

Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione e realizzazione di un sistema di analisi del movimento basato su strumenti di realtà virtuale per l'allenamento sportivo

Giuseppe Ministeri

Relatori

Prof. Fabrizio Lamberti

Ing. Alberto Cannavò



Politecnico di Torino
Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione
Sessione di Dicembre 2017

Dediche

Dedicato a mio nonno Sebastiano

Ringraziamenti

Ringraziamenti

Indice

1	Introduzione	16
1.1	Quesito di ricerca	16
1.2	Obiettivo	16
1.3	Metodologia	16
1.3.1	Definizione dell'ambito di ricerca	17
1.3.2	Esplorazione dello stato dell'arte	17
1.3.3	Definizione degli obiettivi generali e specifici	19
1.3.4	Paradigmi di interazione nella realtà virtuale	19
1.3.5	Scelta dei dispositivi di input	24
2	Tecnologie	27
2.1	Realtà virtuale	27
2.1.1	Definizione della realtà virtuale	27
2.1.2	Storia e tecnologie della realtà virtuale	28
2.1.3	Tecnologie nella realtà virtuale	34
3	Stato dell'arte	39
3.1	La realtà virtuale nell'addestramento	39
3.2	Realtà virtuale nello sport	42
3.2.1	Sport psychology	42
3.2.2	Allenamento biomeccanico	45
4	Progettazione di un sistema virtuale per l'allenamento al tiro libero del Basket	57
4.1	Architettura del sistema	57
4.2	Hardware	57
4.2.1	Head Mounted Display Vive	58
4.2.2	Controller Vive	59
4.2.3	Vive tracker	59
4.2.4	Base stations Vive	61
4.2.5	Kinect 2.0	62
4.2.6	Perception neuron	63
4.3	Software	66
4.3.1	Unity 3D	66
4.3.2	Axis Neuron	67
4.3.3	Kinect SDK	68
4.3.4	Microsoft Visual Studio	68

5	Realizzazione e valutazione	72
5.1	Tracciamento della palla	72
5.1.1	Fase di calibrazione	72
5.1.2	Ricerca palla frame color	73
5.1.3	Ricerca palla frame depth	74
5.1.4	Estrapolazione e criterio di selezione dei dati 3D	74
5.2	Calibrazione sistemi di riferimento Kinect - HTC Vive	75
5.3	Visualizzazione del braccio dell'utente	77
5.4	Ambiente virtuale	78
5.5	Verifica sperimentale	79
5.5.1	Dynamic time warping	80
6	Risultati	84
6.1	Risultati oggettivi	88
6.2	Risultati soggettivi	92
7	Conclusioni	101
7.1	Considerazioni	101
7.2	Problematiche incontrate	101
7.3	Sviluppi futuri	102

Elenco delle figure

1.1	Posizionamento della realtà virtuale tangibile relativamente alla realtà virtuale ed alla realtà aumentata (Horvath, Imre, et al., 2007)	18
1.2	Reality & Virtual Reality Basketball demo by OptiTrack Siggraph 2016 E. (2016, July 27). Reality & Virtual Reality Basketball demo by OptiTrack @ Siggraph 2016. https://www.youtube.com/watch?v=iqZhzkM_HNg	19
1.3	La presenza è funzione del livello di immersione ed interazione	20
1.4	Lo studio di motion capture della Sony Computer Entertainment America a San Diego basato su sistemi di motion capture ottici con marker passivi per la registrazione delle animazioni di atleti e attori da utilizzare nei giochi per Playstation 3 Moving on up - PartII http://www.cgw.com/Publications/CGW/2007/Volume-30-Issue-11-Nov-2007-/Moving-on-up-PartII.aspx	22
1.5	Sistema di MC magnetico e modello generato dal sistema. James F. O'Brien, et al., (May 2000) "Automatic Joint Parameter Estimation from Magnetic Motion Capture Data". In Proceedings of Graphics Interface 2000	23
1.6	Sistema di MC meccanico e modello generato dal sistema. Danielsaidi. "Motion Capture to the People - Live Demonstration." YouTube https://youtu.be/LgDbCxSg7hA	24
1.7] Sistema di MC inerziale utilizzato da Lionel Messi per registrare le animazioni da utilizzare nel videogioco Fifa 16. Messi in Xsens motion capture suit for FIFA 16 - News https://www.xsens.com/news/messi-in-xsens-motion-capture-suit-for-fifa-16/	25
2.1	Schema del Sensorama di Heilig. https://www.floorplangrp.com/blogs/2015/7/22/theresurgenceofvirtualreality 28	28
2.2	Il primo sistema di realtà virtuale ad utilizzare un HMD inventato da Ivan Sutherland. http://melollevarato.com/tag/juegos-psvr-baratos	29
2.3	Riproduzione di una gesture su schermo tramite il DataGlove della VPL Inc. http://www.chilton-computing.org.uk/inf/literature/reports/p003.htm 30	30
2.4	Modello dell'ottica stereoscopica applicata allo sviluppo dell' Eyephone A Computational Model for the Stereoscopic Optics of a Head-Mounted Display - Warren Robinett, Jannick Rolland Presence: Teleoperators and Virtual Environments - 01 / 1992	31

2.5	DataSuit della VPL Inc in mostra allo showroom di Nissho Iwai a Tokyo http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear4.htm	32
2.6	SEGA VR https://www.vrs.org.uk/images/segavr_main-460x259.jpg	33
2.7	Virtual Boy https://www.tomsguide.com/us/nintendo-vr-return,news-22199.html	34
2.8	Google Cardboard, un visore in realtà virtuale di fascia bassa https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81BKTMeWQWL..SL1500..jpg	35
2.9	Google Daydream, un sistema di realtà virtuale di fascia media https://cdn.uploadvr.com/wp-content/uploads/2017/02/Daydream.jpg	36
2.10	Mark Zuckerberg utilizza l'Oculus Rift, un sistema di realtà virtuale di fascia alta http://www.telegraph.co.uk/technology/0/oculus-rift-what-you-need-to-know-as-virtual-reality-headset-goe/	37
3.1	Visualizzazione dell'occhio virtuale. Using virtual reality for medical diagnosis, training and education . . .	42
3.2	Legge di Yerkes/Dodson The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting	43
3.3	Confronto tra spazio reale e virtuale. Virtual visualization: Preparation for the olympic games long-track speed skating	44
3.4	Risultati del simulatore di golf sull'atleta Virtual reality-assisted heart rate variability biofeedback as a strategy to improve golf performance: a case study	44
3.5	Risultati del simulatore di golf sull'atleta Due livelli di accuratezza delle variabili analizzate Feasibility of Training Athletes for High-Pressure Situations Using	45
3.6	Diverso numero di feedback: A 16 punti di interesse, B 4 punti di interesse. The short-term effects of real-time virtual reality feedback on motor learning in dance	46
3.7	A sinistra il sistema per lo studio di movimenti ingannevoli nel rugby, a destra il sistema per l'analisi delle risposte del portiere nello sport della pallamano. Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance	47
3.8	Interfaccia per la creazione di schemi in alto, visione in VR dell'azione da parte di un giocatore in basso. A Case Study on Virtual Reality American Football Training	51
3.9	Implementazione finale del progetto di tesi. FOOTBALL SIMULATOR IN VIRTUAL REALITY USING KINECT AND HTC VIVE	52

3.10	Visualizzazione della palla virtuale, della sua traiettoria e del target. Catching a Real Ball in Virtual Reality	52
3.11	Schermata dell'ambiente di allenamento simulato. A Virtual Reality Simulator for Basketball Free-Throw Skills Development	53
3.12	Schermata dell'applicazione VR-Based Basketball Movement Simulation	53
3.13	Schermata dell'applicazione in modalità basket VR SPORTS	54
3.14	Schermata dell'applicazione NBA 2KVR Experience	54
3.15	Schermata dell'applicazione Hoops VR	54
3.16	Schermata dell'applicazione. Dunk IT (VR BASKETBALL)	55
4.1	Architettura del progetto di tesi.	58
4.2	HTC Vive: Head-Mounted Display (HMD). https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p3	59
4.3	HTC Vive: in dettaglio le lenti Fresnel del HMD con differenti impostazioni di IPD. https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p3	61
4.4	HTC Vive: in dettaglio i controller. https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p5	62
4.5	HTC Vive: in dettaglio area di tracking del Vive tracker. https://dl.vive.com/Tracker/Guideline/HTCViveTrackerDeveloperGuidelines_v1.3.pdf 63	63
4.6	HTC Vive: in dettaglio una base station disassemblata. In alto a sinistra si notano i led infrarossi. Sul lato sinistro ed inferiore gli emettitori laser. https://www.pcper.com/reviews/General-Tech/SteamVR-HTC-Vive-depth-Lighthouse-Tracking-System-Dissected-and-Explored/SteamV	64
4.8	Kinect v2: in dettaglio FOV della camera RGB	66
4.9	Kinect v2: in dettaglio FOV del sensore di profondità	67
4.10	A sinistra la struttura a strappi indossabili della tuta, a destra il dettaglio del guanto http://www.moguravr.com/perception-neuron-sale-japan/	67
4.11	Unity3D interfaccia grafica dell'editor	68
4.12	Axis Neuron: interfaccia grafica dell'editor	69
4.13	SDK Browser v2.0	70
4.14	Interfaccia di Visual Studio 2017	70
5.1	Riconoscimento della palla nel frame color	73
5.2	Immagine estrapolata dai sensori ad infrarossi	75
5.3	Algoritmo di selezione dei dati da inviare	76
5.4	Visione in 3D del supporto stampato	77
5.5	Fase di calibrazione del braccio	78
5.6	L'ambiente 3D in cui si svolge il test	79

5.7	Prima di iniziare ogni registrazione, al tester è mostrato un conto alla rovescia durante il quale è possibile allinearsi con la posizione di partenza del modell odi riferimento	79
5.8	Un tester inizia un tiro seguendo il riferimento. I giunti con una colorazione verde danno l'informazione di correttezza del movimento, una etichetta in alto indica che il movimento è fase di registrazione	79
5.9	Un tester è in fase di conclusione di un tiro seguendo il riferimento.	80
5.10	Un tester che effettua il tiro con il sistema di allenamento classico	81
5.11	Feedback mostrato all'utente nell'ambiente virtuale	82
6.1	Il 50% degli utenti ha cominciato i test utilizzando il sistema di allenamento in realtà virtuale, l'altro 50% ha cominciato i test utilizzando il sistema di allenamento classico	84
6.2	L'età media del campione analizzato è di 27 anni	85
6.3	L'88,9% degli utenti è di sesso maschile	85
6.4	Il 94,4% degli utenti ha esperienza pregressa con i videogiochi	86
6.5	Il 50% degli utenti ha non ha esperienza pregressa nel basket a livello agonistico	86
6.6	Il 50% degli utenti ha esperienza pregressa nello sport a livello agonistico	87
6.7	Il 50% degli utenti ha non ha alcuna esperienza pregressa nella realtà virtuale	87
6.8	Valori medi delle distanze calcolate tramite il dynamic time warping per ogni utente in ogni sistema di allenamento	89
6.9	In media l'errore temporale calcolato tramite il dynamic time warping è più basso nel sistema di allenamento virtuale	90
6.10	Errore medio di orientamento dei giunti in ogni sistema di riferimento per ogni utente	91
6.11	In media l'errore di orientamento dei giunti è più basso nel sistema di allenamento virtuale	92
6.12	Soltanto un utente ha espresso il voto a favore dell'allenamento classico	93
6.13	Le risposte dei tester alla domanda "Gli obiettivi dell'allenamento sono stati definiti in modo chiaro"	94
6.14	Le risposte dei tester alla domanda "La partecipazione e l'interazione erano incoraggiate"	94
6.15	Le risposte dei tester alla domanda "I contenuti erano organizzati e facili da seguire"	95
6.16	Le risposte dei tester alla domanda "Il materiale distribuito è stato utile"	95
6.17	Le risposte dei tester alla domanda "Il sistema era adeguato per gli argomenti dell'allenamento"	96
6.18	Le risposte dei tester alla domanda "Il sistema era ben preparato"	96
6.19	Le risposte dei tester alla domanda "Gli obiettivi del sistema sono stati raggiunti"	97
6.20	Le risposte dei tester alla domanda "La stanza e le attrezzature erano adeguate e confortevoli"	97
6.21	Le risposte dei tester alla domanda "Pensi che l'allenamento sia valso la pena del tempo impiegato?"	98

6.22	Le risposte dei tester alla domanda “Pensi che l’allenamento sia riuscito?”	98
6.23	Le risposte dei tester alla domanda “La sessione di training segue il tuo stile di apprendimento”	99

Elenco delle tabelle

4.1	riassunto specifiche principali dell'HMD Vive	60
4.2	Riassunto specifiche principali del controller Vive	60
4.3	Riassunto specifiche principali del controller Vive	65
4.4	My caption	65

Capitolo 1

Introduzione

Il titolo della tesi mette in evidenza l'ambito di interesse del presente lavoro, che affronta dettagliatamente il tema della realtà virtuale applicata nel contesto sportivo con l'obiettivo di determinare in maniera innovativa le tecniche di addestramento nello sport, agendo sugli aspetti del miglioramento prestazionale in funzione di variabili che influiscono su di esso.

1.1 Quesito di ricerca

In questo paragrafo viene descritta quali sono le domande specifiche di ricerca a cui questa tesi intende rispondere. È possibile rendere migliori i sistemi di allenamento sportivo attuali attraverso un'implementazione in realtà virtuale sotto l'aspetto di facilità, precisione e velocità di apprendimento, di un gesto atletico? Di quanto si differisce in termini di precisione e ripetibilità dall'allenamento tradizionale?

1.2 Obiettivo

In questo paragrafo viene descritta quali sono le domande specifiche di ricerca a cui questa tesi intende rispondere. È possibile rendere migliori i sistemi di allenamento sportivo attuali attraverso un'implementazione in realtà virtuale sotto l'aspetto di facilità, precisione e velocità di apprendimento, di un gesto atletico? Di quanto si differisce in termini di precisione e ripetibilità dall'allenamento tradizionale?

1.3 Metodologia

La metodologia adottata per lo sviluppo della tesi è riassunta di seguito.

Fase preparatoria

- Definizione dell'ambito di ricerca.
- Esplorazione dello stato dell'arte.
- Definizione degli obiettivi generali e specifici.
- Ricerca dei paradigmi di interazione della realtà virtuale.

Fase elaborativa-sperimentale

- Definizione dell'elemento sperimentale.
- Definizione di un metodo a sostegno del progetto sperimentale.
- Elaborazione dei risultati ottenuti.

Fase conclusiva di sintesi

- Definizione dell'elemento sperimentale.

1.3.1 Definizione dell'ambito di ricerca

L'ambito di ricerca della tesi ha avuto in prima battuta una connotazione di carattere empirico, basato su vari aspetti. Uno tra i più degni di considerazione è stato per certo la consultazione dell'allenatore del settore giovanile della Auxilium Torino nonché allenatore nazionale, istruttore nazionale minibasket, formatore per gli allenatori, in più occasioni negli staff delle nazionali giovanili maschili, collaboratore presso i centri di alta specializzazione, e diverse partecipazioni alle finali nazionali Francesco Raho ¹, il quale ha espresso interesse sullo sviluppo di applicazioni in realtà virtuale per il tiro libero. L'allenamento tradizionale al tiro libero può essere effettuato, ad esempio, con una serie di ripetizioni dell'atto tecnico del tiro, con eventuali penalità in caso di errore ² o mostrando al giocatore la proiezione su una parete di un video che illustra da due punti di vista un tiro canestro idealmente perfetto. Una delle prime lacune dell'allenamento tradizionale messo in evidenza dall'allenatore è stata proprio la difficoltà di apprendimento del gesto attraverso il video proiettato, oltre che la possibilità di riprodurre in allenamento una situazione di pressione tale da essere confrontabile con uno scenario da partita reale. Raho ha infatti osservato che in allenamento la media di canestri in tiro libero di un giocatore, anche se tra i migliori, non corrisponde necessariamente con la media di canestri in partita. Ciò mette in risalto l'importanza dell'allenamento non solo dal punto di vista tecnico, ma anche psicologico.

1.3.2 Esplorazione dello stato dell'arte

In questo paragrafo saranno elencate e descritte sinteticamente alcune applicazioni nel campo di interesse della tesi descritte più ampiamente nel Capitolo 2. Attualmente le implementazioni della realtà virtuale nel contesto dell'addestramento sportivo sono largamente incentrate su sport come il football americano, con risultati che attestano il miglioramento generale del 30% del punteggio delle squadre allenate in realtà virtuale rispetto a quelle che utilizzano un metodo di allenamento tradizionale nel caso del software SIDEKIQ [1] Sport come il ciclismo, il calcio e il football americano sono settori di sviluppo e produzione dell'addestramento in realtà virtuale nel caso di Beyond Sport ³ che propone un'idea simile alla tesi proposta riguardo il tema della simulazione di contesti sportivi che comportano alterazioni del sistema

¹Francesco Raho confermato alla guida dei giovani Auxilium. <http://www.auxiliumpallacanestro.com/2017/06/26/francesco-raho-confermato-alla-guida-dei-giovani-auxilium/>

²Tecniche di allenamento al tiro libero. <https://www.basketcoach.net/bc/pagina.php?NomeMacroCategoria=Fondamentali&CategoriaID=42>

³Beyond Sports. <https://www.beyondsports.nl/sports/>

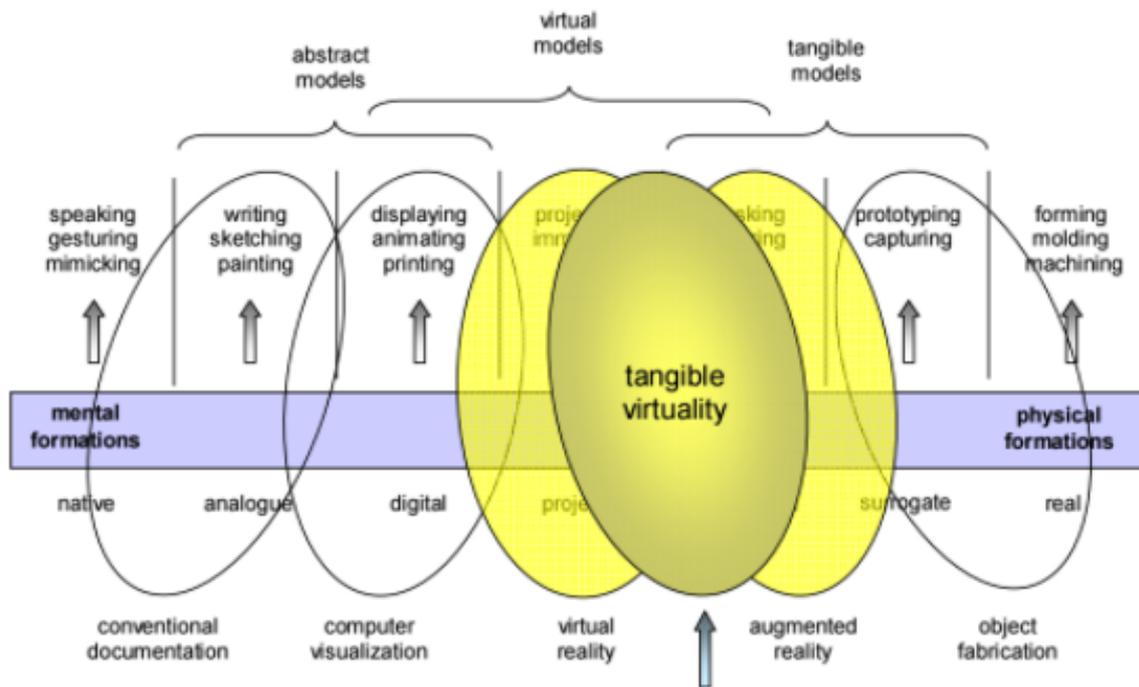


Figura 1.1: Posizionamento della realtà virtuale tangibile relativamente alla realtà virtuale ed alla realtà aumentata (Horvath, Imre, et al., 2007)

psicologico in termini di concentrazione, tensione e quindi di conseguenza di prestazione. Tra le aziende che producono servizi in VR, SRIVR offre servizi alle maggiori squadre dello sport americano, in particolare ai team della NBA con risultati positivi sia sul tiro libero in alcuni casi, sia sulla reattività dei giocatori (fino al 20% in più)⁴ Con l'obiettivo di rendere più efficiente l'allenamento al tiro libero nel basket tramite l'utilizzo della realtà virtuale, questa tesi propone un approccio dissimile dalle aziende e pubblicazioni sopra citate. Infatti seppure la componente psicologica ricopra un ruolo significativo alla base dell'idea di allenamento in VR, dal punto di vista meramente definitivo è necessario parlare di realtà virtuale tangibile (TV) che, come si legge in una recente pubblicazione di Imre Horvath, "è una tecnologia di prototipazione surrogata della VR, collocata tra la prototipazione virtuale e prototipazione fisica". (Horvath, Imre, et al., 2007) [2]

Il progetto di tesi differisce dagli altri sistemi citati riguardo tangibilità della palla da tirare a canestro, presente sia nell'ambiente reale che virtuale e quindi tangibile. Il progetto, inoltre, è proposto come metodo che innova la modalità di apprendimento tecnica tramite la visualizzazione in prima persona del gesto atletico.

In [Fig. 1.2] è riportato un fotogramma di un esempio di realtà virtuale realizzato con il sistema di tracciamento di OptiTrack che non risulta essere mai stato utilizzato come strumento di addestramento.

⁴Big improvement after practicing with VR. <http://strivrlabs.com/10-improvement-practicing-vr/>

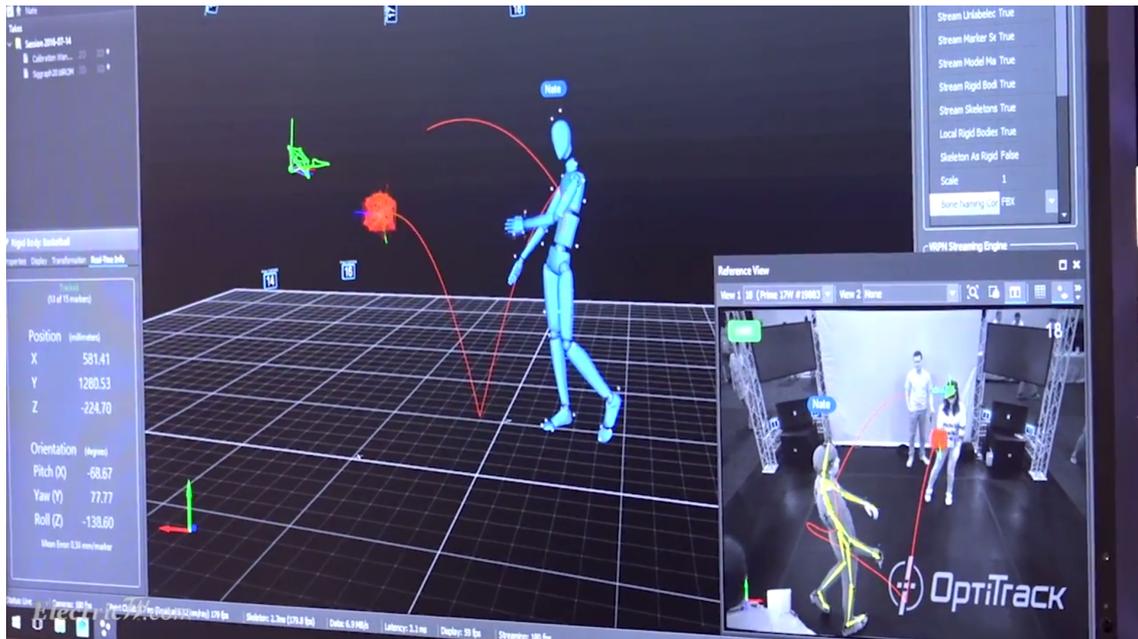


Figura 1.2: Reality & Virtual Reality Basketball demo by OptiTrack Siggraph 2016 E. (2016, July 27). Reality & Virtual Reality Basketball demo by OptiTrack @ Siggraph 2016.

<https://www.youtube.com/watch?v=iqZhzkM_HNg>

1.3.3 Definizione degli obiettivi generali e specifici

All'interno dell'ambito dell'addestramento in realtà virtuale, attraverso una distinzione di macro e micro azioni, è possibile fissare quali siano gli obiettivi generali e specifici, e definire in che maniera si possono raggiungere. Gli obiettivi generali si fondano su macro azioni, ovvero su quei presupposti invariabili per la realizzazione dello strumento in realtà virtuale atto a migliorare la prestazione di certi gesti tecnici. Gli obiettivi specifici, invece, possono essere definiti sulla base di un certo numero di variabili che entrano in gioco nell'ottica di ottenere un ottimale sviluppo della ricerca, volte a migliorare i limiti dovuti ai tradizionali sistemi di allenamento descritti dall'allenatore Francesco Raho (cfr. par. 1.3.1). Sulla base di queste considerazioni iniziali, gli obiettivi specifici andranno a costituire un insieme di micro azioni che interesseranno in maniera puntuale le differenti problematiche da risolvere.

1.3.4 Paradigmi di interazione nella realtà virtuale

Dati gli obiettivi della tesi, è essenziale definire quali siano i paradigmi di interazione uomo-macchina più adeguati allo sviluppo degli obiettivi stessi: infatti questi sono direttamente collegati alle svariate tipologie di dispositivi di input che possono essere utilizzati in un'applicazione di realtà virtuale, i quali vanno compresi e scelti in funzione delle azioni da svolgere nell'applicazione stessa. Ancor prima di svolgere questa ricerca è prioritario comprendere gli obiettivi alla base della realtà virtuale. La realtà virtuale ricrea interamente un ambiente artificiale presentato tramite apparecchiature tecnologiche differenti, come schermi, computer indossabili e dispositivi aptici, con il fine di immergere l'utente in una simulazione attendibile

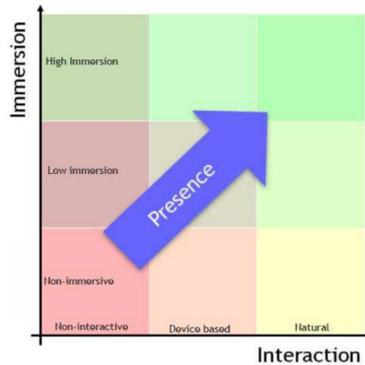


Figura 1.3: La presenza è funzione del livello di immersione ed interazione

della realtà (Martina, 2014) [3], ovvero una sensazione di immersione e di presenza in un ambiente costruito in 3D.

Presenza

Al fine di definire il concetto di “presenza”, è utile dare una definizione di immersione nella realtà virtuale: ovvero la percezione di trovarsi fisicamente in un ambiente non esistente. La presenza (abbreviazione di “telepresenza”) invece è uno stato psicologico di percezione soggettiva in cui tutta, o parte, dell’esperienza di un individuo è stata generata e/o filtrata da una qualche tecnologia, e che al contempo l’esperienza stessa sia percepita dall’individuo come pura e non mediata da alcuna tecnologia.[4] In una recente pubblicazione di Slater [5] viene proposta, in nome della chiarezza, una terminologia alternativa di presenza ed immersione: viene definita come “Place Illusion” (PI) la percezione di trovarsi realmente nell’ambiente virtuale anche se consapevoli che non sia davvero così, e viene inoltre qualificata come “Plausibility Illusion” (Psi) l’illusione che ciò che sta avvenendo è reale anche se consapevoli che non lo sia. Inoltre se un’applicazione è molto immersiva ed interattiva, allora l’utente percepirà un alta PI e Psi. Da ciò è dunque deducibile che la presenza di un individuo in un’applicazione in realtà virtuale è definibile in funzione del livello di immersione ed interazione dell’applicazione stessa, come mostrato in [Fig. 1.3].

