



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

Dottorato di Ricerca in Biotecnologie in Medicina Traslazionale  
XXXII ciclo

Coordinatore: Prof. Rodolfo Quarto

La formazione in Anestesia e Rianimazione: Progettazione  
e sviluppo di un simulatore per emergenza e soccorso

Dott. Simone Bazurro

24 Aprile 2020

Relatori: Prof. Paolo Pelosi

Autori esterni:

Dott. Fabio Mura

Dott.sa Elisa Girau



# Indice

Indice.....	3
Introduzione .....	5
Capitolo I - Simulazione e VR.....	7
Simulazione.....	7
Storia della simulazione clinica .....	8
Tipologie di simulazione .....	9
Realismo.....	10
Livelli di fedeltà .....	10
Human factors.....	14
L’immersività.....	15
Realtà Virtuale .....	17
VR in medicina.....	20
Realtà virtuale in chirurgia .....	20
Applicazione in ambito terapeutico.....	23
Mediated Physicality & Training.....	25
Capitolo II - Progetto.....	29
Capitolo III - Materiali e Metodi.....	30

Simulatore "Anne by Leardal" .....	30
Motore grafico.....	31
HTC Vive .....	32
Leap Motion Controller.....	36
Animazione e montaggio 1.....	37
Fotogrammetria.....	37
Animazione e montaggio 2.....	37
Progettazione e sviluppo del modello .....	40
Mesh e Texture.....	42
Animazioni.....	44
Elementi aggiuntivi .....	46
Creazione dell'ambiente.....	51
Interfaccia Grafica.....	53
Capitolo IV - Validazione del sistema .....	59
Raccolta Dati.....	59
Misure di accuratezza.....	59
Misure di immersività .....	61
Questionari .....	64
Simulator Sickness Questionnaire (SSQ).....	64
Igroup Presence Questionnaire (IPQ) .....	64
Capitolo V - Risultati .....	65
Capitolo VI - Discussione e conclusioni.....	76
Riferimenti Bibliografici.....	80

# Introduzione

L'acquisizione delle competenze tecniche e non, in medicina, si sviluppa attraverso l'apprendimento di conoscenze teoriche ed abilità pratiche. Questo è particolarmente vero per l'ambito dell'Anestesia e Rianimazione, dove la capacità di prendere decisioni tempestivamente è fondamentale. Per adattare la propria risposta al variare delle circostanze non basta avere una conoscenza puramente teorica, ma è necessario saper applicare la propria conoscenza per processare le informazioni e solidificarle con la pratica.

È ormai ampiamente riconosciuto come la simulazione sia un potente strumento di apprendimento, dal momento che permette di acquisire esperienza diretta in modo controllato e sicuro. Tuttavia la simulazione è efficace se è in grado di riprodurre fedelmente le condizioni reali che va a simulare, ed è direttamente dipendente da quanto l'utente si sente immerso e presente nella situazione. - La simulazione è quindi limitata dalla tecnologia a disposizione e avere accesso a diversi scenari risulta essere economicamente dispendioso, specialmente nel campo dell'emergenza.

In questo contesto la Realtà Virtuale, permette di creare un mondo coerente e realistico, di cui l'utente possa sentirsi parte ed interagire, con un grado abbastanza elevato di libertà, con l'ambiente circostante. La recente commercializzazione dei moderni sistemi di realtà virtuale, ha reso possibile, grazie alla relativa economicità, la sua diffusione in un numero crescente di pratiche cliniche. Nell'ambito del training clinico questa tecnologia mostra un grande potenziale, legato alla versatilità di realizzazione ed utilizzo di diversi scenari ed ambienti, progettati ad hoc per la simulazione di interesse. Con l'attuale livello di tecnologia e per la complessità di implementare un sistema aptico complesso, la realtà virtuale non mira ancora alla sostituzione della strumentazione utilizzata nei centri di simulazione promettendo piuttosto poter sfruttare la tecnologia già in possesso

ed aumentarne il realismo attraverso il virtuale.

Questo lavoro, ha l'ambizione di porre le basi per la realizzazione di un'applicazione di training completa che ottimizzi il trasferimento di skill e conoscenze per l'utente. Il focus principale sarà la ricerca di una soluzione che permetta di avere un mondo virtuale solidale alla strumentazione reale, concentrandosi inoltre nella produzione del senso di immersività, in tutte le sue componenti. In particolare, obiettivo della tesi è sviluppare un sistema di Realtà Virtuale arricchita dal mondo reale in cui l'utente possa utilizzare un manichino da simulazione reale contestualizzato in vari scenari virtuali.

# Capitolo I - Simulazione

## Storia della simulazione clinica

La nascita del concetto di training simulato in medicina può essere datata nella seconda metà del 20esimo secolo, e fu caratterizzato da tre fasi distinte [2006 Bradley]. La prima fase vide A.Lærdal progettare uno dei primi manichini di primo soccorso, “Resusci-Anne” (Figura 1), utilizzato nelle pratiche di addestramento di rianimazione cardiopolmonare (CPR). Il manichino fu infatti dotato di una fisionomia umana, per incrementare il realismo percettivo, di una bocca connessa ad una camera vuota per la ventilazione e di un sistema a molla per la compressione del petto.



