.7: Sfera azzurra con pala	75
Figura 5.8: Valutazione parametri trasporto	76
Figura 5.9: Valutazione parametri distanza	77
Figura 5.10: valutazione parametri utilizzo	78
Figura 5.11: Grafica schermata valutazione finale - custodia non rimossa	79
Figura 5.12: Grafica schermata valutazione finale - custodia rimossa non correttamente	80
Figura 5.13:Grafica schermata valutazione finale - distanza non rilevata	80
Figura 5.14: Grafica schermata valutazione finale completa	81
Figura 5.15: Interfaccia utente	82
Figura 5.16: Icona posizione braccio	82
Figura 5.17: Icona bilanciamento	83
Figura 5.18: Icona rotazione	83
Figura 5.19: Icona altezza	83
Figura 5.20: Icona posizione polso	84
Figura 5.21: Icona postura	84
Figura 5.22: Icona posizione mani	84

Figura 5.23: Icona cono di vista	84
Figura 5.24: Icona fatica inutile	85
Figura 5.25: Icona pericolo	85
Figura 5.26: Icone trasporto	88
Figura 5.27: Icone rimozione	88
Figura 5.28: Icone distanza	89
Figura 5.29: Icone utilizzo	89
Figura 5.30: Grabbing dello strumento	91

Capitolo 1

Introduzione

In questo capitolo introduttivo si analizza il contesto del lavoro di tesi, passando attraverso la definizione del Progetto RISK FOR e della collaborazione con la Regione Piemonte e il Corpo Volontari AIB.

Si definisce poi cos'è e di cosa si occupa il Corpo AIB del Piemonte, passando successivamente all'analisi della formazione dei volontari in aula, dell'uso degli strumenti e delle norme di sicurezza, per poi terminare con una panoramica sulle esercitazioni pratiche.

Infine si parla dello scopo della tesi.

1.1 Contesto del progetto

Questo lavoro di tesi si sviluppa nell'ambito della collaborazione tra il Dipartimento di Automatica e Informatica del Politecnico di Torino e la Protezione Civile del Piemonte, nel contesto del progetto Interreg V-A Italia-Francia ALCOTRA 2014-2020 denominato RISK-FOR. La Regione Piemonte, partner di questo progetto, ha selezionato la Protezione Civile come beneficiario e ha scelto il Politecnico come soggetto attuatore.

1.1.1 Progetto PITEM RISK FOR

Il progetto PITEM RISK FOR [1] fa parte del più ampio progetto PITEM RISK [2], che si pone come obiettivo quello di migliorare le capacità di prevenzione e gestione delle situazioni di emergenza dei territori Alcotra [3], programma europeo di cooperazione transfrontaliera tra Italia e Francia che comprende per l'Italia la Regione Autonoma della Valle d'Aosta e le Province di Torino, Cuneo e Imperia, mentre per la Francia ammette i Dipartimenti dell'Alta Savoia e Savoia e i Dipartimenti delle Hautes Alpes, Alpes de Hautes-Provence e Alpi Maritime (*Figura 1.1*). L'elemento principale sul quale punta questo progetto è la formazione dei volontari della Protezione Civile, del Corpo AIB e di altri civili e tecnici che si occupano della sicurezza del territorio. Questo per consentire di comprendere fino in fondo i rischi e di acquisire le competenze necessarie alla loro gestione, con il supporto degli strumenti della Realtà Virtuale (o *Virtual Reality*, VR). Il progetto proporrà quindi un nuovo modo di fare formazione, indirizzato ad utenti diversi e focalizzato su due diverse tipologie di emergenza: quelle legate agli incendi boschivi e al rischio idrogeologico.

1.1.1.1 Protezione Civile

La Protezione Civile (Figura 1.2) è un organo pubblico che ingloba attività e procedure che hanno come scopo quello di tutelare le persone, l'ambiente, i beni pubblici e gli animali dai pericoli e dai rischi causati dagli elementi naturali [4]. In Piemonte la lotta agli Incendi Boschivi viene affidata ad un reparto della Protezione Civile, il Corpo Volontari AIB del Piemonte.

1.2 Il Corpo Volontari AIB

Il Corpo Volontari Antincendi Boschivi del Piemonte (*Figura 1.3*) può contare sul contributo di oltre 6000 membri organizzati in circa 240 squadre. Opera su tutta la regione sabauda in tutte le fasi della lotta agli incendi boschivi: sorveglianza del territorio, avvistamento dei focolai, estinzione del fuoco e attività di manutenzione di viali tagliafuoco, sicurezza della viabilità forestale e accessibilità dei punti d'acqua. [5]

Questo gruppo di volontari (*Figura 1.1*), già attivo a partire dal 1994, si trasforma nel 2000 in una realtà unica in Italia: è infatti convenzionato con la Regione Piemonte, che fornisce loro mezzi, dispositivi di protezione individuale e risorse per formare i volontari, riconoscendo così il valore unico rappresentato dal Volontariato AIB. Questo accordo porta anche ad una riorganizzazione completa dei ruoli all'interno del Corpo: viene fatta la distinzione tra AIB volontari ed AIB ausiliari, e vengono introdotte, secondo un modello gerarchico, le figure dei Capi Squadra, dei Comandanti di Distaccamento, degli Ispettori Provinciali, dei Referenti Provinciali, degli Ispettori Regionali e dell'Ispettore Generale del Corpo [6].

1.2.1 Diventare volontari

L'*iter* per diventare volontari del Corpo AIB prevede la frequentazione di un corso di formazione con verifica delle conoscenze acquisite ed esercitazioni pratiche ripetute ciclicamente.



Figura 1.1: Volontari Corpo AIB

1.2.2 Formazione in aula

I volontari del Corpo AIB del Piemonte, così come le altre tipologie di operatori di soccorso, seguono un corso di formazione in aula volto a far loro apprendere le nozioni necessarie sui comportamenti da tenere e sul modo corretto di adoperare la strumentazione fornita loro. Questo momento importantissimo è stato studiato *ad hoc* ed utilizza un linguaggio di comunicazione molto semplice, che vuole essere di immediata comprensione: il pubblico a cui si rivolge è infatti eterogeneo e comprende persone con livelli di istruzione differenti. A seconda dell'argomento trattato, si ricorre a figure che risultano rassicuranti ma autoritarie quando serve.

Le lezioni sono scandite dalla visione di video formativi che spiegano i vari argomenti teorici accompagnati da animazioni e schemi per una più facile comprensione.

Alla fine di ogni lezione i volontari vengono sottoposti ad una verifica tramite quiz: in caso di errori, gli argomenti risultati più ostici vengono spiegati nuovamente ed il volontario viene così portato alla comprensione degli stessi.

Ai fini di questo lavoro di tesi, ci si è concentrati sulla parte di formazione a cui questo sistema si andrà ad affiancare. La scelta è ricaduta sulla parte relativa agli strumenti che vengono utilizzati per combattere le fiamme di altezza massima 50 cm, che sono pala (*Figura 1.2*), rastrello (*Figura 1.3*) e flabello (*Figura 1.4*).

Si illustrano nei dettagli quali sono le caratteristiche di ogni strumento, quali rischi comportano e qual è il modo corretto di adoperarli.

Il manico di questi strumenti deve essere di una lunghezza adeguata alla statura dell'operatore.

- Pala: strumento manuale più comune tra quelli analizzati a causa della sua versatilità. Comprimendo il combustibile per alcuni secondi o sottraendo il combustibile alla combustione, la pala è efficace nel soffocamento delle fiamme in caso di combustione di modesta entità e di combustibile del tipo: fino, rado, omogeneo o flessibile (erba o foglie). Occorre evitare di coprire il fuoco con la terra per non innescare la pirolisi o anche semplicemente per non portare altro combustibile a combustione. I rischi legati al suo utilizzo interessano mani, viso, occhi, articolazioni e gambe.



Figura 1.2: Pala

- Rastro: attrezzo manuale usato per sottrarre alla combustione il combustibile di piccole dimensioni quali cespugli, arbusti, radici presenti nella cotica erbosa e combustibile morto che forma la lettiera. È anche utilizzato in fase di bonifica per scoprire, arieggiare, diradare le braci e facilitarne lo spegnimento. È caratterizzato da un manico con due impugnature e lame di falciatrice disposte a pettine. L'uso di questo strumento può comportare traumi di lieve entità alle parti inferiori del corpo, soprattutto a piedi e caviglie. Anche le mani devono essere sempre protette, per evitare escoriazioni.



Figura 1.3: Rastro

- Flabello: il suo scopo è quello di soffocare la combustione. La differenza con la pala è che il flabello si adatta meglio ad un utilizzo su terreno irregolare e roccioso. L'utilizzo di questo strumento espone l'operatore a gravi rischi soprattutto nella zona di viso e occhi, in quanto il battente, sottoposto al movimento corretto, può rilasciare materiale da combustione.



Figura 1.4: Flabello

In generale l'aspetto più importante da tenere a mente è quello della sicurezza: mai adottare comportamenti che possono mettere in pericolo sé stessi o gli altri operatori. Questo implica la necessità di mantenere sempre una distanza adeguata dai propri compagni.

1.2.3 Esercitazioni pratiche

Dopo aver superato il corso di formazione, vengono svolte delle esercitazioni pratiche per permettere ai volontari di applicare i concetti imparati in aula. Queste esercitazioni vengono ripetute ciclicamente e si concentrano sull'apprendimento delle tecniche di spegnimento degli incendi boschivi concordate a livello regionale. È a partire dalla seconda esercitazione di ogni volontario che diventa utile avere a disposizione un sistema di supporto all'addestramento in VR.

1.2.2.1 Uso degli strumenti

Durante questi momenti vengono ribaditi ed applicati i concetti relativi a come usare gli strumenti e ai vari passaggi che precedono l'approccio al fuoco. Si analizzano di seguito nel dettaglio.

- **Trasporto:** per eseguire correttamente questa fase, è necessario impugnare lo strumento con la mano indicata come dominante, ricordando che la parte anteriore degli strumenti taglienti deve essere sempre rivolta verso l'esterno. Lo strumento deve essere impugnato nella zona di bilanciamento e deve essere sempre parallelo al terreno.
- **Rimozione della custodia o degli elastici:** quando ci si trova in prossimità del fuoco, bisogna rimuovere la custodia del rastro, facendo attenzione a rivolgere la parte tagliente dello strumento verso il basso, o gli elastici del flabello.
- **Distanza di sicurezza:** per individuare la corretta distanza di sicurezza occorre impugnare lo strumento all'estremità con la mano dominante (con la mano opposta alla dominante nel caso in cui si stia lavorando con il flabello), considerando che, una volta poggiato lo strumento nella zona opportuna, il braccio e lo strumento devono formare una linea ideale.
- **Utilizzo dello strumento:** per un utilizzo corretto della pala e del rastro, dopo aver impugnato lo strumento all'estremità con la mano dominante, dovrai portare avanti il

piede opposto rispetto al lato in cui si trova lo strumento e dovrai posizionare l'altra mano ad una distanza adeguata dalla dominante. Occorre evitare movimenti rapidi con brevi intervalli poiché porta a stancarsi rapidamente e l'azione non sortisce l'effetto voluto. Per un impiego corretto del flabello, bisogna impugnare lo strumento all'estremità con la mano opposta alla dominante, portare poi avanti il piede opposto rispetto al lato in cui si trova lo strumento e dovrai posizionare l'altra mano ad una distanza adeguata dall'altra. Occorre infine fare molta attenzione agli eventuali lapilli che possono essere sollevati dai battenti: è sempre meglio scuotere il flabello dopo ogni colpo per liberare questi eventuali lapilli.

1.2.2.2 Verifica

La verifica delle conoscenze acquisite avviene tramite osservazione diretta dei movimenti e dei comportamenti dei volontari da parte dei formatori, che provvedono a correggere immediatamente eventuali errori. Si tratta dunque di una correzione personale e soggettiva, limitata anche dal fatto che il rapporto formatore–volontario non sia di 1 a 1.

1.3 Incendi boschivi

La tipologia di rischio sulla quale si concentra questo lavoro di tesi è quella degli Incendi boschivi. Una buona parte della superficie dell'Italia (circa il 30%) è occupata dai boschi. I boschi italiani si caratterizzano per un'ampia varietà di specie, che si sono adattate ai diversi climi che caratterizzano le aree della Penisola. Questo patrimonio forestale costituisce una vera e propria ricchezza per l'ambiente e l'economia, oltre che per la tutela del territorio e della biodiversità. Innumerevoli sono infatti le specie animali e vegetali che vi abitano.

Da questa ricchezza deriva però una grande responsabilità: quella di preservare il patrimonio boschivo. Ogni anno decine di migliaia di ettari di bosco bruciano a causa di incendi dolosi o colposi, che nella maggior parte dei casi sono conseguenza diretta o indiretta dell'operato dell'uomo (*Figura 1.5*).

Le conseguenze di questi disastri sono gravissime: le tossine immesse nell'aria dalla combustione della vegetazione e di altri materiali, la mancata produzione di ossigeno dovuta alla perdita delle piante, la morte degli animali e il danno provocato al suolo. Quest'ultimo, viste le alterazioni della composizione del terreno causate dagli incendi, può favorire i fenomeni di dissesto dei versanti provocando frane e cadute dello strato superficiale del terreno [7].



Figura 1.5: Incendio boschivo a Mompantero (Susa)

1.3.1 Fuoco

Con il termine fuoco si indica l'effetto della combustione provocata da una particolare reazione chimica di tipo esotermico, che prevede quindi l'emanazione di calore [8].

Il bagliore che comunemente viene definito "fiamma" si manifesta in concomitanza con l'emissione di anidride carbonica e monossido di carbonio.

1.3.1.1 Triangolo del fuoco

Il triangolo del fuoco (*Figura 1.6*) è la rappresentazione simbolica della combustione: nei lati si trovano infatti comburente, combustibile e fonte d'innesco. La combustione avviene solo in presenza di tutti e tre gli elementi, se anche solo uno manca non può verificarsi e se uno viene a mancare durante la combustione, il fuoco si estingue [9].

Il combustibile può presentarsi in forma solida, liquida e gassosa. Il comburente più comune è l'ossigeno, ma non è l'unico: l'idrogeno, per esempio, può ricoprire questo ruolo in presenza di cloro, andando a formare l'acido cloridrico. La fonte d'innesco può essere una fiamma, una scintilla o un corpo caldo: l'aspetto essenziale è che fornisca un'energia superiore a quella di attivazione della reazione di combustione.

Nel caso degli incendi boschivi, il comburente è l'ossigeno, il combustibile il materiale organico bruciato nella combustione e la fonte d'innesco è il calore.

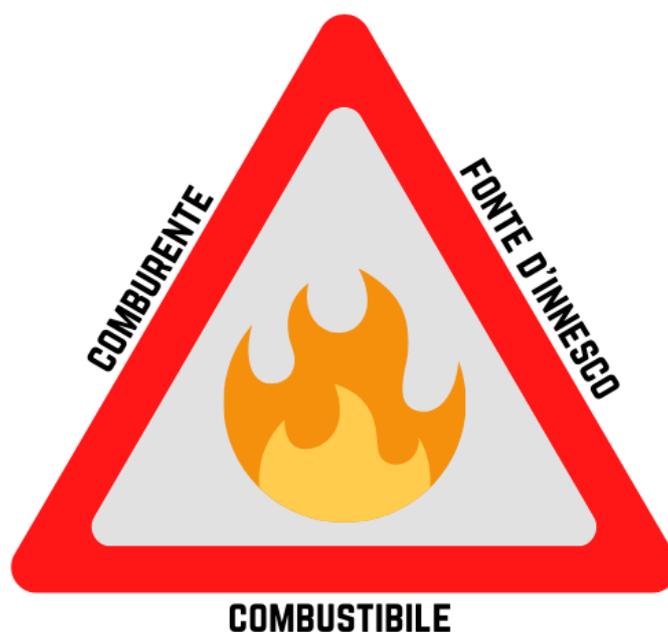


Figura 1.6: Il triangolo del fuoco

Per fermare manualmente la combustione si può intervenire su uno degli elementi del triangolo. Versando acqua sulla fiamma si otterrà una riduzione del calore, portando al raffreddamento del fuoco. Comprimendo il comburente si otterrà l'effetto del soffocamento della fiamma, per mezzo della riduzione dell'ossigeno. Questo è quello che succede quando si utilizza una pala o un flabello. Infine, si può agire sottraendo il combustibile alla combustione, per esempio utilizzando un rastrello.