Dispositivi di input ed interazione

Uno dei fattori da considerare nella scelta dei dispositivi di input è sicuramente il numero di gradi di libertà (Degree Of Freedom, DOF) che questi possono offrire:

- 1 DOF (bottoni, tastiera)
- 2 DOF (posizione mouse)
- 3 DOF (mouse + tasti, posizione in 3D, orientamento in 3D)
- 6 DOF (posizione + orientamento)
- (6+N) DOF (posizione + orientamento + controlli)

Risulta evidente che nel caso specifico della tesi sia necessario avere molti gradi di libertà. Basti pensare che il corpo è un punto focale in cui PI e Psi sono fusi (Slater,

2009) [5], e quindi identificare il proprio corpo con quello virtuale è essenziale. Uno dei sistemi con un alto numero di DOF è, ad esempio, un sistema di motion capture (MC), che permette di utilizzare il movimento del corpo per controllare un avatar nell'ambiente virtuale in tempo reale.

Le tecniche di MC si suddividono in:

- MC ottica
- MC magnetica
- MC meccanica
- MC inerziale

Motion Capture ottica

La MC ottica può servirsi di marker oppure no (markerless). Sistemi del primo tipo utilizzano spesso speciali tute grazie alle quali si è possibile posizionare in particolari punti di interesse di cattura i markers.

Vantaggi

- Poco intrusiva
- Se markerless non richiede che l'utente indossi alcun tipo di tuta o sensore.
- Nessun tipo di interferenza magnetica, acustica, ecc.

Svantaggi

- Area di lavoro limitata al campo visivo del sensore. ottico
- Possibili occlusioni.
- Poco precisa nel rilevamento dei piccoli dettagli (movimenti delle dita, piccoli movimenti in genere, rotazioni del polso, ecc.)
- Le prestazioni potrebbero essere altamente dipendenti dalla quantità di luce presente nell'area di cattura dei movimenti

Motion Capture magnetica

Questi tipi di sistemi di MC si basano sulla misurazione ottenuta tra l'interazione dei sensori magnetici indossati dall'utente e un campo magnetico generato da una fonte trasmittente.

Vantaggi

- Le occlusioni non sono un problema
- Buona precisione
- Nessun tipo di interferenza magnetica, acustica, ecc.

Svantaggi



Figura 1.4: Lo studio di motion capture della Sony Computer Entertainment America a San Diego basato su sistemi di motion capture ottici con marker passivi per la registrazione delle animazioni di atleti e attori da utilizzare nei giochi per Playstation 3

Moving on up - PartII <http://www.cgw.com/Publications/CGW/2007/Volume-30-Issue-11-Nov-2007-/Moving-on-up-PartII.aspx>

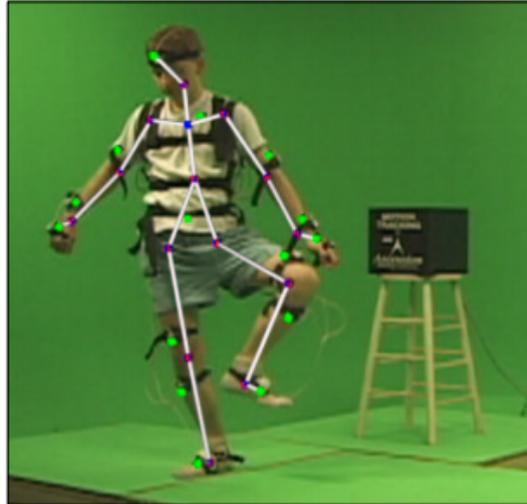


Figura 1.5: Sistema di MC magnetico e modello generato dal sistema.
James F. O'Brien, et al., (May 2000) "Automatic Joint Parameter Estimation from Magnetic Motion Capture Data". In Proceedings of Graphics Interface 2000

- Rumore nelle misurazioni in presenza di materiale ferromagnetico
- La precisione propende a decrescere con la distanza tra i sensori e la fonte del campo magnetico
- Potrebbe essere invasiva per via dei collegamenti via cavo

Motion Capture meccanica

Questi sistemi di MC si servono di esoscheletri indossabili, che misurano l'angolo tra le varie giunture del corpo.

Vantaggi

- Economici

Svantaggi

- Struttura altamente intrusiva
- Limitazione nei movimenti
- Poco accurati

Motion Capture inerziale

I sistemi di MC inerziale ricavano posizione e orientamento delle giunture del corpo da piccoli accelerometri indossati dall'utente. Anche questi sistemi risultano essere economici e, rispetto al precedente, poco ingombrante, ma non sono adatti per lunghe acquisizioni.

Vantaggi

- Nessuna interferenza da segnali esterni

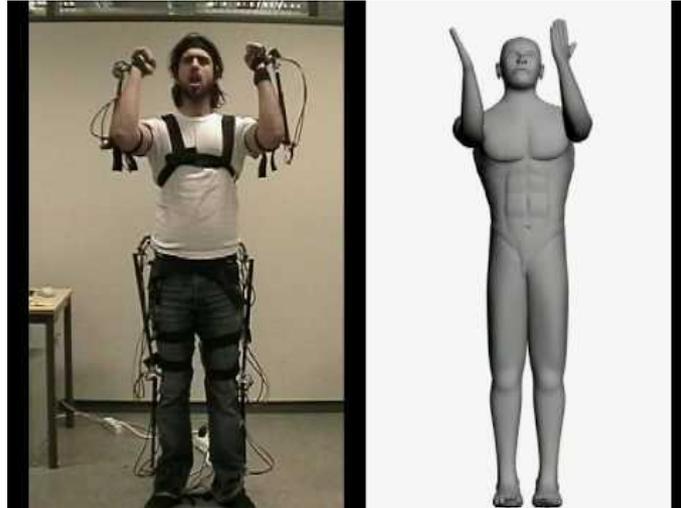


Figura 1.6: Sistema di MC meccanico e modello generato dal sistema. Danielsaidi. "Motion Capture to the People - Live Demonstration." YouTube <https://youtu.be/LgDbCxSg7hA>

- Teoricamente, aree attive infinite
- Frequenze di aggiornamento elevatissime

Svantaggi

- Le misure sono ottenute per integrazione (o doppia integrazione)
- Il rumore sulle misure di velocità angolare e accelerazione non si elimina, ma si somma (problema ancora più grave nel caso di doppia integrazione)
- L'errore cresce geometricamente nel tempo (la misura deriva)
- Derive più serie per la posizione, a causa della doppia integrazione e degli errori introdotti nel calcolo dell'orientamento

1.3.5 Scelta dei dispositivi di input

Ai fini di massimizzare il senso di presenza nell'applicazione realizzata nell'ambito della tesi occorre definire con una certa precisione la posizione ed orientamento del braccio utilizzato dall'utente: si è visto e valutato che uno dei sistemi più prestazionali da utilizzare può essere un sistema di tipo ottico, in questa tesi utilizzato insieme ad un sistema di tipo inerziale. Infatti, nonostante la presenza degli svantaggi dei sistemi ottici di cui si è già parlato, con un adeguato numero di sorgenti e sensori, è possibile raggiungere una buona prestazione.



Figura 1.7:] Sistema di MC inerziale utilizzato da Lionel Messi per registrare le animazioni da utilizzare nel videogioco Fifa 16.

Messi in Xsens motion capture suit for FIFA 16 - News
<https://www.xsens.com/news/messi-in-xsens-motion-capture-suit-for-fifa-16/>

Capitolo 2

Tecnologie

2.1 Realtà virtuale

In questo capitolo sarà affrontato il tema della realtà virtuale come tecnologia, in termini di storia, soluzioni hardware e software e i diversi tipi di applicazioni.

2.1.1 Definizione della realtà virtuale

Il primo utilizzo del termine realtà virtuale avvenne con la pubblicazione del 1958 del libro “The Theater and its Double” (originariamente scritto in francese da Antonin Artaud nel 1938) con il quale si fa riferimento alla realtà illusoria e fittizia della messa in atto delle opere teatrali [Artaud]. Negli stessi anni, l’invenzione del Sensorama di Morton Heilig [2.1.1] pose le basi per il processo di definizione di realtà virtuale che conosciamo oggi, infatti nel corso degli anni sono state delineate un numero abbondante di definizioni per il termine realtà virtuale. La maggior parte di queste la intendono come un ambiente completamente immersivo in cui una considerevole porzione degli indizi sensoriali forniti al nostro cervello dall’ambiente come ad esempio il suono surround, la parallasse, la disparità stereoscopica e un campo visivo completo sono simulati insieme ad un qualche tipo di interazione con oggetti sintetici. Realtà virtuale, vuol dire anche un insieme di tecnologie e metodi che permettono di raggiungere questi obiettivi. (Amditis, A., et al., 2008). [6] Sherman e Craig [7] forniscono una definizione che vede la realtà virtuale come un medium composto da quattro elementi principali, come riportato di seguito.

1. Mondo virtuale

- E’ il contenuto immaginario grazie al quale, tramite l’utilizzo di un medium, l’utente vive l’esperienza di utilizzo.

2. Feedback dei sensori

- Si intendono tutti i feedback atti ad emulare la realtà e controllati da appositi sensori. Una delle aree di ricerca più importanti nell’ambito del feedback è sicuramente il feedback aptico, cioè stimolatori tattili.

3. Interattività

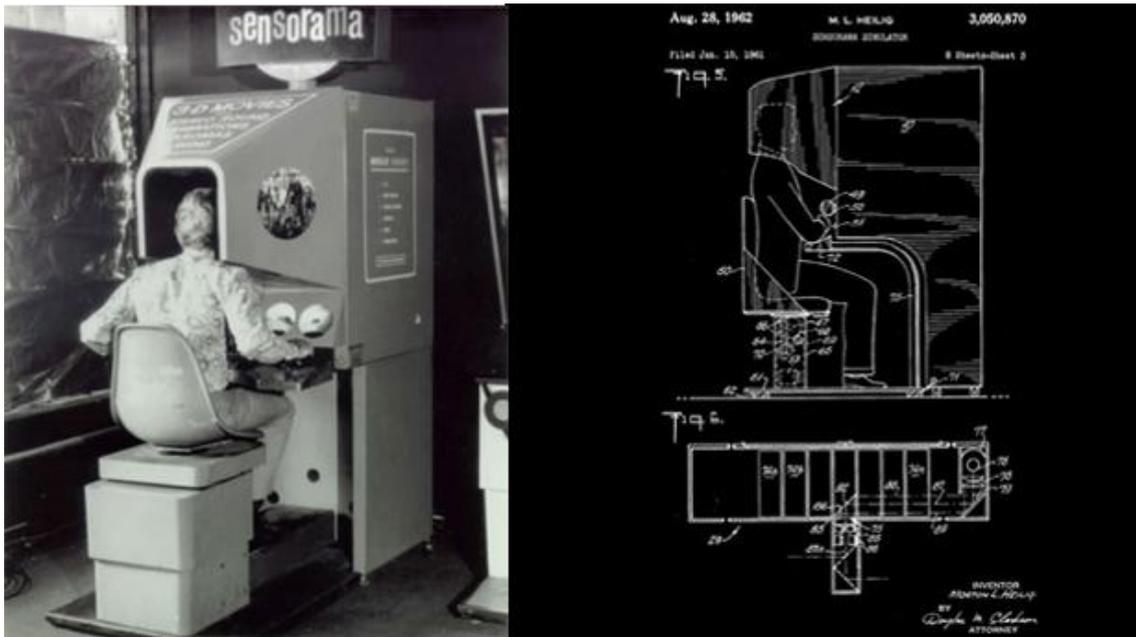


Figura 2.1: Schema del Sensorama di Heilig.

<https://www.floorplangrp.com/blogs/2015/7/22/theresurgenceofvirtualreality>

- L'ambiente si modifica con le azioni dell'utente. L'interazione in un sistema di realtà virtuale è di solito implementata con il tracking della posizione e della rotazione insieme ad alcuni controller. La tendenza degli ultimi anni è quella di creare uno spazio virtuale in cui l'utente non è più uno spettatore passivo, bensì un attore al centro di tutta l'applicazione. Uno dei sistemi che ha permesso questo cambio di metodologia è stato quello delle gestures detection.

Occorre, tuttavia, ripercorrere l'evoluzione storica della realtà virtuale che ha portato alla luce le precedenti definizioni e le applicazioni odierne (descritte nel Capitolo 3) e quindi il progetto di tesi (vedi Capitoli 4 e 5).

2.1.2 Storia e tecnologie della realtà virtuale

Sensorama

Il primo sistema di realtà virtuale è stato creato nel 1956, da Morton Heilig [7] e brevettato e brevettato nel 1962. Il nome di tale sistema, per i tempi innovativo, è Sensorama e simula, in modo passivo, la guida di una moto nel centro di New York offrendo un feedback per ogni senso grazie ad immagini reali riprese con due telecamere e mostrate all'utente tramite un visore stereoscopico, vibrazioni riprodotte sul sedile e sul manubrio, simulazione del vento a diverse velocità, riproduzione di odori e suono spazializzato.

Spada di Damocle

Pochi anni dopo, nel 1968, venne inventato da Ivan Sutherland e Bob Sproull quello che viene considerato il primo sistema di realtà virtuale HMD: la spada di Damocle [8]. Sfruttava un tubo a raggi catodici ed elementi ottici per proiettare sulle lenti

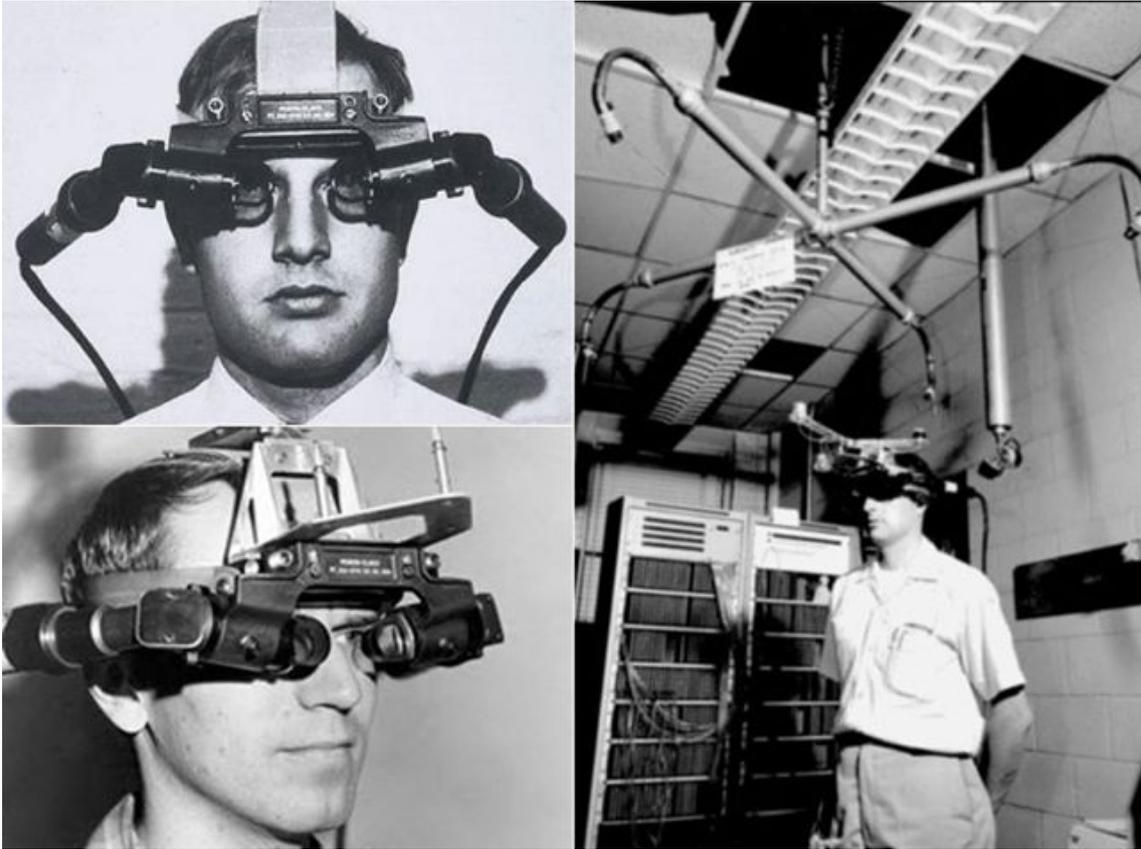


Figura 2.2: Il primo sistema di realtà virtuale ad utilizzare un HMD inventato da Ivan Sutherland.

<http://melollevoarato.com/tag/juegos-psvr-baratos>

indossate dall'utente le immagini 3D che si sovrapponevano agli oggetti reali, motivo per cui questa invenzione viene considerata una delle più importanti anche nella storia della realtà aumentata.¹

VPL Inc.

Nel 1982 l'Atari, la famosa azienda di videogiochi, diede una spinta significativa alla ricerca sulle tecnologie della realtà virtuale con l'inaugurazione di un laboratorio dedicato. Nonostante il fallimento inaspettato dell'azienda dopo soli due anni dall'inizio del progetto, le ricerche compiute furono comunque portate avanti dai componenti della squadra di ricerca come ad esempio Jaron Lanier e Thomas Zimmerman che, dopo l'invenzione dei i DataGlove nel 1982, fondarono l'azienda VPL Inc.² Lanier, inoltre, è inoltre noto per essere stato promotore del termine Realtà Virtuale già dagli anni 80. I DataGlove erano stati pensati inizialmente come dispositivi di input per pc, solo in un secondo momento vennero impiegati per la realtà virtuale.³ Il funzionamento dei guanti si basa su delle bande flessibili e sensibili

¹Lamelot, M., Davies, A., Carbotte, K., & Sexton, M. J. 1965 - La spada di Damocle. <https://www.tomshw.it/storia-realta-virtuale-75901-p5>

² Lamelot, M., Davies, A., Carbotte, K., & Sexton, M. J. (2017, September 14). 1985 - NASA VIEW. <https://www.tomshw.it/storia-realta-virtuale-75901-p8>

³An Interview with Mitch Altman (Inventor and Virtual Reality Pioneer from the 80's). http://youtu.be/5TrRO_j_efg



Figura 2.3: Riproduzione di una gesture su schermo tramite il DataGlove della VPL Inc.

<http://www.chilton-computing.org.uk/inf/literature/reports/p003.htm>

alla luce capaci di misurare l'angolo di curvatura delle singole dita ed un sistema di tracking visuale a 6DOF. Questo conferiva al dispositivo numerose implementazioni interattive di vario tipo fondate su gesture e movimenti delle mani, ad esempio era possibile interagire con semplici scene 3D e disegnare su uno schermo, fisioterapisti e neurologi potevano utilizzare i DataGlove per uno studio più dettagliato dei movimenti della mano. ⁴

Tuttavia i guanti presentavano alcune limitazioni tipiche dei primi dispositivi promotori della realtà virtuale, infatti il costo si aggirava attorno alle migliaia di dollari, non offrivano feedback tattile ed inoltre dimostravano una certa difficoltà di adattamento a diverse configurazioni della mano. Il contributo della VPL Inc. alla storia della realtà virtuale non si limitò ai DataGlove, ma anche alla produzione dell' EyePhone, un HMD formato due schermi LCD posizionati secondo il modello dell'ottica stereoscopica illustrato in [Fig.2.4]. In generale questo modello si avvale di un valori fissi determinati dalle caratteristiche delle lenti a meno della distanza interpupillare (IPD). Grazie alla misurazione fisica della IPD dell'utente è possibile correggere l'immagine da visualizzare via software con l'ausilio di trasformazioni da applicare a tutti i vertici della scena ed offrire una visione stereoscopica all'utente [8] . Inoltre, per far sì che ogni schermo copra completamente la visione oculare,

⁴DataGlove <https://www.youtube.com/watch?v=fs3AhNr5o6o>

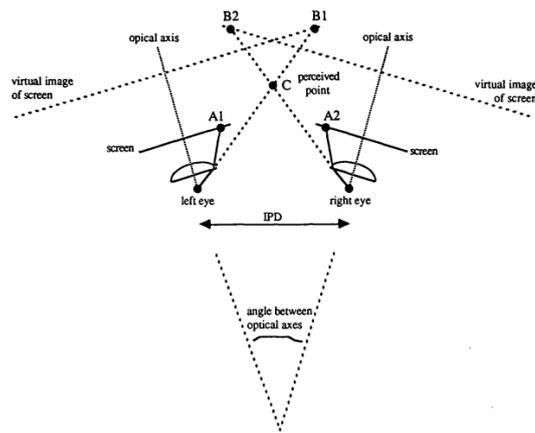


Figura 2.4: Modello dell'ottica stereoscopica applicata allo sviluppo dell' Eyephone A Computational Model for the Stereoscopic Optics of a Head-Mounted Display - Warren Robinett, Jannick Rolland Presence: Teleoperators and Virtual Environments - 01 / 1992

ognuno degli schermi è inclinato rispetto all'altro di 6 gradi ⁵La visione stereoscopica fornita dall' Eyephone permetteva l'esplorazione di scene 3D, la quale era resa più immersiva e completa dapprima con l'ausilio dell' Audiosphere, un device che permetteva di ricreare l'illusione del suono 3D in base alla posizione dell'utente, successivamente grazie alla produzione del DataSuit, una tuta capace di offrire lato hardware una visione stereoscopica, suono Surround 3D, ed un completo tracciamento delle principali giunture del corpo, ma soprattutto per la prima volta nella storia una esperienza completa di presenza [9].

Gli anni novanta e il fallimento della realtà virtuale

Le promettenti ricerche e i numerosi traguardi raggiunti nel corso dei 20 anni tra il 1970 e il 1990 scatenarono numerosi investimenti soprattutto nel mercato dell'entertainment e del gaming. Le maggiori aziende del settore, infatti, lanciarono diversi headset, tra cui SEGA con il SegaVR e Nintendo con il Virtual Boy, nel corso degli anni Novanta.

SegaVR

Il sistema di realtà virtuale SEGA VR fu annunciato al pubblico nel 1993 come add-on per la console Sega Mega Drive⁶ e così come altri dispositivi concepiti per aumentare l'esperienza di utilizzo della console (ad esempio il Sega Activator) non fu mai rilasciato ⁷. L'headset utilizzava dei sensori di tracking del movimento ad una frequenza di 100Hz, suono 3D e una visione stereoscopica⁸. Durante la fase di test

⁵Chuck Blanchard, Ann Lasko-Harvill, Lou Ellyn Jones (1990, 02) What's new in reality built for two
http://90.146.8.18/en/archiv_files/19902/E1990b_189.pdf

⁶http://segaretro.org/Sega_VR

⁷<https://www.vrs.org.uk/unreleased-sega-vr-headset-much-effort-squandered/>

⁸SEGA VISIONS #14 (August/September 1993)



Figura 2.5: DataSuit della VPL Inc in mostra allo showroom di Nissho Iwai a Tokyo
<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear4.htm>



Figura 2.6: SEGA VR

https://www.vrs.org.uk/images/segavr_main-460x259.jpg

molti utenti soffrirono di disturbi tipici delle tecnologie legate alla realtà virtuale (come nausea, vertigini ecc) causati da feedback sensoriali errati al cervello. Nel caso di SEGA VR, questi disturbi erano per lo più derivati dal ritardo e dalla poca precisione del tracciamento dei movimenti.⁹

Virtual Boy

Rilasciato da Nintendo nel 1995¹⁰, il Virtual Boy era in grado di generare immagini 3D monocromatiche (rosse) ad alta definizione grazie a degli schermi LED SLA (Scanned Linear Array). Questi si servono di uno specchio che, oscillando ad una frequenza di 100Hz, permette di riflettere la luce dei LED ed imprimere sulla retina un'immagine persistente¹¹. Inoltre, questo device è il primo con un sistema a 32-bit, in particolare una CPU basata su un chip RISC. Il virtual boy non era dotato di alcun sistema tracking per l'headset. L'headset infatti era pensato per essere utilizzato ad una scrivania con l'ausilio di un controller alimentato a batterie ed un supporto fisico. Questa configurazione però non garantiva la migliore esperienza di gioco, infatti il supporto era poco stabile, e il vano batterie del controller poteva essere facilmente aperto per sbaglio durante l'utilizzo.¹²

⁹The Untold Story Of Virtual Reality On The Sega Genesis - The Unreleased The Sega VR Headset

https://www.youtube.com/watch?v=3UN_pN9ZU8Y

¹⁰Introduction by Nintendo. (1995, August 22). <http://www.nytimes.com/1995/08/22/business/introduction-by-nintendo.html>

¹¹Unraveling The Enigma Of Nintendo's Virtual Boy <https://www.fastcompany.com/3050016/unraveling-the-enigma-of-nintendos-virtual-boy-20-years-later>

¹²Virtual Boy - Angry Video Game Nerd - Episode 42 <https://www.youtube.com/watch?v=OyVAp0tOk5A>



Figura 2.7: Virtual Boy

<https://www.tomsguide.com/us/nintendo-vr-return,news-22199.html>

Ultimi decenni

La storia più vicina ai nostri giorni propone soluzioni molto più avanzate rispetto a quelle descritte finora. L'avanzamento tecnologico degli ultimi decenni relativo ai supporti hardware, dalla sensoristica alle unità di calcolo, ha fatto passi da giganti per quanto riguarda potenza di calcolo, precisione e miniaturizzazione. Queste innovazioni si ripercuotono e rinnovano, oltre che sul concetto di usabilità, la possibilità di creazione di software sempre più efficienti per la modellazione ambienti sempre più complessi ed interattivi. Le tecnologie odierne, in termini di hardware e software, sono discusse nel paragrafo 2.1.2.

2.1.3 Tecnologie nella realtà virtuale

In questo paragrafo sono trattate le tecnologie odierne relative alla realtà virtuale divise per fasce di costi

Fascia bassa

La forma più semplice di realtà virtuale è molto economica (molto spesso questi visori vengono addirittura regalati durante le fiere, e possono arrivare a costare fino a 30€) e alla portata di tutti. L'hardware di questi sistemi è costituito da due lenti, uno smartphone dotato di giroscopio (anche simulato a partire dall'accelerometro) da utilizzare come display e sensoristica e un caschetto, in plastica o cartone, nel quale inserire lo smartphone. Questi visori sono costruiti con diversi materiali di bassa fattura, dalla plastica al cartone. Come è possibile immaginare, l'interazione possibile con questi sistemi è molto limitata e per lo più adatta alla semplice fruizione di video e contenuti multimediali a 360 gradi. Data la bassa precisione di



Figura 2.8: Google Cardboard, un visore in realtà virtuale di fascia bassa
https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81BKTMewQWL._SL1500_.jpg



Figura 2.9: Google Daydream, un sistema di realtà virtuale di fascia media
<https://cdn.uploadvr.com/wp-content/uploads/2017/02/Daydream.jpg>

tracciamento dei movimenti della testa e la relativa bassa risoluzione dello schermo, gli headsets più economici non sono raccomandabili per un uso prolungato. Alcune applicazioni interattive possono supportare un controller aggiuntivo, solitamente collegato al telefono tramite cavo otg o bluetooth.

Fascia media

I visori che appartengono a questa categoria si collegano fisicamente agli smartphones. Questi dispositivi possono aggiungere o sostituire al telefono la sensoristica necessaria per un'esperienza in realtà virtuale (giroscopio, schermo, ecc..) e solitamente offrono sistemi di interazione più articolati rispetto a quelli descritti nel paragrafo precedente. Come ad esempio controller wireless, trackpad laterali Il costo di questi visori varia dai 70€ ai 120€ circa ¹³, e la loro qualità e funzionalità può variare di molto. Rispetto ai visori economici, questi riescono ad offrire una sensazione di immersione migliore. Nonostante anche la precisione del tracciamento dei movimenti della testa sia in generale superiore rispetto ai visori descritti nel paragrafo precedente, non è consigliabile l'utilizzo a lungo termine che potrebbe facilmente portare sensazioni di nausea e vertigini.