*Figura 1: Simulazione con Resusci-Anne*

Nella seconda fase, figure come Abrahamson e Denson avevano come fine la creazione di un simulatore più moderno e sofisticato, in cui avere una caratterizzazione più realistica del paziente umano. Questi sforzi diedero vita, al termine degli anni '60, a SimOne (Figura 2), uno dei primi prototipi di manichino con caratteristiche ad alta fedeltà in ambito anestesilogico. Esso infatti fu dotato di movimenti fisiologici di diversi distretti anatomici e di segnali per il monitoraggio delle sue condizioni.

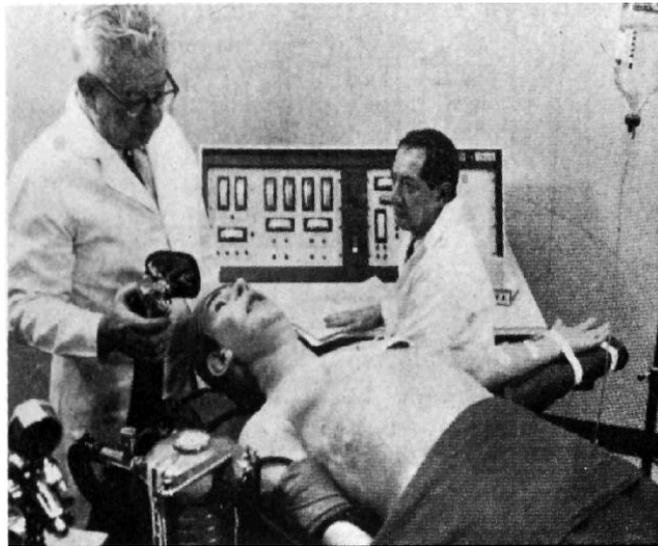


Figura 2 SimOne e i suoi creatori, Abrahamson e Denson

I costi elevati e la mancanza di training avanzati ebbero esiti negativi sulla commercializzazione del modello. Tuttavia il bisogno di addestramenti più performanti e specializzati portò ad una riforma del sistema educativo medico, che caratterizzò la fase finale. Nacque quindi la domanda di una simulazione ad alta fedeltà, che fosse economicamente vantaggiosa e che fornisse un ambiente sicuro, controllato e ottimizzato sia per studenti che per professionisti, ancora oggi considerate come elementi essenziali.

Questo processo evolutivo portò, nel 1975 a Maastricht (Olanda), alla creazione del primo centro di simulazione orientato all'apprendimento di una vasta gamma di abilità, da cui appunto il nome *Skillslab* [2015 Torre]. Negli anni successivi seguirono la stessa ideologia alcune delle

facoltà mediche più prestigiose americane, tra cui il Center for Medical Simulation (Harvard) e il Center for Immersive and Simulation based learning (Stanford).

## Tipologie di simulazione

I centri di simulazione clinica diventarono quindi contesti formativi in cui gli utenti abbiano l'opportunità di apprendere skill e competenze specifiche di particolari ambiti della medicina, sottolineando però l'importanza di una definizione degli obiettivi educativi, delle tecniche di apprendimento e delle modalità di valutazione del training.

La simulazione clinica è una disciplina molto ampia, tuttavia è possibile classificarla per semplicità in 4 macro-aree [2015 Torre]:

- *Macrosimulazione*: simulazione estesa all'intero corpo o ad uno dei suoi componenti, con un vasto range di complessità tecnologica, diviso in *low*, *medium* e *high fidelity*. In letteratura la definizione del termine fedeltà presenta delle equivocità ed è importante sottolineare come la fedeltà di un simulatore non sia necessariamente legato alla fedeltà dell'intero sistema. Questo concetto verrà trattato più nel dettaglio nel paragrafo successivo;

- *Microsimulazione*: applicazioni software interattive orientate alle skill decisionali in contesto clinico, di conseguenza necessitano solamente di un computer;

- *Simulazione relazionale*: simulazioni incentrate all'apprendimento di *social skills*, spesso comprendendo approcci come il gioco di ruolo e la gestione di risorse in situazione di emergenza;

- *Realtà virtuale ed aumentata*: tecniche di creazione di scenari realistici o di aumentazione della realtà stessa. Inizialmente impiegati soprattutto nell'apprendimento di abilità manuali in pratiche chirurgiche invasive, ma risulta essere un ambito in attuale espansione con il potenziale di inglobare tutte le altre categorie in un unico set-up. Il nostro lavoro di tesi rientra nell'ambito della Realtà Virtuale e, più nello specifico, in quello della Realtà Mista, perciò la sua trattazione verrà affrontata nel dettaglio in un capitolo dedicato.

## Realismo

È stato precedentemente anticipato come ci sia difficoltà nell'individuare il livello di fedeltà adeguato affinché si abbia un apprendimento ottimale. Per spiegare questo concetto si deve dare una interpretazione del termine fedeltà, e in generale possiamo riferirci alla definizione proposta da Feinstein e Cannon: «livello di realismo della simulazione presentato allo studente» [2002 Feinstein].