1.3.2 Incendio boschivo

Attraverso la definizione fornita da G. Bovio, è possibile comprendere meglio cosa si intende per incendio boschivo:

“Viene definito incendio boschivo una combustione che si propaghi in un bosco e che sia vasta, diffusibile, difficile da spegnere. L'incendio viene considerato come boschivo anche se non riguarda rigidamente aree coperte da bosco, ma incolti, cespugliati, pascoli o altre coperture vegetali” [10].

1.3.2.1 Tipi di incendio

Vi sono quattro diverse categorie di incendi boschivi, differenziate in base al tipo di propagazione e al tipo di vegetazione interessata dalla combustione [7].

- Incendio radente: quello che interessa la vegetazione bassa, le sterpaglie, la lettiera e il sottobosco.
- Incendio di chioma: si manifesta a seguito del riscaldamento di specie vegetali principalmente con un elevato contenuto di resine. Il surriscaldamento è dovuto alla presenza sulla base della pianta di un incendio di superficie che si trasforma in poco tempo in un incendio di chioma. La vicinanza delle chiome di altre piante favorisce l'espandersi del fuoco. L'intensità di questi incendi è molto elevata e avanzano velocemente, con la complicità del vento.
- Incendio di barriera o di chioma attivo: quello che si manifesta in seguito allo sviluppo della fiamma dal suolo fino alla sommità delle piante.
- Incendio sotterraneo: è l'incendio che si propaga all'interno del terreno, nello strato che copre il suolo minerale della lettiera e dell'humus. Provoca gravi danni alle radici delle piante.

1.3.2.2 Propagazione e struttura

Un incendio si propaga secondo i processi della convezione, della conduzione e dell'irraggiamento [7].

La convezione si verifica in seguito allo spostamento verso l'alto di una massa d'aria ad elevata temperatura, che si trova a contatto con aria più fredda. Quest'ultima si scalda e genera una corrente ascendente di aria calda. Questo fenomeno porta al surriscaldamento del combustibile e favorisce così la propagazione del fuoco. Negli incendi boschivi questo fenomeno è molto rilevante e comporta gravi rischi per gli operatori.

La conduzione avviene in seguito a contatto diretto tra le molecole di due superfici a differente temperatura: il calore si trasferisce dalla superficie più calda a quella più fredda.

Negli incendi boschivi questo processo non è granché rilevante in quanto il legno ha una bassa conducibilità termica. Gli operatori devono comunque tenerne conto perché entrando in contatto con superfici incandescenti potrebbero rischiare di ustionarsi.

L'irraggiamento interessa la vegetazione che si trova in prossimità delle fiamme ma non sta ancora bruciando: non richiede quindi il contatto diretto. Fisicamente consiste nell'emissione di onde elettromagnetiche generate dagli atomi e molecole eccitati dall'agitazione termica. Questo processo può comportare rischi per gli operatori durante un incendio boschivo in quanto il calore radiante emesso dalle piante è molto elevato: è quindi indispensabile indossare sempre adeguati dispositivi di protezione individuale (DPI).

La velocità di propagazione di un incendio e la sua evoluzione dipendono sicuramente dal tipo di massa vegetale che è o che può essere interessata dal fuoco. Vi sono tre aspetti principali da considerare:

- la quantità di vegetazione viva o morta: se a prevalere è quella morta, l'incendio si propagherà più velocemente e in caso di massa morta con una continuità verticale del combustibile potrebbe passare da incendio radente a incendio di chioma;
- la morfologia delle piante;
- la quantità di umidità presente nel combustibile: più acqua è presente nei tessuti vegetali, più difficile sarà che questi prendano fuoco e contribuiscano alla propagazione dell'incendio;
- le sostanze presenti nelle piante: come accennato in precedenza, la presenza di resine ed oli essenziali contribuisce a velocizzare il diffondersi dell'incendio.

Vi sono anche alcuni elementi climatici che possono contribuire all'evoluzione della combustione, in particolare:

- l'umidità dell'aria: varia in base all'ora del giorno e alle stagioni; bassa umidità porta a una disidratazione del combustibile, che risulta quindi più facilmente infiammabile; di notte si registra un aumento dell'umidità dell'aria e una riduzione della velocità di propagazione degli incendi;
- la temperatura dell'aria: ha effetti sull'umidità e varia anche di molto nell'arco della giornata; gli orari in cui il fuoco può divampare più velocemente sono quelli in cui la temperatura è più alta, quindi a partire da mezzogiorno fino alle prime ore del pomeriggio;
- le precipitazioni: la pioggia e altri fenomeni atmosferici contribuiscono per ovvi motivi ad un aumento dell'umidità e quindi sono utilissime nel contrastare un incendio.

Ogni incendio presenta caratteristiche e morfologia differenti, ma è possibile individuare degli aspetti comuni utili per analizzarli (*Figura 1.7*).

La “testa” (o il “fronte”) dell’incendio è la parte che avanza più velocemente e si trova generalmente sottovento.

I “fianchi” dell’incendio sono le parti a lato della testa, e sono caratterizzati da una velocità di propagazione minore rispetto a quella del fronte.

La “coda” è la parte finale dell’incendio ed è anche la parte che avanza più lentamente. In genere si trova sopravvento.

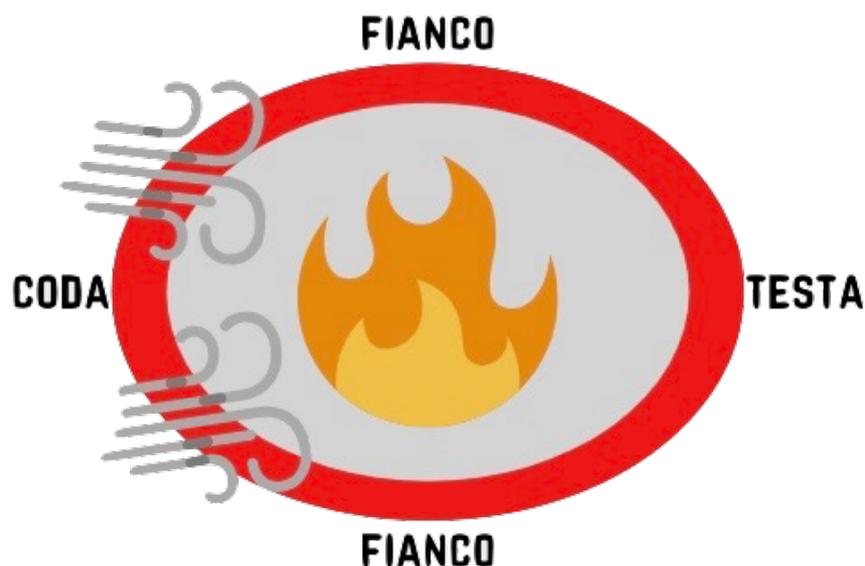


Figura 1.7: Struttura di un incendio

1.3.2.3 Rischi

Gli operatori che si trovano impegnati nella lotta agli incendi boschivi si trovano esposti a numerosi rischi per la loro salute, sia a livello di infortuni che di malattie gravi. [7]

I principali rischi sono ustioni, asfissia, colpi di calore, ipertermia, disidratazione. Vi sono poi i rischi legati a cadute, a incidenti con veicoli, a insetti e altri ancora.

Vi sono, infine, i rischi legati all’uso scorretto degli strumenti, che gli operatori apprendono in aula durante il corso di formazione.

1.4 Scopo e organizzazione della tesi

In questo elaborato si analizza lo stato dell'arte degli strumenti della VR, il suo impiego nei *serious games* e i sistemi con caratteristiche simili a quello realizzato. Si vanno poi ad illustrare le tecnologie utilizzate, da quelle software a quelle hardware, ed i *tool* risultati più utili.

Segue una panoramica sullo *storyboard* di partenza dell'applicazione, documento che è stato arricchito con nuovi elementi durante la fase di sviluppo e di tutti gli elementi presi in considerazione durante la fase di progettazione.

Si passa poi alla realizzazione vera e propria dell'applicazione, fase che ha occupato la maggior parte del tempo dedicato alla tesi.

Infine si forniscono spunti per lo sviluppo di applicazioni future.

Capitolo 2

Stato dell'arte

In questo capitolo si definiscono i concetti fondamentali della VR, passando poi all'analisi di vantaggi e svantaggi relativi all'uso della VR nel supporto al training nella gestione delle emergenze. In ultimo, si fornisce una panoramica sui diversi tipi di sistemi in VR disponibili per la gestione delle emergenze e per la valutazione dei movimenti nel mondo virtuale.

2.1 Realtà Virtuale

Per comprendere a fondo il concetto di VR è bene partire dalla sua definizione:

“Simulazione all'elaboratore di una situazione reale con la quale il soggetto umano può interagire, a volte per mezzo di interfacce non convenzionali, estremamente sofisticate, quali occhiali e caschi su cui viene rappresentata la scena e vengono riprodotti i suoni, e guanti dotati di sensori per simulare stimoli tattili e per tradurre i movimenti in istruzioni per il software. Simili tecniche sono usate, tra l'altro, nei videogiochi, nell'addestramento militare dei piloti e nella modellistica di sistemi microscopici, per es. nello studio delle proprietà delle biomolecole.” [11]

Rientrano quindi nella definizione di VR tutte quelle esperienze in cui l'utente si trova ad interagire con un mondo virtuale verosimile, che può riprodurre un ambiente reale o essere creato da zero dallo sviluppatore.

Queste esperienze possono far provare all'utente un diverso livello di immersione e presenza a seconda degli strumenti che vengono utilizzati.

Vengono considerati VR sia i sistemi che prevedono l'utilizzo di dispositivi appositi, come visori, guanti o sistemi di tracciamento, sia quelli che sono fruibili da terminale.

2.1.1 Immersione e presenza

Volendo creare un mondo virtuale verosimile, lo svolgersi dell'esperienza non deve essere assolutamente d'intralcio allo scopo dell'applicazione: l'utente non deve aver l'impressione di trovarsi di fronte ad un gioco, ma il senso di realtà deve essere tale da provocare in lui la cosiddetta “sospensione dell'incredulità”.

A questo scopo, bisogna tener conto di due concetti fondamentali: l'immersione e la presenza [12].

L'immersione indica la percezione di essere fisicamente presenti nel mondo virtuale. È data dagli stimoli video, audio, tattili o inerziali forniti dal sistema. Più stimoli vengono forniti, più l'utente si sentirà immerso nell'applicazione.

La presenza indica invece la sensazione di appartenenza al mondo virtuale e si basa, appunto, sul concetto di sospensione dell'incredulità: l'utente sospende le proprie capacità critiche e accetta il mondo virtuale che lo circonda come nuovo ambiente in cui agire e con cui interagire. È possibile individuare tre sottocategorie di presenza: personale, ambientale e sociale [13].

La presenza personale è data dalla percezione che ha l'utente della sua esistenza all'interno del mondo virtuale, quella ambientale è data dalle reazioni dell'ambiente alla presenza dell'utente e quella sociale è data dalle sue interazioni con le altre entità reali o simulate presenti.

2.1.2 Ambiti di applicazione della VR

Gli ambiti di applicazione della VR sono molteplici, ma il più redditizio rimane quello dei videogiochi, essendo il mercato rivolto ad una clientela più ampia.

Ultimamente si assiste ad una presenza sempre più importante della VR nei videoclip musicali e nelle esperienze multimediali proposte da cinema e musei, soprattutto declinate in installazioni multimediali ma anche proposte sotto forma di vere e proprie visite simulate.

La VR è utilissima anche per poter accedere a siti altrimenti inaccessibili [14]: è il caso ad esempio delle Grotte di Pleito [15], in California, impossibili da visitare di persona per evitare danni irreparabili alle pitture presenti.

Un'applicazione della VR ha avuto riscontri positivi anche nell'ambito della psicologia, dove è possibile ricreare eventi e situazioni traumatiche in condizioni controllate per analizzare le reazioni del paziente [16].

Durante la pandemia di Covid-19 città intere hanno fornito la possibilità di effettuare visite virtuali tra le vie dei propri quartieri [17], e molti eventi sono stati ripensati totalmente in virtuale, come fiere [18], congressi [19], sfilate [20]. Monumenti e siti culturali sono stati messi a disposizione degli utenti [21], permettendo loro di vivere in maniera virtuale esperienze delle quali si sentiva la mancanza, ponendosi in tal modo come vera e propria alternativa all'esperienza reale. Ciò ha in parte contribuito a cambiare la percezione che i più avevano di queste tecnologie.

Il nuovo modo di lavorare che molte persone si sono trovate ad affrontare ha evidenti vantaggi in termini di gestione della crisi sanitaria ma comporta un'alienazione degli impiegati non indifferente, situazione che può migliorare anche grazie all'uso della VR, proponendo per esempio riunioni e incontri quotidiani in mondi virtuali [22].

2.1.3 Serious game

I serious game sono giochi che non hanno come fine ultimo l'intrattenimento, ma presentano elementi orientati all'educazione dell'utente. Nella loro ideazione si cerca di trovare un equilibrio tra elementi ludici e formativi, anche se la loro efficacia dipende completamente dall'uso che l'utente ne fa. La caratteristica dei serious game è di essere dei veri e propri giochi con tutti gli elementi tipici, primo tra tutti il *gameplay*. La differenza è che hanno uno scopo ben preciso: mentre l'utente si diverte, impara qualcosa.

In particolare ci si concentrerà sui serious game combinati alla VR: in questi giochi è possibile inserire qualunque componente del mondo reale: che siano macchinari di ultima generazione, navicelle spaziali o semplici edifici, è possibile riprodurre qualsiasi cosa ad un prezzo irrisorio rispetto al valore reale. Questo consente un accesso mai avuto prima agli strumenti di studio e apprendimento in precedenza riservati a pochi.

Diversi studi in cui si sono confrontati i risultati di studenti formati attraverso l'uso di questi giochi e quelli di studenti che hanno utilizzato metodi di studio tradizionali dimostrano l'efficacia di tali strumenti nell'apprendimento. La spiegazione di questo fenomeno sta nel fatto che i serious game sono in grado di risvegliare l'interesse dei fruitori e di eliminare l'ansia e la paura del fallimento [23].

È possibile infine un interessante grafico realizzato da Andrzej Marczewsky (*Figura 2.1*) che esaspera gli elementi considerati nella fase di progettazione delle varie tipologie di gioco. Si può notare come il divertimento sia in posizione quasi dicotomica rispetto ai serious game: questo non perché questi ultimi non possano essere divertenti, ma semplicemente perché il divertimento non è e non deve essere l'elemento principale nello sviluppo di un gioco serio [24].