Fascia alta

Questa tipologia di visori utilizzano la capacità di calcolo di potenti computer e console. Tra le peculiarità dei sistemi appartenenti a questa fascia si possono annoverare:

¹³ Samsung Gear VR con Controller, Black [Versione Italiana]
<https://www.amazon.it/Samsung-Controller-Black-Versione-Italiana/dp/B071H46RNJ/>



Figura 2.10: Mark Zuckerberg utilizza l'Oculus Rift, un sistema di realtà virtuale di fascia alta

<http://www.telegraph.co.uk/technology/0/oculus-rift-what-you-need-to-know-as-virtual-reality-headset-goe/>

- tecnologie di tracciamento visuali molto accurate ed in alcuni casi portatili;
- HMD ad alte risoluzioni;
- somfort e design;
- schede grafiche ad alte prestazioniSchede grafiche ad alte prestazioni;
- bassa propensione ad indurre motion sickness;

L'hardware che gestisce l'input di questi sistemi è pensato per un'interazione che favorisca l'immersione e la presenza. Per questo motivo la forma di interazione più basilare è messa in atto con controller tracciati e con un numero vario di pulsanti e trackpad. Alcuni di questi sistemi supportano l'aggiunta di dispositivi in modo nativo. Questa modularità permette all'utente, non solo di tracciare un qualsiasi oggetto, ma di utilizzarlo in facilmente come input per il sistema. Grazie alla potenza di calcolo a supporto di questi sistemi di realtà virtuale, è possibile implementare l'utilizzo di un grosso numero di dispositivi come input (come ad esempio tute da mockup, sensori di tracciamento, gamepad ecc..) in base agli obiettivi richiesti dall'applicazione. Inoltre i display utilizzati, oltre alle alte risoluzioni, offrono un frame rate di almeno 90 fps garantendo la fluidità delle immagini. La precisione del tracciamento di questi sistemi è solitamente molto alta e spesso l'area di tracciamento è molto estesa (da 1.5 m2 a 4.5 m2 circa) permettendo sessioni di uso prolungate.

Capitolo 3

Stato dell'arte

In questo capitolo verrà presentato lo stato dell'arte andando ad analizzare le principali caratteristiche delle applicazioni che sfruttano la realtà virtuale per l'apprendimento di nuove conoscenze, facendo particolare attenzione all'ambito sportivo.

3.1 La realtà virtuale nell'addestramento

L'utilizzo della VR per l'addestramento è diventato ormai pratica assodata e si assiste sempre con una maggiore frequenza allo sviluppo di applicazioni immersive sviluppate ad-hoc con lo scopo di aumentare le prestazioni del personale interessato. Alcuni ambiti di applicazioni della realtà virtuale per l'apprendimento di nuove competenze comprendono:

- simulazioni per la formazione medica;
- esplorazioni di elementi architettonici;
- ricostruzioni o rievocazioni storiche;
- simulazione di situazioni di pericolo o di emergenze (es. addestramento paramedico in caso di eventi naturali);
- simulazioni in ambito militare (es. per l'addestramento al combattimento);

I benefici dell'introduzione della realtà virtuale in diversi ambiti applicativi è anche confermato dalla presenza di numerosi lavori nella letteratura che analizzano gli effetti, i benefici e le problematiche ancora rimaste irrisolte legate al mondo della realtà virtuale quando questa è utilizzata all'interno di sistemi che hanno come obiettivo quello di formare gli utilizzatori. Per esempio in [10] vengono descritti i vantaggi nell'uso della realtà virtuale per la formazione sanitaria e presentati alcuni progetti realizzati in quest'ambito. Secondo gli autori i principali benefici sono:

- sperimentazione ed apprendimento attivo: l'interazione dell'utente con l'ambiente virtuale gli consente di ricoprire un ruolo attivo durante il processo di apprendimento e quindi di imparare in maniera più efficace in quanto libero di muoversi e agire in piena libertà. Inoltre, dato che l'utente si trova immerso nella situazione non gli è richiesto alcuno sforzo cognitivo legato alla costruzione mentale di contesti e situazioni in cui applicare i contenuti da apprendere;

- visualizzazione e reificazione: la realtà virtuale può essere un valido strumento per la visualizzazione di materiali, forme o metodi di visualizzazione alternativi non esistenti nella realtà. Questa caratteristica risulta utile quando è necessario manipolare o riordinare informazioni utilizzando simboli grafici. Per esempio per insegnare concetti fisici astratti o argomenti legati al mondo della biologia;
- apprendimento in contesti impossibili o difficilmente affrontabili nella vita vera: la realtà virtuale consente di osservare ed esaminare aree ed eventi impossibili da raggiungere o rivivere (es. viaggiare all'interno del corpo umano, spostarsi tra le molecole) ed analizzare oggetti posizionandoli agilmente ad una distanza molto ravvicinata oppure a grande distanza dall'osservatore. Inoltre è possibile utilizzare questa tecnologia quando l'addestramento prevede l'utilizzo di strumenti non facilmente accessibili nella vita quotidiana perché troppo pericolosi da conservare o per problemi logistici;
- miglioramento motivazionale: l'esperienza con sistemi di realtà virtuale, che prevedono per esempio l'utilizzo del videogame come strumento di apprendimento, può risultare più motivante rispetto ai metodi standard. Questo tipo di interazione può risultare un'ottima soluzione per rendere l'apprendimento più coinvolgente e meno noioso;
- promozione della collaborazione: l'utilizzo di ambienti virtuali condivisi incoraggia la collaborazione e favorisce l'apprendimento delle competenze che possono essere sviluppate solo attraverso esperienze condivise in un ambiente comune;
- adattabilità: L'apprendimento in realtà virtuale può adattarsi alle caratteristiche e ai bisogni dell'utente, in quanto lo studente può andare avanti nell'esperienza virtuale con il ritmo che preferisce. Inoltre, gli ambienti virtuali ben progettati possono presentare un insieme di esperienze più ampio e approfondito rispetto a quelle che si possono trovare nell'ambiente educativo;
- valutazione: La realtà virtuale offre un grande potenziale come strumento di valutazione, poiché ogni sessione nell'ambiente virtuale può essere facilmente registrata e monitorata da istruttore o insegnanti, facilitando così la valutazione dello studente.

Un altro lavoro [11] conferma ulteriormente i vantaggi della realtà virtuale per scopi educativi. In questo ultimo articolo è stato sviluppato un simulatore in realtà virtuale (VICHER) dal dipartimento di ingegneria chimica dell'università del Michigan per raggiungere i seguenti obiettivi:

- migliorare la formazione dello studente di ingegneria chimica, adoperando obiettivi educativi e stili di apprendimento alternativi particolarmente focalizzati all'insegnamento di argomenti trattati in maniera non approfondita da strumenti didattici classici;
- apprendere nuove tecniche, strumenti e competenze di realtà virtuale che possono essere applicate ad altri ambiti o problemi;

- studiare la realtà virtuale come strumento educativo, al fine di determinare quali aspetti della realtà virtuale forniscono i più efficaci benefici educativi e di apprendere i punti di forza e di debolezza di questa nuova tecnologia in un contesto educativo.

Gli studi preliminari condotti sembrano indicare un avanzamento tangibile in tutte e tre le aree prefissate. In particolare per quanto riguarda l'utilizzo della realtà virtuale vengono mostrati alcuni punti di forza che confermano le affermazioni presentate nell'articolo [10]. Il primo vantaggio è rappresentato dall'abilità nel mostrare situazioni e concetti che non potrebbero essere osservati in altro modo ed la possibilità di immergere lo studente nella visualizzazione. La realtà virtuale per esempio può mostrare l'interno di un reattore in azione da qualsiasi punto di vista. Inoltre la realtà virtuale suscita maggiore interesse ed entusiasmo negli studenti durante le lezioni. Oltre ai vantaggi [11] presenta anche le principali debolezze incontrate durante l'utilizzo del sistema di realtà virtuale come strumento di apprendimento. La prima difficoltà incontrata è stata nella presentazione di informazioni testuali come equazioni, formule o definizioni. Ciò è dovuto al fatto che la realtà virtuale è per natura usata come strumento per la rappresentazione e visualizzazione di contenuti grafici 3D, piuttosto che del testo. Il problema è inoltre aggravato dal fatto che gli utenti possono scegliere qualsiasi punto di vista (spesso angoli obliqui) e la risoluzione ridotta legata all'utilizzo di head mounted display (HMD). Altra problematica è stata la difficoltà nella modellazione di elementi ancora poco conosciuti o studiati e le forti limitazioni sul numero di dettagli (vertici, facce, poligoni) che possono essere mostrati in una scena. Questi limiti sono strettamente legati alle alte prestazioni in termini di rendering richieste dai sistemi di realtà virtuale.

Sempre con maggiore frequenza tali applicazioni vengono utilizzate in campo medico per accompagnare gli studenti nella comprensione delle strutture anatomiche e delle procedure mediche da utilizzare offrendo alcuni vantaggi rispetto alle immagini 2D ed ai modelli plastici.

Le immagini 2D soffrono, ad esempio, del vincolo legato all'impossibilità di variazione dell'angolo di vista mentre i modelli plastici non riescono a garantire un fine livello di dettaglio. Modelli 3D digitali invece offrono la possibilità di interazione con gli stessi e una maggiore libertà di movimento permettendo così allo studente di esplorare il modello stesso da diversi punti di vista. Inoltre, l'interazione in un ambiente immersivo risulta essere più intuitivo rispetto alle altre suddette soluzioni.

In [12], ad esempio, è stata sviluppata un'applicazione in grado di riprodurre un occhio virtuale. L'applicazione è stata usata da praticanti ed professori per analizzare l'anatomia dell'occhio e lo sviluppo nel tempo di alcune malattie come, ad esempio, il glaucoma.

In [13] si usa la realtà virtuale come strumento per apprendere e mettere in pratica le capacità di gestione dello stress e la preparazione del personale militare per affrontare situazioni particolarmente stressanti. La capacità di gestione dello stress risulta essere un aspetto molto importante nella formazione militare, dato che può ridurre l'efficacia operativa durante le operazioni. Diversi studi dimostrano che l'ansia o lo stress influenzano l'elaborazione delle informazioni, incluso la concentrazione, la sensibilità a determinati segnali periferici, il richiamo della memoria e la codifica. Inoltre, lo stress influenza direttamente anche la fisiologia (ad esempio, il tremore) e la regolazione delle emozioni, e quindi ha un forte impatto sulle prestazioni in situazioni che richiedono un controllo emotivo, cognitivo e comportamentale,

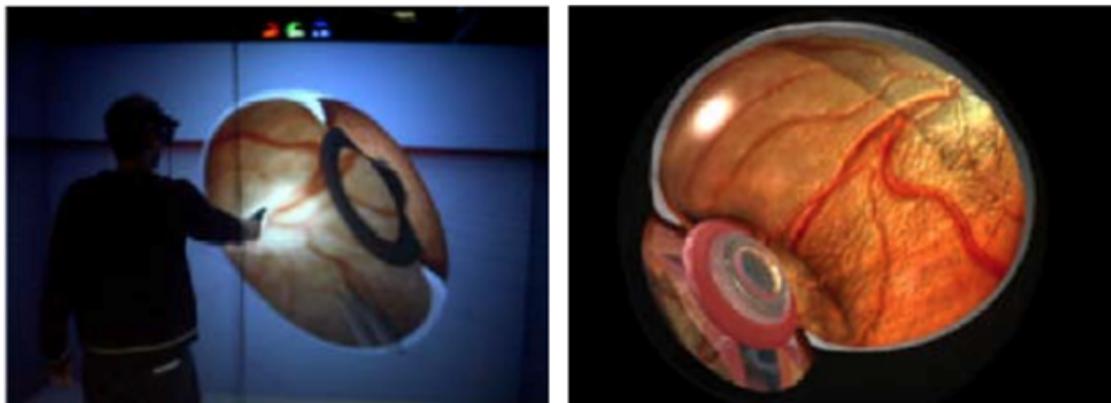


Figura 3.1: Visualizzazione dell'occhio virtuale.

Using virtual reality for medical diagnosis, training and education

come per esempio le operazioni militari. Insegnare delle abilità comportamentali in una lezione frontale non risulta essere sufficiente in quanto il soggetto avrà difficoltà a mettere in atto le nuove competenze, apprese in un ambiente che favorisce l'insegnamento, quando si troverà ad operare in situazioni altamente stressanti. La realtà virtuale, secondo gli autori del suddetto articolo, sembra offrire interessanti possibilità per facilitare questa pratica, in particolare nel contesto generale del miglioramento della prontezza mentale, al fine di consentire al personale militare di essere più efficiente durante le operazioni militari grazie ad un maggiore controllo delle emozioni, delle cognizioni e degli atteggiamenti.

3.2 Realtà virtuale nello sport

Quello sportivo, è uno dei campi di applicazione in cui l'utilizzo della realtà virtuale è tangibile. Le applicazioni di questa tecnologia sono legate principalmente a due macro aree di interesse. La prima, spesso indicata come Sport Psychology Training, prevede l'utilizzo della realtà virtuale come piattaforma per la formazione psicologica dell'atleta, mentre la seconda, si pone come obiettivo l'analisi e il perfezionamento del gesto tecnico (biomechanical training).

3.2.1 Sport psychology

La Sport psychology è un campo interdisciplinare che studia quanto i fattori psicologici influiscono nelle prestazioni degli sportivi durante il gioco [14]. Una delle caratteristiche più interessanti e studiate in questo ambito è rappresentata dall'analisi e il trattamento dell'ansia durante la competizione. Un atleta che prova questo tipo di sensazione spesso prende decisioni errate quando si trova sotto pressione influenzando negativamente le sue prestazioni. È stato teorizzato che questa riduzione delle prestazioni è associata allo sforzo cognitivo, in quanto l'ansia durante situazioni altamente stressanti causa paura e preoccupazione nella mente dello sportivo. Ciò riduce le capacità mentali dell'atleta, che non riesce più a concentrarsi sugli elementi rilevanti del gesto tecnico [15]. Nello studio presentato in [16] gli atleti hanno eseguito tiri liberi in un campo da basket in condizioni di ansia sia bassa che

alta. I risultati hanno dimostrato che gli atleti hanno sperimentato uno sforzo cognitivo maggiore (misurato tramite modelli di scansione visiva) e una riduzione delle prestazioni nelle condizioni di ansia elevata. Sebbene livelli di ansia troppo elevati possono influire negativamente sulle performance dell'atleta è importante notare che un'ottima prestazione non si raggiunge rimuovendo del tutto l'ansia. Questo è dimostrato dalla legge di Yerkes/Dodson che mostra come all'aumentare dell'eccitazione, in questo contesto inteso come stress o ansia, le prestazioni dell'atleta migliorino fino al raggiungimento di un picco ottimale. Superata tale soglia l'ansia influisce in maniera negativa sulle prestazioni come dimostrato dagli studi già citati.

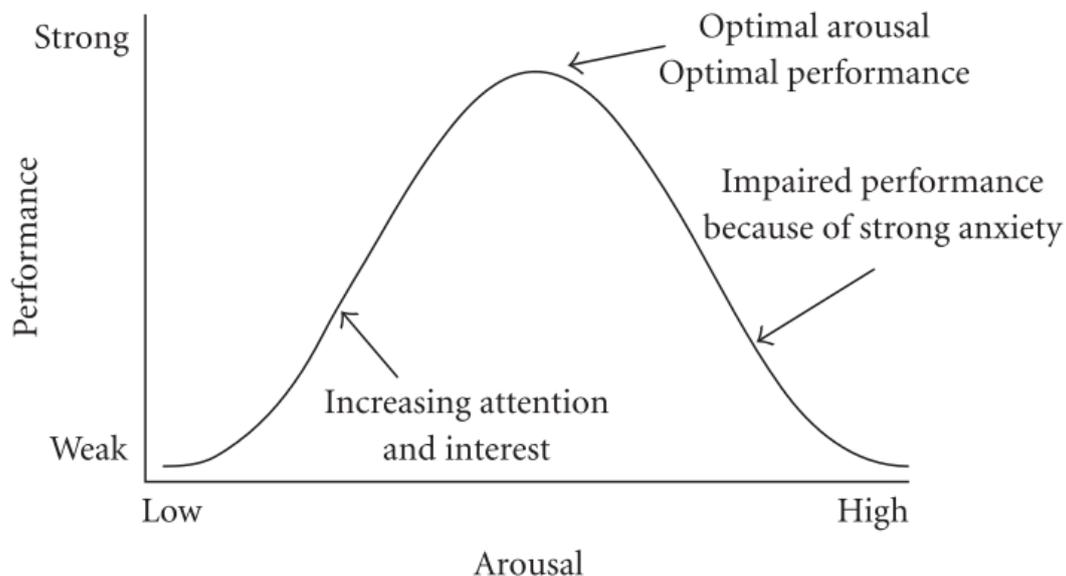


Figura 3.2: Legge di Yerkes/Dodson

The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting

Quindi strumenti per il controllo dell'ansia durante la prestazione sportiva può essere un utile strumento durante l'allenamento degli atleti. Gli autori di [17] hanno sviluppato un sistema che prevedeva l'utilizzo di un head mounted display per la preparazione degli atleti ai giochi olimpici invernali del 2002. È stato ricreato l'ambiente in cui si è svolta la competizione (vedi Figura 3.3). Il sistema ha permesso agli atleti di navigare all'interno della scena e di adattarsi all'ambiente circostante. Gli atleti hanno riportato esperienze positive durante l'interazione con il sistema, ma non è stato eseguito alcun test sperimentale per validare le osservazioni.

Un altro studio [18] ha esaminato l'uso della realtà virtuale per assistere un golfista nell'apprendimento delle tecniche di rilassamento. L'allenamento è stato somministrato ad un atleta del college usando un simulatore di golf per un periodo di 10 settimane, e sono stati registrati gli avanzamenti dell'atleta tramite tecniche psicometriche e misurazioni fisiologiche (vedi Figura 3.4). I risultati, mostrati sinteticamente nelle immagini, hanno dimostrato che l'atleta ha migliorato il controllo dell'ansia dopo aver usato il sistema di allenamento. Gli autori hanno in programma di studiare il protocollo con una popolazione di atleti più ampia per convalidare i risultati.

Real Environment



Virtual Environment



Figura 3.3: Confronto tra spazio reale e virtuale.

Virtual visualization: Preparation for the olympic games long-track speed skating

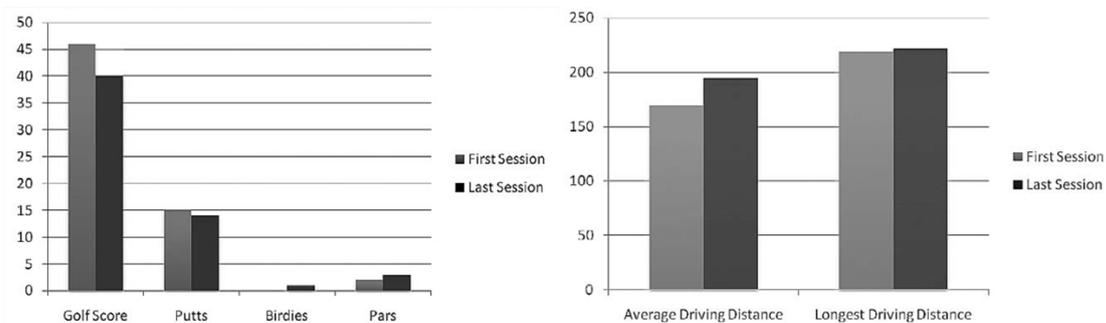


Figura 3.4: Risultati del simulatore di golf sull'atleta

Virtual reality-assisted heart rate variability biofeedback as a strategy to improve golf performance: a case study

In [19] si è usufruito della realtà virtuale per studiare non solo le performance atletiche di un atleta, ma anche quelle psicologiche. Per far ciò è stata sviluppata un'applicazione per l'allenamento di un portiere di calcio agli alti livelli di pressione che si hanno durante l'esecuzione di un calcio di rigore. Sono state definite tre variabili indipendenti: -Field of regard (FOR) - definito come la dimensione totale del campo di vista del portiere; -Simulation Fidelity (SF) - grado di accuratezza nella riproduzione dei comportamenti e degli stati degli oggetti reali all'interno dell'applicazione; -Competitive realism - questa variabile analizza la differenza delle prestazioni tra una fase di allenamento in solitaria e una in cui viene creata una competizione tra due portieri che si alternano nel parare i calci di rigori.

Si è provato quindi a modificare e combinare il livello di accuratezza delle tre variabili per capire come e quanto ognuna di esse influisca nell'alterazione delle condizioni d'ansia del portiere. Durante l'esperimento sono stati anche registrati sia il battito cardiaco degli utenti che la sua variazione. I risultati dimostrano che sia il FOR che il SF influenzano il livello di ansietà degli utenti.

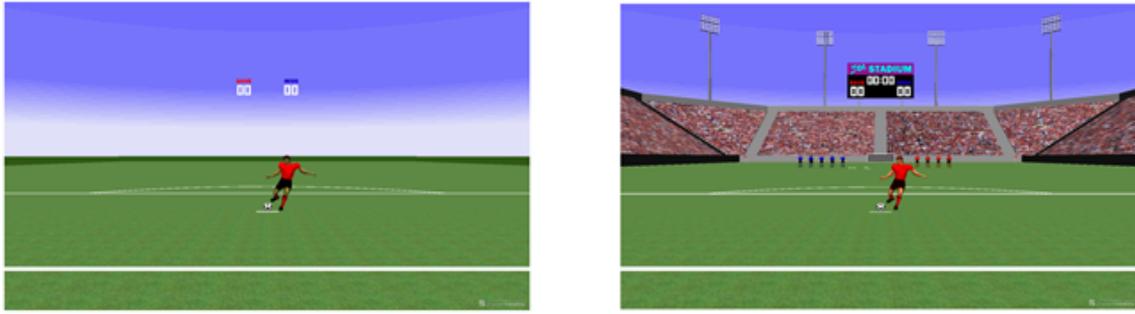


Figura 3.5: Risultati del simulatore di golf sull'atleta
 Due livelli di accuratezza delle variabili analizzate Feasibility of Training Athletes for High-Pressure Situations Using

3.2.2 Allenamento biomeccanico

Un motivo per il quale essa viene utilizzata è quello dell'analisi delle performance degli atleti. Un primo esempio di utilizzo della realtà virtuale per l'addestramento biomeccanico è presentato nel lavoro [20]. Gli autori hanno sviluppato un sistema non in tempo reale per analizzare gli swing del golf registrati in una fase precedente. Il sistema consente ad atleti o allenatori di analizzare le prestazioni confrontando i gesti di un determinato golfista con un modello ideale. Il modello è stato calcolato combinando una varietà di utenti esperti. I due gesti, (quello reale dell'utente e quello ideale) possono quindi essere visualizzati all'interno del sistema da vari punti di vista e a varie velocità. Inoltre, il sistema evidenzia i giunti dell'utente che differiscono maggiormente dal modello ideale. Nessuno test però è stato eseguito per valutare l'utilità dell'allenamento all'interno del sistema. Lo studio presentato in [21] combina i vantaggi di un sistema di tracking in tempo reale e la visualizzazione in uno schermo di grosse dimensioni per l'apprendimento di un passo di danza. Nell'applicazione, gli utenti si trovano di fronte ad un'immagine proiettata che mostra il video di un esperto che esegue un particolare movimento di danza. I dati di posizione in tempo reale dell'utente sono stati tracciati utilizzando un sistema Vicon Motion Capture. Le posizioni dei giunti dell'utente sono quindi state sovrapposte all'esperto nel video. Il sistema (in Figura 3.6) mostrava agli utenti tre tipologie di feedback: feedback completo (16 punti di interesse sovrapposti all'esperto), feedback ridotto (4 punti di interesse) e nessun feedback. I risultati hanno dimostrato che la modalità con soli 4 punti di interesse era la più efficace nell'addestramento. Ciò suggerisce che fornire un feedback limitato ma pertinente agli atleti in un sistema di realtà virtuale è più vantaggioso che fornire un feedback completo.

In [22] è stato creato un tool per l'analisi delle percezioni-azioni da parte degli atleti durante la prestazione sportiva. In precedenza infatti, venivano usati dei video per tale studio, ma questi soffrono della mancanza di variazione del punto di vista da parte dell'atleta, data dalla posizione fissa della camera durante la registrazione, e dall'impossibilità di un'interazione con ciò che accade durante la sua riproduzione, fattore fondamentale per l'analisi delle reazioni alle percezioni durante lo svolgimento dello sport. Nel suddetto articolo è stato studiato come la percezione influenza le scelte di un'atleta sul movimento da eseguire e come le scelte prese influenzano le successive percezioni. Per far ciò sono stati sviluppati due differenti scenari. Nel primo è stata data attenzione solamente alla percezione da parte di un atleta di rugby

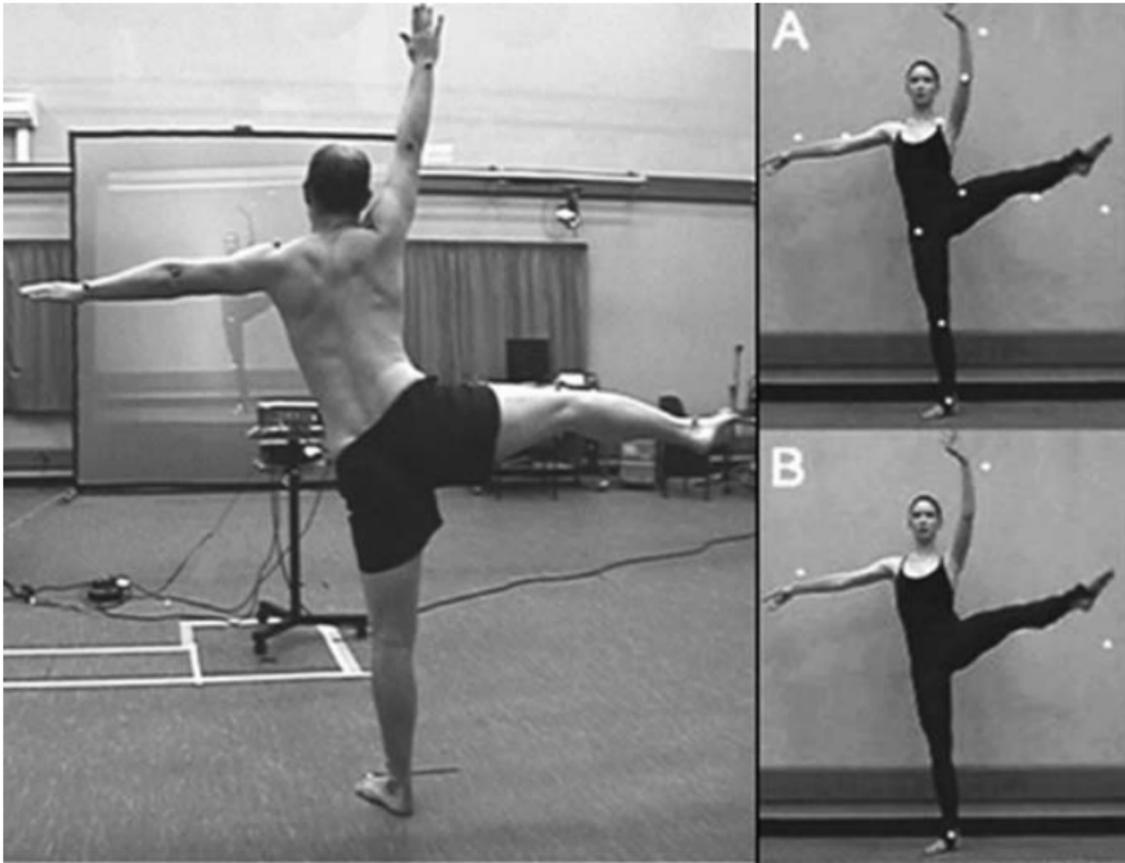


Figura 3.6: Diverso numero di feedback: A 16 punti di interesse, B 4 punti di interesse.

The short-term effects of real-time virtual reality feedback on motor learning in dance

nell'individuare alcuni movimenti ingannevoli. Nel secondo sono state analizzate le risposte di un portiere di pallamano, quindi l'azione, alle differenti traiettorie della palla, quindi la percezione. Nella fase iniziale delle suddette applicazioni è stata utilizzata la tecnologia della motion capture al fine di ottenere i movimenti degli atleti e poter ricreare le animazioni all'interno dell'ambiente immersivo. Nel rugby è stato chiesto agli utenti di predire la direzione finale di un avversario in fase di attacco e in corsa contro l'utente stesso. Lo scenario della pallamano analizzava l'abilità dell'utente nell'anticipazione di un movimento dell'avversario e, quindi, di riuscire ad intercettare la palla in diversi lanci.