Nella trattazione di G. Alinier [2015 Allnier], vengono discusse le ambiguità che questa definizione comporta, perché la fedeltà in simulazione è dipendente dalla percezione dell'utente e dall'accuratezza della rappresentazione rispetto al reale. Il termine può essere inoltre associato sia alla simulazione che al simulatore, dove quest'ultimo è definito come il mezzo che permette agli utenti di condurre le simulazioni. È importante sottolineare perciò come l'impiego di un simulatore ad alta fedeltà non si traduca necessariamente in una simulazione altrettanto realistica, in quanto l'intero sistema deve essere progettato ad hoc perché ogni sua parte sia consistente con il realismo che si vuole comunicare. La definizione che viene quindi proposta è « (...) una proprietà intrinseca della simulazione, che può essere definita come il grado di accuratezza per cui la simulazione, sia essa fisica, mentale o entrambe, dia rappresentazione di un quadro della realtà in termini di segnali, stimoli e interazioni permesse». La misura del grado di accuratezza può essere tuttavia riferita a diversi aspetti, per esempio un manichino da simulazione può essere fisionomicamente poco realistico ma avere un'elevata accuratezza nella somministrazione dei propri dati fisiologici.

## Livelli di fedeltà

Nonostante le problematiche sull'ambiguità che comporta il termine fedeltà, vengono riportati di seguito alcuni esempi dei diversi gradi di realismo dei manichini utilizzati nella simulazione clinica. In questa sezione la fedeltà dovrà considerarsi relativa alle features fisiologiche e biologiche di ciascun manichino.

- Fedeltà bassa: AirSim Advance Combo.

Lo strumento è caratterizzato da una pelle altamente realistica e dalla possibilità di coprire una vasta gamma di esigenze formative, nell'ambito delle procedure di cricotiroidotomia e tracheotomia percutanea;



*Figura 3 AirSim Advance Combo*

- Fedeltà intermedia: SimMan ALS

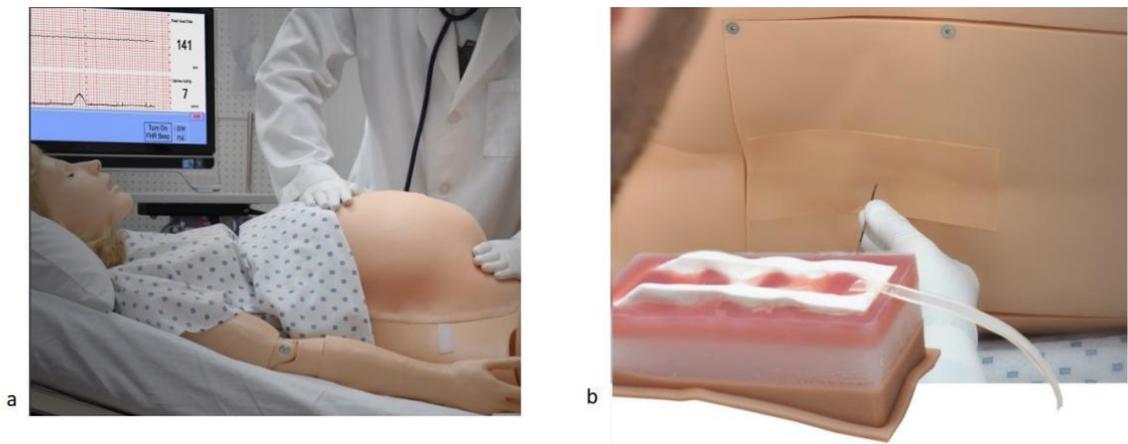
Simulatore ad intero corpo per la simulazione di scenari di emergenza, progettato per rafforzare le competenze nella gestione delle vie aeree, nella valutazione dell'attività respiratoria, nella palpazione ed auscultazione, nella rianimazione con fluidi, nell'interpretazione di segnali ECG, nella defibrillazione e nella valutazione ecografica;



*Figura 4 SimMan ALS*

- Fedeltà alta: Noelle

Simulatore di parto con funzionalità molto avanzate, che comprendono la palpazione realistica del feto, multiple posizioni permesse per il parto, procedure epidurali, tagli cesarei, contrattilità dell'addome, controllo wireless della procedura del parto, realismo delle componenti anatomiche e possibilità di riparazione dei tessuti simulati, segnali fisiologici monitorabili, diverse caratteristiche di conformazione del feto.



*Figura 5. 5a: Noelle e i parametri vitali acquisiti; 5b: raffigurazione della complessità dello strato epidermico per pratiche ospedaliere, ad esempio iniezioni*



*Figura 6: Simulazione del feto e dettaglio di lacerazione del tessuto*

## Human factors

Il livello tecnologico dei simulatori perciò non è l'unica caratteristica di rilievo nelle pratiche di insegnamento basato sulla simulazione, né necessariamente la più importante. Già nel 2002 Salas e Burke proposero un'insieme di linee guida per l'implementazione di sistemi ed applicazioni di training efficace [2002 Salas]: l'apprendimento è il punto focale, quindi all'interno della simulazione devono essere inclusi task educativi, integrati in scenari progettati ad hoc per l'obiettivo di interesse, che guidino l'esperienza dell'utente secondo un preciso percorso, ottimizzato verso il learning. La valutazione dell'individuo o del team deve poter essere quantificabile e ripetibile, così da poter agire sulle carenze con un feedback indicativi di come incrementare la performance. Infine è necessario individuare i requisiti di fedeltà delle diverse componenti, affinché il trasferimento di abilità da parte dei task sia massimo.