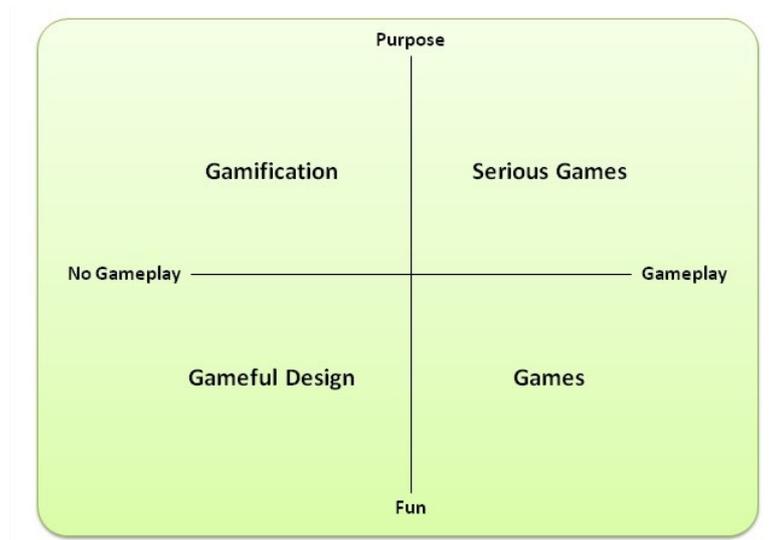


Figura 2.1: Tipologie di "game thinking" e obiettivi di design

2.2 Realtà Virtuale e supporto all'addestramento

Negli ultimi anni si è manifestata una sempre più forte volontà di incentrare le tecnologie più all'avanguardia nello sviluppo di applicazioni che potessero avere un'utilità oltre che un fine ludico. In particolare la VR ha iniziato ad essere utilizzata come strumento in vari ambiti, da quello medico a quello del training nella gestione delle emergenze.

Si analizzano di seguito vantaggi e svantaggi dell'addestramento degli operatori in VR.

2.2.1 Vantaggi

Le esercitazioni pratiche richiedono tempo, organizzazione, risorse economiche e umane. Il loro svolgersi dipende inoltre dalle condizioni meteorologiche.

Ecco che quindi si iniziano ad intuire i vantaggi del potersi affidare ad un sistema in VR, una volta conclusasi la formazione dei volontari:

- costo ridotto: sviluppata l'applicazione, la si ha a disposizione ogni volta che si vuole senza ulteriori costi;
- ripetibilità: è possibile ripetere l'esperienza fino a che non si è soddisfatti;
- sicurezza: la simulazione si svolge in un ambiente controllato e i pericoli sono realistici ma non reali;
- semplicità organizzativa: l'esperienza non richiede la presenza di altre persone oltre l'utente, e una volta configurato l'ambiente la simulazione può iniziare;
- valutazione oggettiva: essendo frutto di un attento studio, il sistema riesce a dare dei feedback concreti all'utente e a fornire una valutazione oggettiva basata sui parametri forniti, esempio da sistemi di tracciamento utilizzati nell'esperienza virtuale.

2.2.2 Svantaggi

Gli svantaggi dell'impiego delle applicazioni in VR dipendono sostanzialmente dal fatto che non si riescano ancora a replicare tutti gli aspetti del mondo reale nel mondo virtuale: ci sono infatti delle sensazioni e delle esperienze che spesso non è possibile integrare per via di costi elevati o ingombri eccessivi, come per esempio i feedback tattili, olfattivi o le forze d'inerzia. Vi è anche da considerare che per essere immersi nel mondo virtuale si utilizzano strumenti, come il visore, che hanno un loro ingombro e aggiungono complessità all'esperienza, complessità che, seppur superabile nel virtuale, nel mondo reale di fatto non c'è.

2.3 Applicazioni simili

Non è la prima volta che si utilizzano gli strumenti forniti dalla VR per la gestione delle emergenze (legate al fuoco e non) e sistemi per la valutazione automatica delle prestazioni degli utenti nell'esperienza di gioco/nel mondo virtuale (non necessariamente per finalità didattiche): visti gli evidenti vantaggi, sono stati creati diversi sistemi incentrati sulla risoluzione di diverse problematiche. Si analizzano di seguito le applicazioni che presentano elementi in comune con quella sviluppata e se ne evidenziano le differenze.

2.3.1 Nintendo Wii - Wii Sport ed evoluzioni

La *Wii* (Figura 2.2) è una console per videogiochi prodotta dalla Nintendo e disponibile all'acquisto a partire dal 2006. Nella sua versione base prevedeva la presenza di alcuni giochi standard pensati per allenare l'utente all'uso della console: erano i giochi di *Wii Sport*. Quello che la Nintendo non aveva previsto era che questa applicazione diventasse un vero e proprio *cult*, portando in seguito l'azienda produttrice a dominare una nuova fetta di mercato con l'uscita delle versioni più recenti, quali *Wii Sport Resort* e *Wii Fit* [25].

Questi giochi col passare del tempo sono stati incentrati sempre più sullo sport e sul benessere fisico, benché il loro fine ultimo non sia quello di far dimagrire l'utente, come la maggior parte dei consumatori pensa. L'obiettivo del gioco è infatti quello di cercare di migliorare le condizioni fisiche del giocatore con consigli che possono essergli utili e un monitoraggio costante di alcuni indicatori della sua salute fisica. Potrebbe perciò rientrare nella definizione di serious game improntato all'auto-miglioramento.



Figura 2.2: Nintendo Wii e telecomando Wii

L'aspetto interessante dei giochi della famiglia *Wii* è che sono basati sulla valutazione delle posizioni dell'utente: nella versione base viene infatti fornito un controller, il telecomando *Wii*, che l'utente dovrà tenere in mano, e un nunchuck che dovrà tenere nell'altra mano. Questo permette al sistema di catturare alcune informazioni sui movimenti, quali l'altezza del controller e la velocità con cui lo si muove. Tuttavia, non essendo stata pensata la versione base come un vero gioco di sport, non si è prestata particolare attenzione alla precisione dei movimenti: per questo è molto facile imbrogliare il sistema e ottenere punteggi positivi anche in caso di movimenti scorretti. Un leggero miglioramento si è visto in *Wii Sport Resort* (Figura 2.3) con l'introduzione della *Wii Motion Plus*, accessorio incorporabile nel telecomando *Wii* che riproduce in maniera più fedele i movimenti del polso. Il vero passo avanti si è però fatto in *Wii Fit* con l'introduzione della *Wii Balance Board*, periferica molto simile ad una bilancia capace di rilevare gli spostamenti del corpo a seconda di come il peso è distribuito su di essa. Dall'analisi dei dati raccolti dal controller e dalla *Wii Balance Board*, il sistema riesce a distinguere se gli esercizi proposti sono stati svolti nella maniera corretta o meno.



Figura 2.3: *Wii Sport Resort*

L'applicazione oggetto della tesi riprende alcuni elementi relativi alla valutazione delle posizioni dell'utente introdotte da *Wii Sport* cercando però di superare le problematiche evidenziate sopra. In particolare, si è cercato di aumentare la precisione nella valutazione della fedeltà dei movimenti attraverso l'utilizzo di tre dispositivi tracciati posti sui polsi e sulla testa dell'utente: due *tracker* e il visore HTC Vive. Non si valutano solo posizione e velocità dei singoli dispositivi ma si tiene anche traccia delle loro posizioni relative. In più si è aggiunto un ulteriore tracker HTC Vive posto sullo strumento che l'utente tiene fisicamente in mano: questo fornisce ulteriori dati e permette di poter valutare con precisione la correttezza dei movimenti.

2.3.2 Flaim trainer

Questo sistema, nato nel 2017 da un'idea di James Mullins, si propone come soluzione di addestramento dei vigili del fuoco nella lotta agli incendi domestici e non. [26] Mullins, professore alla Deakin University, ispirato dal sempre crescente numero di incendi in Australia, ha pensato ad un sistema in VR che permettesse agli utenti di addestrarsi con uno strumento immersivo e realistico. L'applicazione, personalizzata a richiesta, consente di simulare un incendio e il suo spegnimento grazie ad un visore e ad un tracker posto all'estremità della pompa che i pompieri usano quotidianamente. Questo sistema, grazie ad una serie di attuatori (*Figura 2.4*), è in grado di riprodurre gli stimoli generati dallo scorrere dell'acqua nel tubo e di simulare

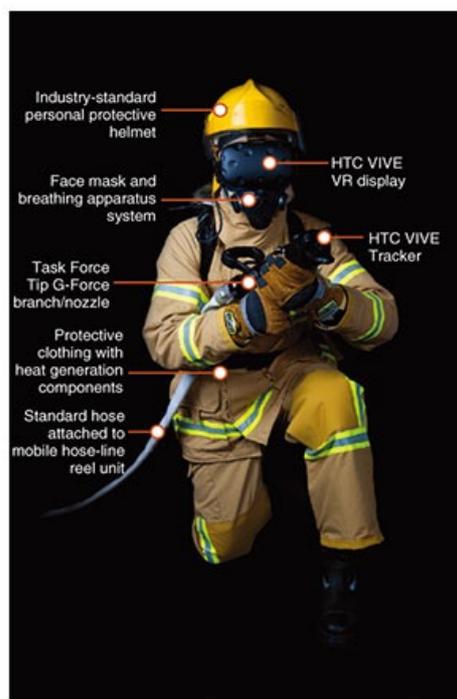


Figura 2.4: Equipaggiamento di Flaim Trainer

la sensazione di calore dovuta alle fiamme provata dagli operatori tramite una serie di componenti di generazione del calore che si attivano in base alla vicinanza dal fuoco simulato. Gli spostamenti nel mondo virtuale vengono effettuati mediante un sistema di *teleporting*.

Il progetto è in costante evoluzione: è stata aggiunta la possibilità di simulare diversi scenari, quali incendio in aeroporto (*Figura 2.5*), al parco, ad una stazione di rifornimento, in un tunnel ecc. Inoltre l'offerta è stata ampliata con l'inserimento di un sistema di addestramento all'uso degli estintori, rivolto agli utenti privati. Anche qui vengono proposti diversi scenari personalizzabili.

Quest'applicazione fa sicuramente suo il concetto di serious game: individuato un problema reale, fornisce soluzioni di addestramento per un ente pubblico e di educazione per i civili.

Nel sistema realizzato per il Corpo AIB si è ripreso il concetto di fisicità degli strumenti, fornendo agli operatori un manico tracciato da tenere in mano, e ci si è concentrati sull'immersività, in quanto un movimento nella realtà corrisponde ad un movimento nel mondo virtuale. L'aspetto innovativo sul quale si può pensare di incentrare uno sviluppo futuro del progetto di tesi è la simulazione del calore.



Figura 2.5: Simulazione incendio in aeroporto

2.3.3 LUDUS

LUDUS (Figura 2.6) è un sistema di addestramento in VR spagnolo che si propone come integrazione all'offerta formativa in vari ambiti. Utilizza l'Oculus e il sistema HTC Vive e viene impiegato soprattutto come mezzo di valutazione delle decisioni prese dagli operatori in situazioni di emergenza. La simulazione viene monitorata via desktop e personalizzata. L'utente deve principalmente indirizzare le azioni di personaggi virtuali (o *Non-Player Character*, NPC) attraverso una serie di decisioni che determineranno l'esito della simulazione. Fornisce la possibilità di confrontarsi con vari scenari e situazioni. Il focus dell'applicazione non è sul realismo degli ambienti e dell'esperienza, ma sul modo di ragionare dell'utente. [27]

Sono specificatamente previsti tre ruoli per la simulazione: lo *user*, colui che utilizzerà in prima persona l'applicazione e che vi interagirà, il *supervisor*, ovvero la persona che assisterà lo user modificando in tempo reale alcuni parametri per rendere l'esperienza più semplice o più complessa e monitorerà i suoi progressi, e il *viewer* che si limiterà a osservare la simulazione da altri schermi. [28]

Vi sono due ambiti di impiego di questo sistema: la gestione delle emergenze e l'ambito industriale. Nella prima, si lavora con Corpi di vigili del fuoco sia pubblici che privati realizzando scenari in cui si deve affrontare il fuoco e tenere sotto controllo la situazione. Nella seconda, si affiancano le aziende che necessitano di formazione tecnica degli operatori.

Nel progettare l'applicazione oggetto della tesi si è deciso di concentrarsi sul realismo dello scenario e sulla capacità degli operatori di seguire il protocollo studiato *ad hoc* per le situazioni di emergenza, fornendo quindi una valutazione sulla base di procedure standard improntate *in primis* alla sicurezza degli operatori.



Figura 2.6: Simulazione incendio in un magazzino

2.3.4 Simtable

Questa simulazione in Realtà Aumentata (o *Augmented Reality*, AR), creata da Simtable LLC, consente, tramite l'impiego di una piattaforma colma di sabbia modellabile (Figura 2.7), di ricreare la morfologia delle ambientazioni su cui si vuole lavorare. Grazie ad un proiettore posto sopra la piattaforma, è possibile visualizzare le caratteristiche della zona e analizzarne le criticità. La funzionalità più interessante è quella che consente di far partire una simulazione di incendio nella zona di interesse e studiarne la propagazione al variare dei parametri, modificabili via desktop, quali intensità e direzione del vento, posizione del sole ecc.

Questo strumento consente agli operatori di effettuare un'analisi razionale della situazione di emergenza e fornisce loro la possibilità di capire quale sia il modo migliore per affrontare le fiamme.

È sicuramente un esempio di utilizzo utile della tecnologia come strumento di supporto nella lotta contro il fuoco, fine a cui questo lavoro di tesi aspira. Una criticità potrebbe essere legata alla modellazione manuale degli scenari.

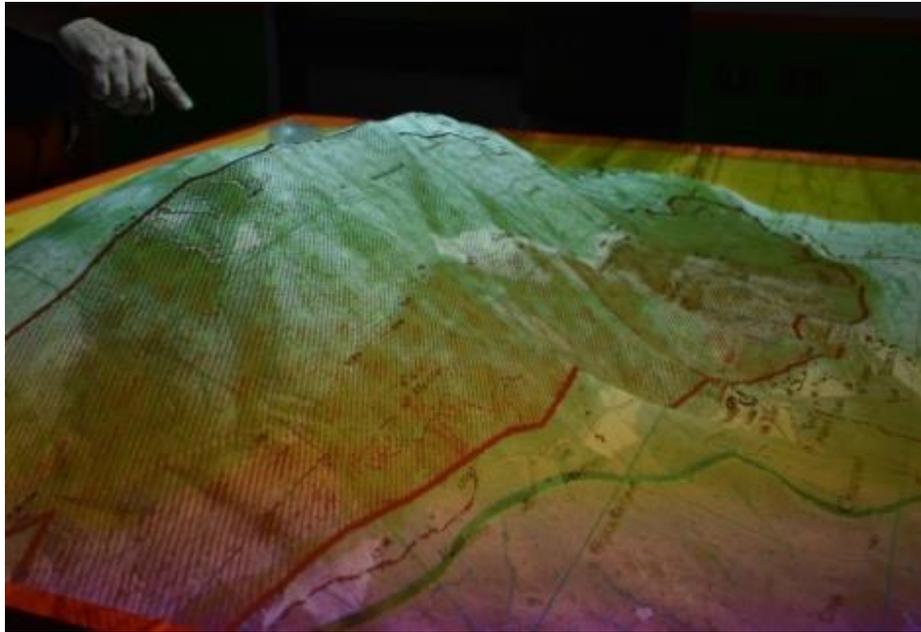


Figura 2.7: Sistema Simtable

2.3.5 Addestramento in Realtà Virtuale per i vigili del fuoco

Questa applicazione, realizzata nel 2019 da Fabrizio Corelli come progetto di Laurea Magistrale presso il Politecnico di Torino [29], simula una situazione di emergenza in una scuola media e forma l'utente nella gestione di un incendio al suo interno. Gli obiettivi principali sono due: mettere in salvo alcuni studenti che si trovano all'interno della struttura e spegnere l'incendio adoperando nel modo corretto un estintore. Sono state realizzate diverse versioni dell'applicazione: una fruibile da desktop, una in VR con locomozione tramite controller e un'altra in VR con il supporto di una pedana KatWalk per la locomozione (*Figura 2.8*). Il focus dell'applicazione è sul completamento di alcune task e viene valutata in particolare la capacità decisionale dell'utente.