In [1] è stato sviluppato un sistema per l'allenamento degli atleti di football americano chiamato SIDEKIQ in grado di permettere all'allenatore la creazione di alcune azioni di gioco e, successivamente, la possibilità da parte degli atleti di rivedere le stesse azioni o su un sistema desktop o all'interno di un ambiente immersivo attraverso un visore di realtà virtuale. Quest'ultimo approccio ha offerto loro la possibilità di modificare la vista e impersonificare un determinato giocatore all'interno del campo da gioco.

SIDEKIQ si è concentrato su tre principali aspetti:

- animazioni ad alta fedeltà

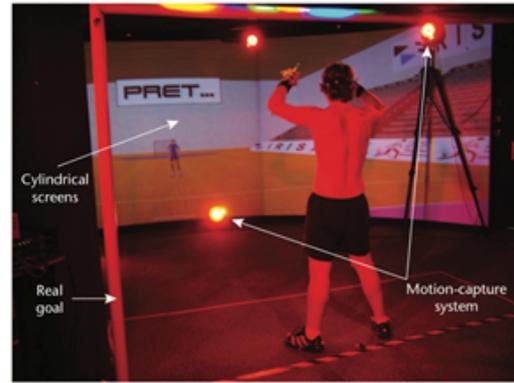
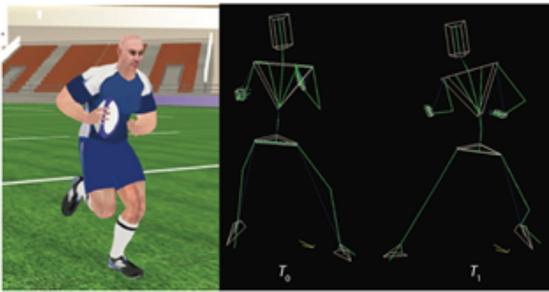


Figura 3.7: A sinistra il sistema per lo studio di movimenti ingannevoli nel rugby, a destra il sistema per l'analisi delle risposte del portiere nello sport della pallamano. Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance

- rendering immersivo tramite visore;
- precisione nella riproduzione delle azioni.

Per il primo aspetto sono state create un totale di 50 differenti animazioni con la tecnica della Motion Capture, l'aspetto immerso è stato ottenuto grazie all'utilizzo del visore Oculus Rift e del Cave EON Icube. In alcuni casi, al fine di aumentare la percezione di presenza durante la simulazione sportiva, è opportuno utilizzare oggetti reali in grado di offrire un reale feedback tattile all'utente. L'utilizzo di oggetti reali all'interno di ambienti immersivi ha portato alla definizione della Tangible Virtuality (TV) che si posiziona tra la realtà virtuale e la realtà aumentata. L'obiettivo della TV è quello di massimizzare la sensazione di un effettivo utilizzo di un oggetto reale attraverso la riproduzione artificiale dello stesso oggetto all'interno dell'ambiente virtuale. Per far ciò, bisogna creare una relazione tra oggetto reale e quello artificiale in modo da mappare la posizione del primo con la posizione del secondo e far credere all'utente che l'oggetto presente nel mondo immersivo sia effettivamente quello reale dalla quale egli riceve i feedback tattili.

In [23] si è provato a studiare la Tangible Virtuality (TV) come nuovo ramo della realtà virtuale e a definire alcune modalità di interazione con gli oggetti artificiali che riproducono fedelmente il medesimo oggetto reale.

Per far ciò, in alcuni casi, è necessario:

- mappare il mondo reale all'interno del mondo artificiale;
- utilizzare un sistema di tracking dell'oggetto reale in modo da attribuire le stesse posizioni alla controparte artificiale.

In [24] è stato studiato come integrare oggetti reali all'interno dei mondi virtuali. Usando un Kinect un paio di HTC Vive è stato creato un sistema in grado di permettere all'utente di giocare con una palla reale e, contemporaneamente, vederla all'interno dell'ambiente virtuale. A questo scopo è stato sviluppato un sistema in grado di:

- tracciare la palla attraverso l'utilizzo del Kinect;

- mappare le coordinate del sistema di riferimento della Kinect e quelle del Vive;
- Integrare il tracking con Unity per la generazione degli spostamenti della palla artificiale.

Il primo punto riguarda prettamente un lavoro di computer vision e per far ciò, è stata utilizzata la libreria OpenCv. Il secondo invece consiste in una fase di calibrazione dove i due sistemi tracciano diverse posizioni delle mani all'interno dei diversi sistemi di riferimento dei due sistemi e una seconda fase di risoluzione delle trasformazioni rigide tra le varie coordinate calcolate. Il terzo ed ultimo punto si focalizza sull'implementazione di un plugin per Unity per la costruzione di uno scenario calcistico per scopi ludici. In figura 26 è possibile osservare l'implementazione finale del lavoro con l'applicazione Unity in cui è visibile la palla artificiale, la finestra che mostra il tracking da parte della kinect e l'utente in fase di ricezione della palla reale.

Simile lavoro è stato sviluppato in [25] attraverso la creazione di un sistema in cui un utente è in grado di prendere al volo una pallina reale mentre immerso all'interno di un ambiente artificiale. Il suddetto lavoro affronta diversi problemi tra cui la latenza del sistema, la precisione del sistema di tracking e il frame rate dell'applicazione. Allo scopo di aiutare l'utente nel prendere la pallina al volo, l'applicazione virtuale è composta da:

- palla virtuale: palla virtuale renderizzata che riproduce i movimenti di quella reale tracciata attraverso il sistema OptiTrack Flex 13;
- traiettoria: predizione della traiettoria attraverso l'utilizzo di un filtro di Kalman;
- target: posizione in cui l'utente può effettivamente afferrare la pallina. Il target da anche l'informazione sulla direzione di arrivo della pallino, in modo da permettere all'utente la corretta orientazione delle mani (Figura 3.10).

In [26] viene proposto uno strumento di allenamento per il basket. Gli utenti possono allenare le proprie capacità nel tiro libero di un campo da basket simulato in realtà virtuale. Il simulatore consente di rimpiazzare l'allenatore visto come tramite per il trasferimento delle competenze all'individuo o come principale strumento per ricevere feedback sull'efficacia del gesto appena compiuto.

Le caratteristiche principali del simulatore sono elencate di seguito:

- una modellazione realistica della palla e del suo comportamento durante la fase di tiro, tenendo in considerazione forze quali la gravità, la resistenza dell'aria il e vento e la rotazione imposta dal tiratore, che modificano significativamente la traiettoria;
- previsione del risultato del lancio.

L'architettura del sistema comprende un blocco che si occupa della ricostruzione grafica in della simulazione renderizzando gli elemento 3D della scena (es. la palla, la mano del giocatore, il tabellone, il campo e feedback visive per l'utente, ecc...), un sistema di motion capture per tracciare il movimento dell'utente ed un modulo

per l'analisi del movimento e calcolo della traiettoria della palla implementato in Matlab. Per validare le caratteristiche del simulatore sistema sono stati condotti una serie di esperimenti, coinvolgendo giocatori professionisti, a cui è stato chiesto di ripetere una serie di 20 tiri liberi prima nel sistema di realtà virtuale e successivamente nel campo reale. I risultati dimostrano che i gli utenti hanno ottenuto nell'ambiente virtuale risultati simili a quelli dell'ambiente reale. Inoltre, gli utenti hanno anche espresso il loro parere favorevole all'utilizzo del sistema con utenti principianti e definiscono il simulatore coinvolgente e stimolante da apprendere. Uno degli aspetti negativi del sistema è rappresentato dall'assenza di feedback tattili, una caratteristica estremamente importante in quanto è in grado di aumentare il senso di presenza e immersione.

Un altro esempio in cui la realtà virtuale è stata applicata al basket è presentato in [27]. Il report presenta i risultati, riferiti alla stagione 2016-17, ottenuti monitorando le percentuali di realizzazione dei tiri liberi dei giocatori della squadra Washington Wizard, che utilizzavano uno strumento di realtà virtuale creato da STRIVR <https://strivr.com/>. Il giocatore che sembra avere beneficiato maggiormente di questo nuovo tipo di allenamento è stato Ian Mahinmi. STRIVR ha realizzato un'applicazione immersiva che consentiva al giocatore di rivedere un suo movimento ideale, registrato quando il tiro era andato a segno. Le statistiche mostrano come l'utilizzo di tale strumento permetteva al giocatore di aumentare la percentuale di realizzazione dei tiri liberi.

In [28] vengono discusse l'applicazione della realtà virtuale e l'utilizzo di un sistemi di simulazione per l'apprendimento dei movimenti da effettuare durante una partita di basket. In particolare, vengono analizzate le motivazioni, la progettazione e le fasi di sviluppo di un sistema di allenamento in realtà virtuale per la simulazione delle tattiche. In questo lavoro la realtà virtuale rappresenta un ottimo strumento con il quale un allenatore può mostrare in maniera più chiara il movimento che il giocatore deve effettuare per la corretta riuscita di una tattica. Tenendo in considerazione la classificazione standard delle tecniche del basket il simulatore include cinque azioni di primo ordine (Passaggio, Dribbling, Tiro, Sfondamento, Difesa) e venticinque pulsanti per attivare azioni del secondo ordine. Inoltre, il modulo di movimento del sistema è in grado di realizzare slow motion, avanzamento fotogramma per fotogramma e visualizzazione da quattro angolazioni diverse. Il principale svantaggio di tale strumento è legato alla realizzazione delle animazioni effettuata utilizzando non dei sistemi di motion capture ma delle tecniche di computer graphic che limitano il realismo del movimento.

Oltre agli articoli scientifici presenti nella letteratura numerose applicazioni, soprattutto nell'ambito dei videogiochi, sono disponibili sul mercato per le piattaforme di realtà virtuale più diffuse come Oculus Rift e Htc Vive. Di seguito vengono mostrate alcune di queste applicazioni, facendo particolare attenzione agli ambienti in cui è possibile simulare scenari legati al mondo del basket.

VR SPORTS è un gioco in realtà virtuale, disponibile sulla piattaforma STEAM¹, che consente di scegliere tra diversi sport come il bowling, il calcio, il basket, boxing e la guida dei kart. Nella modalità di gioco basket il giocatore deve cercare di effettuare più punti possibili nei tiri liberi.

Con NBA 2KVR Experience² è possibile scendere in campo, con la guida e

¹http://store.steampowered.com/app/593240/VR_sports/

²http://store.steampowered.com/app/519490/NBA_2KVR_Experience/

i consigli dell'All-Star Paul George. E' possibile partecipare ad una serie di mini giochi virtuali legati al basket con i contenuti che derivano dal mondo professionistico dell'NBA.

Hoops VR è un gioco progettato appositamente per HTC Vive ³ per permettere ai giocatori di sfidarsi in una serie di tiri liberi.

Dunk IT (VR Basketball) è un simulatore di pallacanestro in realtà virtuale disponibile su STEAM ⁴. L'applicazione prevede tre diverse modalità di gioco: Free Play, Time Trial e Multiplayer. Inoltre è possibile adottare un tema spaziale per poter modificare la forza gravità ed eseguire quindi acrobazie

Le applicazioni finora analizzate si basano tutte sull'utilizzo dei controller. Questo non consente di utilizzarle come strumenti di addestramento del gesto tecnico in quanto il gesto non viene eseguito direttamente dall'utente ma viene mediato da altri dispositivi. Analizzando il lavoro svolto in STRIVR, che non utilizza alcun controller per interagire con il sistema e fornisce un feedback sui tiri effettuati agli atleti, si evincono dei concetti innovativi nel progetto di tesi relativi alla gestione di feedback in tempo reale oltre che alla possibilità di analisi del tiro in se. Considerando quindi le caratteristiche dei lavori presenti già nello stato dell'arte e le indicazioni proposte dall'allenatore Francesco Raho, responsabile tecnico del settore giovanile della squadra di basket Auxilium, sono stati quindi definiti i seguenti obiettivi per questo progetto di tesi:

- creazione di uno strumento di realtà virtuale per l'apprendimento e il perfezionamento di uno specifico gesto tecnico;
- capacità dello strumento di operare in tempo reale;
- possibilità di rivedere il gesto da prospettive e velocità diverse;
- feedback chiari per la visualizzazione dell'errore nel posizionamento;
- presentazione di informazioni per consentire una valutazione autonoma del gesto senza l'ausilio di un tecnico;
- tracciamento dell'utente e della palla per rendere l'interazione non mediata da controller e quindi più naturale;
- gesto tecnico da emulare ottenuto registrando un movimento reale e non ricostruito artificialmente;
- feedback tattili e visivi per migliorare l'esperienza dell'utente durante l'utilizzo del sistema.

³<http://store.steampowered.com/app/487770/HoopsVR/>

⁴<http://store.steampowered.com/app/581920/DunkITVRBasketball>

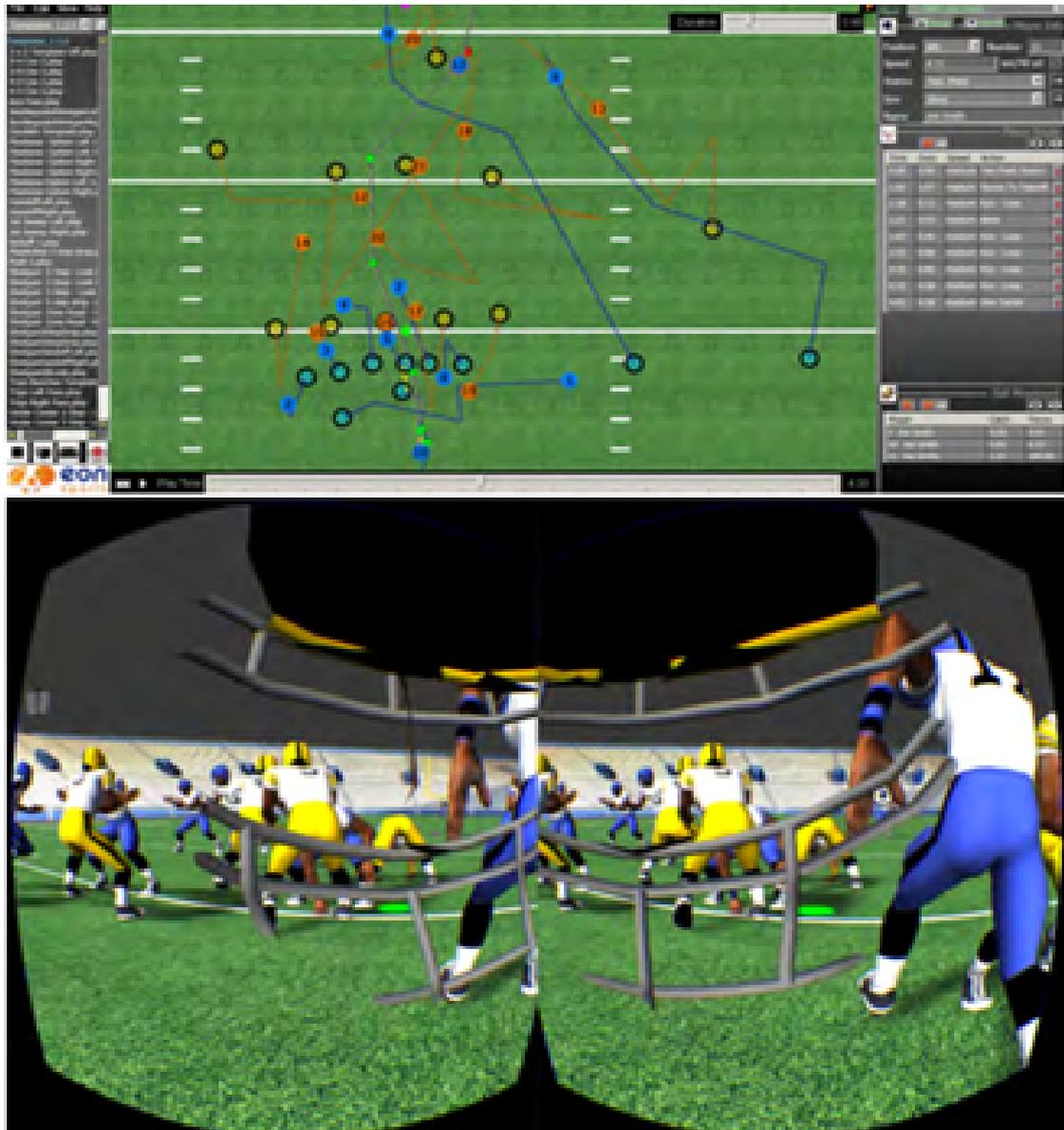


Figura 3.8: Interfaccia per la creazione di schemi in alto, visione in VR dell'azione da parte di un giocatore in basso.
A Case Study on Virtual Reality American Football Training

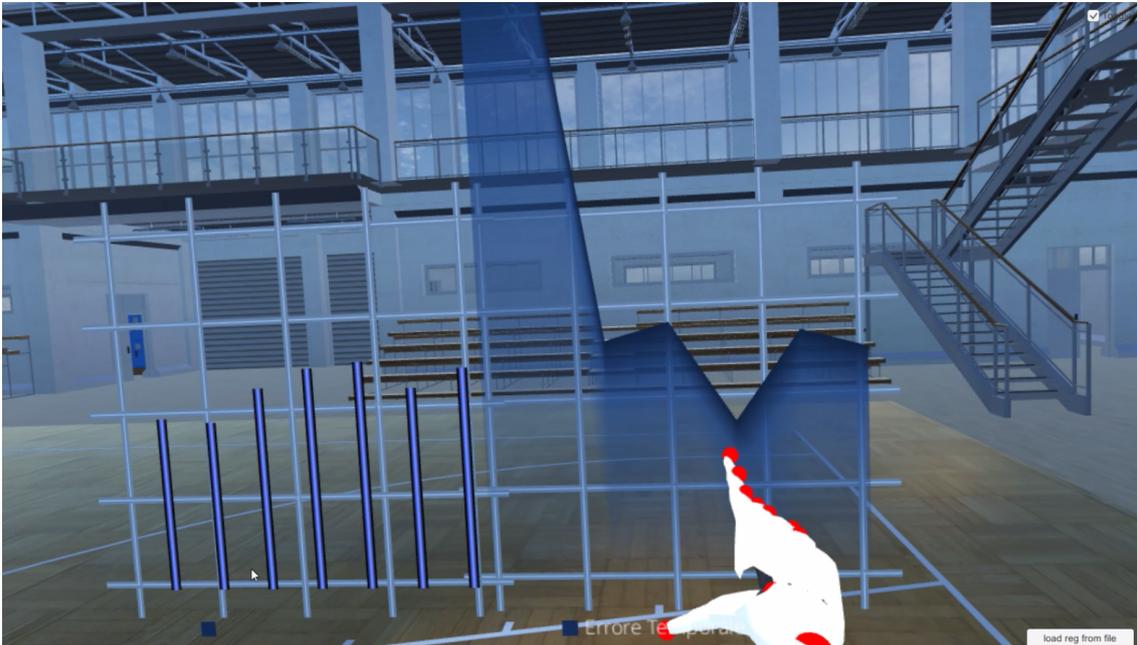


Figura 3.9: Implementazione finale del progetto di tesi.
FOOTBALL SIMULATOR IN VIRTUAL REALITY USING KINECT AND HTC
VIVE

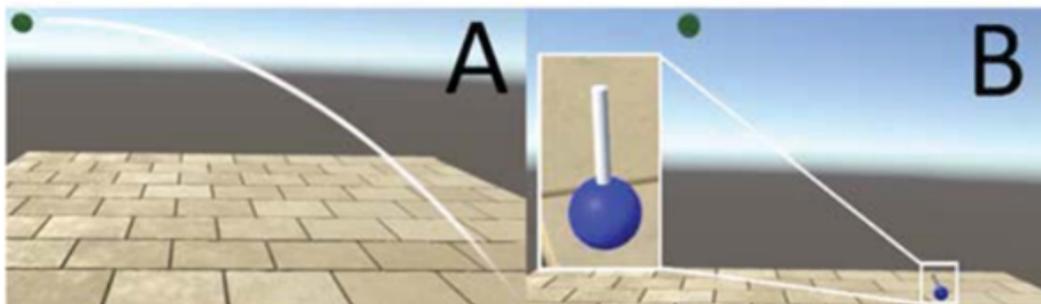


Figura 3.10: Visualizzazione della palla virtuale, della sua traiettoria e del target.
Catching a Real Ball in Virtual Reality

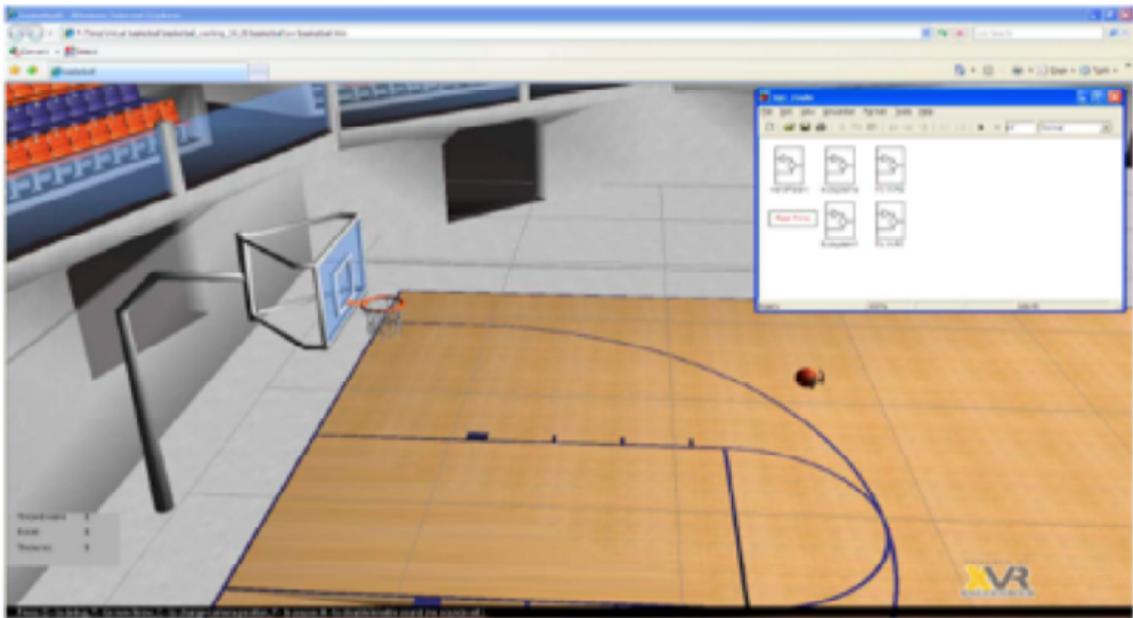


Figura 3.11: Schermata dell'ambiente di allenamento simulato.
A Virtual Reality Simulator for Basketball Free-Throw Skills Development

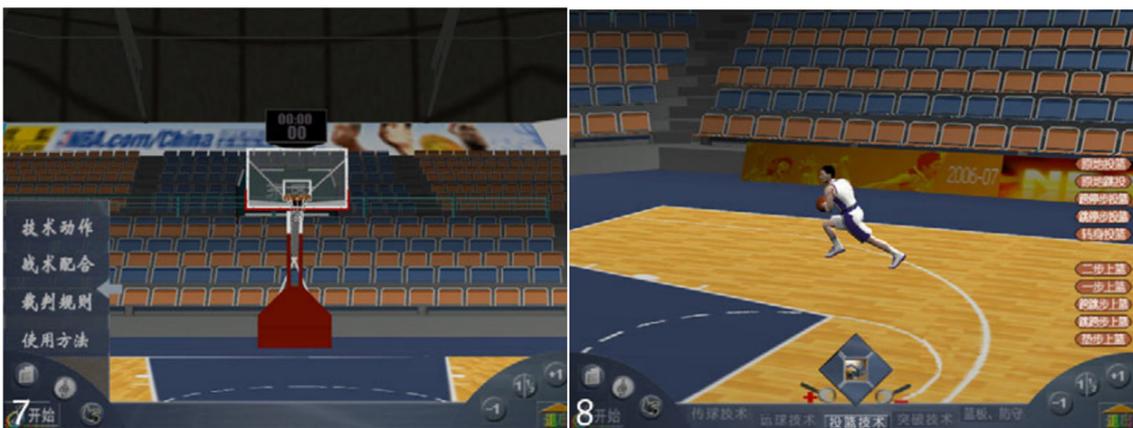


Figura 3.12: Schermata dell'applicazione
VR-Based Basketball Movement Simulation



Figura 3.13: Schermata dell'applicazione in modalità basket VR SPORTS

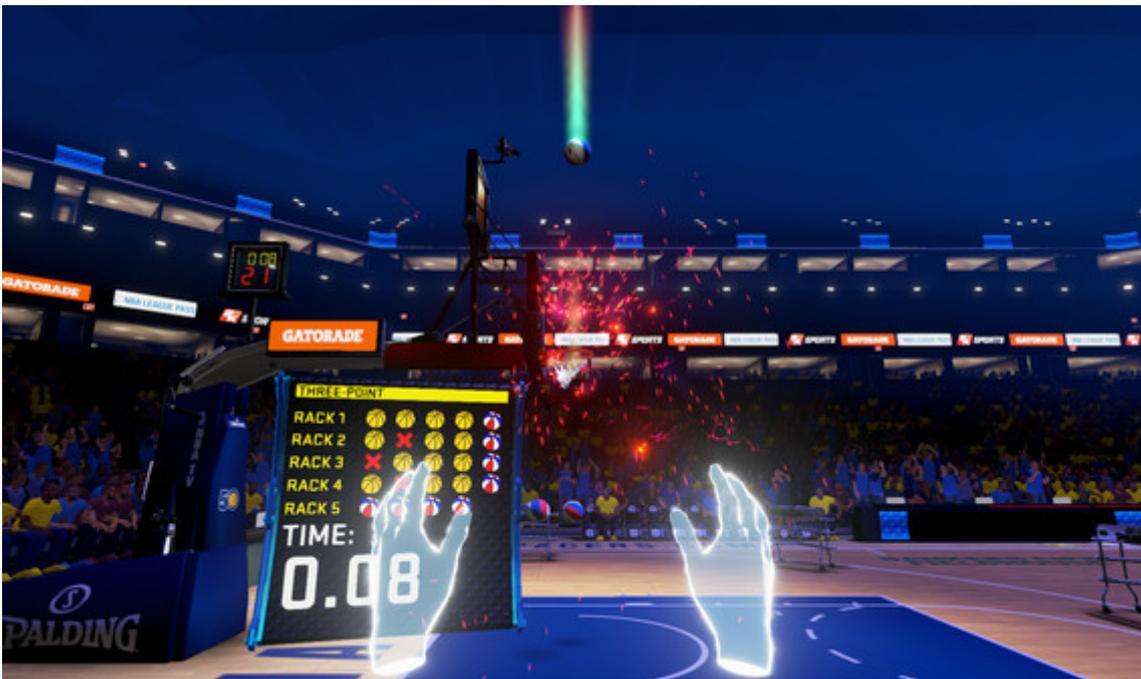


Figura 3.14: Schermata dell'applicazione NBA 2KVR Experience

Figura 3.15: Schermata dell'applicazione Hoops VR



Figura 3.16: Schermata dell'applicazione.
Dunk IT (VR BASKETBALL)

Capitolo 4

Progettazione di un sistema virtuale per l'allenamento al tiro libero del Basket

In questo capitolo saranno discusse le scelte progettistiche effettuate in termini di architettura del sistema, hardware e software.