In accordo con questa linea di pensiero, negli anni è stato sviluppato il concetto di *Human Factors/Ergonomics* (HFE). Il termine definisce in generale una disciplina scientifica focalizzata verso la comprensione dell'interazione tra persona ed elementi del sistema e, contemporaneamente, si basa su principi teorici, dati e metodi per l'ottimizzazione del benessere e delle performance dell'utente [2012 Dul]. La caratteristica fondante di questa disciplina è un approccio *sistemico*, tale per cui si abbia sempre un focus globale durante la progettazione, affinché gli elementi costitutivi lavorino insieme per il raggiungimento dell'obiettivo finale. Durante questa fase è necessario considerare l'utente e l'ambiente sotto diversi punti di vista, nello specifico gli aspetti fisico, psicologico, informativo e sociale. La costituzione di un sistema incentrato sui bisogni e i meccanismi di percezione dell'utente, nell'ambito della simulazione, permette un incremento del senso di realismo e di immersività.

Un esempio di questo approccio si riscontra nel lavoro di F.Jones et al. [2015 Jones], in cui è proposta l'organizzazione di una simulazione affinché essa risulti efficace ai fini del training. Questa è suddivisa in 4 fasi:

- *Briefing*: introduzione al problema che l'utente dovrà affrontare;

- *Sequence*: il livello di complessità viene incrementato progressivamente durante il trial, per garantire che l'utente non venga scoraggiato dall'esposizione anticipata ad esercizi troppo complessi per la propria preparazione. Un graduale incremento della difficoltà garantisce quindi una performance ottimale durante l'intera sessione;

- *Feedback*: il trasferimento di conoscenze e abilità è fortemente dipendente da informazioni orientate alla correzione degli errori. Le modalità sono varie e più o meno guidate; inoltre la fase di feedback può essere presente sia durante la simulazione che al termine;

- *Repetition*: il continuo esercizio permette di consolidare le conoscenze acquisite.

Le fasi appena descritte costituiscono il nucleo della simulazione, tuttavia per un efficace svolgimento è fortemente consigliato associare anche una fase iniziale di preparazione, una decisionale e una di debriefing. Un accurato design dell'intera applicazione attorno alla figura dell'utente promuove quindi un senso di realismo più consistente e una sensazione di presenza nella scena più stabile, che concorre al raggiungimento di un elevato grado di immersività.

## l'immersività

In accordo con quanto descritto finora, l'immersività è un elemento focale dell'efficacia di una sessione di training. Essa garantisce, innanzitutto, un diretto e profondo coinvolgimento dello studente nelle attività che esso affronta, conciliando i normali meccanismi di apprendimento con l'aspetto più emotivo. È largamente provato infatti ([2012 Fernandez], [2006 Peyre], [2010 Zeng]) che quest'ultimo garantisca migliori performance sia dal punto di vista decisionale e

logico, che dal punto di vista mnemonico, solidificando le nuove conoscenze ed abilità pratiche acquisite.

L'immersività ha inoltre il vantaggio di migliorare l'esperienza, non solo degli utenti inesperti, ma contemporaneamente anche dei professionisti. Le simulazioni ad elevata immersività possono infatti essere utilizzate per aggiungere un'ampia gamma di fattori di stress delle pratiche chirurgiche e di emergenza, altrimenti carenti nelle normali pratiche di addestramento simulato. Come dimostrato in [2016 Engstrom], la contestualizzazione dello scenario simulato e, di conseguenza, l'aggiunta di dettagli verosimili, concorre all'aumento del senso di immersività. Tuttavia normalmente nelle simulazioni è sempre necessaria la cosiddetta *suspension of disbelief* (sospensione del dubbio), definita come la «volontà, da parte dell'utente, di sospendere le proprie facoltà critiche allo scopo di ignorare le incongruenze secondarie e godere di un'opera di fantasia» [Wikipedia]]. Questo processo viene agevolato ulteriormente dai nuovi avanzamenti in campo tecnologico e dalla commercializzazione dei dispositivi di realtà virtuale, che racchiudono il potenziale di ricreare uno scenario realistico, purché ogni elemento virtuale sia realisticamente consistente in relazione con gli altri e con l'intero sistema. Il concetto di immersività è infatti un punto chiave nell'ambito della realtà virtuale, dove il termine "immersività" può essere considerato composto da due aspetti [1999 Mel Slater]

- Immersione, che si riferisce ad una descrizione quantificabile della tecnologia, ovvero quanto le strumentazioni utilizzate sono in grado di riprodurre le percezioni sensoriali e quindi una descrizione obbiettiva di quello che può offrire un sistema tecnologico;
- Presenza, ovvero uno stato di coscienza che indica il grado di coinvolgimento dell'utente e il senso di essere all'interno del mondo virtuale, e la corrispondenza nelle maniere comportamentali.