Benché sia un sistema sicuramente utile nella formazione dei vigili del fuoco, l'applicazione oggetto della tesi presenta delle caratteristiche molto diverse: la scelta del sistema di locomozione non è ricaduta su nessuna delle opzioni illustrate pocanzi, poiché si è ritenuto opportuno rendere la simulazione il più realistica possibile; l'applicazione non presenta un focus sull'analisi delle decisioni, poiché i volontari del Corpo AIB seguono le indicazioni fornite dal capo-squadra; infine, gli utenti non interagiranno con il mondo virtuale attraverso l'uso dei controller ma terranno fisicamente in mano uno strumento tracciato.



Figura 2.8: Le diverse versioni dell'applicazione

2.3.6 XVR Simulation

Questo sistema, creato dalla XVR, permette agli operatori di immergersi in vari scenari e consente loro di analizzare con calma e razionalità la situazione. È uno strumento di training che stimola gli operatori a prendere decisioni ponderate e testa l'affidabilità delle procedure già note, consentendo un'analisi e un miglioramento delle stesse. Il progetto "Safety Region Drenthe" [30] è incentrato sul training dei volontari e utilizza l'HP VR Backpack per garantire un'esperienza il più immersiva possibile (Figura 2.9). È possibile utilizzare una simulazione multi-utente per testare le dinamiche di gruppo nelle varie situazioni di emergenza.

Nell'applicazione realizzata per il Corpo AIB l'intento è diverso e non è sicuramente quello di testare le procedure, né di analizzare le decisioni prese dagli operatori. La scelta delle tecnologie da utilizzare non è ricaduta sull'HP VR Backpack in quanto è necessario tracciare i polsi dell'utente e lo strumento, mentre quest'ultimo prevede l'utilizzo di controller.



Figura 2.9: Simulazione XVR

Capitolo 3

Tecnologie

Si analizzano ora le tecnologie utilizzate per realizzare il sistema in oggetto.

Si inizia con l'analisi del software principale, Unity, che è stato usato in combinazione con Visual Studio per progettare e programmare il funzionamento del sistema. I modelli 3D sono stati realizzati con Blender e poi importati in Unity per comporre il mondo virtuale navigabile. Si conclude con una disamina del sistema di VR scelto, l'HTC Vive, e dei suoi componenti.

3.1 Software

Nello sviluppo di questo progetto essenziale è stato il ruolo ricoperto dai software di supporto, ovvero Unity, Blender e Visual Studio, usati per creare l'applicazione, i modelli e per scrivere il codice. Per la realizzazione dei personaggi è stato utilizzato il software MakeHuman.

3.1.1 Unity

Unity è un game engine disponibile gratuitamente di proprietà della Unity Technologies. Nato come ambiente di sviluppo per applicazioni per Mac, è diventato negli anni un motore di gioco utilizzato per realizzare applicazioni per PC, Xbox, Playstation ecc. Consente di creare sistemi in 2D, 3D, VR ed AR, integrando all'interno del medesimo prodotto file audio, video, modelli 3D, script.

L'interfaccia (*Figura 3.1*) è *user friendly* e personalizzabile, essendo composta da pannelli riposizionabili (Inspector, Hierarchy, Game, ecc.) [31].

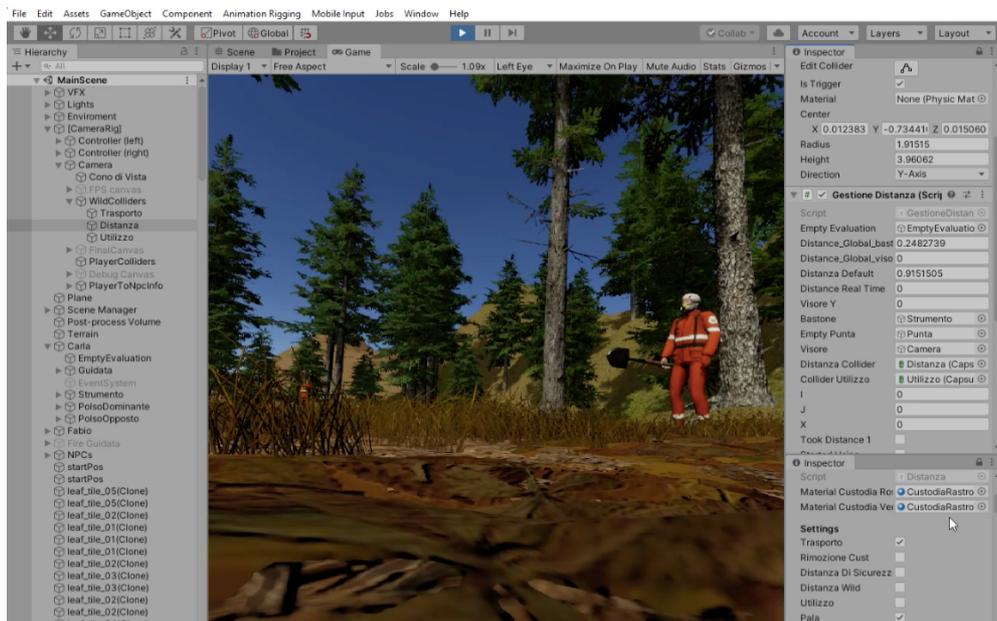


Figura 3.1: Interfaccia di Unity

3.1.2 Visual Studio

Visual Studio (Figura 3.2) è un ambiente di sviluppo di proprietà della Microsoft disponibile anche per Mac. Permette l'utilizzo di vari linguaggi, tra i quali C#, che è quello utilizzato per programmare questa applicazione. È possibile integrarlo come IDE direttamente su Unity ed utilizzarlo per il *debug run-time* dei progetti creati [32].

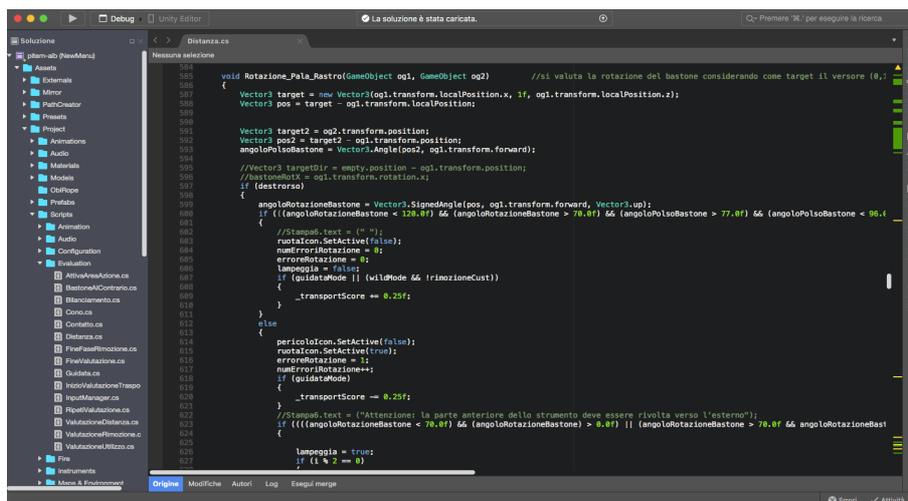


Figura 3.2: Interfaccia di Visual Studio

3.1.3 Blender

È un software di modellazione *open source* che permette di creare da zero qualsiasi oggetto 3D. Consente anche di creare animazioni, montare video e creare semplici videogiochi grazie ad un sistema di game engine interno al software [33].

L'interfaccia (*Figura 3.3*) è scalabile e l'utente può sistemarla a suo piacimento, essendo composta da pannelli riposizionabili, ognuno con una diversa funzionalità, i più importanti dei quali sono la *Viewport* (che consente di navigare nella scena), lo *Shading* (usato per la gestione dei materiali), l'*UV Mapping* (che serve per mappare correttamente le texture sui modelli 3D), la *Timeline* (utile per animare i personaggi e gli oggetti) e il *Rendering* (che visualizza il *render* finale).

In questa applicazione, Blender è stato utilizzato per la creazione degli strumenti e per i loro supporti (pala, rastro, flabello, testa del flabello, custodia del rastro, ecc.).

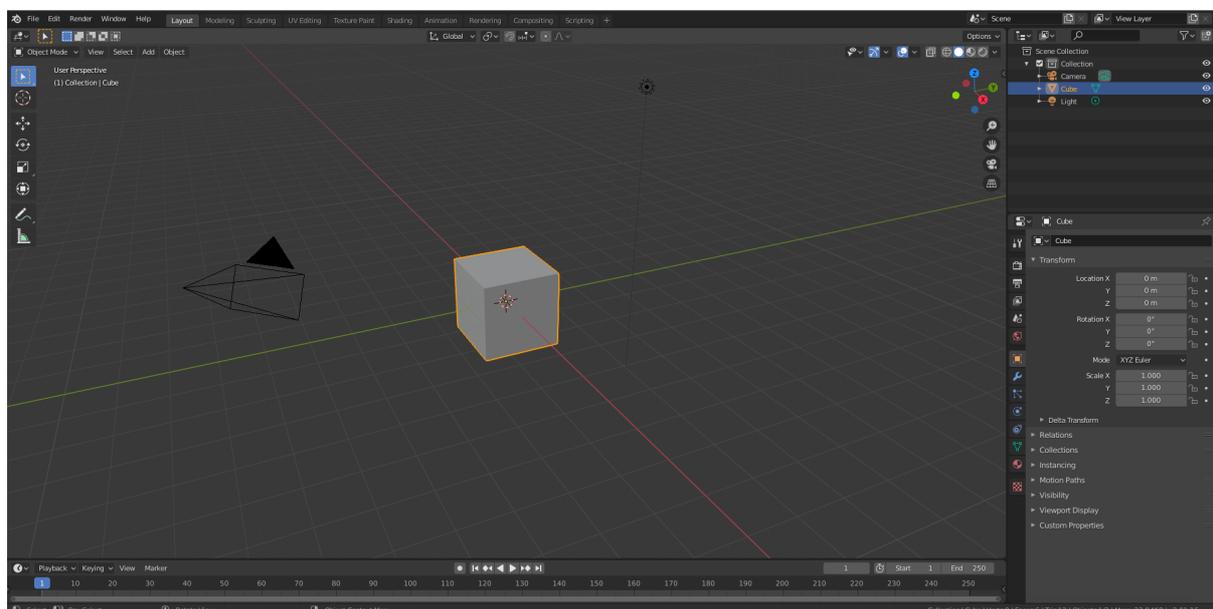


Figura 3.3: Interfaccia di Blender

3.1.4 Make Human

Make Human (*Figura 3.4*) è un software disponibile gratuitamente per la creazione di modelli 3D umanoidi [34]. Partendo da un modello umanoide standard è possibile, utilizzando il morphing, trasformarlo in una vasta gamma di personaggi. Nel progetto di tesi questa applicazione è stata utilizzata per creare i modelli 3D dei volontari del Corpo AIB. Si è scelto di

realizzare un modello maschile, visto che la maggioranza dei volontari sono uomini, e questo ha comportato l'adattamento dei DPI del modello.

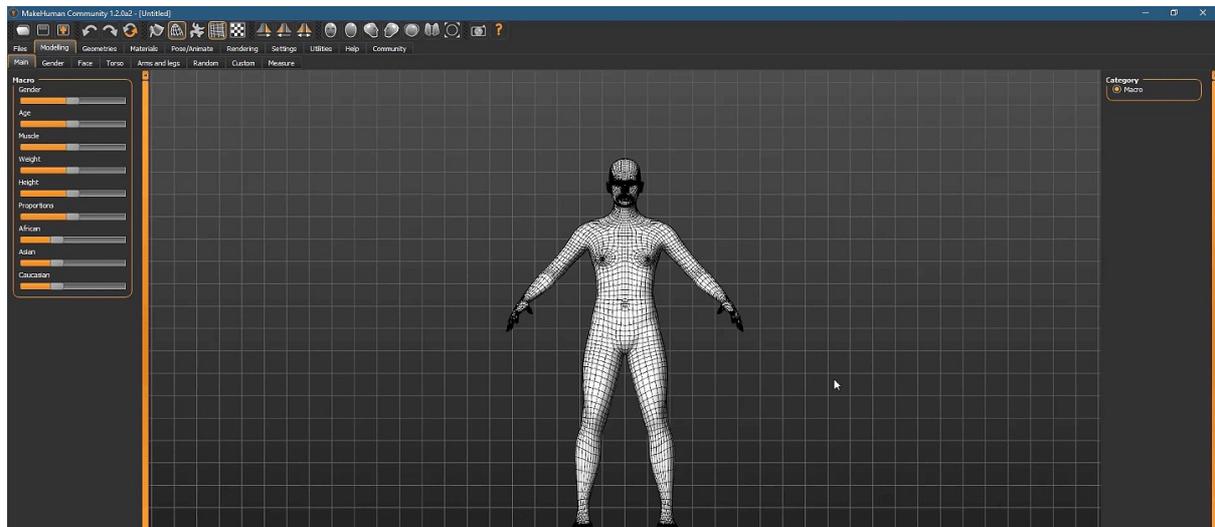


Figura 3.4: Interfaccia di Make Human

3.2 Hardware

L'interesse suscitato negli ultimi anni dalla VR ha portato all'ampliamento della gamma di offerta di dispositivi relativi a questo settore: vi sono diversi tipi di visori, sistemi di tracciamento, strumenti di input, ecc.

Per vivere un'esperienza totalmente immersiva è necessario utilizzare diversi dispositivi: il più importante è il visore, che è un casco indossabile, seguito dai *controller*, dai tracker e dalle *base station*.

3.2.1 Vive - Virtual Reality System

L'applicazione presentata in questo lavoro di tesi richiede un livello elevato di immersione dell'utente e l'utilizzo di alcuni strumenti per tracciare le posizioni e i movimenti degli elementi di interesse, per cui la scelta del sistema di strumenti da utilizzare è ricaduta sul sistema di HTC denominato *Vive - Virtual Reality System*, che prevede un *head-mounted display* (HMD), ovvero il visore, i tracker per tracciare, in genere, il movimento dei polsi, e i controller [35].

A questa strumentazione si va ad aggiungere un manico, al quale viene apposto un tracker, e i DPI tipici dei volontari del Corpo AIB. In genere i controller sono utilizzati per l'interazione

con il mondo virtuale, ma in questa applicazione non è così: dopo una prima fase di configurazione in 2D da terminale, l'interazione avviene esclusivamente tramite l'utilizzo del manico dello strumento che l'utente ha in mano.

3.2.1.1 Visore

Il visore (*Figura 3.5*) del sistema HTC Vive Pro è costituito da due schermi AMOLED 1440x1600 pixel per una risoluzione totale di 2880x1600 pixels, e, con una frequenza di aggiornamento di 90 Hz, consente un *field of view* di 110 gradi [36]. È dotato di una coppia di microfoni e due fotocamere frontali che permettono di vivere un'esperienza davvero immersiva. Sono inoltre presenti due cuffie a padiglione integrate nella struttura del visore.