4.1 Architettura del sistema

Il primo passo verso l'implementazione del sistema per l'allenamento in realtà virtuale è stata la progettazione di un'architettura per lo stesso. L'obiettivo principale del progetto di tesi è quello di permettere all'utente di allenarsi al tiro libero nel modo più fedele all'allenamento classico, in modo da poter fornire tramite la realtà virtuale un valore aggiunto in termini di feedback visivi impossibili da visualizzare in una sessione classica di allenamento. Per la definizione dell'architettura del sistema è stata stilata una lista di obiettivi che permettessero di soddisfare le priorità del progetto di tesi:

- tracciamento della palla (anche in ambienti con quantità di luce differente);
- creazione di una sensazione di immersione ottimale (visualizzazione del proprio corpo in virtuale, corretta interazione con la palla, presenza di fattori legati all'ambiente virtuale come ad esempio la presenza di tifosi)
- costi mantenuti

in [Fig.4.1] viene riportato uno schema dell'architettura.

4.2 Hardware

Di seguito saranno esposte le strumentazioni hardware e software utilizzate nell'implementazione del progetto di tesi.

4.2.1 HTC Vive Il sistema di realtà virtuale HTC Vive, prodotto da HTC e Valve Corporation il 5 Aprile 2016, impiega una tecnologia di tracking room scale

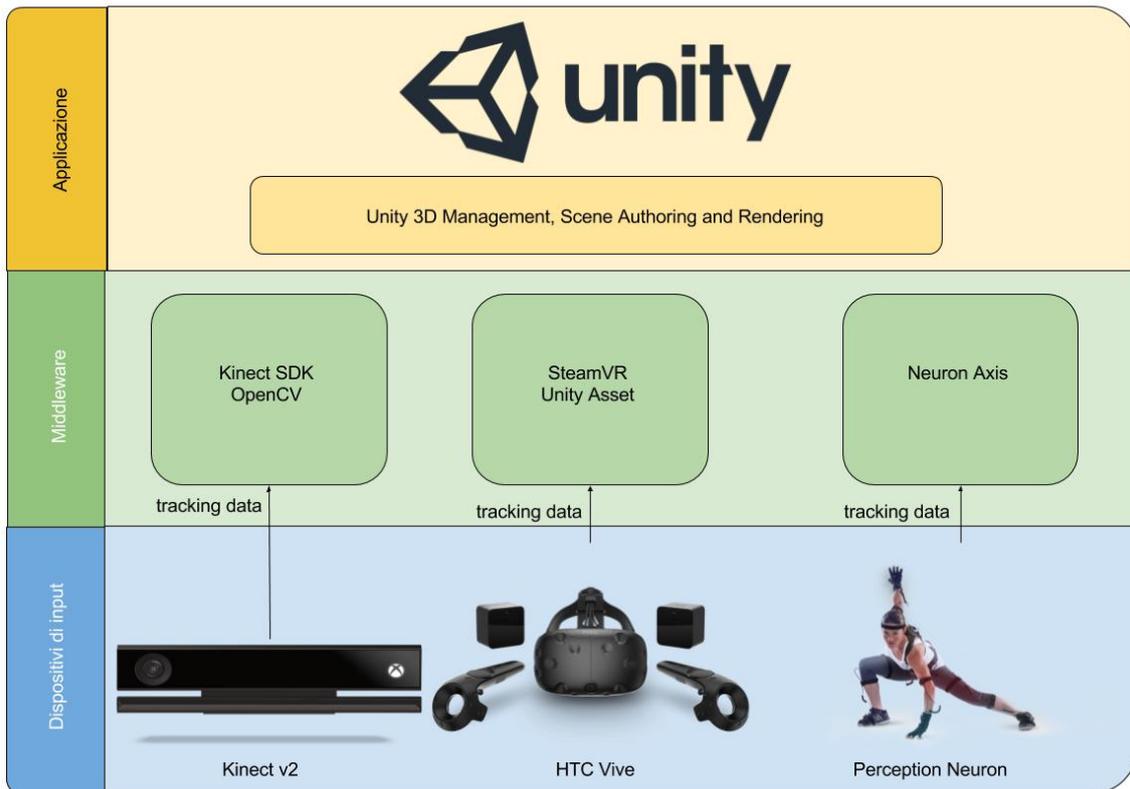


Figura 4.1: Architettura del progetto di tesi.

che permette all'utente di muovere ed usare nello spazio 3D i controller tracciati dal sistema per interagire con l'ambiente virtuale. ¹

4.2.1 Head Mounted Display Vive

Il visore indossabile del Vive è fornita da due lenti Fresnel non completamente circolari al fine di permettere di regolare diversi tipi di IPD (Interpupillary Distance) come si vede in dettaglio in [Fig.4.2]. Il visore indossabile del Vive è fornita da due lenti Fresnel non completamente circolari al fine di permettere di regolare diversi tipi di IPD (Interpupillary Distance) come si vede in dettaglio in [Fig.4.3]

L'HMD è fornito di molteplici sensori tra cui 32 sensori infrarossi per il tracking a 360 gradi, uno giroscopio, un accelerometro ed un sensore di posizione laser ², rendendolo un tracker con 6 DOF. In Tabella 4.1 un riassunto delle specifiche del HMD



Figura 4.2: HTC Vive: Head-Mounted Display (HMD).
<https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p3>

4.2.2 Controller Vive

Dotati di 24 sensori sull'anello superiore ³, i controller Vive forniscono 6DoF, 3 tasti, un touchpad cliccabile ed un sistema di force feedback che aggiunge un leggero feedback aptico. ⁴ In Tabella 2 un riassunto delle specifiche del controller Vive

4.2.3 Vive tracker

Il Vive tracker è un dispositivo che permette di aggiungere al sistema di HTC informazioni di tracking ed interazione legati ad un gran numero di possibili oggetti. Come i controller, il Vive tracker è dotato di 24 sensori distribuiti su tutta la superficie dello stesso, a meno del lato inferiore adibito al fissaggio, tramite una filettatura per vite standard da treppiedi, e all'estensione, tramite pin di tipo pogo, di funzioni tipiche dei controller come vibrazione, pulsanti e triggers.⁵ Nel progetto di tesi questo strumento è stato utilizzato per tracciare il braccio dell'utente.

¹Valve's VR headset is called the Vive and it's made by HTC
<https://www.theverge.com/2015/3/1/8127445/htc-vive-valve-vr-headset>

²HTC reveals virtual reality headset with Valve at MWC
<http://www.bbc.com/news/technology-31664948>

³<https://www.pcper.com/reviews/General-Tech/SteamVR-HTC-Vive-depth-Lighthouse-Tracking-System-Dissected-and-Explored/SteamV>

⁴Controller e base station.
<https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p5>

⁵ Design, Implementation, and Performance Evaluation of HLA in Unity
<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1107611/FULLTEXT01.pdf>

Tabella 4.1: riassunto specifiche principali dell'HMD Vive

	Specifiche HMD Vive
Tipo di schermo e dimensioni	Due AMOLED a bassa persistenza (Diamond PenTile subpixel matrix)
Risoluzione	1200 x 1080 (per occhi)
Refresh Rate	90 Hz
Campo visivo	110 gradi
Tipo di lenti	Fresnel
Modifica lenti	IPD, distanza lente-occhio
Sensori	Accelerometro, giroscopio
Tracking	Posizionamento 6 DOF basato su laser usando Base Station "Lighthouse"
Videocamera integrata	Si
Audio	Microfono, jack per cuffie esterne
Wireless	Bluetooth 4.1 (in Link Box) per Base Station e smartphone
Porte visore	HDMI 1.4, USB 3.0 x 2
Lunghezza cavo visore	5 m (più 1 m da Link Box a PC)
Materiali usati	Plastica, vetro, schiuma
Dimensioni	~190mm x ~127mm x ~89 – 127mm
Peso	563g (senza cavo)

Tabella 4.2: Riassunto specifiche principali del controller Vive

	Specifiche controller Vive
Input	Trigger analogico, touchpad/d-pad, tasto menu, tasto sistema
Feedback aptico	motori di vibrazione integrati
Batteria	Interna ai polimeri di litio (LiPo), mAh sconosciuti
Autonomia	Oltre 5 ore
Materiali	Plastica
Dimensioni	Impugnatura: ~180mm x ~52mm x ~32mm, Sensori: ~118mm x ~100mm x 42mm, Lunghezza co
Peso	207g
Tracking	Posizionamento 6 DOF basato su laser usando Base Station "Lighthouse"
Videocamera integrata	Si
Audio	Microfono, jack per cuffie esterne
Wireless	Bluetooth 4.1 (in Link Box) per Base Station e smartphone
Porte visore	HDMI 1.4, USB 3.0 x 2
Lunghezza cavo visore	5 m (più 1 m da Link Box a PC)
Materiali usati	Plastica, vetro, schiuma
Dimensioni	~190mm x ~127mm x ~89 – 127mm
Peso	563g (senza cavo)



Figura 4.3: HTC Vive: in dettaglio le lenti Fresnel del HMD con differenti impostazioni di IPD.

<https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p3>

4.2.4 Base stations Vive

Le due base stations Vive permettono un tracking a 360 grazie all'emissione di luce ad infrarossi e 2 emettitori di laser. I led ad infrarossi lampeggiano con una frequenza di 120Hz, i fasci laser emessi a 60 Hz. ⁶ I sensori posizionati su controllers, HMD ed eventuali tracker aggiuntivi rilevano la luce ad infrarossi e dell'emettitore laser. Basandosi sulla posizione dei singoli sensori rispetto all'oggetto tracciato, sul numero di volte che un flash ad infrarossi ha colpito il suddetto sensore e quando questo è stato irradiato è possibile tracciare con un'ottima precisione la posizione e l'orientamento di ogni oggetto nell'area coperta dalle base stations. ⁷

⁶<https://www.pcper.com/reviews/General-Tech/SteamVR-HTC-Vive-depth-Lighthouse-Tracking-System-Dissected-and-Explored/SteamV>

⁷<https://gizmodo.com/this-is-how-valve-s-amazing-lighthouse-tracking-technol-1705356768>



Figura 4.4: HTC Vive: in dettaglio i controller.
<https://www.tomshw.it/recensione-htc-vive-75897-p5>

4.2.5 Kinect 2.0

Microsoft Kinect V2 è un dispositivo di motion sensing sviluppato da Microsoft Corporation nel 2013⁸. Grazie al rilascio dell'SDK per developers, è diventato un device versatile per un'ampia gamma di contesti oltre che per il gaming, per il quale era stato inizialmente progettato, come ad esempio la computer animation, robotica e realtà virtuale.

Come mostrato in Fig. 4.2.5 all'interno del device sono presenti diversi sensori:

- camera RGB;
 - sensore di profondità;
 - emettitori infrarossi
- La camera RGB offre una risoluzione full HD ed un frame-rate di 30 Hz in condizioni di luce ottimali, 15 Hz in presenza di bassa luminosità

⁸Microsoft's new Kinect is official: Larger field of view, HD camera, wake with voice.
<https://www.engadget.com/2013/05/21/microsofts-new-kinect-is-official/>

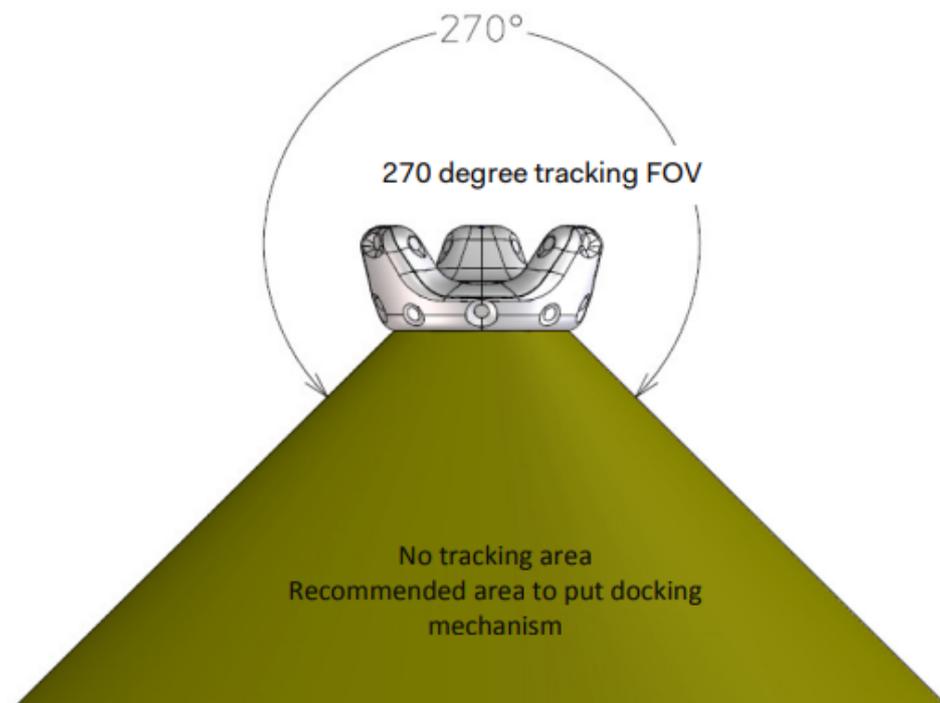
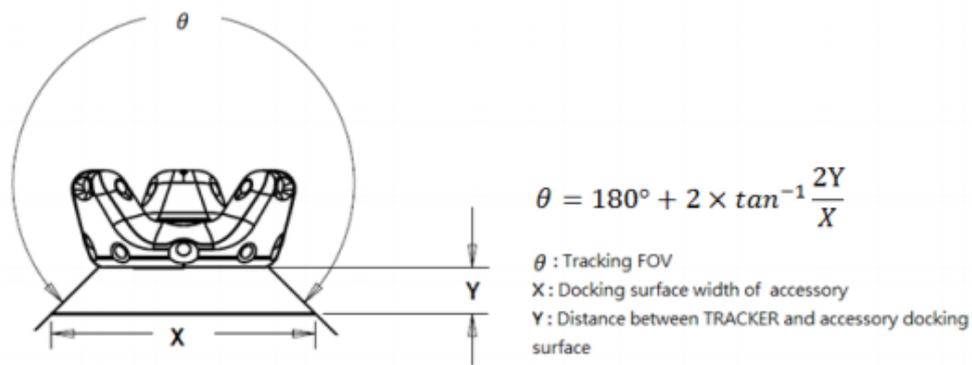


Figura 4.5: HTC Vive: in dettaglio area di tracking del Vive tracker.

https://dl.vive.com/Tracker/Guideline/HTCViveTrackerDeveloperGuidelines_v1.3.pdf

ambientale. In Fig. 4.8 sono riportati i valori della Field Of View del sensore RGB. Il sensore di profondità offre una risoluzione di 512 x 424 pixel ed un framerate di 30 Hz. Con questo sensore è possibile misurare con una certa accuratezza distanze fra 0.5 e 4.5 metri. In Fig.4.9 sono riportati i valori della Field Of View del sensore di profondità ⁹

Nel progetto di tesi questo strumento è stato utilizzato per il tracciamento 3D di una palla.

4.2.6 Perception neuron

Perception Neuron è una tuta adattiva ed inerziale di Motion Capture prodotta dalla Noitom. I cosiddetti neuroni sono le parti principali del device, sono degli

⁹<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/hardware>



Figura 4.6: HTC Vive: in dettaglio una base station disassemblata. In alto a sinistra si notano i led infrarossi. Sul lato sinistro ed inferiore gli emettitori laser. <https://www.pcper.com/reviews/General-Tech/SteamVR-HTC-Vive-depth-Lighthouse-Tracking-System-Dissected-and-Explored/SteamV>

IMU a 9 DOF applicati sul corpo dell'utente e connessi ad un hub il quale trasmette i dati acquisiti dai neuroni al pc tramite cavo USB o connessione WiFi. La tuta può monitorare lo stato di un numero di neuroni che va da 1 a 32 ¹⁰, permettendo diverse configurazioni standard con diversi livelli di dettaglio, come ad esempio:

- 10 Neuroni per tracciare la parte superiore del corpo o una sola mano
- 20 Neuroni per tracciare il corpo intero o entrambe le mani
- 30 Neuroni per tracciare il corpo intero ed entrambe le mani

Ognuno di questi piccoli IMU consiste in un giroscopio da 2000dps (degrees per second), accelerometro 16g, magnetometro ed un sistema integrato di calcolo e calibrazione che fornisce dati con una frequenza di 60Hz. ¹¹ In tabella ?? sono riassunte le specifiche tecniche della tuta.

Nel progetto di tesi questo strumento è stato utilizzato per visualizzare le articolazioni della mano del braccio tracciato.

¹⁰<https://xinreality.com/wiki/Perception>

¹¹Project PERCEPTION NEURON: Motion Capture, VR and VFX. <https://www.kickstarter.com/projects/1663270989/project-perception-neuron>

Tabella 4.3: Riassunto specifiche principali del controller Vive

	NEURON
Size:	12.5mm x 13.1mm x 4.3mm*
Dynamic range:	360 deg
Accelerometer range:	16g
Gyroscope range:	2000 dps
Resolution:	0.02 deg
	Static accuracy
Roll:	<1 deg
Pitch:	<1 deg
Yaw angle:	<2 deg
Wireless	Bluetooth 4.1 (in Link Box) per Base Station e smartphone
Porte visore	HDMI 1.4, USB 3.0 x 2
Lunghezza cavo visore	5 m (più 1 m da Link Box a PC)
Materiali usati	Plastica, vetro, schiuma
Dimensioni	~190mm x ~127mm x ~89 – 127mm
Peso	563g (senza cavo)

Tabella 4.4: My caption

	HUB
Size:	59mm x 41mm x 23mm
Max. connected sensors:	32
Output:	USB 2.0, WIFI or Onboard Micro-SD Card Recording
Max Output rate:	60 fps with 32 Neurons, 120 fps with 18 Neurons
Power:	USB External Battery

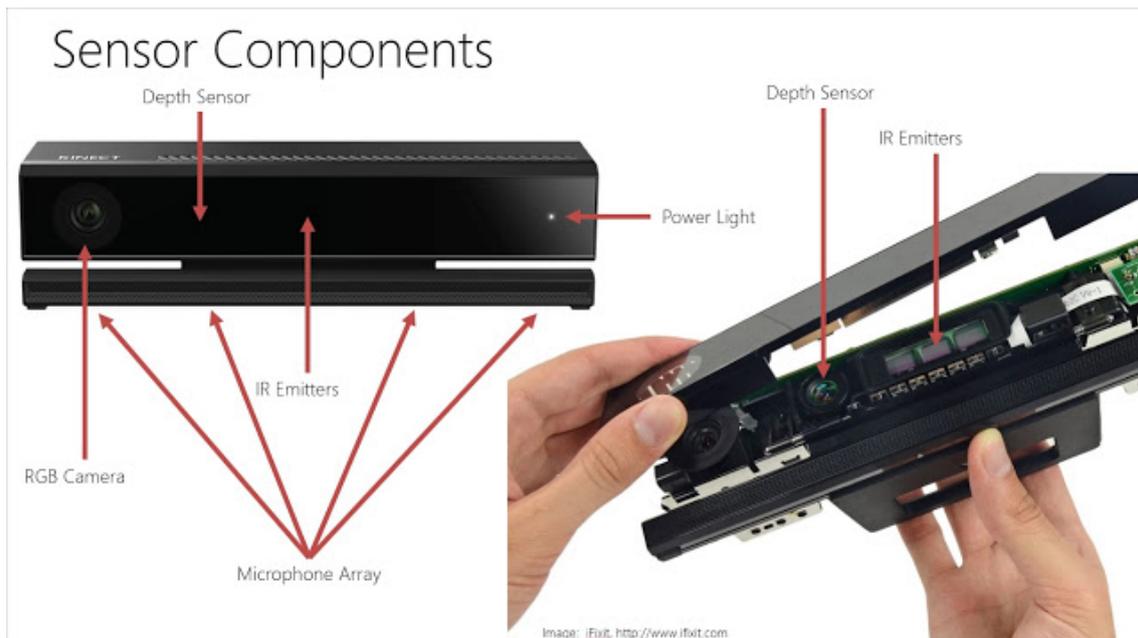


Figura 4.7: Kinect v2: in dettaglio posizionamento dei sensori all'interno del dispositivo https://www.physio-pedia.com/images/d/d9/Microsoft_Kinect.png

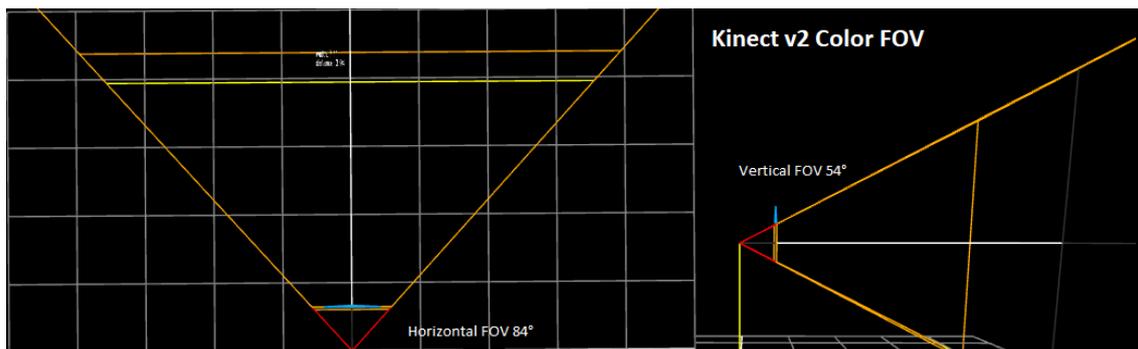


Figura 4.8: Kinect v2: in dettaglio FOV della camera RGB

4.3 Software

4.3.1 Unity 3D

Unity è un game engine cross-platform, sviluppato da Unity Technologies utilizzato principalmente per sviluppare videogiochi e simulazioni in grafica 2D o 3D tramite scripting in C e Javascript. Una peculiarità di Unity è la moltitudine di piattaforme supportate per lo sviluppo tra cui: Android, Android TV, Facebook Gameroom, Fire OS, Gear VR, Google Cardboard, Google Daydream, HTC Vive, iOS, Linux, macOS, Microsoft HoloLens, Nintendo 3DS family, Nintendo Switch, Oculus Rift, PlayStation 4, PlayStation Vita, PlayStation VR, Samsung Smart TV, Tizen, tvOS, WebGL, Wii U, Windows, Windows Phone, Windows Store e Xbox One.¹²

Unity dispone inoltre di un database di librerie, modelli, prefab e script gratuiti ed a pagamento chiamato Asset Store. Questo aspetto e la presenza di asset standard agevolano lo sviluppo di progetti complessi. Nel progetto di tesi questo strumento è

¹² Unity - Multiplatform. <https://unity3d.com/unity/features/multiplatform>

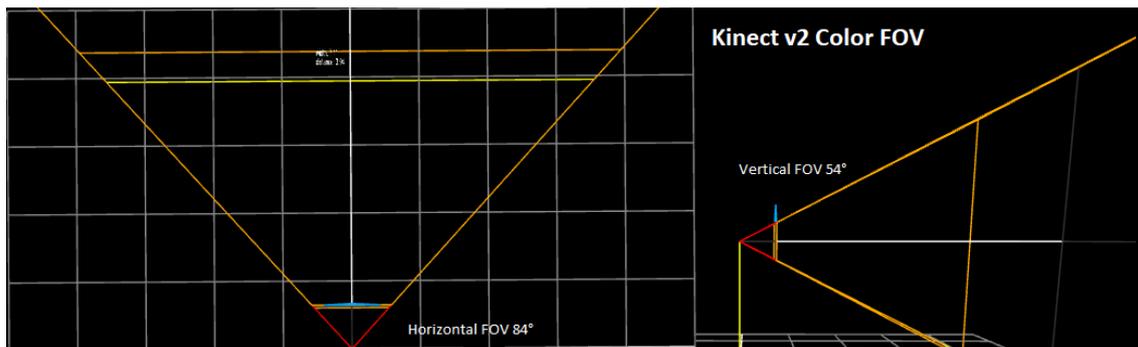


Figura 4.9: Kinect v2: in dettaglio FOV del sensore di profondità



Figura 4.10: A sinistra la struttura a strappi indossabili della tuta, a destra il dettaglio del guanto <http://www.moguravr.com/perception-neuron-sale-japan/>

stato utilizzato per gestire il tracciamento del braccio e dell'HMD del vive, registrare e misurare la differenza dei movimenti effettuati dagli utenti.

4.3.2 Axis Neuron

Axis Neuron è il software legato alla Perception Neuron progettato per gestire e calibrare la tuta ed effettuare Motion Capture. Oltre alla possibilità di definire l'altezza dell'utente e la possibilità di filtrare o effettuare uno smoothing dei dati, una delle più importanti funzionalità del software è quella di inviare in streaming i BVH (Motion Capture Data) tramite TCP¹³. Ciò rende l'utilizzo della tuta modulare e di facile implementazione in diversi software, tra cui Unity3D. Nel progetto di tesi questo strumento è stato utilizzato per visualizzare le articolazioni della mano del braccio tracciato.

¹³Axis Neuron Software.
<https://neuronmocap.com/content/axis-neuron-software>

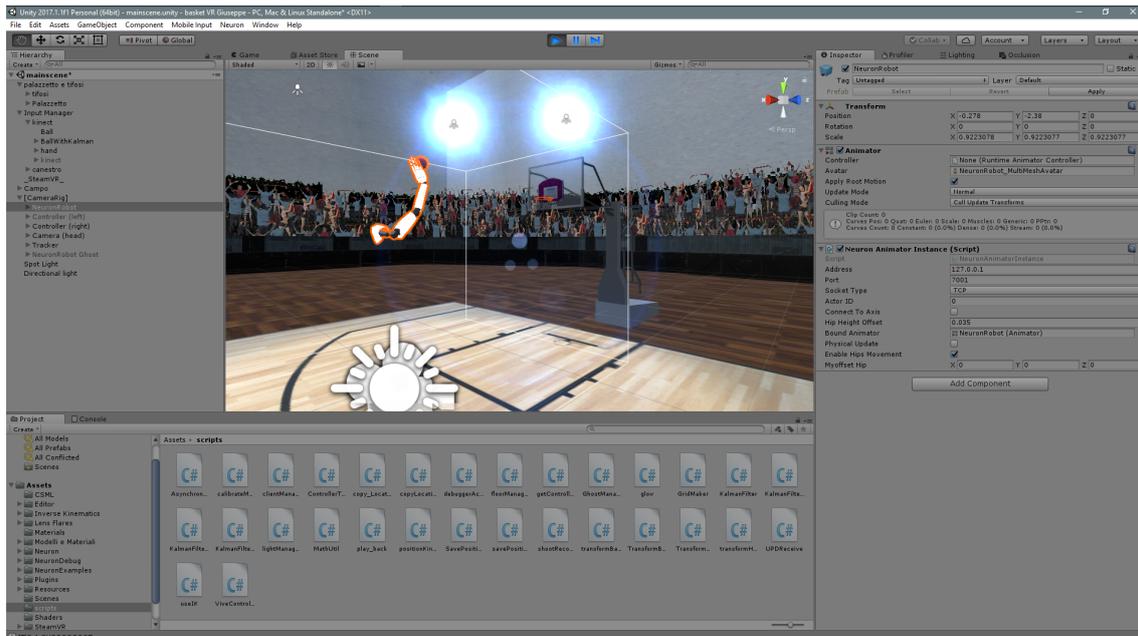


Figura 4.11: Unity3D interfaccia grafica dell'editor

4.3.3 Kinect SDK

Microsoft Inc. distribuisce gratuitamente lo strumento di sviluppo per il kinect, fornendo funzioni semplificate per diversi tipi di compiti, tra cui:

- riconoscimento e tracciamento del corpo e giunti fino a 6 utenti;
- tracciamento facciale con la possibilità di creare una mesh della faccia con una risoluzione di almeno 1000 vertici;
- riconoscimento ed utilizzo di comandi vocali;
- accesso ai flussi e sincronizzazione dei dati dei sensori del kinect;

Inoltre, questo strumento semplifica lo sviluppo di applicazioni WPF per windows.¹⁴ Insieme alla documentazione viene distribuito un ulteriore strumento chiamato “SDK Browser v2.0” che offre un grosso numero di esempi da poter utilizzare come base di partenza per i progetti Kinect. Nel progetto di tesi questo strumento è stato utilizzato per tracciare la posizione 3D di una palla.