È evidente di come questi due aspetti siano legati e dipendenti l'uno dall'altro, e che siano altresì rilevanti nell'ambito della simulazione.

Queste caratteristiche rendono la realtà virtuale uno strumento con grande potenziale applicativo all'interno delle simulazioni e per questo motivo in questo lavoro di tesi si è deciso di sfruttare questa nuova tecnologia nell'ambito del training clinico.

## Realtà Virtuale

La Realtà Virtuale (VR) è un concetto di crescente rilevanza negli ultimi anni e viene considerata una tecnologia di grande interesse su svariati campi e in rapido avanzamento.

L'idea di realtà virtuale esiste da anni, prima che questa venisse effettivamente sviluppata nella forma a cui ci si riferisce generalmente oggi, e non è semplice trovarne una definizione univoca e consistente. Anche la parola “virtuale” in sé non ha sempre avuto l'attuale significato: questo termine è stato usato fin dal 15esimo secolo per indicare «qualcosa di esistente in essenza o effetto, ma non nella realtà o di fatto» [Online Etymology Dictionary]. Questa definizione risulta tuttavia troppo generica e non è sufficiente a caratterizzare la tecnologia di cui si sta trattando.

Una definizione che corrisponde all'idea moderna è proposta da Sherman, Craig e Will [2002 Sherman], come segue:

«Un mezzo composto da simulazioni al computer interattive che rilevano la posizione e le azioni del partecipante, fornendo o aumentando il feedback a uno o più sensi, dando la sensazione di essere mentalmente immersi o presenti nella simulazione».

Il piano della realtà e il piano virtuale non sono necessariamente due dimensioni distinte, ma si può individuare un *continuum* [1994 Milgram] in cui elementi dei due piani sono più o meno presenti e integrati. Ai due estremi vi sono dunque il mondo reale e quello virtuale, dove quest'ultimo presenta unicamente oggetti virtuali. Tra i due estremi vi è la dimensione della Mixed Reality (MR), o realtà mista, a sua volta suddivisa in Augmented Reality (AR) e Augmented Virtuality (AV), a seconda che prevalgano gli elementi rispettivamente della realtà o virtuali. La realtà aumentata può essere quindi definita come un'esperienza interattiva del mondo reale, in cui alla realtà vengono sovrapposti elementi virtuali che la espandono, aggiungendo informazioni o percezioni legate ad uno o più sensi. La virtualità aumentata invece presenta uno scenario prevalentemente virtuale, in cui vengono però integrati elementi reali,

persone comprese, con cui è possibile interagire in tempo reale. Questo è perpetuato tramite diverse tecniche, come lo streaming di spazi fisici o la digitalizzazione tridimensionale degli oggetti. La loro interattività viene invece controllata da sensori reali associati agli elementi di interesse.

Nonostante la realtà virtuale sia un concetto che esiste dagli anni '50, solamente negli ultimi anni sono state prodotte le tecnologie adatte affinché possa essere utilizzata nello sviluppo di applicazioni immersive. In questo senso non è inappropriato considerarla come una tecnologia emergente e ai primi stadi del suo sviluppo.

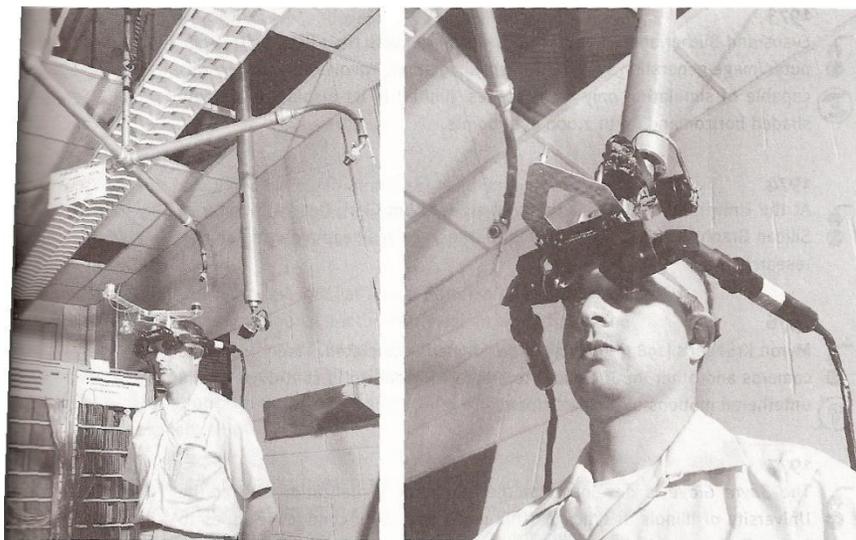
Ancor prima dell'avvento dei computer, durante gli anni '50 - '60, si potrebbe collocare la nascita di quella che sarebbe poi diventata la moderna realtà virtuale. Venne infatti realizzato un macchinario completamente meccanico, chiamato Sensorama, che forniva all'utente input dei 5 sensi, creando la prima tecnologia che riuscisse a sostituire la realtà attraverso uno scenario fittizio [2016 Brockwell].