Figura 3.5: Visore HTC Vive Pro

L'HTC Vive Pro consente di integrare nell'headset un adattatore wireless (*Figura 3.6*) [37] che permette all'utente di vivere una esperienza con libertà di movimento a 360° in VR senza latenza e con altissime performance. La batteria può durare fino a due ore e mezza. A causa della particolarità dell'applicazione oggetto del lavoro di tesi, che prevede l'utilizzo di strumenti fisici in uno spazio limitato e richiede all'utente di potersi muovere il più liberamente possibile, si è ritenuto opportuno utilizzare la tecnologia wireless.



Figura 3.6: HTC Vive Pro e adattatore Wireless

3.2.1.2 Controller

I controller (*Figura 3.7*) sono gli oggetti che in genere l'utente prende fisicamente in mano durante un'esperienza virtuale. Sono dotati di 24 sensori per il rilevamento della loro posizione e sono caratterizzati da tre tasti, un *touchpad* cliccabile ed un sistema aptico chiamato *force feedback*. Nel mondo virtuale possono essere visualizzati tramite modelli di mani, guanti o anche con modelli che li riproducono esattamente.



Figura 3.7: Controller HTC Vive Pro

3.2.1.3 Sensori

I tracker (*Figura 3.8*) sono dispositivi di tracciamento che possono essere associati ad oggetti fisici o parti del corpo. In questo lavoro di tesi vengono posti sui polsi dell'utente e sul manico dello strumento.



Figura 3.8: Tracker HTC Vive Pro

3.2.1.4 SteamVR Base Station 2.0

Le SteamVR Base Station (*Figura 3.9*) sono i dispositivi che permettono il tracciamento del visore e degli altri sensori e consentono anche la sincronizzazione wireless. Con quattro SteamVR Base Station 2.0 unità, il Vive Pro headset può coprire un'area fino a 10mx10m, mentre con due SteamVR Base Station 2.0, può coprire un'area di 5mx5m [38].



Figura 3.9: SteamVR Base Station 2.0

Capitolo 4

Progettazione

La fase più importante della tesi è stata quella della progettazione. Si è innanzitutto deciso, insieme ai responsabili del Corpo AIB, su quali aspetti fosse necessario concentrarsi: ne è venuto fuori quello che può essere definito come il soggetto della tesi, ovvero l'elaborazione a grandi linee dell'idea alla base del progetto da realizzare. Nel progettare un'applicazione come quella oggetto di questo lavoro di tesi, è necessario capire quali siano gli elementi da inserire e come organizzare efficacemente il lavoro. Diventa essenziale in questo processo il ruolo dello storyboard, documento in cui si inseriscono tutte le caratteristiche che dovrà avere l'applicazione finale: quali saranno le procedure, le logiche di gioco e l'aspetto grafico dell'ambiente. Si passa poi a definire in cosa esattamente consisterà la simulazione e si fornisce un quadro su quello che sarà il sistema di valutazione.

4.1 Acquisizione del materiale

La fase iniziale della progettazione è stata dedicata all'acquisizione di più informazioni possibili sul Corpo AIB e sulle procedure adottate per lo spegnimento degli incendi boschivi. La parte più proficua è stata sicuramente quella di confronto diretto con i responsabili del Corpo, che hanno organizzato un primo incontro nel loro centro presso il FORMONT di Peveragno e illustrato il funzionamento e le dinamiche del Corpo stesso, oltre a mettere a disposizione tutto il materiale didattico necessario.

4.2 Soggetto e Storyboard

La formazione dei volontari del Corpo AIB, analizzata approfonditamente nel capitolo introduttivo, può dirsi completa solo dopo che gli operatori hanno affrontato un certo numero di esercitazioni pratiche. Da qui la necessità di un sistema che potesse simulare il fuoco ogni qual volta fosse necessario senza lo spreco di risorse umane e naturali e che fornisse un feedback sulla correttezza dei movimenti dei volontari. L'analisi del materiale didattico e la comunicazione diretta con il Corpo AIB ha portato all'ideazione di un sistema che racchiudesse in sé tutti questi elementi: il ripasso dei concetti teorici appresi in aula, l'attenzione costante alla

sicurezza propria e degli altri, l'importanza del ricevere una valutazione oggettiva del proprio operato e anche una risposta grafica adeguata alle azioni dell'operatore.

L'applicazione consisterà quindi in un mondo virtuale nel quale, attraverso elementi grafici e la guida del caposquadra prima e basandosi solo sulle proprie conoscenze poi, l'operatore dovrà superare quattro fasi di valutazione diverse munito di pala, rastro o flabello e dovrà infine affrontare direttamente un fuoco virtuale.

La realizzazione dello storyboard ha richiesto un mese e mezzo di lavoro e lo sforzo congiunto della squadra del Politecnico e del Corpo AIB. Dopo aver valutato diverse possibilità, l'applicazione è stata strutturata come descritto nel seguito.

4.3 Menù iniziale

All'esecuzione dell'applicazione, l'utente deve configurare correttamente la simulazione. La struttura del menù (*Figura 4.1*) è organizzata ad albero, per cui per passare alla schermata successiva bisogna necessariamente transitare prima da quelle che la precedono.

L'utente si troverà quindi a scegliere la modalità di gioco, lo strumento sul quale esercitarsi, le caratteristiche del fuoco e tra la presenza o meno di NPC. Dovrà inoltre fornire informazioni sulle sue caratteristiche fisiche, quali altezza, lunghezza braccio e mano dominante, parametri molto importanti che verranno utilizzati come riferimento per le valutazioni successive.

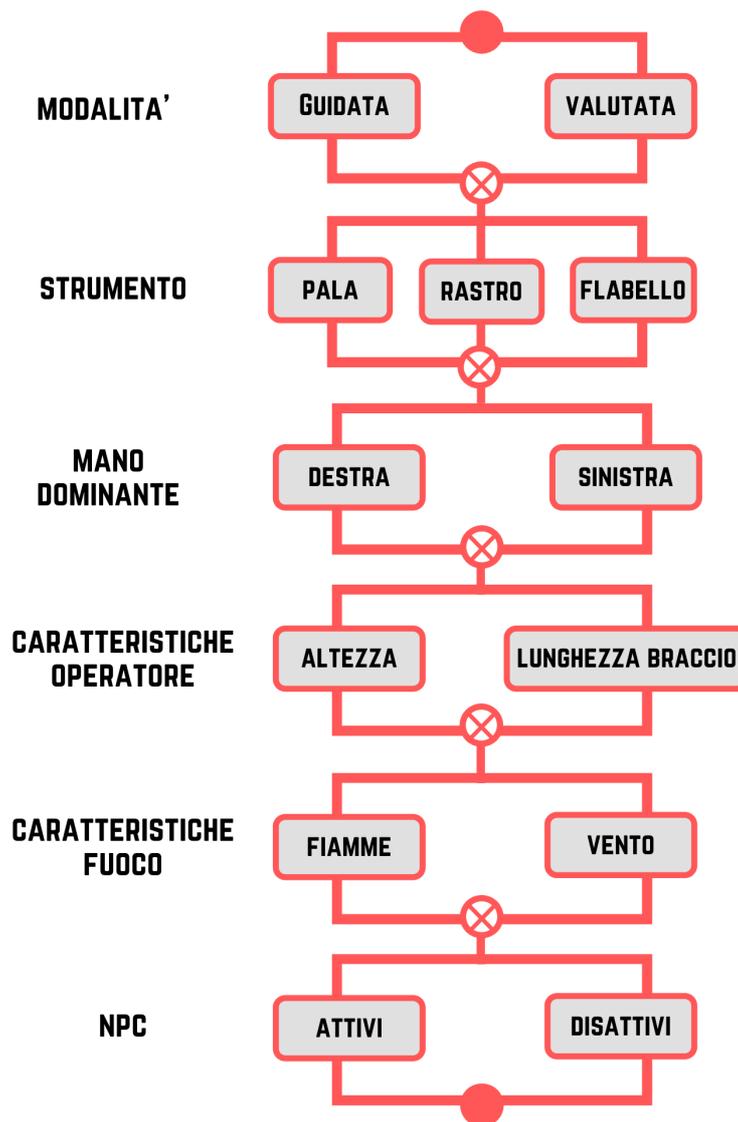


Figura 4.1: Flow chart del menù iniziale

4.3.1 Introduzione

Nella prima schermata del menù (Figura 4.2) è stata inserita la possibilità di fruire di un'introduzione al funzionamento del sistema. Alla pressione del tasto "Intro", l'utente si ritrova in una stanza virtuale popolata da un NPC e da un pannello sul quale è proiettata la legenda delle icone utilizzate nella modalità guidata. La voce del *Non-Player Character* che rappresenta il caposquadra esplica all'utente cosa dovrà aspettarsi dal sistema.



Figura 4.2: Grafica della prima schermata del menù

4.3.2 Modalità

Le diverse esigenze da soddisfare hanno portato alla definizione di due modalità di simulazione (Figura 4.3).

- **Guidata:** l'utente viene guidato nelle varie fasi di valutazione da due voci, quella dell'operatore, che gli ricorda qual è il modo corretto di utilizzare gli strumenti, e quella del sistema, che gli spiega passo dopo passo come interagire con gli elementi grafici che scandiscono i vari momenti della valutazione. La notifica degli errori viene effettuata in tempo reale tramite l'uso delle icone e la voce dell'operatore che interviene con correzioni puntuali. Vi sono dei vincoli di correttezza: per passare alla valutazione della fase successiva, è necessario concludere positivamente la fase corrente. Il fuoco si trova in un'area circoscritta e non si propaga.
- **Valutata:** questa modalità simula un incendio vero e proprio, seppur rappresentato in maniera virtuale; l'utente deve applicare ciò che ha appreso ed interagire con le fiamme e l'ambiente nel modo in cui farebbe nella realtà. La valutazione viene fatta sempre sulla base delle varie fasi e viene mostrata all'utente solo alla fine della simulazione.

Alla pressione del tasto relativo all'opzione selezionata, la voce dell'operatore espone all'utente le caratteristiche della modalità con cui l'utente dovrà interfacciarsi.



Figura 4.3: Grafica della schermata di selezione della modalità

4.3.3 Strumento

È possibile scegliere tra i tre strumenti utilizzabili sulle fiamme di altezza inferiore a 50 cm: pala, rastro e flabello (Figura 4.4). L'utilizzo di ognuno di questi attrezzi ha un obiettivo differente, per cui per spegnere le fiamme è bene che ogni operatore abbia dimestichezza con ogni singolo strumento.



Figura 4.4: Grafica della schermata di selezione dello strumento

- Pala (*Figura 4.5*): è lo strumento più comune tra quelli analizzati e anche il più versatile. L'utente lo potrà utilizzare sia per soffocare direttamente le fiamme che per liberare dalle foglie l'area intorno al fuoco.



Figura 4.5: Riproduzione della pala in VR

- Rastro (*Figura 4.6*): questo attrezzo manuale è utilizzato per liberare dalle foglie l'area intorno al fuoco.



Figura 4.6: Riproduzione del rastro in VR

- Flabello (*Figura 4.7*): strumento utile per soffocare le fiamme ed efficace soprattutto nelle aree in cui il terreno è irregolare. Bisogna fare molta attenzione durante l'uso perché se non lo si scuote i battenti possono contribuire a spargere i lapilli.



Figura 4.7: Riproduzione del flabello in VR

4.3.4 Mano dominante



Figura 4.8: Grafica della schermata di selezione della mano dominante

Viste le caratteristiche del sistema, nel quale la correttezza dei parametri viene valutata in base alla posizione delle mani e dello strumento, è stato necessario fare una distinzione tra mancini e destrorsi.

All'utente viene chiesto di impostare la caratteristica da menù (Figura 4.8), e il sistema reagisce valutando opportunamente la correttezza delle posizioni dell'operatore.

4.3.5 Caratteristiche dell'utente

Per una corretta valutazione del comportamento dell'utente, è stata inserita una fase di configurazione (Figura 4.9). In particolare l'operatore deve inserire la sua altezza e la lunghezza del suo braccio, parametri che il sistema può rilevare automaticamente se l'operatore non ne è a conoscenza registrando la componente y del visore e la distanza globale tra il tracker del polso e il visore.



Figura 4.9: Grafica della schermata di inserimento dei parametri

4.3.6 Fuoco

Essendo questo un sistema di addestramento allo spegnimento degli incendi boschivi, l'elemento protagonista della simulazione è evidentemente il fuoco. L'utente potrà decidere con che tipo di fuoco andare a confrontarsi nella modalità valutata, selezionando alcuni parametri quali la velocità delle fiamme, la loro altezza, la direzione del vento, ecc. (Figura 4.10).



Figura 4.10: Grafica della schermata di configurazione del fuoco

4.3.7 NPC

Nella modalità valutata si può scegliere di lavorare da soli o con il supporto di altri tre operatori, che muniti di pala interverranno sulle fiamme, proprio come farebbe una squadra di volontari nella realtà. Gli operatori presenti indossano tutti i DPI, dei quali si è raccolto diverso materiale fotografico durante la prima visita a Peveragno: ciò ha permesso una modellazione fedele degli equipaggiamenti e una presa di coscienza dell'importanza degli stessi.

La lotta agli incendi boschivi comporta per i volontari l'esposizione a pericoli di diversa natura e gravità, il cui principale è l'ustione. Questa può essere di varia natura e può manifestarsi in seguito al contatto totale o parziale con la fiamma. Ulteriore pericolo è rappresentato dal calore conduttivo da contatto con oggetti ad elevata temperatura o con particelle di materiale vegetale incandescente. Vi sono poi da considerare i pericoli fisici e meccanici di penetrazione, taglio, abrasione, oggetti in caduta, impatto e caduta dall'alto, i pericoli di mancata visibilità dell'operatore, l'esposizione al fumo, particolato e all'ipertermia.

Per questo è importante che l'operatore indossi correttamente tutti i DPI e segua le regole base di sicurezza imparate durante il corso di formazione, come quella di mantenere sempre 4 metri di distanza dai compagni di squadra.

I DPI di un operatore AIB si dividono in DPI per il capo, per il viso, per gli occhi, per le vie respiratorie (*Figura 4.11*), per il corpo e per le mani (*Figura 4.12*). Nello specifico, si parla di:

- giacca;
- pantaloni;
- caschetto dotato di visore per gli occhi;
- sotto-casco;
- occhiali;
- kit antifumo;
- guanti;
- scarponi.



Figura 4.11: DPI per capo, viso, occhi e vie respiratorie



Figura 4.12: DPI per corpo e mani

4.4 Simulazione

Le fasi in cui gli operatori vengono valutati sono quelle che vengono illustrate durante il corso di formazione in aula: trasporto, rimozione custodia, distanza di sicurezza e utilizzo. Nel seguito viene illustrato in che modo questi momenti siano stati organizzati nelle due diverse modalità.