4.3.4 Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio è un ambiente di sviluppo sviluppato da Microsoft utilizzato per sviluppare applicazioni per i sistemi operativi Windows, siti web, web app, servizi web e applicazioni per mobile. Visual Studio utilizza delle piattaforme di sviluppo come Windows Store, Windows API, Windows Forms, ecc.. Tra le principali funzionalità è possibile annoverare:

- editor per coding;

¹⁴<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/develop>

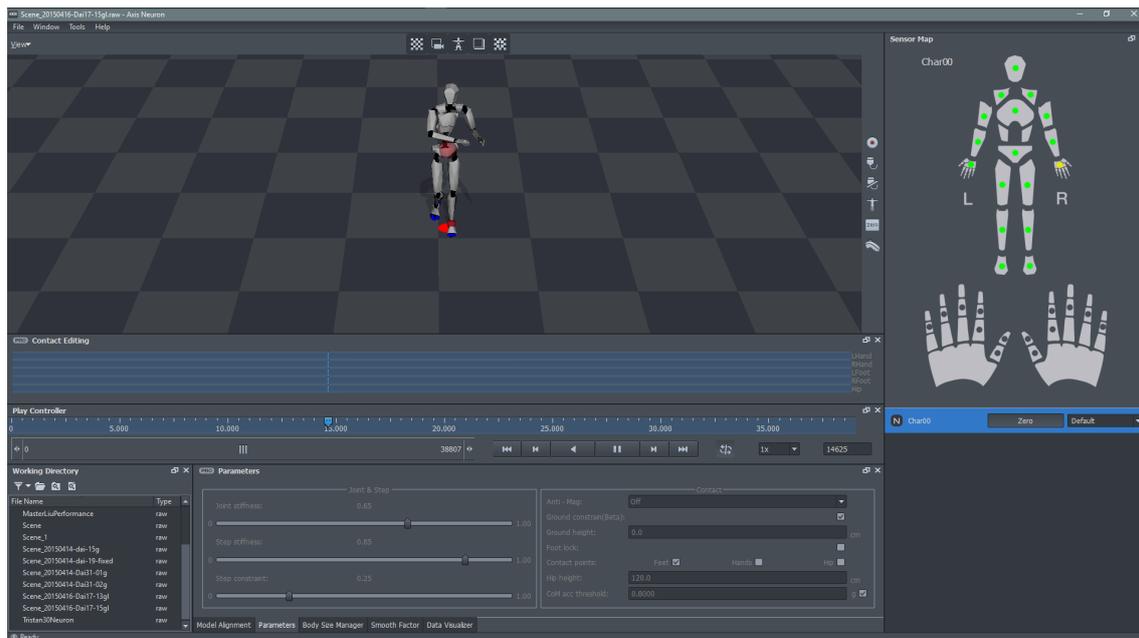


Figura 4.12: Axis Neuron: interfaccia grafica dell'editor

- debugger;
- strumenti per designer;
- compatibilità con git;
- possibilità di installare estensioni

Visual Studio supporta nativamente molti linguaggi di programmazione inclusi C, C++ e C#. Il set di linguaggi supportati può essere allargato installando servizi aggiuntivi. Alcuni linguaggi che necessitano questo tipo di installazione sono ad esempio Python, Ruby, Node.js ecc.. Infine, Visual Studio può essere utilizzato come editor per lo sviluppo di progetti in Unity. Nel progetto di tesi questo strumento è stato utilizzato per sviluppare tutti gli script in Unity e per lo sviluppo dell'applicazione WPF che si interfaccia con il Kinect per il tracciamento della palla.

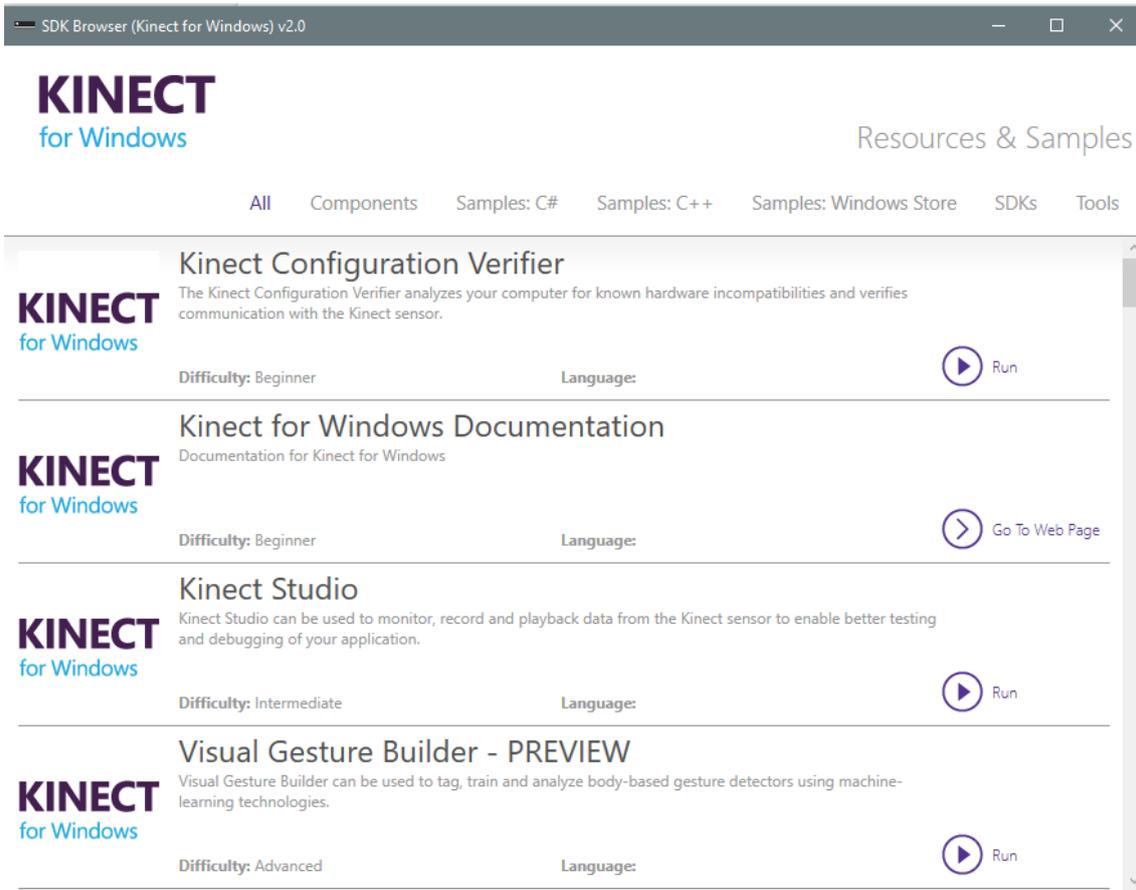


Figura 4.13: SDK Browser v2.0

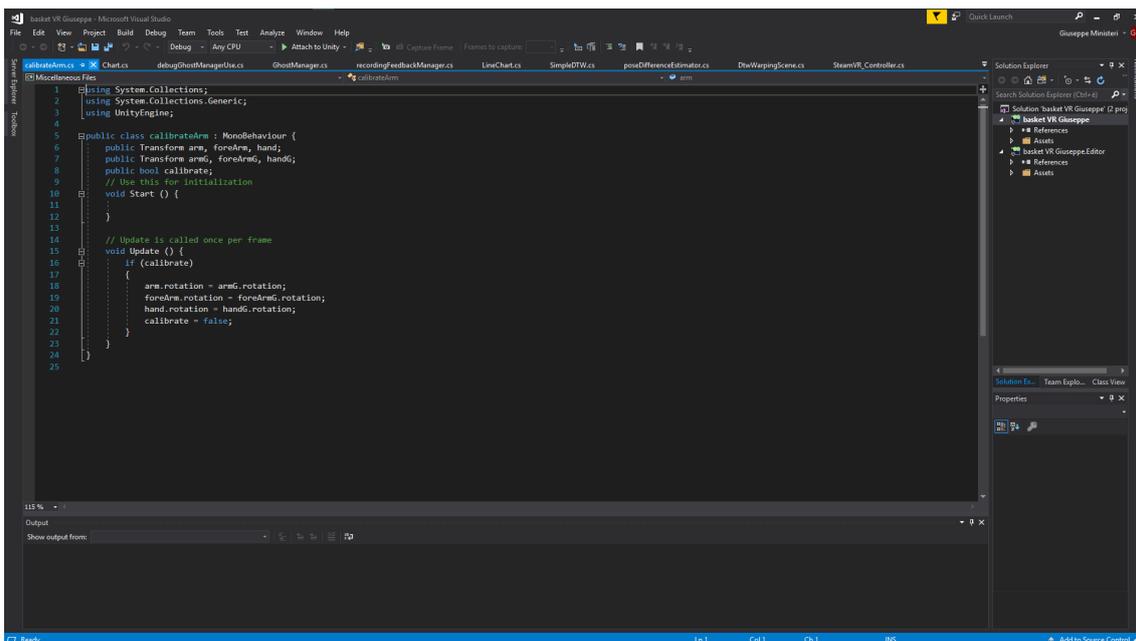


Figura 4.14: Interfaccia di Visual Studio 2017

Capitolo 5

Realizzazione e valutazione

In questo capitolo saranno descritte le modalità in cui sono stati sviluppati diversi moduli del sistema virtuale per l'allenamento al tiro libero del Basket.

5.1 Tracciamento della palla

Per effettuare il tracciamento della palla nello spazio 3D è stato sviluppato un'applicazione WPF scritta in C tramite Microsoft Visual Studio 2017. Nella fase iniziale del lavoro sono stati analizzati e studiati diversi esempi forniti con il Kinect SDK, in particolare “Color Basics WPF”, “Depth Basics WPF”, “Coordinate Mapping Basics WPF” e “Body Index Basics WPF”. A partire da questi esempi è stato scritto il codice per ottenere le informazioni dei sensori RGB e ad infrarossi sotto forma di immagini a cui sarà riferimento nel resto del documento come frame RGB e frame Depth. L'esposizione al fattore ambientale illuminazione, per via della variazione della fonte di illuminazione naturale o artificiale, si è rivelato uno dei principali dati di limite riscontrati, che ha determinato delle difficoltà nel tracciamento della palla. Per questo motivo sono state utilizzate le immagini derivate dai due sensori, le quali sono state trattate con diverse fasi di elaborazioni, legate alla natura delle informazioni fornite dai sensori stessi. Ogni immagine è stata elaborata tramite l'utilizzo della libreria OpenCV per estrapolare l'informazione della palla come verrà descritto nei seguenti paragrafi (5.1,5.1.1,5.1.2,5.1.3). E' possibile descrivere in tre macro passaggi il flusso di questa applicazione

1. Ricerca della palla attraverso l'elaborazione di dati 2D.
2. Mapping delle coordinate al sistema di coordinate 3D del kinect.
3. Invio dei dati tramite socket TCP al progetto Unity.

5.1.1 Fase di calibrazione

Affinché possa avvenire la corretta ricerca della palla nei fotogrammi della camera RGB è necessario effettuare una operazione di calibrazione. In questa fase l'utente seleziona un pixel, che dovrà appartenere alla palla, da un frame della camera dal quale estrarre l'informazione del colore della palla. Il colore del pixel selezionato viene salvato nel formato HSV. Durante la fase di calibrazione, inoltre, è possibile

settare il valore di soglia dei singoli valori Hue, Saturation, Value che verranno utilizzati nell’algoritmo di tracciamento. La calibrazione è essenziale per far sì che le condizioni di luce che possono variare durante le fasi delle giornate condizionino nel minor modo possibile il tracciamento.

5.1.2 Ricerca palla frame color

Lo step successivo riguarda una serie di operazioni che è possibile svolgere relativamente al duale rapporto ricerca palla e frame color. Partendo dall’immagine a colori della camera il programma effettua le seguenti operazioni

1. Sfocatura tramite gaussian blur per ridurre il rumore.
2. Conversione dello spazio RGB ad HSV.
3. Sogliatura sulla base della calibrazione ed estrapolazione di una mappa binaria.
4. Operazione di chiusura tramite operatori morfologici di erosione e dilatazione per rimuovere ulteriore rumore.
5. Ricerca dei contorni.
6. Selezione del centro del contorno con l’area maggiore ed inclusa nel range ricavato sperimentalmente e che dipendono dalla dimensione e distanza minima e massima della palla dal sensore.

I passaggi descritti sopra sono eseguiti, con una tolleranza maggiore, prima su una regione di interesse descritta attorno al pixel in cui è stata tracciata la palla nel frame precedente, e poi su tutto il frame RGB.

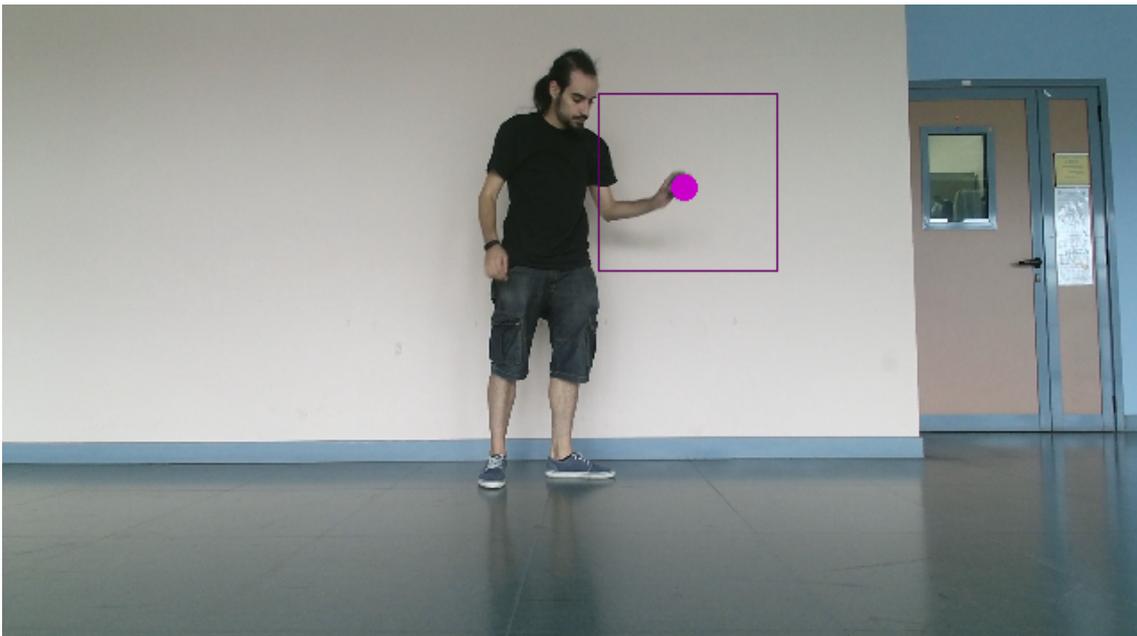


Figura 5.1: Riconoscimento della palla nel frame color

5.1.3 Ricerca palla frame depth

L'immagine ricavata dai sensori ad infrarossi della Kinect è un'immagine in scala di grigi. I pixel dell'immagine colorati di nero sono quelli per i quali non si ha un'informazione: la mancanza di informazione può essere dettata dal rumore dei sensori, dal materiale colpito dai raggi infrarossi dei sensori (in particolare i materiali riflettenti), dalla posizione al di fuori del range della sensibilità del sensore dell'oggetto colpito dagli infrarossi (troppo vicino o troppo lontano). La scala di grigi dell'immagine, a parte per i valori di nero descritti sopra, rappresenta la distanza dell'oggetto dal sensore: più il valore del pixel si avvicina a 255 (bianco) e più la distanza è grande e viceversa. Per questo motivo è possibile settare tramite l'interfaccia grafica un valore di soglia utile ad eliminare le informazioni relative a tutti i pixel che rappresentano oggetti oltre il range di interazione con la palla. Insieme all'immagine in scala di grigi, vengono recuperate tramite il Kinect SDK le informazioni dei giunti, se presenti, dell'utente. Partendo dall'immagine a in scala di grigi vengono effettuate le seguenti operazioni

1. Operazione di sogliatura per eliminare oggetti troppo lontani ed ottenere un'immagine binaria.
2. Ad ogni frame ricevuto viene effettuata una differenza tra il frame precedente e quello ricevuto.
3. Sfocatura tramite gaussian blur per ridurre il rumore.
4. Operazione di chiusura tramite operatori morfologici di erosione e dilatazione per rimuovere ulteriore rumore.
5. Ricerca dei contorni.
6. Selezione del centro del contorno con l'area maggiore ed inclusa nel range ricavato sperimentalmente e che dipendono dalla dimensione e distanza minima e massima della palla dal sensore.

Come per il frame RGB, i passaggi descritti sopra sono eseguiti prima su una regione di interesse descritta attorno al pixel in cui è stata tracciata la palla nel frame precedente, e poi su tutto il frame Depth.

5.1.4 Estrapolazione e criterio di selezione dei dati 3D

In questo paragrafo vengono descritti i criteri di selezione dei dati 3D nel caso in cui le elaborazioni di tracciamento a partire da entrambi i sensori diano un risultato positivo. L'elaborazione del frame Depth non è sensibile al colore dell'oggetto da tracciare, ma è capace di tracciare gli oggetti in movimento con frame rate fisso di 30 fps. Il frame rate dei campioni ottenuti dalla camera RGB del kinect 2 è di 30 fps in condizioni di luce ottimale, e può diminuire fino a 15 fps in condizioni peggiori. Di conseguenza, anche con buone condizioni di luce, movimenti troppo veloci della palla generano immagini sfocate che quindi non contengono la stessa informazione di colore riconoscibile dall'algoritmo. Con questa premessa è possibile comprendere l'importanza complementare delle informazioni estrapolate dai due sensori, così come i dati di tracciamento ottenuti dalle immagini dei sensori hanno un'accuratezza



Figura 5.2: Immagine estrapolata dai sensori ad infrarossi

maggiore se ottenuti dalla camera (si basano sull'informazione del colore) piuttosto che dal sensore ad infrarossi. Una volta ottenuti i dati 2D si procede con il mapping al sistema di coordinate 3D del kinect, chiamato CameraSpace ¹. La classe CoordinateMapper del kinect SDK permette di mappare un punto, e quindi un pixel, a partire dal frame di un sensore fino al CameraSpace. A questo punto, per le motivazioni spiegate ad inizio paragrafo, viene utilizzato un algoritmo di discriminazione dei dati da inviare descritto in Fig.5.3

5.2 Calibrazione sistemi di riferimento Kinect - HTC Vive

Nel progetto in Unity una mesh sferica riceve tramite socket i dati ricavati dal Kinect. Questi dati sono espressi nel CameraSpace del Kinect che non è necessariamente allineato con il sistema di riferimento del Vive. Con questo fine è stato sviluppata un modulo di calibrazione che si pone come obiettivo quello di trovare la trasformazione rigida tra i due sistemi di riferimento, così da poter posizionare un gameobject nella scena di Unity che rappresentasse il Kinect e poter applicare direttamente le coordinate del tracciamento alla mesh sferica posta come figlia di

¹<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn785530.aspxID4EDB>

KINECT

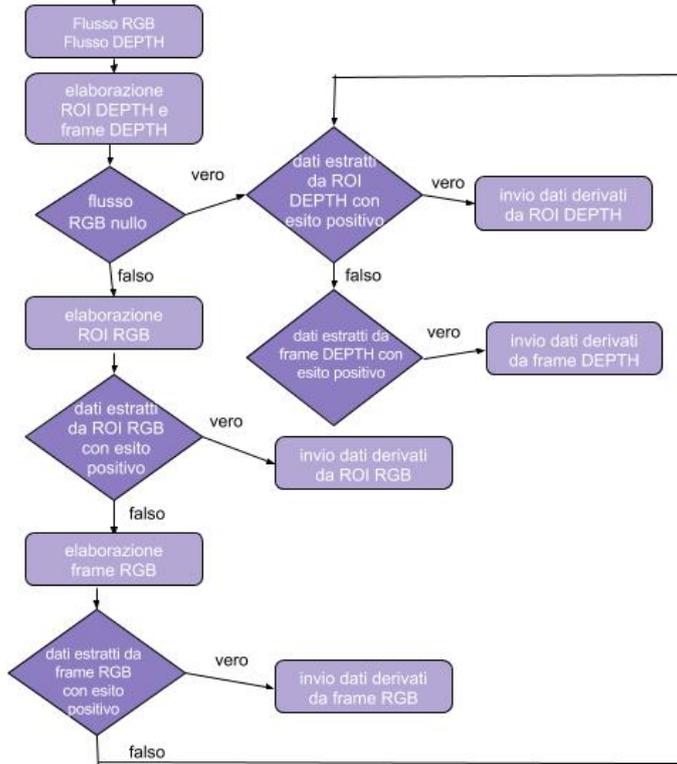


Figura 5.3: Algoritmo di selezione dei dati da inviare

questo gameobject. Il procedimento per ricavare tale trasformazione richiede due set di punti, uno espresso nel sistema di riferimento del kinect (a cui si farà riferimento come dataset A) , uno nel sistema di riferimento del Vive (a cui si farà riferimento come dataset B). L'equazione da risolvere è espressa come:

$$B = R * A + t$$

Con A e B vettori rappresentanti i dataset di punti e le matrici R e t da calcolare (rispettivamente matrice di rotazione e matrice di traslazione) il primo passo è quello di trovare il centroide, ovvero il punto medio, di ogni dataset:

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$centroide_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_A^i$$

$$centroide_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_B^i$$

Per definire la matrice di rotazione a partire dal centroide bisogna definire una matrice H tale che i due dataset abbiano la stessa origine

$$H = \sum_{i=1}^N (P_A^i - centroide_A)(P_B^i - centroide_B)^T$$

Siccome il numero di punti appartenenti ai due dataset è uguale, la matrice H sarà una matrice quadrata. Applicando la decomposizione a valori singolari ad H il le matrici in uscita saranno della stessa dimensione.

$$[U, S, V] = SVD(H)$$

La matrice di rotazione a questo punto è calcolata come

$$R = VU^T$$

Da cui è possibile ricavare la matrice di traslazione come

$$t = -Rx_{centroide_A} + centroide_B$$

Per creare i due dataset è stata posizionata una palla virtuale sul controller del Vive in Unity e la palla reale sul controller reale. I dati relativi alla palla reale estrapolati dal kinect sono utilizzati per il dataset A, quelli della palla virtuale sono stati utilizzati per il dataset B.

5.3 Visualizzazione del braccio dell'utente

Per visualizzare il braccio dell'utente nella scena virtuale, sono stati utilizzati due tracker aggiuntivi posizionati sul braccio e avambraccio dell'utente. Per questo motivo è stato necessario stampare in 3D dei supporti che tramite l'aggiunta di una vite da 1/4" e delle fascette in velcro permettono una tenuta stabile dei dispositivi.

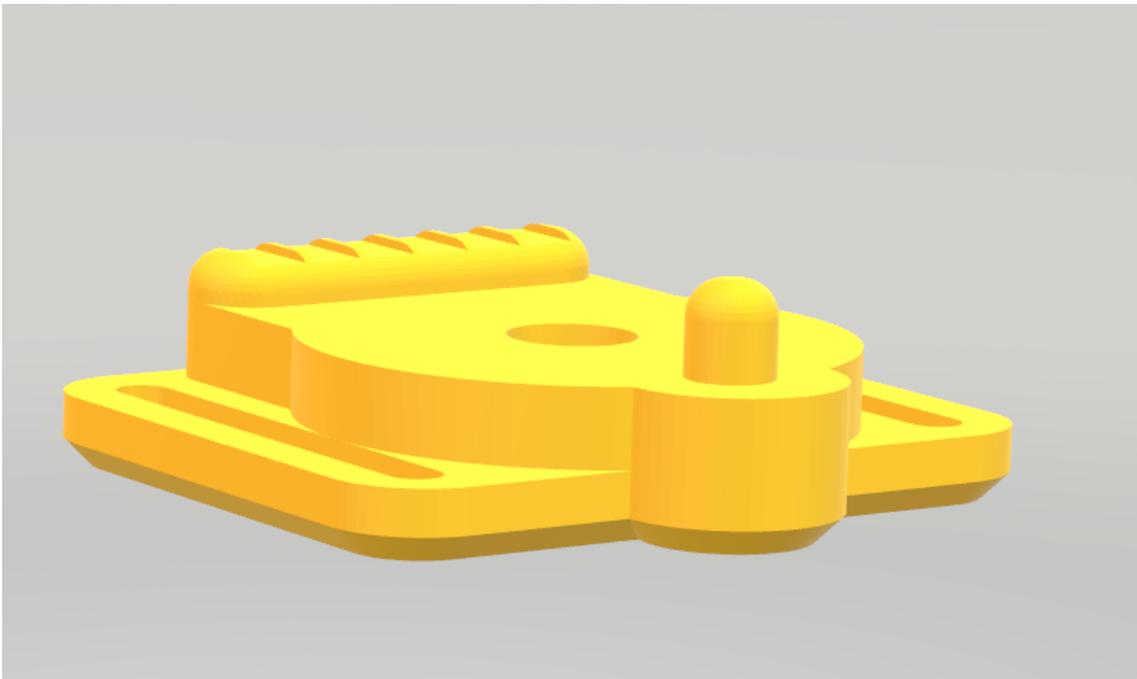


Figura 5.4: Visione in 3D del supporto stampato

Questi supporti però non permettono un posizionamento univoco dei tracker sulle braccia. Per ovviare al problema, anche in questo caso, è stato implementato un modulo di calibrazione. Su Unity, una mesh semitrasparente guida l'utente affinché

posizioni il braccio parallelamente al terreno. Una volta generato l'input con un controller del Vive, la mesh relativa al braccio dell'utente si allinea al braccio semitrasparente come in Fig.5.5 Infine, sono stati utilizzati gli input del guanto della tuta da mockup Perception Neuron per la visualizzazione virtuale delle articolazioni della mano: a causa della scarsa precisione e della deriva delle misurazioni, che cresce molto velocemente nel tempo, si è scelto di utilizzare solo il guanto e non tutta la tuta.



Figura 5.5: Fase di calibrazione del braccio

5.4 Ambiente virtuale

Una delle caratteristiche principali del progetto di tesi, i feedback in tempo reale, sono totalmente gestiti dall'interfaccia 3D tra l'utente e l'ambiente. I feedback riguardano due informazioni:

- la correttezza del movimento dell'utente in termini di:
 1. grafici che mostrano l'errore temporale e spaziale [Fig. 5.11]
 2. giunti colorati in base alla differenza tra riferimento e braccio dell'utente
- registrazione del movimento dell'utente;



Figura 5.6: L'ambiente 3D in cui si svolge il test

Figura 5.7: Prima di iniziare ogni registrazione, al tester è mostrato un conto alla rovescia durante il quale è possibile allinearsi con la posizione di partenza del modello di riferimento



Figura 5.8: Un tester inizia un tiro seguendo il riferimento. I giunti con una colorazione verde danno l'informazione di correttezza del movimento, una etichetta in alto indica che il movimento è fase di registrazione

5.5 Verifica sperimentale

Il sistema implementato e descritto nei capitoli precedenti permette idealmente l'allenamento al tiro a canestro, senza alcun valore aggiunto rispetto all'allenamento



Figura 5.9: Un tester è in fase di conclusione di un tiro seguendo il riferimento.

classico. Per soddisfare il quesito di ricerca del progetto di tesi è stato implementato un modulo capace di effettuare una misurazione oggettiva del movimento dell'utente prendendo spunto dal lavoro svolto in una recente pubblicazione di Paravati G. [29] nel quale si verifica la correttezza di un compito di animazione assegnato agli studenti in modo automatico utilizzando la metrica dell'algoritmo di dynamic time warping e le distanze euclidee tra punti appartenenti a delle nuvole di punti. nel quale si verifica la correttezza di un compito di animazione assegnato agli studenti in modo automatico utilizzando la metrica dell'algoritmo di dynamic time warping e le distanze euclidee tra punti appartenenti a delle nuvole di punti.