Uno dei limiti di questo strumento fu la sua staticità, come mostrato nella Figura 7, poiché l'utente è vincolato ad essere seduto: l'immersività è dunque debole, venendo a mancare l'interattività che si ha normalmente con l'ambiente reale.



*Figura 7: Sistema del Sensorama*

La ricerca di un elevato grado di libertà deve però tener conto che la vista è uno dei sensi principali dell'uomo nella percezione della realtà. Risultò quindi necessario progettare un dispositivo che rendesse possibile muoversi nella scena, ma contemporaneamente sostituisse qualsiasi input visivo dell'esterno con un ambiente virtuale di interesse. Questo portò alla realizzazione, da parte di I. Sutherland nel 1968, del primo prototipo di display indossabile, definito più precisamente *Head-Mounted Display (HMD)*, con il nome di “*The sword of Damocle*” (Figura 8).



*Figura 8: Sistema della Spada di Damocle*

Come si vede in figura, la visione non risultava tuttavia completamente occlusa, quindi l'utente aveva percezione dei propri dintorni; inoltre i costi dello strumento erano ancora troppo elevati affinché potesse essere inserito nel mercato.

I primi sistemi commerciali di headset furono rilasciati sul mercato negli anni '90, con il Forte VFX1 della Sega (1994) e il Glasstron della Sony (1997), ma non riscosero grande successo per i grossi limiti che presentavano a livello tecnologico, potendo utilizzare unicamente una

grafica poligonale, resa 3D tramite le tecniche di visione stereoscopica. La mancanza del coinvolgimento degli altri sensi limitò fortemente il grado di immersività ed interattività dell'utente verso l'applicazione. Si è dovuto infatti aspettare fino al 2014 per la nuova generazione di HMD, con i prototipi dell' Oculus Rift, del PlayStationVR della Sony e del HTC Vive, nato dalla collaborazione tra Valve Corporation e HTC. Questi sistemi portarono alla diffusione dei primi dispositivi di VR con un sistema di tracciamento integrato: il caschetto e i controller, dotati di fotodiodi sulla loro superficie, resero possibile avere uno spazio definito in cui l'utente potesse muoversi liberamente (Figura 9). I controller divennero quindi l'interfaccia d'interazione tra l'utilizzatore e l'ambiente virtuale che lo circonda. Queste caratteristiche, accompagnate dall'avanzamento tecnologico dei display e, di conseguenza, della risoluzione visiva delle immagini presentate, costituì una vera e propria rivoluzione della percezione della realtà. È importante tuttavia sottolineare come questi sistemi furono rilasciati commercialmente solamente a partire dal 2016; attualmente queste tecnologie, nonostante la loro crescente diffusione, devono essere ancora considerate come emergenti e non senza problematiche, soprattutto nel campo della ricerca scientifica.



Figura 9: Diverse tipologie di headset

Nel 2002 Reznick et al. commenta il rapido avanzamento delle tecnologie computazionali e di come l'ambito medico sia indietro nel capire appieno le loro potenzialità e come poterle

sfruttare nel proprio campo. Si riferisce in particolare alla realtà virtuale come possibile strumento per avere una simulazione gestita da computer che si affiancasse o arrivasse anche a sostituire i metodi tradizionali di apprendimento, che riteneva presentare grossi difetti che li rendono poco efficaci nel trasferimento di skill. [2002 Reznek]

## VR in medicina

In medicina la realtà virtuale ha iniziato ad assumere sempre più importanza e a diffondersi in un vasto insieme di pratiche. Facendo riferimento alla review del Campus Biomedico dell'Università di Roma [2014 Pensieri], possiamo suddividere il panorama clinico interessato da questa tecnologia in 4 macro-aree:

- Simulazione chirurgica
- Terapia: psicologica e fisica
- Interfaccia di comunicazione
- Training del personale sanitario

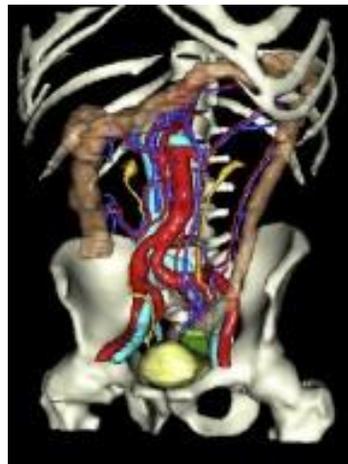
## Realtà virtuale in chirurgia

Nelle pratiche chirurgiche la realtà virtuale può essere considerato uno strumento di esplorazione e valutazione: essa garantisce infatti una migliore visibilità dei tessuti interessati, sfruttando l'acquisizione di bioimmagini del paziente, sia essa precedente all'operazione o in tempo reale, cosicché il chirurgo possa visualizzare e manipolare la rappresentazione anatomica virtuale per avere maggiori informazioni sulla parte sottoposta all'operazione.

Un lavoro esemplificativo di questa pratica è stato prodotto da G.Quero et al. [2018 Quero]. La chirurgia epatica è infatti considerata particolarmente difficoltosa a causa dell'anatomia complessa del fegato. Uno strumento di imaging avanzato permette quindi di ottimizzare la

diagnosi e la terapia, individuando preventivamente i piani di resezione e andando a caratterizzare i margini del tumore.