In particolare, nella modalità guidata una voce guida spiega all'utente cosa debba fare passo a passo per essere valutato correttamente. Si illustra di seguito la logica del funzionamento della modalità guidata (*Figura 4.13*)

- **Trasporto:** la valutazione di questa fase inizia nel momento in cui l'utente esce dal primo cerchio verde, nel quale viene invitato ad entrare all'inizio della modalità guidata. Questi cerchi colorati rappresentano il modo in cui, nell'applicazione realizzata, si può comunicare in maniera intuitiva all'utente dove spostarsi per svolgere una determinata operazione, anche in considerazione del fatto che lo spazio fisico in cui si svolgono le operazioni rappresenta in genere solo una porzione del mondo virtuale ricostruito per l'esperienza. Viene richiesto di seguire il cerchio azzurro, che si muove in modo tale da far camminare l'utente per circa 30 secondi. Se alla fine di questi 30 secondi l'utente non ha commesso un numero di errori tale da far scendere il suo punteggio al di sotto di una soglia prestabilita, comparirà un secondo cerchio verde. La fase si conclude nel momento in cui l'utente entra in questo secondo cerchio. Nel caso in cui invece il punteggio sia insufficiente, l'operatore dovrà ripetere la valutazione semplicemente continuando a seguire il cerchio.
- **Rimozione custodia:** questa fase riguarda solo il rastro ed il flabello. L'utente verrà invitato a dirigersi verso il nuovo cerchio azzurro: una volta all'interno, deve poggiare lo strumento per terra, abbassarsi e toccare la custodia del rastro o gli elastici del flabello per rimuoverli. Se lo fa, il sistema imposta un *flag* che viene controllato all'uscita dal cerchio. Di nuovo, per passare alla fase successiva l'utente deve entrare nel cerchio verde.
- **Distanza di sicurezza:** all'uscita dal cerchio verde, l'utente deve dirigersi verso l'area evidenziate che rappresenta l'area di intervento. L'utente dovrà mettere in contatto la punta dello strumento con l'area di intervento: ha qualche secondo per assumere la posizione corretta con l'aiuto delle icone. Allo scomparire delle icone, l'utente deve mantenere la posizione corretta per qualche secondo per poter concludere positivamente questa fase. In caso di errori, è possibile ripetere la valutazione semplicemente interrompendo il contatto tra bastone e area e ripristinandolo. Per passare alla fase successiva occorre come di consueto entrare nel cerchio verde apparso.

- Utilizzo: ultima fase di valutazione, inizia quando l'utente mette in contatto la punta dello strumento con l'area su cui andrà ad intervenire.



Figura 4.13: Logica della modalità guidata

Nella modalità di valutazione il passaggio da una fase all'altra è totalmente trasparente all'utente e dipende dalla distanza tra utente e fiamme. Sono state individuate due macro-aree, basate appunto sulla distanza dal fuoco: quella di trasporto-rimozione e quella di distanza-utilizzo (Figura 4.14). In base ad alcune posizioni chiave, si valuterà se, nell'area del trasporto, si stia trasportando lo strumento o rimuovendo la custodia e, nell'area dell'utilizzo, si stia valutando la distanza di sicurezza o utilizzando lo strumento.



Figura 4.14: Le due macro-aree di trasporto e utilizzo

4.4.1 Macro-area trasporto

Questa macro-area è quella più lontana dal fuoco e viene utilizzata per la valutazione del trasporto ed eventualmente della rimozione della custodia del rastro e degli elastici del flabello. Dopo 4 secondi dall'inizio della valutazione, il sistema inizia a controllare tramite colliders se l'utente ha una sola mano sullo strumento: in caso affermativo, inizia la valutazione del trasporto. Se, in caso di scelta di rastro o flabello, l'utente si abbassa e appoggia lo strumento al terreno e poi tocca la custodia o gli elastici, si interrompe la valutazione del trasporto e si passa alla fase di rimozione. Se l'utente rimuove correttamente la custodia o gli elastici e si trova

ancora nella macro-area del trasporto, il sistema riprenderà la valutazione del trasporto, per interromperla nel momento in cui l'utente entrerà nella macro-area dell'utilizzo (Figura 4.15).



Figura 4.15: Logica macro-area trasporto

4.4.2 Macro-area utilizzo

La macro-area dell'utilizzo si trova in prossimità del fuoco e quando l'utente vi entra la valutazione del trasporto termina. La posizione rispetto al fuoco di questa macro-area è calcolata in funzione dei parametri inseriti in fase di configurazione dall'utente: partendo dalla sua altezza, dalla distanza visore-tracker del polso e dalla lunghezza del manico dello strumento, il sistema calcola la distanza di sicurezza ideale dal fuoco, e a questo valore aggiunge 30 cm. Quando il sistema rileva la collisione tra punta dello strumento e terreno si controlla subito quante mani l'utente ha sullo strumento: se è una il sistema registra il fatto che l'utente ha preso per la prima volta la distanza di sicurezza, se sono due invece l'utente ha saltato la fase di distanza per passare a quella di utilizzo. Se l'utente non ha rimosso in precedenza la custodia

lo può ancora fare in quest'area, e una volta rimossa correttamente il sistema riprenderà la valutazione dell'utilizzo (Figura 4.16).

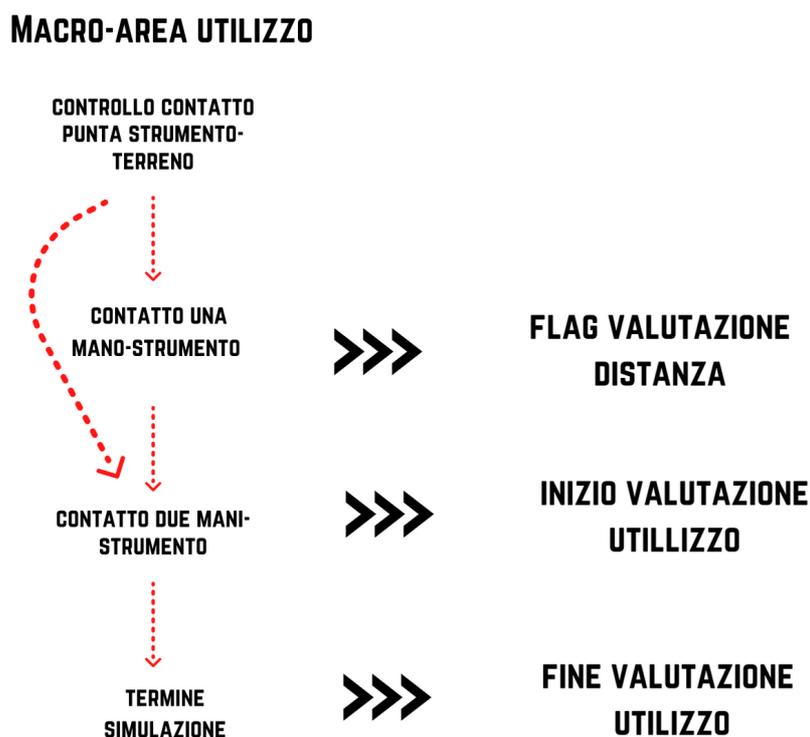


Figura 4.16: Logica macro-area utilizzo

4.5 Valutazione

Durante la simulazione si valuteranno i comportamenti e le azioni dell'utente confrontandoli con quelli definiti come corretti dal Corpo AIB. Il fine ultimo della simulazione è quello di ricevere una valutazione oggettiva del proprio operato. Per questo motivo, alla fine della modalità valutata viene fornito un report contenente un punteggio totale ed un punteggio relativo ad ognuna delle fasi di valutazione affrontate, quindi trasporto, rimozione, distanza e utilizzo (con sotto-punteggio per la distanza durante l'utilizzo).

4.6 Validazione

Ognuna delle decisioni prese e delle funzionalità implementate è stata sottoposta alla validazione e all'approvazione dei responsabili del Corpo AIB, che si sono sempre dimostrati disponibili a collaborare e a fornire i riscontri necessari per la risoluzione delle criticità individuate. È proprio questo continuo confronto che ha portato alla progettazione di un sistema utile per i volontari e studiato ad hoc per le loro necessità.

Capitolo 5

Realizzazione

La fase di realizzazione del progetto di tesi è stata quella più lunga ed impegnativa. In questo capitolo si analizzano le caratteristiche della gestione della VR in Unity che hanno permesso di raggiungere il risultato finale.

Si analizza poi la struttura finale del sistema e il modo in cui l'utente può interagire con l'ambiente che lo circonda. Si passa quindi al sistema di valutazione, la parte più complicata e importante di tutto il progetto, analizzando i parametri che vengono presi in considerazione e il modo in cui i punteggi vengono assegnati. Viene illustrata poi l'interfaccia utente, passando per la segnalazione degli errori e il *voice-over*. Infine si parla delle animazioni presenti nell'applicazione.

5.1 Realtà Virtuale in Unity

Per tutte le funzionalità richieste e il livello di dettaglio necessario ad effettuare una valutazione oggettiva dei movimenti, è stato indispensabile utilizzare la VR.

In Unity per far questo è indispensabile appoggiarsi su un *plugin* esterno, *Steam VR*.

5.1.1 Steam VR

Questo plug-in permette di utilizzare strumenti di VR direttamente su Unity. È compatibile con diversi dispositivi, quali *HTC Vive*, *Oculus Rift* e *Windows Mixed Reality*.

5.1.2 Open VR

Open VR (*Figura 5.1*) è un plug-in di Unity utile ad interfacciare il programma con Steam VR, ed è direttamente scaricabile dal sito di Unity. Fornisce una serie di elementi utilizzabili già pronti, come i modelli 3D delle mani, le loro animazioni di base, la mappatura dei tracker nello spazio e altro.



Figura 5.1: Interfaccia OpenVR in game

5.1.3 Gestione delle collisioni

Questo sistema di addestramento è caratterizzato da un continuo passaggio tra una fase e l'altra, tra l'inizio di una valutazione e la sua fine, e da una costante interazione con gli elementi grafici. Essenziale è dunque il ruolo ricoperto dalla gestione delle collisioni. L'elemento protagonista delle collisioni in Unity è il *collider*: un reticolato "triggerabile" che ricopre la *mesh* (ovvero il modello 3D) dell'oggetto scelto. Questo ha la capacità di rilevare le collisioni con altri collider: a queste collisioni è possibile associare eventi tramite script, in particolare tramite le funzioni *OnCollisionEnter*, *OnCollisionExit*, *OnCollisionStay*.

C'è anche una versione più particolare dei collider, i *trigger* che vengono utilizzati per rilevare le collisioni mantenendo il modello 3D immutato. A questi sono associate le funzioni *OnTriggerEnter*, *OnTriggerExit*, *OnTriggerStay*. In questo lavoro di tesi si è preferito utilizzare questa seconda versione.

5.1.4 Locomozione

La locomozione in VR comporta delle criticità che possono essere affrontate in vari modi. Infatti la possibilità di ricreare ambienti virtuali senza limiti spaziali si scontra con i limiti tangibili dello spazio reale: in genere ci si trova all'interno di una stanza con quattro pareti nella quale è stato montato il sistema di VR.

Per il sistema di locomozione si è dovuto quindi scegliere tra varie possibilità.

La prima opzione papabile era quella del teleporting, caratterizzato da un sistema di *raycasting* che consente, tramite l'uso dei controller, di puntare alla posizione nella quale ci si vuole spostare e trovarvi dopo pochi istanti.

La seconda era l'*arm swinging*, che fa coincidere al movimento più o meno veloce delle braccia dell'utente (valutando la differenza di posizione dei controller nel tempo) il movimento dell'avatar nella VR.

Anche in questo caso, per il sistema corrente si è decisa una strada diversa.

Nel sistema in oggetto si è scelto un tipo di locomozione in cui i movimenti nel mondo reale corrispondono a movimenti nella VR, per cui l'utente per spostarsi dovrà di fatto camminare. Questa scelta è stata presa considerando tutti i pro e tenendo conto dei contro, che hanno determinato tutta una serie di altre scelte relative al doversi scontrare con i limiti fisici della stanza reale.

5.2 Struttura finale

Partendo dal documento di design, si è deciso di strutturare l'applicazione in due scene.

La prima è quella del menù iniziale: è composta da una interfaccia da desktop dalla quale si configura l'applicazione e da una scena in VR. Nella scena è presente una stanza non arredata, ad eccezione di una lavagna illuminata sulla quale è illustrata la legenda delle icone e il loro significato. Nella stanza è presente un operatore AIB, che nel caso in cui da desktop venga premuto il tasto "Intro", introdurrà il funzionamento del sistema (*Figura 5.2*). È qui che viene creato il *GameObject* relativo alle caratteristiche dell'utente utilizzando il pattern *Singleton*, che permette di non terminare l'oggetto alla chiusura della scena.

La seconda scena è quella dell'effettiva simulazione. A seconda della modalità scelta, viene configurata in maniera differente. Entrambe le modalità hanno in comune lo scenario: l'utente si ritrova in una radura in mezzo alla foresta, caratterizzata da alberi tipici del territorio piemontese.

Nella modalità guidata l'utente si trova davanti un cerchio verde, al quale seguiranno altri elementi grafici, e sente le voci guida. Non c'è il fuoco. L'atmosfera è di relativa calma.

Nella modalità valutata le cose cambiano: ci sono molti più rumori, il più forte dei quali è quello del fuoco, e non vi sono aiuti o guide. Se sono stati attivati da menù iniziale, saranno presenti gli NPC di supporto che agiranno sul fuoco.

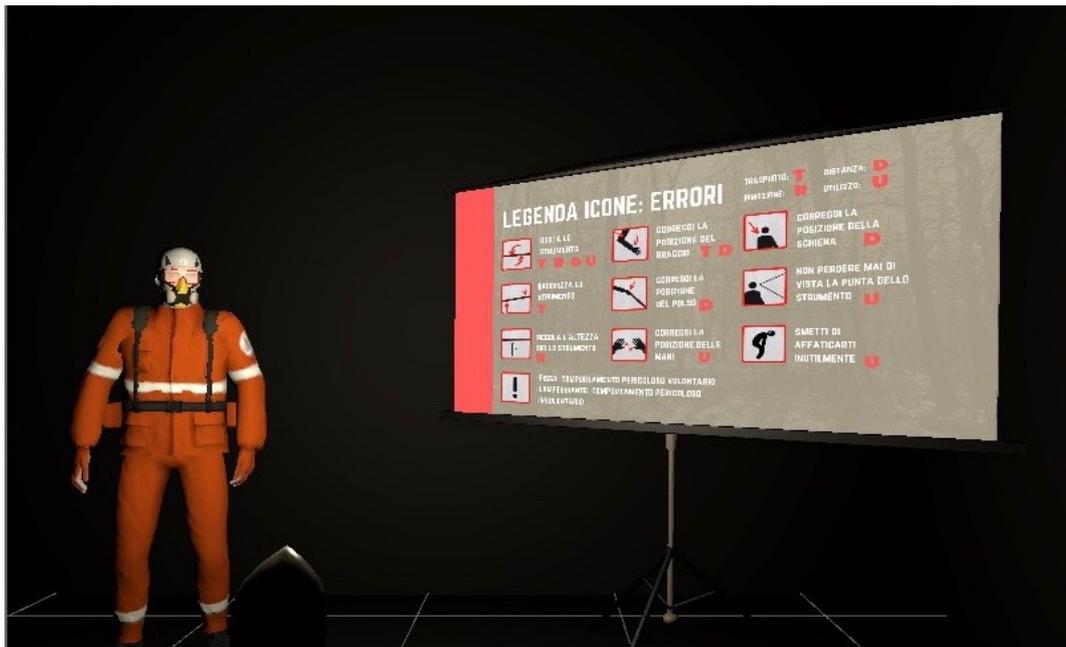


Figura 5.2: Stanza iniziale - Introduzione

5.3 Interazioni con l'ambiente

Elemento fondamentale in un'applicazione VR è il modo in cui l'utente interagisce con l'ambiente. Generalmente si utilizza un sistema basato sull'uso dei controller, in cui ogni controller simula la mano dell'utente nel mondo virtuale, o che vengono impiegati come puntatori laser per effettuare le selezioni, tramite un sistema di *raycasting*. In questa applicazione, tuttavia, una configurazione del genere non era praticabile: la ricerca di un'esperienza virtuale il più realistica possibile ha portato alla decisione di adottare una configurazione più innovativa, ovvero due tracker posti sui polsi e fissati tramite due speciali polsini o guanti *ad hoc* (Figura 5.3) così da permettere all'utente di avere le mani libere e poter impugnare lo strumento, anch'esso tracciato (Figura 5.4). Ecco che quindi le interazioni assumono una connotazione particolare: l'interazione con l'ambiente vero e proprio è possibile solo tramite lo strumento. I tracker sui polsi vengono riprodotti in VR come guanti e possono interagire solo con lo strumento e le sue custodie, attivando delle animazioni. Vi è poi una terza interazione possibile, ovvero quella tra visore e elementi grafici che permettono la transizione tra una fase e l'altra della valutazione. Tutte le interazioni analizzate sono fatte tramite collider, secondo il sistema descritto in precedenza.