5.5.1 Dynamic time warping

Il dynamic time warping è un algoritmo che misura la similarità fra due sequenze temporali che possono variare in modo lineare o meno termini di velocità. A partire da due serie temporali x di lunghezza N ed y di lunghezza M viene costruita una matrice di distanze D di dimensioni $N \times M$ in cui un elemento $D(i,j)$ rappresenta la distanza euclidea fra $x(i)$ ed $y(j)$. Sommando i valori della matrice che appartengono al percorso che va dall'elemento $D(N,1)$ all'elemento $D(1,M)$ col valore minore, è possibile definire quale sia la distanza tra le due serie. Data la matrice D è possibile costruire una matrice di costi accumulati C . La matrice C è costruita inizializzando la prima colonna e l'ultima riga con i valori della matrice D :

$$C(1, m) = D(1, m) \forall m | 1 \leq m \leq M, m \in Z$$

$$C(n, 1) = D(n, 1) \forall n | 1 \leq n \leq N, n \in Z$$

tutti gli altri elementi invece sono definiti come segue:

$$C(i, j) = \min(C(i-1, j-1), C(i-1, j), C(i, j-1) + D(i, j))$$

Ogni elemento $C(i,j)$ della matrice C rappresenta, quindi, la somma minima delle distanze accumulate partendo dall'elemento $D(1,M)$ fino all'elemento stesso. Ricercando il percorso con il minor costo che va dall'elemento $D(1,M)$ fino al $D(N,1)$ possibile ricondurre la corrispondenza tra le due serie. L'operazione di warping consiste nell'applicare ogni coppia di indici appartenenti al percorso con il minor costo accumulato a una delle due serie.

Organizzazione del test e implementazione dei feedback per l'utente

Il test è stato organizzato in 3 macro blocchi:

- registrazione del movimento del braccio dell'utente;
- utilizzo alternato da ogni utente del sistema di allenamento in realtà virtuale e classico secondo lo schema: Utente1: test in sistema virtuale, test in sistema classico; Utente successivo: test in sistema classico, test in sistema virtuale;
- compilazione del un questionario valutativo da parte dell'utente.

La prima fase è stata effettuata registrando con una telecamera l'utente che effettua il movimento e salvando contemporaneamente i dati di posizione e orientamento di ogni giunto. Durante l'utilizzo dei sistemi di allenamento invece sono state registrate le sequenze temporali degli angoli solidi tra giunti (spalla e gomito) e il sistema di coordinate del mondo. Il sistema di allenamento classico è stato preparato proiettando il video dell'utente che effettua il movimento come in Fig.??



Figura 5.10: Un tester che effettua il tiro con il sistema di allenamento classico

Il sistema di allenamento in realtà virtuale prevede la visualizzazione di un braccio semitrasparente che effettua il movimento precedente registrato. L'utente può verificare grazie ai feedback in tempo reale la somiglianza tra la posizione dei suoi giunti e quella del braccio di riferimento. Ad ogni giunto del braccio dell'utente è posizionata una sfera. Se la sfera è colorata di verde allora l'angolo solido tra il giunto

dell'utente ed il sistema di riferimento globale è simile a quello tra il giunto equivalente nel braccio di riferimento ed il sistema di riferimento globale (vedi Fig.5.11). Un ulteriore feedback fornito all'utente riguarda i tiri effettuati: nel sistema virtuale è possibile visualizzare due grafici. Uno rappresenta le medie per ogni tiro delle distanze ottenute dal dynamic time warping applicato alle sequenze di angoli dei giunti, l'altro la differenza media tra gli elementi della sequenza di angoli dei giunti del braccio di riferimento e la sequenza degli angoli registrata sul tiro dell'utente a cui è stata applicata la funzione di warping.

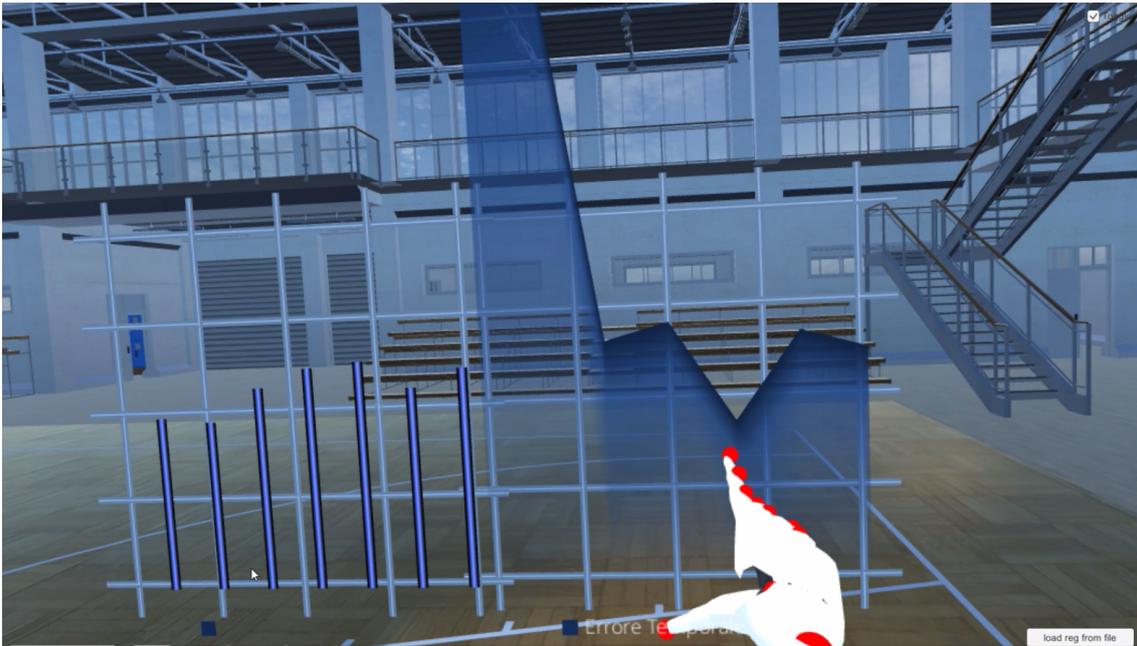


Figura 5.11: Feedback mostrato all'utente nell'ambiente virtuale

Capitolo 6

Risultati

In questo capitolo sono riassunti i risultati oggettivi e soggettivi scaturiti dai test effettuati su un campione di 18 utenti di cui 2 di sesso femminile e 16 di sesso maschile. L'età media dei tester è di 27 anni, la maggior parte non ha esperienze pregresse nel campo della realtà virtuale e del basket agonistico. Per ogni sistema virtuale sono state effettuate 20 misurazioni riguardo la somiglianza del gesto da imparare. In questo paragrafo sono descritti in dettaglio i dati raccolti tramite questionario relativi alla tipologia di utenti con i quali è stato testato il sistema

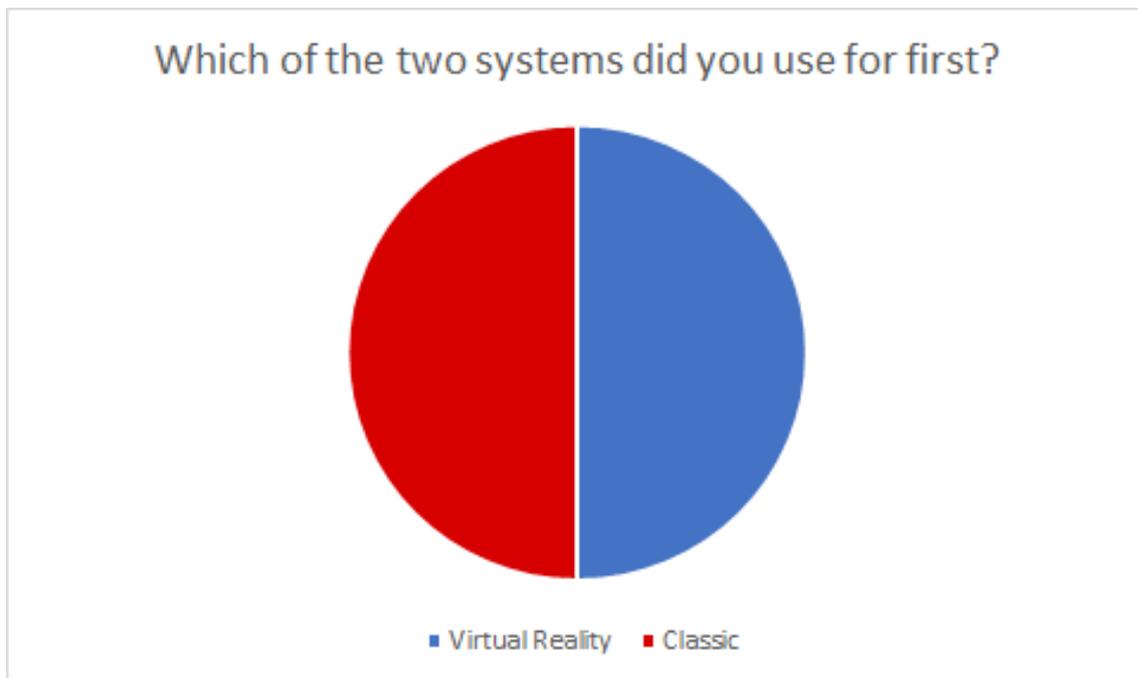


Figura 6.1: Il 50% degli utenti ha cominciato i test utilizzando il sistema di allenamento in realtà virtuale, l'altro 50% ha cominciato i test utilizzando il sistema di allenamento classico

Age

18 risposte

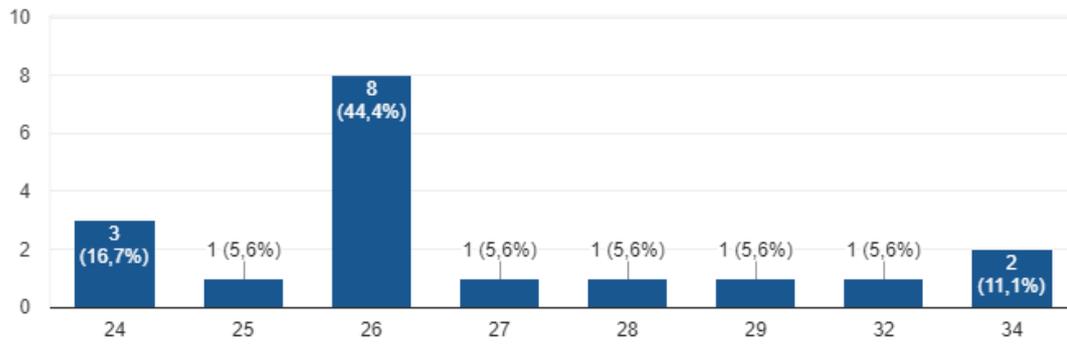


Figura 6.2: L'età media del campione analizzato è di 27 anni

Gender

18 risposte

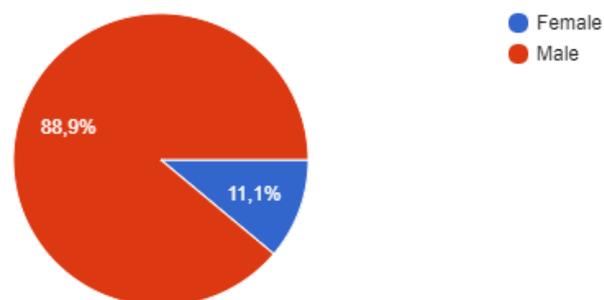


Figura 6.3: L'88,9% degli utenti è di sesso maschile

How do you often play video games: (never, few times, once a month, once a week or every day.)

18 risposte

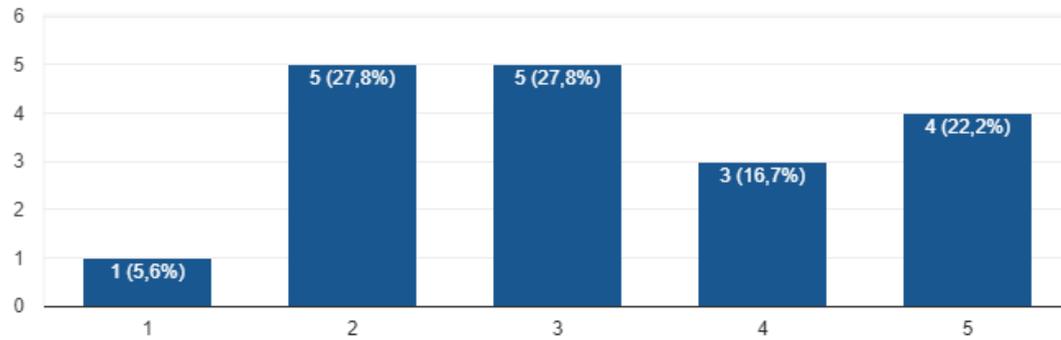


Figura 6.4: Il 94,4% degli utenti ha esperienza pregressa con i videogiochi

How much competitive basketball experience do you have? (none, 1-2 years, 2-5 years, 5+ years)

18 risposte

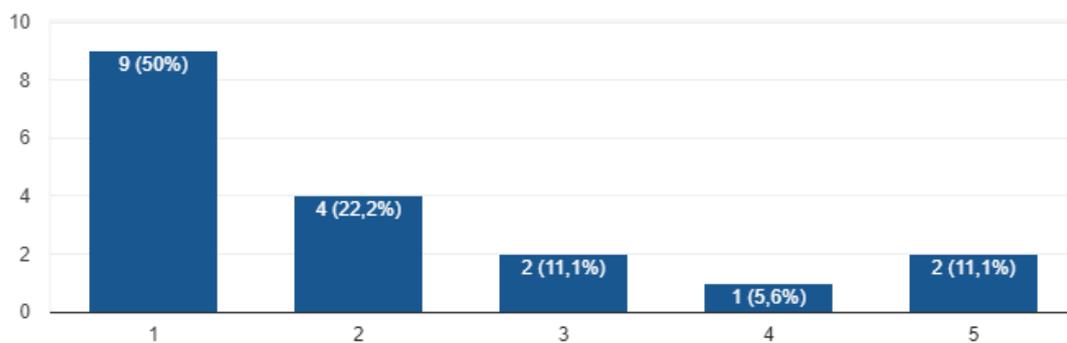


Figura 6.5: Il 50% degli utenti ha non ha esperienza pregressa nel basket a livello agonistico

How much competitive sport experience do you have? (none, 1-2 years, 2-5 years, 5+ years)

18 risposte

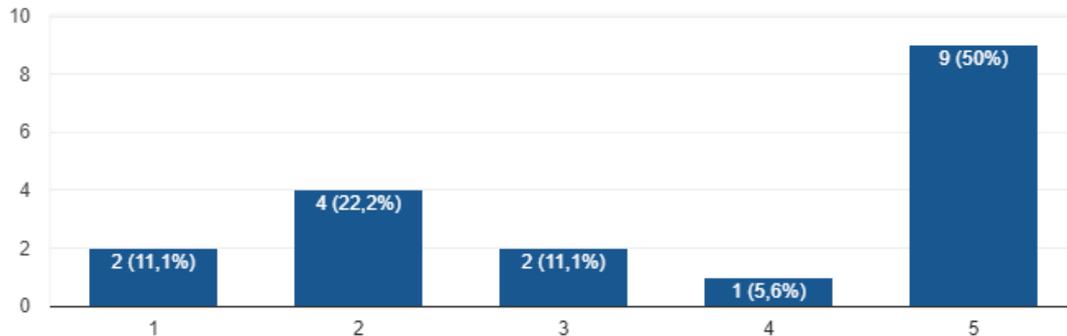


Figura 6.6: Il 50% degli utenti ha esperienza pregressa nello sport a livello agonistico

How much experience with Virtual Reality Systems do you have? (none, 1-2 years, 2-5 years, 5+ years)

18 risposte

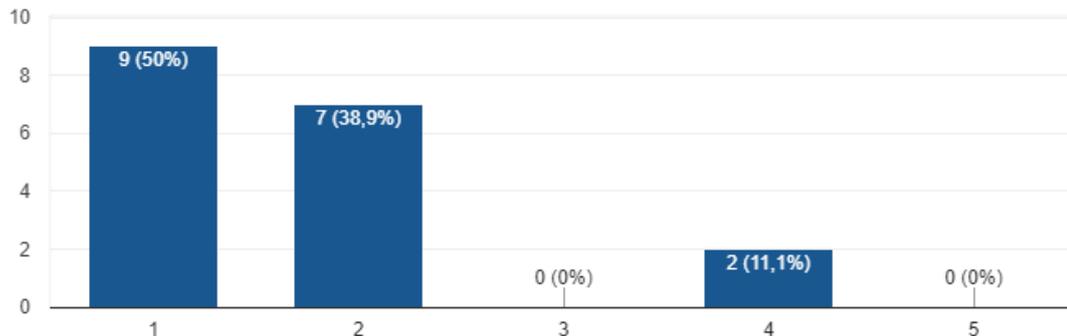


Figura 6.7: Il 50% degli utenti non ha alcuna esperienza pregressa nella realtà virtuale

Su entrambi i risultati, oggettivi e soggettivi, è stato effettuato il T test a due code. Il T test si basa sulla formulazione di due ipotesi: l'ipotesi nulla H_0 è un'ipotesi simmetrica all'ipotesi che si vuol verificare, l'ipotesi H_1 è l'ipotesi alternativa che è invece concorde con l'ipotesi che si vuol verificare. Se le probabilità p_0 e p_1 delle due ipotesi sono al di sotto del livello di significatività (che nei test effettuati è stato posto uguale a 0.05) allora si può dire che i dati a supporto dell'ipotesi sono statisticamente validi. ¹ Il test statistico effettuato sui dati oggettivi relativi alla differenza tra i movimenti dell'utente e quelli del modello di riferimento conferma, dati i valori di probabilità dell'ipotesi alternativa (p_1), la significatività statistica

¹https://www3.med.unipmn.it/magnani/pdf/inf2anno_estipotesi.pdf

dei dati raccolti con seguenti valori: Dati riguardanti la distanza calcolata con DTW nei diversi sistemi di allenamento

$$p_1 = 0.0163, \text{media} = 2223.73, \text{varianza} = 2752398.71$$

Dati riguardanti la differenza tra gli angoli dei giunti nei diversi sistemi di allenamento

$$p_1 = 0.0118, \text{media} = 17.4, \text{varianza} = 19.2$$

I risultati inoltre verificano che in media, l'errore effettuato nei movimenti sia dal punto di vista del tempismo che della posizione dei vari giunti è più bassa nel sistema in realtà virtuale. I questionari mettono in evidenza la preferenza degli utenti sul sistema di realtà virtuale rispetto all'allenamento classico.

6.1 Risultati oggettivi

In questo paragrafo sono riportati i risultati oggettivi ricavati dai 18 test. I dati oggettivi sono stati ricavati a partire dalle misurazioni, effettuate ad ogni istante del tiro, dell'angolo solido tra ogni giunto dell'utente ed il sistema di riferimento globale. Le stesse misurazioni sono effettuate sui giunti del modello di riferimento. Per ogni istante del tiro è stato trovato un valore medio degli angoli solidi misurati per ogni giunto. Le sequenze temporali di angoli solidi sono state dunque analizzate tramite il dynamic time warping estraendo un valore che rappresenta distanza tra le due serie. Questa distanza rappresenta l'errore, in termini temporali, della riproduzione del gesto. In Fig.6.8 sono riportati i valori medi delle 20 distanze calcolate in ogni sistema di allenamento.

	Classic DTW distance	VR DTW distance
1	703,11	510,50
2	534,99	792,97
3	1888,99	722,82
4	1779,95	1064,34
5	1448,93	1438,94
6	776,28	953,11
7	2590,86	2590,86
8	1799,40	1298,71
9	1417,54	1725,63
10	1828,46	826,13
11	2253,76	2094,91
12	7397,65	3979,39
13	1036,63	766,43
14	1534,33	1057,94
15	4686,71	3028,07
16	3488,30	803,97
17	3170,68	3466,34
18	1690,52	515,85

Figura 6.8: Valori medi delle distanze calcolate tramite il dynamic time warping per ogni utente in ogni sistema di allenamento

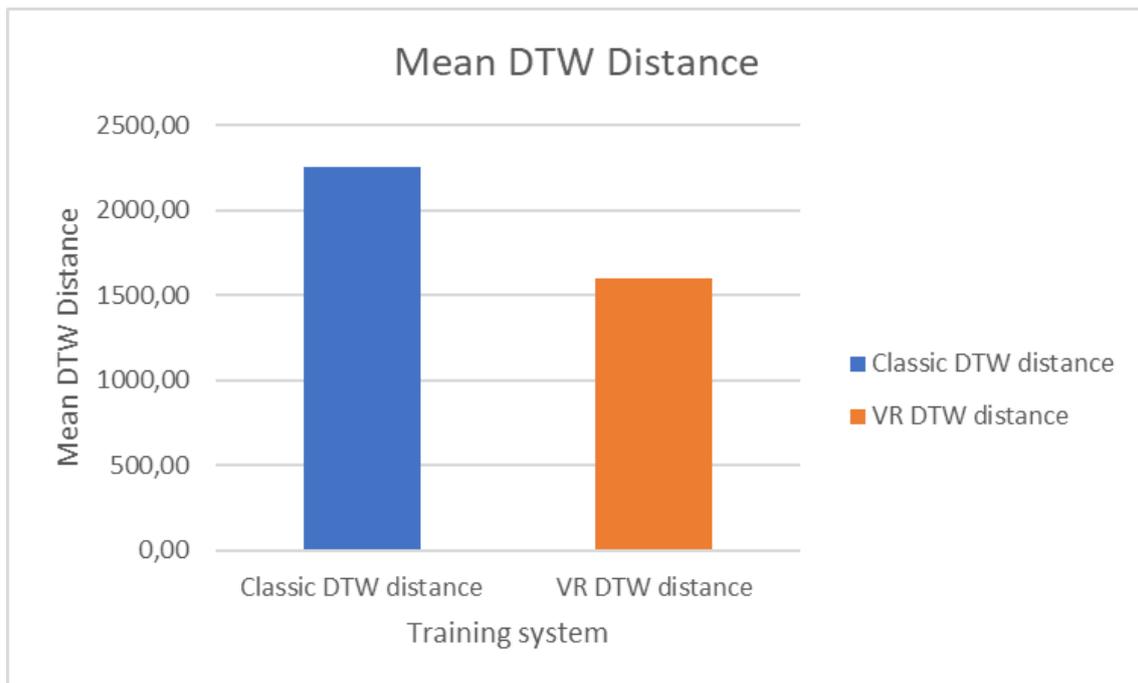


Figura 6.9: In media l'errore temporale calcolato tramite il dynamic time warping è più basso nel sistema di allenamento virtuale

La sequenza degli angoli medi appartenenti al movimento dell'utente sono state quindi modificate tramite il processo di warping per ottenere una serie della stessa lunghezza temporale del movimento di riferimento. Effettuando una differenza, elemento per elemento, tra le due serie è stato calcolato l'errore dell'orientamento di ogni giunto dell'utente espresso in gradi. Anche in questa fase è stata ricavata una media di questi valori per esprimere l'errore medio di orientamento dei giunti in ogni sistema di riferimento (Fig.6.10).

	Classic Error difference	VR Error difference
1	8,79°	6,20°
2	18,45°	4,60°
3	19,20°	21,67°
4	21,62°	19,79°
5	15,73°	13,67°
6	18,51°	18,06°
7	17,52°	17,52°
8	9,70°	10,78°
9	9,53°	8,20°
10	19,50°	9,40°
11	16,70°	16,07°
12	16,61°	16,27°
13	20,07°	18,27°
14	20,46°	19,49°
15	18,48°	18,18°
16	17,59°	15,33°
17	26,38°	21,73°
18	18,43°	13,58°

Figura 6.10: Errore medio di orientamento dei giunti in ogni sistema di riferimento per ogni utente

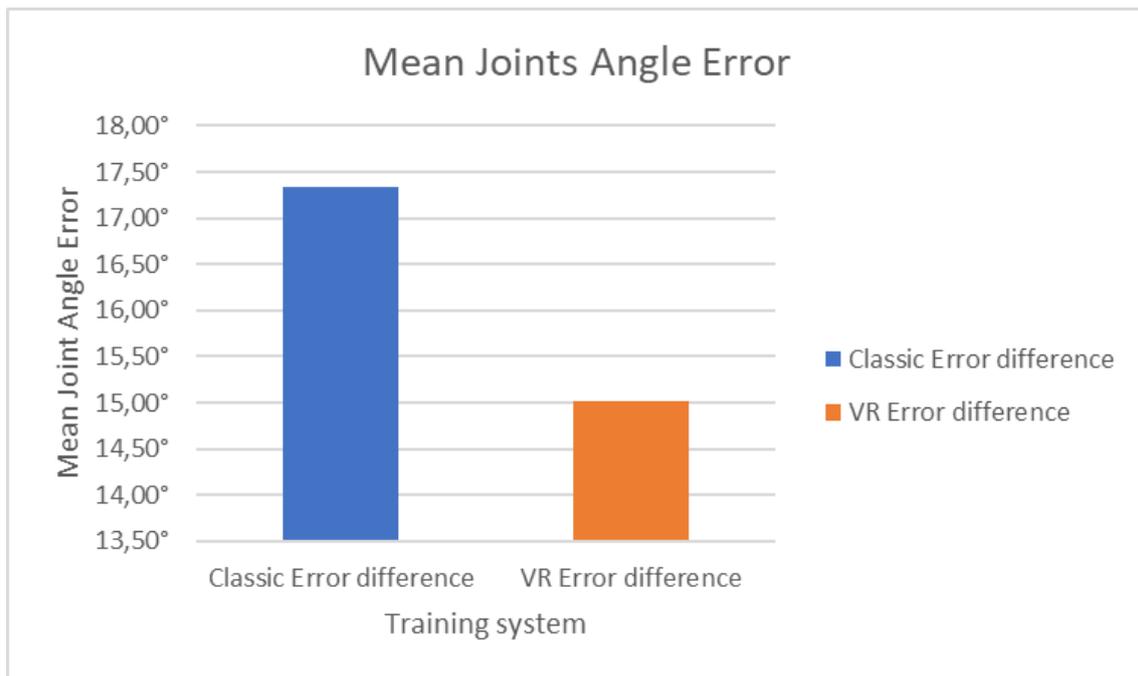


Figura 6.11: In media l'errore di orientamento dei giunti è più basso nel sistema di allenamento virtuale

6.2 Risultati soggettivi

In questo paragrafo sono riportati i risultati soggettivi ricavati dai 18 test. I dati soggettivi sono stati raccolti tramite un questionario con il fine di valutare quale sistema di allenamento è stato preferito dagli utenti e perché. Come è possibile notare in Fig. 6.13, la maggior parte degli utenti ha preferito la sessione di allenamento in realtà virtuale.