Nella fase iniziale vengono elaborate le bioimmagini acquisite dal paziente, tipicamente tramite la tecnica del Surface Rendering (SR), ricostruendo le superfici degli organi con mesh tridimensionali interattive (Figura 10). Durante l'operazione vengono sovrapposte le immagini virtuali a quelle real-time, con l'opzione di poter nascondere o accentuare gli organi di interesse tramite una funzione software specifica.



*Figura 10: Tecnica del Surface Rendering per la rappresentazione dell'anatomia addominale*

La sovrapposizione può avvenire in maniera manuale o semiautomatica. La procedura manuale consiste nell'orientare o scalare personalmente le immagini reali visualizzate sul monitor. Quella semiautomatica invece si basa sul riconoscimento dei punti di repere anatomici di entrambe le immagini e della sovrapposizione mediata da software; la registrazione viene svolta da un operatore, mentre il tracciamento è completamente automatico.

La tecnica automatica è ancora in fase di ricerca.

La visualizzazione può avvenire tramite: proiezione sul paziente del modello virtuale; display calibrati per simulare la visione attraverso il paziente; visualizzazione della realtà aumentata su monitor operatorio; visori per la realtà aumentata, indossati dal chirurgo (Figura 11).

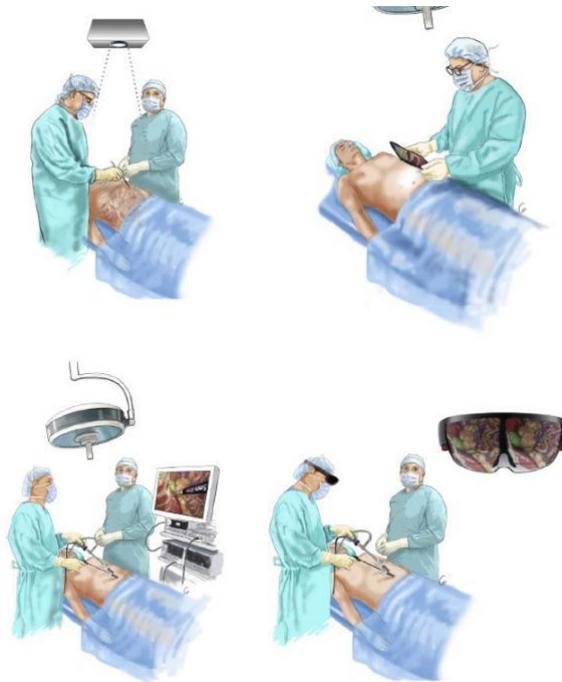
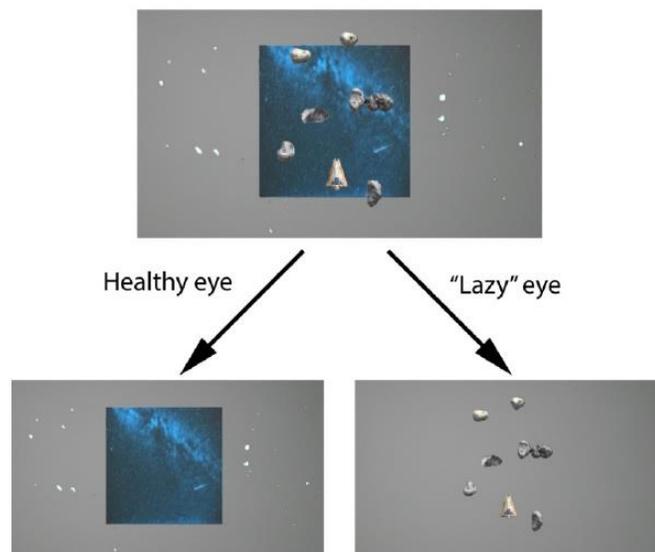


Figura 11: Esempio di proiezione di immagini di realtà aumentata

## Applicazione in ambito terapeutico

La terapia può essere differenziata tra il trattamento di sintomi fisici, come la riabilitazione post-operatoria e la gestione di dolori cronici, e quello di disturbi mentali, tra cui fobie, disturbi da stress post-traumatico (PTSD) e dell'ansia. Per citare due lavori nei due campi, si discuteranno di seguito le pubblicazioni di A.Nowak et al. [2018 Nowak] e di C.R.Jetly et al. [2017 Jetly]. Il primo costituisce un'esemplificazione del trattamento di una patologia oculare, l'ambliopia, con l'obiettivo di ripristinare la corretta funzionalità del sistema visivo del paziente. Nowak propone un approccio interattivo in cui, tramite il device HoloLens di

Microsoft, al soggetto vengono presentati degli asteroidi virtuali tramite realtà aumentata, come visibile nella Figura 12. Il task consiste far evitare gli asteroidi ad una navicella virtuale, controllata tramite il movimento della testa. Il maggior numero di oggetti viene presentato all'occhio pigro, sfruttando il vantaggio di avere due display, ciascuno proprio di un occhio; in questo modo l'occhio pigro viene stimolato maggiormente, senza tuttavia escludere l'occhio sano, come avviene con le terapie tradizionali di bendaggio.