Figura 5.3: Tracker montato su un guanto



Figura 5.4: Tracker montato sullo strumento

5.3.1 Elementi grafici

Nella modalità guidata è stato necessario trovare un modo per segnare il passaggio da una fase all'altra e tra l'inizio di una valutazione e la successiva. Per questo si è fatto ricorso ad una serie di elementi grafici, spesso impiegati nelle applicazioni di VR: l'utente, come detto, si troverà davanti agli occhi durante la simulazione una serie di cerchi, evidenziati da un cilindro verticale, che è l'elemento grafico che si usa tipicamente per indicare un "teletrasporto". Questi assumono significati diversi in base al colore e al momento in cui appaiono, spiegati all'utente dalla voce guida.

- Teletransport verde (*Figura 5.5*): è l'elemento che indica l'inizio o la fine di una fase di valutazione, quale trasporto, rimozione, distanza, utilizzo.



Figura 5.3: Teletransport verde

- Teletransport azzurro generico: serve per indicare all'utente il punto in cui viene fatta la valutazione.

- Teletransport azzurro in movimento (*Figura 5.6*): nella fase di trasporto l'utente deve camminare per 30 secondi seguendo questo elemento che si muove; perché la grandezza limitata di una stanza reale non permetterebbe altrimenti di ricoprire una distanza adeguata alla valutazione della fase di trasporto dello strumento.

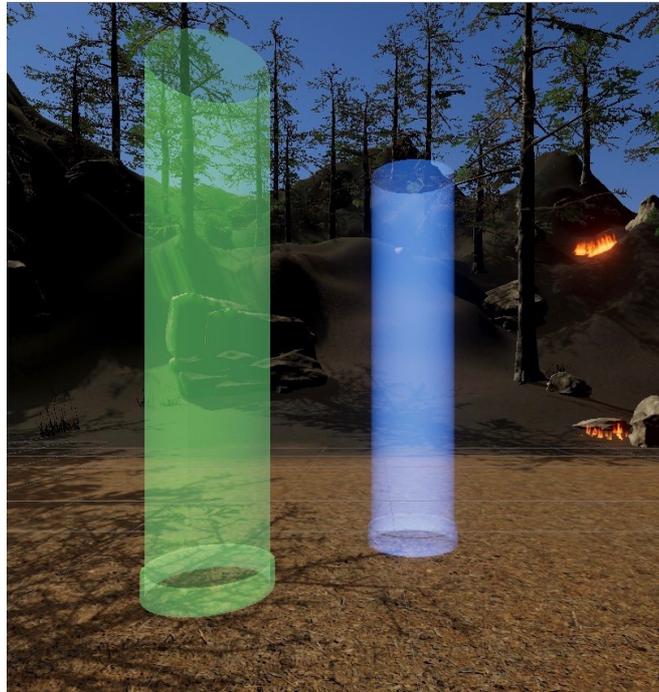


Figura 5.4: Teletransport verde e teletransport azzurro in movimento

- Sfera azzurro con pala (*Figura 5.7*): nella fase di distanza, all'utente è richiesto di mettere in contatto la punta dello strumento con l'area del cerchio azzurro per effettuare la valutazione. L'elemento della pala è stato aggiunto in seguito al feedback dei volontari del Corpo AIB per rendere più chiaro dove dovesse essere posizionato lo strumento.



Figura 5.5: Sfera azzurra con pala

5.4 Il Sistema di valutazione

Il sistema di valutazione è basato su determinati parametri, la combinazione dei quali fornisce un'indicazione di correttezza formalizzata tramite un punteggio nella modalità valutata.

5.4.1 Parametri

La valutazione delle diverse fasi si basa sui parametri acquisiti tramite i vari dispositivi utilizzati: il visore, il tracker posto sul bastone e i due tracker posti sui polsi dell'operatore. Durante la configurazione vengono registrati l'altezza dell'utente e la distanza tra visore e polsi quando l'utente sta in piedi con le braccia distese lungo i fianchi: questi dati vengono utilizzati come termine di paragone durante la valutazione.

Per la fase di trasporto dello strumento (*Figura 5.8*), nella valutazione della prestazione vengono considerate:

- la posizione del braccio, tracciando il tracker del polso e il visore, e confrontando il valore ottenuto con quello registrato in fase di configurazione;
- il bilanciamento dello strumento, controllando la posizione reciproca del tracker del bastone, tracker del polso e punta dello strumento;
- rotazione strumento per pala e rastrello, valutando l'angolo di rotazione dello strumento rispetto a sé stesso e rispetto alla posizione del tracker del polso.



Figura 5.6: Valutazione parametri trasporto

Per la fase di rimozione della custodia si valutano:

- l'altezza dello strumento: la componente verticale della posizione del tracker dello strumento deve essere inferiore ai 30 cm;
- la rotazione dello strumento per rastro e flabello, valutando l'angolo di rotazione del tracker rispetto ad una sua posizione prestabilita.

Per la fase di distanza di sicurezza (*Figura 5.9*) si considerano:

- la posizione del braccio, sempre confrontando la posizione reciproche di tracker polso e visore;
la posizione del polso, tracciando tracker del polso e tracker del bastone, e valutando l'angolo tra le loro posizioni;
- la postura, andando a confrontare l'altezza in tempo reale del visore con il parametro registrato in fase di configurazione.



Figura 5.7: Valutazione parametri distanza

Per la fase di utilizzo (*Figura 5.10*) si analizzano i seguenti aspetti:

- la posizione delle mani, valutando la loro posizione reciproca e rispetto alla posizione del tracker del bastone;
- l'altezza dello strumento, controllando la componente verticale della posizione del tracker dello strumento;
- la rotazione dello strumento, valutando l'angolo di rotazione del tracker rispetto ad una sua posizione prestabilita;
- la visuale della punta dello strumento, attraverso l'uso di collider posti intorno al visore;
- velocità di movimento dello strumento.



Figura 5.8: valutazione parametri utilizzo

Ogni strumento ha valori limite diversi, modulati in base al modo in cui questo deve essere utilizzato.

5.4.1 Punteggio

Il punteggio viene calcolato separatamente per ogni fase di valutazione e si basa su un sistema incrementale, per cui ad una azione corretta corrisponde un aumento del punteggio.

Si sono tuttavia individuati dei momenti critici nella fase del calcolo del punteggio: la rimozione della custodia del rastro, la rimozione dell'elastico del flabello e l'individuazione della corretta distanza di sicurezza.

I primi due punti nella realtà corrispondono ad un uso praticamente inutile del rastro e alla completa impossibilità di utilizzare il flabello, per cui dopo varie valutazioni si è deciso di mettere un vincolo su questi aspetti: se l'utente non procede con la rimozione, verrà comunque

valutato in tutte le fasi, ma il punteggio totale comprenderà solo i punti ottenuti nella fase di trasporto, mentre i punteggi di tutte le altre fasi saranno sì presenti nella scheda di valutazione finale ma verranno segnati in rosso (Figura 5.11).



Figura 5.9: Grafica schermata valutazione finale - custodia non rimossa

Se invece procede alla rimozione ma senza rispettare le norme di sicurezza, quindi se non appoggia lo strumento al terreno e se non rivolge la parte tagliente del rastro verso il basso, o se procede alla rimozione quando si trova già nella macro-area di utilizzo e quindi in prossimità del fuoco, gli verrà assegnato un punteggio pari a 0 nella rimozione ma verrà comunque valutato regolarmente nelle fasi successive e il punteggio finale comprenderà tutte le voci (Figura 5.12).



Figura 5.10: Grafica schermata valutazione finale - custodia rimossa non correttamente

Per quanto riguarda invece la distanza di sicurezza, si è deciso di distinguere la prima volta che l'utente si avvicina al fuoco dalle successive. La prima volta verrà assegnato all'utente un punteggio dipendente dalla correttezza dei diversi parametri valutati, mentre dalla seconda in poi si valuterà dinamicamente la distanza dell'utente dal fuoco come sotto-parametro dell'utilizzo. Se l'utente non individua correttamente la distanza la prima volta, tutto il punteggio relativo alla distanza e all'utilizzo verrà segnato in rosso e non andrà a sommarsi ai punteggi delle altre fasi nel punteggio finale (Figura 5.13).



Figura 5.11: Grafica schermata valutazione finale - distanza non rilevata

Nel caso in cui l'utente rimuova correttamente la custodia e prenda la distanza di sicurezza, tutte le voci saranno segnate in nero e concorreranno alla determinazione del punteggio finale (Figura 5.14).



Figura 5.12: Grafica schermata valutazione finale completa

Insieme al sotto-parametro “distanza durante l'utilizzo” è stato anche implementato un controllo sul tempo in cui l'utente rimane a contatto con le fiamme: se questo tempo è maggiore o uguale a cinque secondi, la scheda segnerà la bruciatura dell'operatore e quindi segnalerà la pericolosità che il comportamento adottato avrebbe nella realtà.

5.5 Interfaccia utente

Aspetto fondamentale di qualsiasi applicazione in VR è l'interfaccia utente. Mentre nelle applicazioni desktop la scelta dell'interfaccia utente è più libera e può consistere in interfacce fisse poste sui bordi dello schermo, in VR la scelta non è così semplice. È necessario trovare una soluzione che non crei fastidio all'utente e non diminuisca il senso di immersione e di presenza. Generalmente si opta per interfacce che rimangano fisse nel mondo o seguano un elemento mobile che non sia la testa. In questa applicazione, dopo varie valutazioni, si è deciso di percorrere la strada meno battuta e di inserire un'interfaccia che sia al centro dello schermo e che segua lo sguardo dell'utente (Figura 5.15). In questa interfaccia compariranno delle icone di segnalazione degli errori, il cui significato è spiegato di seguito.



Figura 5.13: Interfaccia utente

5.5.1 Icone e segnalazione errori

Per segnalare gli errori in tempo reale vengono utilizzate delle icone specifiche, che compaiono e rimangono visibili finché l'utente non corregge l'errore. Quando l'errore persiste, alle icone si affianca la voce dell'NPC che rappresenta il caposquadra.

Icona posizione braccio (*Figura 5.16*): usata nella fase di trasporto e di distanza di sicurezza, compare per indicare che il braccio deve essere disteso.



Figura 5.14: Icona posizione braccio

Icona bilanciamento (*Figura 5.17*): usata nella fase di trasporto, compare quando l'utente impugna lo strumento fuori dalla zona di bilanciamento. Scompare solo quando lo strumento viene posto in posizione parallela rispetto al terreno.

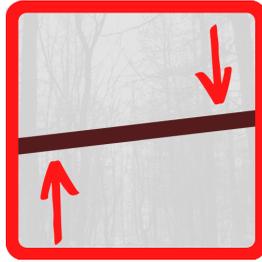


Figura 5.15: Icona bilanciamento

Icona rotazione (Figura 5.18): usata nella fase di trasporto, compare quando la rotazione dello strumento porta la parte tagliente di rastro o pala a rappresentare un pericolo per l'utente. Nella fase di rimozione segnala che il rastro deve avere la parte tagliente rivolta verso il basso.

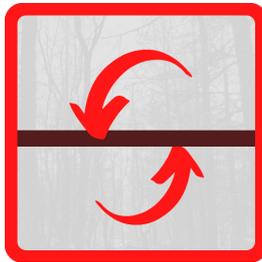


Figura 5.16: Icona rotazione

Icona altezza (Figura 5.19): usata nella fase di rimozione, segnala all'utente che lo strumento deve essere poggiato sul terreno.

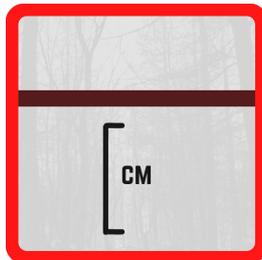


Figura 5.17: Icona altezza

Icona posizione polso (Figura 5.20): usata nella fase di individuazione della corretta distanza di sicurezza, segnala che braccio e bastone dello strumento non stanno formando una linea ideale.



Figura 5.18: Icona posizione polso

Icona postura (Figura 5.21): usata nella fase di individuazione della corretta distanza di sicurezza, ricorda all'utente di non piegarsi eccessivamente in avanti.



Figura 5.19: Icona postura

Icona posizione mani (Figura 5.22): nella fase di utilizzo, compare per segnalare di prestare attenzione al modo in cui si sono posizionate le mani.



Figura 5.20: Icona posizione mani

Icona cono di vista (Figura 5.23): compare nella fase di utilizzo per segnalare che l'utente ha perso di vista la punta dello strumento.

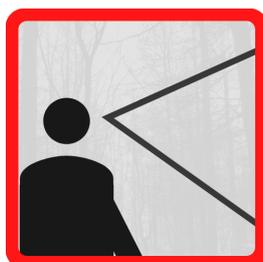


Figura 5.21: Icona cono di vista

Icona fatica inutile (*Figura 5.24*): usata nella fase di utilizzo, segnala che il comportamento adottato ha come unico risultato quello di affaticare l'operatore stesso.



Figura 5.22: Icona fatica inutile

Icona pericolo (*Figura 5.25*): può comparire in tutte le fasi in caso di comportamento pericoloso.



Figura 5.23: Icona pericolo

5.6 Voice-over

Il voice-over ha un ruolo importantissimo all'interno della simulazione. Si modula in questa applicazione in due voci diverse, una maschile e una femminile. La prima è la voce dell'NPC che rappresenta il caposquadra, che principalmente ricorda all'utente le nozioni da lui apprese durante il corso di formazione e la seconda è una voce guida, che lo accompagna nelle varie fasi della modalità guidata.

Il testo del *voice-over* è stato scritto solo dopo un attento studio del materiale fornito dai responsabili del Corpo AIB. L'importanza che questo testo ha è infatti particolare: non devono esserci imprecisioni che possano portare ad un uso scorretto degli strumenti e dell'ambiente di gioco, pena possibili rischi per la sicurezza del volontario. Questo testo è stato sottoposto alla validazione del Corpo AIB e sono anche state suggerite modifiche per renderne la comunicazione ancora più efficace.

Dal menù iniziale, premendo il tasto "Intro", parte la voce del caposquadra che introduce l'applicazione e ne spiega a grandi linee il funzionamento:

“Questo sistema è stato creato per verificare le conoscenze acquisite durante il corso di formazione in aula, in particolare ci concentreremo sulle fasi di trasporto dello strumento, rimozione custodia ed elastici, distanza di sicurezza ed utilizzo”.

Sempre da menù, nella schermata relativa alla scelta della modalità, la stessa voce fornisce delucidazioni sulle caratteristiche di ciascuna scelta.

Alla pressione del tasto “Guidata”, la voce del caposquadra dice:

“Modalità guidata: due voci ti guideranno in questa esperienza: la mia, che ti ricorderà i concetti base e ti correggerà in caso di errore, e una voce guida, che ti spiegherà passo a passo cosa fare. Le icone ti segnaleranno se stai facendo un errore specifico, secondo questa legenda. Prenditi qualche istante per comprenderne il significato”.