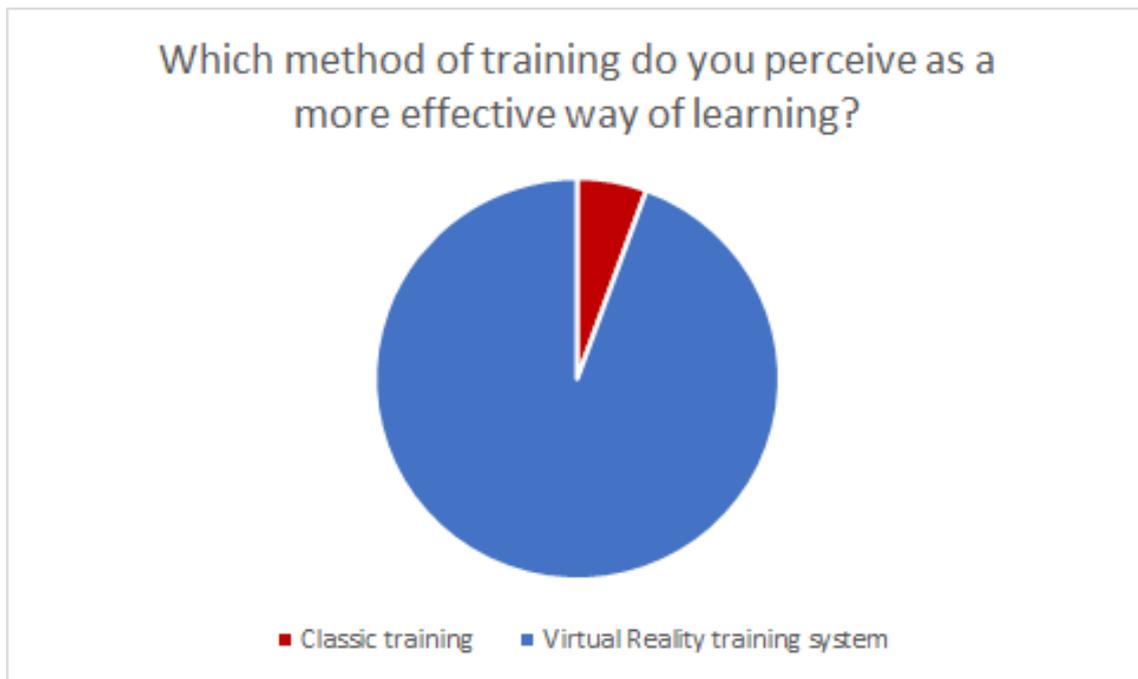


Figura 6.12: Soltanto un utente ha espresso il voto a favore dell'allenamento classico

Le motivazioni possono essere ricercate alla domanda posta successivamente, nella quale si chiede esplicitamente perché si è preferito un sistema ad un altro. Chi ha preferito la sessione di allenamento classico ritiene che i ritardi e i disallineamenti dei dispositivi di tracciamento fossero tali da non rendere efficiente il sistema in realtà virtuale. Chi ha preferito la sessione di allenamento virtuale ritiene che i feedback riportati dal sistema e la possibilità di analizzare in modo più dettagliato e da diverse angolazioni il movimento di riferimento apportino un valore aggiunto notevole rispetto all'allenamento classico. Anche in questo caso è stato effettuato il T test per verificare le significatività statistiche, ma questa volta per alcune domande non ci si aspetta un valore di $p1$ al di sotto del livello di significatività. Il motivo va ricercato nel significato del T test, infatti questo verifica che i valori delle sequenze sulle quali si effettua il test stesso appartengano, statisticamente, a due serie diverse e di conseguenza che si possa confermare la potenziale differenza tra le due serie. Per questo motivo, se ci si aspetta una risposta simile per entrambi i sistemi, ci si aspetta un valore di $p1$ superiore a 0.05. Sono riportate le risposte al questionario sottoposto ai tester subito dopo i test ed il rispettivo valore della probabilità $p1$.

The objectives of the training were clearly defined

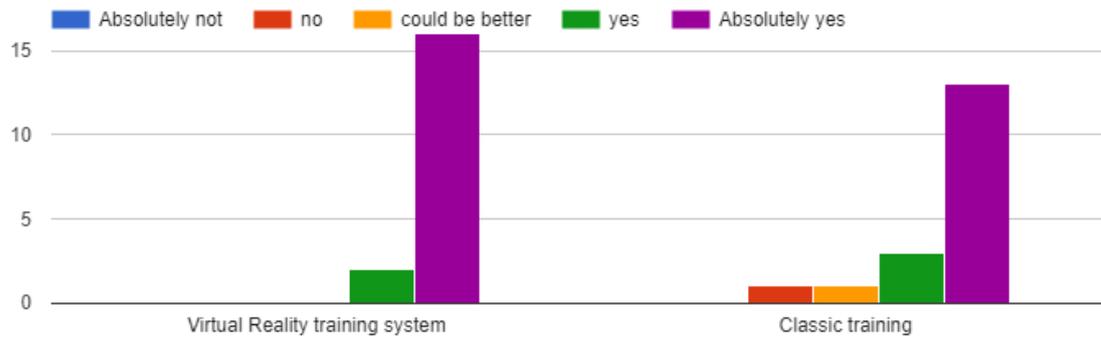


Figura 6.13: Le risposte dei tester alla domanda “Gli obiettivi dell’allenamento sono stati definiti in modo chiaro”

Secondo la maggior parte dei tester gli obiettivi di entrambi i sistemi erano chiari. Il valore della probabilità $p1=0,2156$ conferma che non si tratta di due serie diverse.

Participation and interaction were encouraged

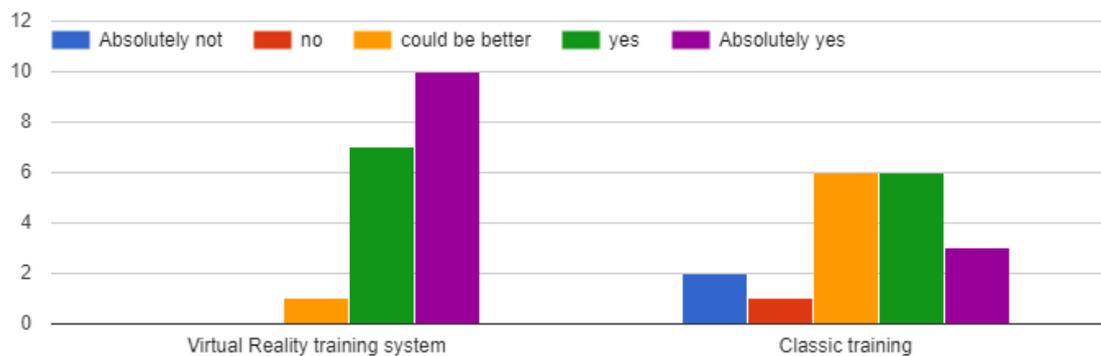


Figura 6.14: Le risposte dei tester alla domanda “La partecipazione e l’interazione erano incoraggiate”

Secondo la maggior parte dei tester il sistema in realtà virtuale incoraggia maggiormente la partecipazione alla sessione d’allenamento. Il valore della probabilità $p1=0,0016$ conferma che le risposte a supporto della realtà virtuale sono statisticamente valide.

The content was organized and easy to follow

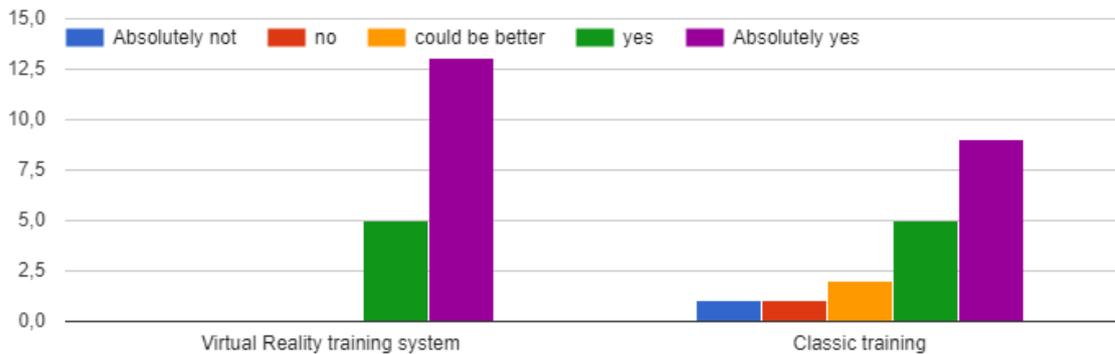


Figura 6.15: Le risposte dei tester alla domanda “I contenuti erano organizzati e facili da seguire”

Secondo la maggior parte dei tester i contenuti dell’allenamento erano organizzati e facili da seguire. Il valore della probabilità $p1=0,0293$ conferma che non si tratta di due serie diverse.

The materials distributed were helpful

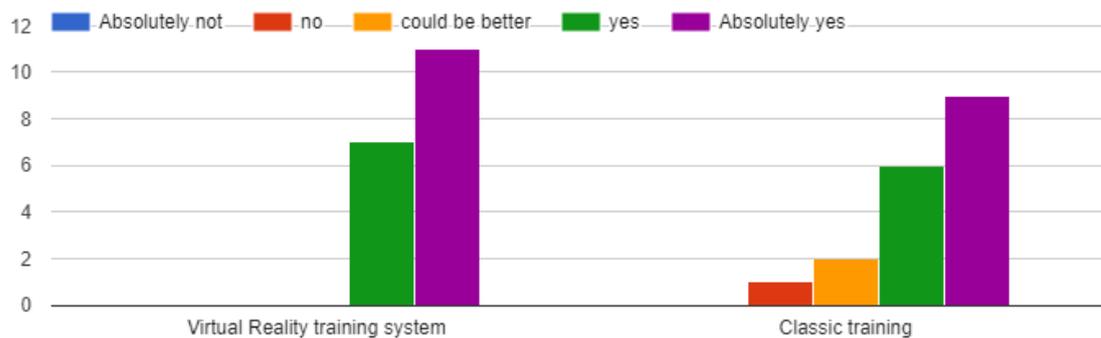


Figura 6.16: Le risposte dei tester alla domanda “Il materiale distribuito è stato utile”

Secondo la maggior parte dei tester la presentazione esplicita mostrata prima di ogni sessione è stata utile i contenuti di entrambi i sistemi. Il valore della probabilità $p1=0,1037$ conferma che non si tratta di due serie diverse.

The training system was knowledgeable about the training topics

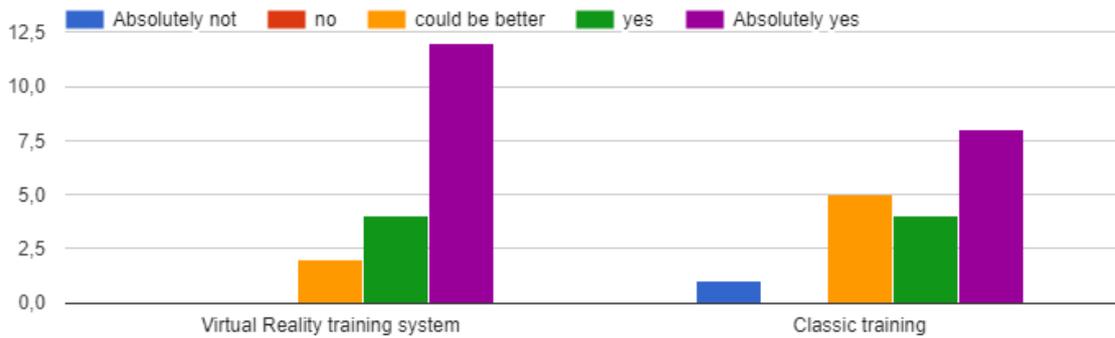


Figura 6.17: Le risposte dei tester alla domanda “Il sistema era adeguato per gli argomenti dell’allenamento”

Secondo la maggior parte dei tester il sistema in realtà virtuale è più adeguato per imparare un determinato gesto. Il valore della probabilità $p1=0,0112$ conferma che le risposte a supporto della realtà virtuale sono statisticamente valide.

The training system was well prepared

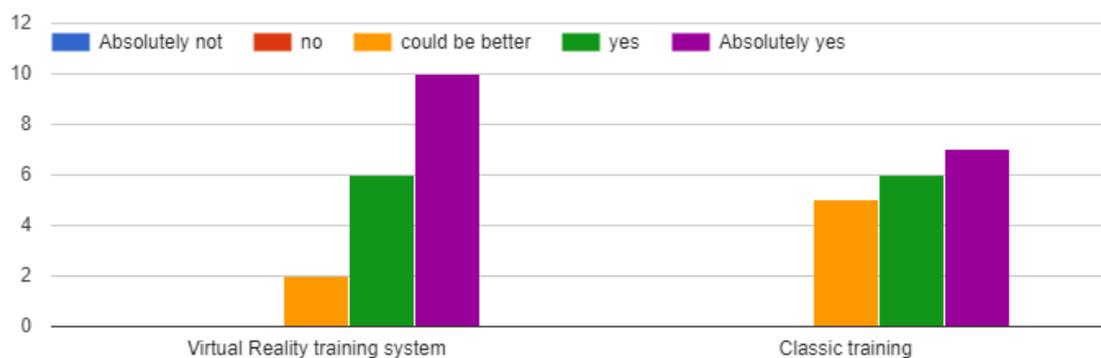


Figura 6.18: Le risposte dei tester alla domanda “Il sistema era ben preparato”

Secondo la maggior parte dei tester entrambi i sistemi erano ben preparati. Il valore della probabilità $p1=0,0895$ conferma che non si tratta di due serie diverse.

The training system objectives were met

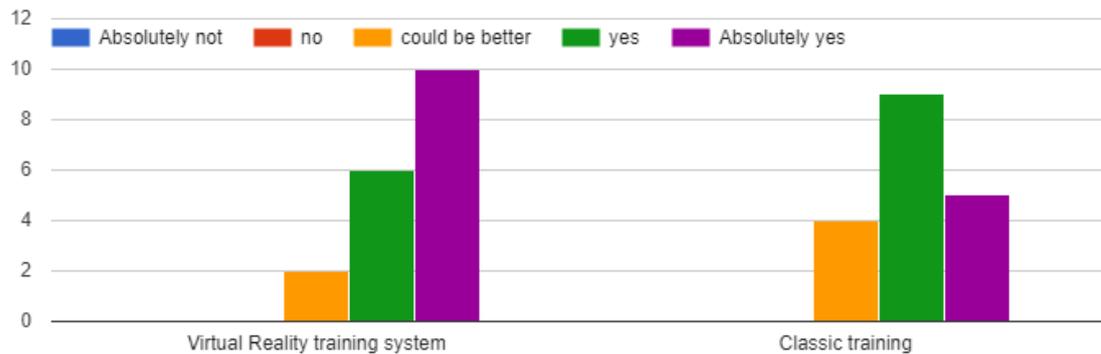


Figura 6.19: Le risposte dei tester alla domanda “Gli obiettivi del sistema sono stati raggiunti”

Secondo la maggior parte dei tester gli obiettivi dell’allenamento sono stati raggiunti in entrambi i sistemi. Il valore della probabilità $p1=0,0688$ conferma che non si tratta di due serie diverse.

The meeting room and facilities were adequate and comfortable

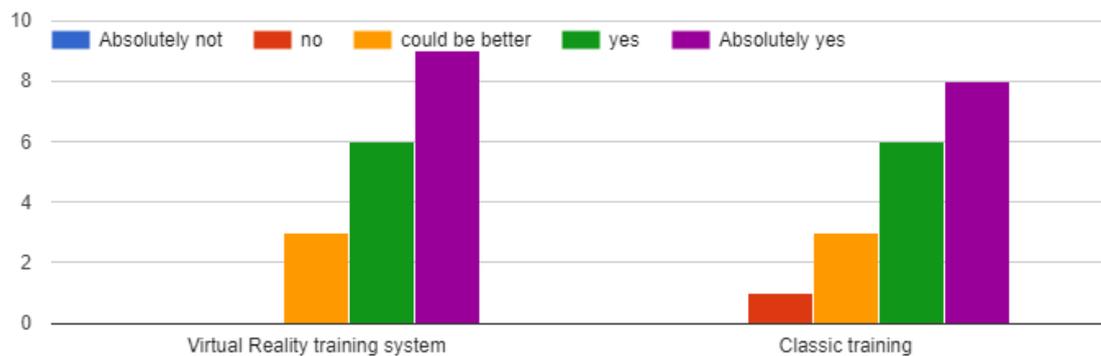


Figura 6.20: Le risposte dei tester alla domanda “La stanza e le attrezzature erano adeguate e confortevoli”

Secondo la maggior parte dei tester la stanza in cui è stata effettuata la sessione di allenamento per entrambi i sistemi era adeguata. Il valore della probabilità $p1=0,3321$ conferma che non si tratta di due serie diverse.

Do you feel that the training was worth your time?

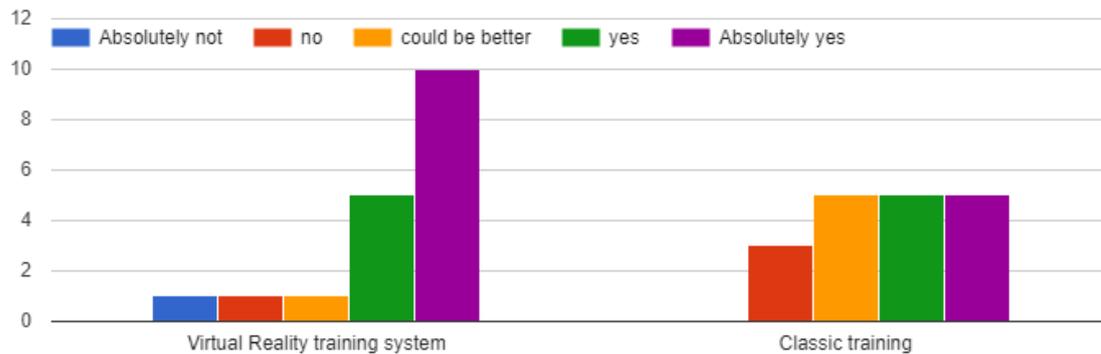


Figura 6.21: Le risposte dei tester alla domanda “Pensi che l’allenamento sia valso la pena del tempo impiegato?”

Secondo la maggior parte dei tester il tempo speso nell’allenamento nel sistema in realtà virtuale è valso più la pena che per il sistema classico. Il valore della probabilità $p=0,0657$ non conferma però che non si tratti di due serie diverse per cui non è possibile validare come significativa questa risposta.

Do you think that the training was successful?

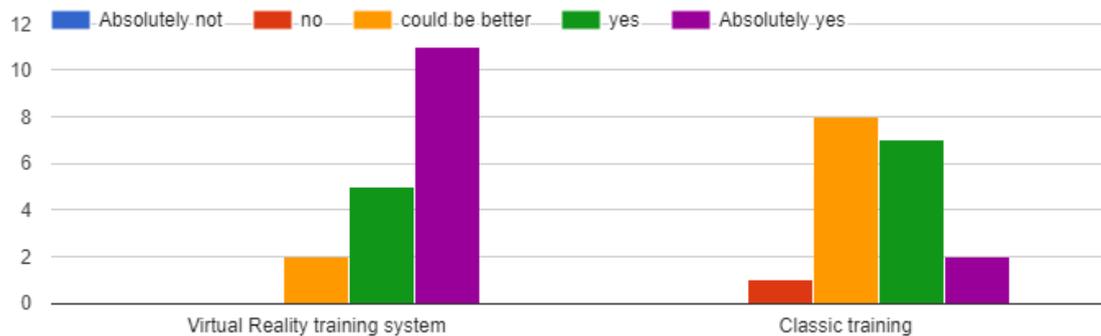


Figura 6.22: Le risposte dei tester alla domanda “Pensi che l’allenamento sia riuscito?”

Secondo la maggior parte dei tester il sistema in realtà virtuale ha avuto un risultato migliore per imparare un determinato gesto. Il valore della probabilità $p=0,0002$ conferma che le risposte a supporto della realtà virtuale sono statisticamente valide.

Did the training session accommodate your personal learning style?

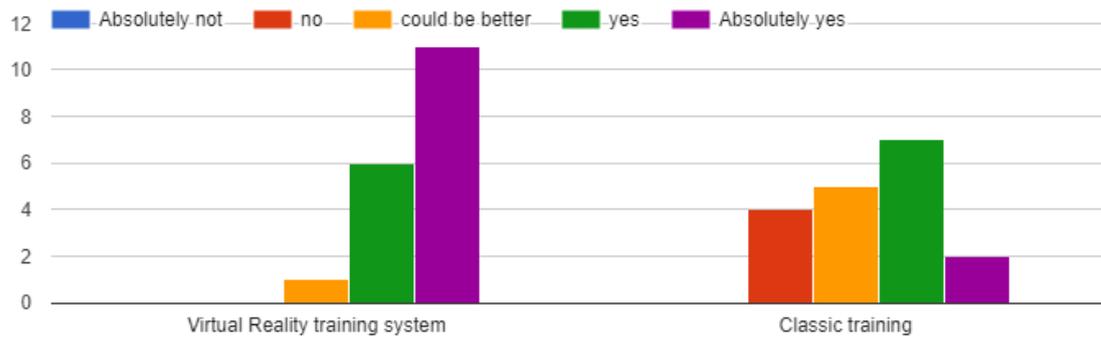


Figura 6.23: Le risposte dei tester alla domanda “La sessione di training segue il tuo stile di apprendimento”

Secondo la maggior parte dei tester il sistema in realtà virtuale si allinea di più con lo stile di apprendimento di ogni tester. Il valore della probabilità $p=0,00011$ conferma che le risposte a supporto della realtà virtuale sono statisticamente valide.

Come messo in evidenza dai grafici delle risposte al questionario, i risultati soggettivi sottolineano la preferenza da parte dei tester del sistema di allenamento in realtà virtuale in termini di partecipazione, adeguatezza del sistema riguardo l'apprendimento e raggiungimento degli obiettivi.

Capitolo 7

Conclusioni

In questo capitolo sono riportate le conclusioni e considerazioni sul lavoro svolto. Saranno accennate anche alcune idee per spunti futuri e migliorie attuabili su quanto prodotto nel presente lavoro di tesi.

7.1 Considerazioni

Questo lavoro di tesi è stato sviluppato per la creazione di un sistema per l'allenamento sportivo in realtà virtuale in grado di migliorare le prestazioni degli atleti. Per mantenere i costi e sviluppare velocemente una versione utilizzabile del sistema, si è scelto di utilizzare strumenti hardware e software adatti ad una soluzione small-scale. Questo aspetto ha permesso di sviluppare un sistema che riesce a fornire all'utente una analisi oggettiva del movimento, e contemporaneamente una maggiore coscienza del movimento da imparare, grazie alle diverse prospettive da cui è possibile osservare il movimento di riferimento. La potenzialità del progetto è la sua scalabilità e modularità. Mantenendo la stessa architettura è infatti possibile applicare il concetto ad un gran numero di sport e movimenti. I risultati ottenuti nei test mostrano come un sistema di addestramento in realtà virtuale possa consentire di ridurre l'errore dei movimenti sia in termini di tempistiche che di posizionamento.

7.2 Problematiche incontrate

L'utilizzo contemporaneo di sistemi di tracking ottici che utilizzano gli infrarossi (Kinect e Vive) risulta essere spesso motivo di disturbo e perdita del tracking da parte del Vive. Un'ulteriore problematica riscontrata con il Kinect è stato il frame rate, che difficilmente raggiunge i 30 fotogrammi al secondo. E' stato implementato un meccanismo di sensor fusion tra camera RGB e sensori ad infrarosso che però non sempre risulta essere sufficientemente accurato. Utilizzare un sistema di tracking alternativo, come ad esempio un sistema di videocamere ad alto frame rate, che non utilizzi le stesse tecnologie del Vive potrebbe risolvere entrambi i problemi. Un'altra problematica è sorta per ricreare fedelmente il braccio dell'utente con una precisione che permettesse di calcolare le differenze di movimento. Alcuni utenti hanno sottolineato questo aspetto come migliorabile nei test soggettivi.

7.3 Sviluppi futuri

I possibili sviluppi futuri potrebbero riguardare l'implementazione di sistemi di tracking del corpo più accurati e meno ingombranti, l'introduzione di feedback che aiutino ulteriormente l'utente a comprendere nel dettaglio quale sia stato l'errore effettuato, oltre che fasi di calibrazione automatizzate.

Bibliografia

- [1] Yazhou Huang, Lloyd Churches e Brendan Reilly. «A case study on virtual reality American football training». In: *Proceedings of the 2015 Virtual Reality International Conference*. ACM. 2015, p. 6.
- [2] Imre Horvath. *Tangible virtual reality for product design*. Gen. 2007.
- [3] Andrea Martina. «Virtual Heritage: new technologies for edutainment». Tesi di dott. Politecnico di Torino, 2014.
- [4] Matthew Lombard e Theresa Ditton. «At the heart of it all: The concept of presence». In: *Journal of Computer-Mediated Communication* 3.2 (1997), pp. 0–0.
- [5] Mel Slater. «Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments». In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 364.1535 (2009), pp. 3549–3557.
- [6] Angelos Amditis, Ioannis Karaseitanidis e Irene Mantzouranis. «Virtual reality research in Europe: Towards structuring the European research area». In: *Product Engineering*. Springer, 2008, pp. 3–20.
- [7] William R Sherman e Alan B Craig. *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Elsevier, 2002.
- [8] Ivan E Sutherland. «A head-mounted three dimensional display». In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*. ACM. 1968, pp. 757–764.
- [9] Ann Lasko-Harvill et al. «From DataGlove to DataSuit». In: *Compton Spring'88. Thirty-Third IEEE Computer Society International Conference, Digest of Papers*. IEEE. 1988, pp. 536–538.
- [10] Fabrizia Mantovani et al. «Virtual reality training for health-care professionals». In: *CyberPsychology & Behavior* 6.4 (2003), pp. 389–395.
- [11] John T Bell e H Scott Fogler. «The investigation and application of virtual reality as an educational tool». In: *Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference*. 1995, pp. 1718–1728.
- [12] Ali Al-Khalifah et al. «Using virtual reality for medical diagnosis, training and education». In: *International Journal on Disability and Human Development* 5.2 (2006), pp. 187–194.
- [13] Stéphane Bouchard et al. «Virtual reality and the training of military personnel to cope with acute stressors». In: *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment* (2011), pp. 109–128.

- [14] R Weinberg e D Gould. «Psychological foundations in sport and exercise». In: *Champaign, IL: Human Kinetics Press.[Links]* (2010).
- [15] Michael W Eysenck et al. «Anxiety and cognitive performance: attentional control theory.» In: *Emotion* 7.2 (2007), p. 336.
- [16] Mark R Wilson, Samuel J Vine e Greg Wood. «The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting». In: *Journal of Sport and Exercise Psychology* 31.2 (2009), pp. 152–168.
- [17] Ruth Morey Sorrentino et al. «Virtual visualization: Preparation for the olympic games long-track speed skating». In: *International Journal of Computer Science in Sport* 4 (2005), p. 40.
- [18] Leah Lagos et al. «Virtual reality–assisted heart rate variability biofeedback as a strategy to improve golf performance: a case study». In: *Biofeedback* 39.1 (2011), pp. 15–20.
- [19] Cheryl Stinson e Doug A Bowman. «Feasibility of training athletes for high-pressure situations using virtual reality». In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 20.4 (2014), pp. 606–615.
- [20] Philip Kelly et al. «A virtual coaching environment for improving golf swing technique». In: *Proceedings of the 2010 ACM workshop on Surreal media and virtual cloning*. ACM. 2010, pp. 51–56.
- [21] Daniel L Eaves, Gavin Breslin e Paul Van Schaik. «The short-term effects of real-time virtual reality feedback on motor learning in dance». In: *Presence* 20.1 (2011), pp. 62–77.
- [22] Benoit Bideau et al. «Using virtual reality to analyze sports performance». In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 30.2 (2010), pp. 14–21.
- [23] Imre Horváth et al. «From virtual reality to tangible virtuality: An inventory of the technological challenges». In: *Proceedings of the World Conference on Innovative Virtual Reality*. 2009.
- [24] Guillem Delgado Gonzalo. «Football simulator in virtual reality using Kinect and Htc Vive». B.S. thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- [25] Matthew KXJ Pan e Günter Niemeyer. «Catching a real ball in virtual reality». In: *Virtual Reality (VR), 2017 IEEE*. IEEE. 2017, pp. 269–270.
- [26] Alexandra Covaci et al. «A virtual reality simulator for basketball free-throw skills development». In: *Technological Innovation for Value Creation* (2012), pp. 105–112.
- [27] Joe Willage. «Using VR to improve free throw percentage in the NBA». In: ().
- [28] Lin Zhang e Ling Wang. «VR-based basketball movement simulation». In: *Transactions on edutainment V* (2011), pp. 240–250.
- [29] Gianluca Paravati et al. «Point cloud-based automatic assessment of 3D computer animation courseworks». In: *IEEE Transactions on Learning Technologies* (2016).