Alla pressione del tasto “Valutazione finale” invece, la voce del caposquadra recita:

“Modalità valutata: in questa modalità dovrai basarti solo sulle tue conoscenze e sulla tua esperienza. Ma non sarai solo: ai tuoi lati ci saranno due dei tuoi compagni a darti supporto”.

Inoltre la voce del caposquadra durante la modalità guidata fornisce indicazioni sul modo corretto di effettuare i movimenti e corregge eventuali imprecisioni prolungate dell’utente, mentre le icone forniscono un feedback istantaneo, come è stato illustrato in precedenza.

La voce del caposquadra, all’entrata dell’utente nei diversi cerchi verdi che segnano l’inizio di una nuova fase, recita quanto segue.

Trasporto:

- “questa fase riguarda la valutazione del trasporto dello strumento. Dovrai impugnare lo strumento con la mano indicata come dominante, ricordando che la parte anteriore degli strumenti taglienti deve essere sempre rivolta verso l’esterno. Lo strumento dovrà essere impugnato nella zona di bilanciamento e dovrà essere parallelo al terreno”;

Rimozione:

- “la fase successiva riguarda la rimozione della custodia dello strumento” per il rastro e “la fase successiva riguarda la rimozione degli elastici dello strumento” per il flabello;

Distanza di sicurezza:

- “la fase successiva riguarda l’individuazione della corretta distanza di sicurezza dalla zona di intervento. Dovrai impugnare lo strumento all’estremità con la mano opposta

alla dominante. Considera che, una volta poggiato lo strumento nella zona opportuna, il braccio e lo strumento devono formare una linea ideale” per il flabello;

- “la fase successiva riguarda l’individuazione della corretta distanza di sicurezza dalla zona di intervento. Dovrai impugnare lo strumento all’estremità con la mano dominante. Considera che, una volta poggiato lo strumento nella zona opportuna, il braccio e lo strumento devono formare una linea ideale” per il rastro e per la pala;

Utilizzo:

- “la fase successiva riguarda la valutazione dell’utilizzo della pala. Impugnando lo strumento all’estremità, dovrai portare avanti il piede opposto rispetto al lato in cui si trova lo strumento e dovrai posizionare l’altra mano ad una distanza adeguata dalla dominante. Occorre evitare movimenti rapidi con brevi intervalli poiché porta a stancarsi rapidamente e l’azione non garantisce l’effetto voluto. Mai portare il dispositivo al di fuori del campo visivo proprio e dei compagni, bisogna sempre mantenere una distanza adeguata da loro” per la pala;
- “la fase successiva riguarda la valutazione dell’utilizzo del rastro. Impugnando lo strumento all’estremità, dovrai portare avanti il piede opposto rispetto al lato in cui si trova lo strumento e dovrai posizionare l’altra mano ad una distanza adeguata dalla dominante. È importante regolare la forza impiegata e l’altezza dello strumento in base alle esigenze. Mai portare il dispositivo al di fuori del campo visivo proprio e dei compagni, bisogna sempre mantenere una distanza adeguata da loro” per il rastro;
- “la fase successiva riguarda la valutazione dell’utilizzo del flabello. Impugnando lo strumento all’estremità con la mano opposta rispetto a quella dominante, dovrai portare avanti il piede che si trova nello stesso lato dello strumento e dovrai posizionare la mano dominante ad una distanza adeguata dall’altra. Bisogna imprimere allo strumento un movimento circolare, facendo ruotare il battente all’altezza delle spalle. Mai portare il dispositivo al di fuori del campo visivo proprio e dei compagni, bisogna sempre mantenere una distanza adeguata da loro” per il flabello.

Le possibili correzioni durante la fase di trasporto, accompagnate dalle relative icone (*Figura 5.26*), sono:

- “ruota lo strumento”;
- “abbassa lo strumento”;
- “non piegare il braccio”;
- “impugna lo strumento nella zona di bilanciamento”;
- “cerca di essere più preciso nei movimenti”.

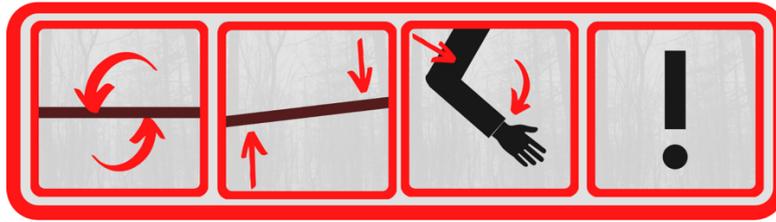


Figura 5.24: Icone trasporto

Nella fase di rimozione le correzioni possono essere relative all'altezza dello strumento, alla sua rotazione e al fatto che l'utente non abbia rimosso la custodia o gli elastici (Figura 5.27):

- "ruota lo strumento";
- "abbassa lo strumento";
- "la custodia non è stata rimossa";
- "gli elastici non sono stati rimossi".

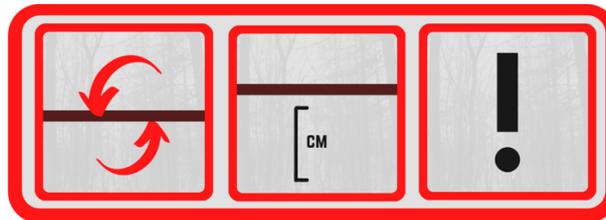


Figura 5.25: Icone rimozione

Durante la fase di distanza di sicurezza le correzioni possibili sono (Figura 5.28):

- "ruota lo strumento";
- "correggi la posizione del polso";
- "non piegare il braccio";
- "raddrizza la schiena".



Figura 5.26: Icone distanza

Infine vediamo le possibili correzioni relative alla fase di utilizzo dello strumento:

- “ruota lo strumento”;
- “non perdere mai di vista la punta dello strumento”;
- “correggi la posizione delle mani”;
- “così ti stanchi e basta”.

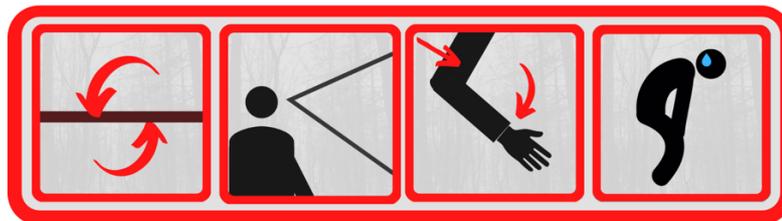


Figura 5.27: Icone utilizzo

Nella modalità valutata invece la voce del caposquadra serve solo a introdurre lo scenario, come visto sopra.

La voce guida è presente solo nella modalità guidata e fornisce indicazioni precise passo a passo sul funzionamento della valutazione: dove andare e in quale momento, che azione specifica eseguire.

Durante la fase di trasporto la voce guida dice:

- “esci dal cerchio e segui l’oggetto azzurro in movimento, ti indicherà il percorso da seguire”;
- “rientra nel cerchio e segui e le istruzioni”;
- “hai completato la valutazione di questa fase”.

Durante la fase di rimozione invece recita:

- “entra nel cerchio azzurro, appoggia lo strumento al terreno con la parte tagliente rivolta verso il terreno e tocca i ganci della custodia per rimuoverla”;
- “per ripetere la valutazione, rientra nel cerchio azzurro”;
- “raccogli lo strumento ed esci dal cerchio”;
- “hai completato la valutazione di questa fase. Dirigiti verso il cerchio verde”.

Durante la fase di distanza di sicurezza la voce guida dice:

- “dopo aver messo in contatto la punta dello strumento con l’area indicata in azzurro, hai qualche secondo per assumere la posizione corretta con l’aiuto delle icone. Al loro scomparire, mantieni la posizione corretta finché non apparirà un altro cerchio davanti a te”;
- “per riprovare, interrompi il contatto e ripristinalo”;
- “hai completato la valutazione di questa fase. Dirigiti verso il cerchio verde.

Infine, durante l’utilizzo la voce guida esplica:

- “dirigiti verso il fuoco ed utilizza il rastro per liberare completamente dalle foglie l’area intorno al fuoco”;
- “dirigiti verso il fuoco ed utilizza la pala come rastro per liberare dalle foglie l’area intorno al fuoco, dopodiché utilizza regolarmente lo strumento finché non avrai completamente soffocato le fiamme”;
- “dirigiti verso il fuoco ed utilizza il flabello per soffocare completamente le fiamme”.

5.7 Animazioni

Oltre alle animazioni principali e più evidenti, ovvero quelle degli NPC, sono presenti nell’applicazione delle animazioni secondarie utili al realismo della rappresentazione. Queste animazioni sono il *grabbing* della mano (*Figura 5.30*) a contatto con l’impugnatura dello strumento, l’apertura della custodia del rastro al tocco della mano dell’utente e la liberazione della parte anteriore del flabello quando l’utente ne tocca gli elastici.



Figura 5.28: Grabbing dello strumento

Capitolo 6

Conclusioni e sviluppi futuri

6.1 Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha portato alla creazione di un sistema di supporto all'addestramento degli operatori del Corpo AIB che verrà effettivamente utilizzato dai volontari nel loro centro presso il FORMONT di Peveragno. Le varie prove effettuate con i responsabili del Corpo hanno evidenziato le potenzialità del sistema e hanno incontrato il loro entusiasmo e la loro approvazione, seppure data la situazione contingente non sia ancora stato possibile utilizzare quanto prodotto all'interno dei corsi, che riprenderanno solo nei prossimi mesi.

Il lavoro è stato lungo ed impegnativo, ma ha prodotto un'applicazione che può in prospettiva portare al miglioramento della formazione dei volontari e anche ad una loro maggiore attenzione alla sicurezza.

6.2 Sviluppi futuri

L'applicazione si presta a diversi sviluppi futuri. Vi è infatti la possibilità di ampliare l'offerta di strumenti utilizzabili a quelli della fascia successiva (fuoco oltre i 50 cm di altezza) e anche l'offerta delle modalità. Si potrebbe infatti pensare di inserire una modalità di tipo "sfida" per sfruttare la competizione tra volontari e una modalità multi-utente nel caso di disponibilità di mezzi e spazi.

Un miglioramento dell'applicazione prodotta si avrebbe riuscendo a ricreare la sensazione di calore, prendendo per esempio spunto da uno dei sistemi analizzati. Si potrebbe a tal fine collaborare, ad esempio, con altri Dipartimenti del Politecnico per produrre dei dispositivi che simulino il calore. Un'altra possibilità potrebbe essere quella di inserire nel mondo reale degli oggetti riportati poi in VR la cui temperatura può variare, che siano alberi, cespugli o altro.

Un altro possibile sviluppo potrebbe essere quello di permettere di introdurre delle difficoltà in tempo reale da un cosiddetto "centro di controllo", simulando situazioni critiche rare, ma possibili: raffiche di vento, velocità del fuoco che aumenta e così via. Anche la riproduzione di situazioni critiche comuni potrebbe essere interessante: terreno irregolare e in pendenza, presenza di ostacoli da aggirare, ecc. Questo comporterebbe però la configurazione di un allestimento *ad hoc* per ogni diversa situazione e quindi una difficile scalabilità.

Bibliografia e Sitografia

[1] Progetto Pitem Risk For

URL: <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/fondi-progetti-europei/programmi-progetti-europei/cooperazione-territoriale-europea-piemonte/pitem-risk-progetto-risk-for>

[2] Progetto Pitem Risk

URL: <http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/protezione-civile/speciale-pitem-risk/speciale-pitem-risk-conferenza-stampa>

[3] ALCOTRA

URL: <http://www.interreg-alcotra.eu/it>

[4] Protezione Civile - rischio incendi

URL: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-incendi>

[5] Corpo AIB Piemonte

URL: <http://www.corpoaibpiemonte.it/?page=44566>

[6] Procedure antincendi boschivi

URL: <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-suolo-opere-pubbliche/protezione-civile/incendi-boschivi/procedure-operative-antincendi-boschivi-piemonte>

[7] *"Informazioni sul rischio connesso alle operazioni AIB - La dispensa del Comando VVF di Perugia"* di Stefano Marsella e Maurizio Fattorini

[8] Fuoco

URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/Fuoco>

[9] Triangolo del fuoco

URL: <https://www.chimica-online.it/download/triangolo-del-fuoco.htm>

[10] Incendio boschivo

URL: <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-suolo-opere-pubbliche/protezione-civile/incendi-boschivi/che-cose-un-incendio-boschivo>

[11] Realtà Virtuale

URL: <http://www.treccani.it/enciclopedia/realta-virtuale>

[12] Mel Slater. “Immersion and the illusion of presence in virtual reality. British Journal of Psychology”. 2018, 109(3).

[13] Illusione di presenza

URL: https://www.wired.it/gadget/computer/2015/03/20/prima-regola-realta-virtuale-non-infrangere-illusioni-presenza/?refresh_ce=

[14] Applicazioni della Realtà Virtuale

URL: <https://youmanist.it/categories/tech-innovazione/la-realta-virtuale>

[15] Grotte di Pleito

URL: https://www.youtube.com/watch?v=PJRHUcC0xa8&feature=emb_title

[16] Raquel Goncalves, Ana Lucia Pedrozo, Evandro Silvia Freire Coutinho, Ivan Figueira, Paila Ventura. “Efficacia della terapia dell'esposizione alla realtà virtuale nel trattamento della PTSD: una revisione sistematica”. 2012.

[17] Tour Virtuale di Verona

URL: <https://verona360.it/>

[18] Fiere in Realtà Virtuale

URL: <https://www.designdiffusion.com/2020/08/04/fiere-digitali-seconda-parte-2020/>

[19] Congressi in Realtà Virtuale

URL: <https://intelligenzartificiale.unisal.it/>

[20] Prada Virtual Reality

URL: <https://www.prada.com/it/it/pradasphere/special-projects/2020/prada-vr.html>

[21] Tour Virtuale del MAO e della città proibita

URL: <https://www.maotorino.it/it/education/progetti-speciali/virtual-tour-citt%C3%A0-proibita-vr>

[22] Riunioni in Realtà Virtuale

URL: <https://www.reply.com/it/topics/digital-branding/virtual-workspace-with-vr>

[23] Pieter Wouters, Christof Van Nimwegen, Herre van Oostendorp, and Erik D. van der Spek
“*A Meta-Analysis of the Cognitive and Motivational Effects of Serious Games*”, 2013

[24] Serious Game

URL: <https://www.gamification.it/tag/serious-games/>

[25] Nintendo Wii

URL: <https://www.retrogaminghistory.com/articles/recensioni/nintendo/wii/230388-wii-fit>

[26] Flaim Trainer

URL: <https://www.flaimsystems.com/>

LUDUS

URL: [27] <https://ludusglobal.com/en>

URL: [28] <https://www.f6s.com/ludusvr1>

[29] Addestramento Realtà Virtuale dei vigili del fuoco

URL: <https://webthesis.biblio.polito.it/13153/>

[30] XVR Simulation - “Safety Region Drenthe”

URL: <https://www.xvrsim.com/en/our-users/safety-region-drenthe/>

[31] Unity

URL: <https://unity.com/>

[32] Visual Studio

URL: <https://visualstudio.microsoft.com/it/>

[33] Blender

URL: <https://www.blender.org/>

[34] Make Human

URL: <http://www.makehumancommunity.org/>

[35] Vive - Virtual Reality System

URL: <https://www.vive.com/us/>

[36] Visore HTC Vive Pro

URL: <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro/>

[37] Adattatore wireless per HTC Vive Pro

URL: <https://www.vive.com/us/accessory/wireless-adapter/>

[38] SteamVR Base Station 2.0

URL: <https://www.vive.com/eu/accessory/base-station2/>