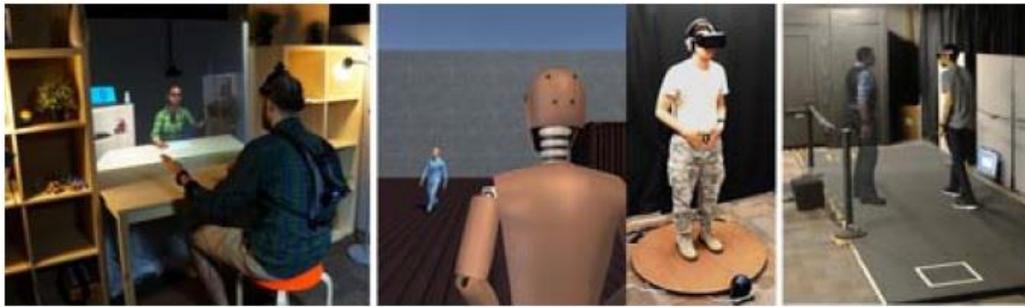
*Figura 12: Sistema per il trattamento dell'ambliopia*

Il secondo lavoro è orientato alla sostituzione delle tradizionali terapie contro il PTSD, con applicazioni che promuovano la presenza e la partecipazione cognitiva. La terapia consiste nell'unione di stimolazioni visive e uditive (con fotografie e musica), motorie (cammino sul tapis roulant), ed elementi di terapie alternative, come la Virtual Reality Exposure Therapy (VRET) e la Eye-Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR). L'insieme di questi elementi aumenta il senso di presenza del paziente nella memoria ricreata e il consolidamento di questa, contrastando l'evasività cognitiva. Il task è stato strutturato in 3 fasi:

- la fase di approccio, in cui il paziente si avvicina ad una fotografia alla fine di un corridoio virtuale. Il cammino verso il ricordo traumatico, assieme con la sensazione motoria, lavorano per mantenere attivo cognitivamente il paziente, in un atto di approccio volontario;
- la fase di discussione, in cui viene affrontata la memoria con un medico;
- la fase di EMDR, in cui si lavora per sbloccare il flusso di informazioni legate a quella memoria e tentare di renderne di nuovo possibile l'elaborazione cognitiva;
- la fase finale di tutti i trial, in cui viene riprodotta della musica per rafforzare sentimenti positivi durante il riposo mentale del paziente.

## Mediated Physicality & Training

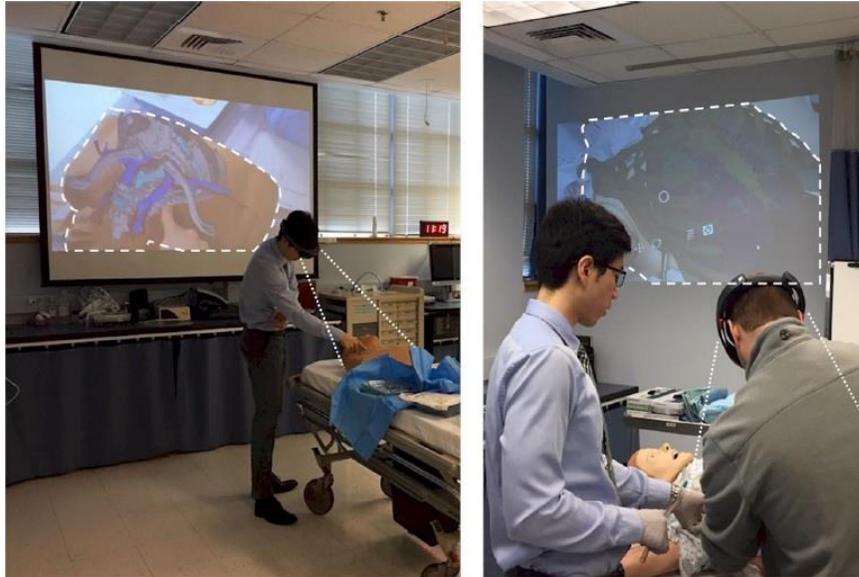
Come affermato precedentemente, l'immersività è la caratteristica principale nel campo della realtà virtuale. La difficoltà nel realizzare una immersività totale risiede nella multisensorialità della percezione umana. Per questo motivo attualmente vi è una grande mole di lavoro nel tentativo di implementare applicazioni che integrino più feedback sensoriali e con il maggior grado di fedeltà possibili. Su questa linea si colloca il lavoro di M.Lee [2018 Lee]. Il concetto di *Mediated Physicality* può essere definito come una tecnica indirizzata al produrre un senso di presenza dell'utente, sfruttando feedback sensoriali che lo illudano di poter avere un'interazione fisica con l'ambiente virtuale che lo circonda (Figura 13). Questa interazione non è però direttamente percepita dall'utente, ma è percepita tramite le azioni sull'ambiente. Quest'illusione, nel caso in questione, viene perpetuata tramite movimenti sincronizzati tra elementi reali e virtuali e feedback vibrotattile tramite il pavimento. I fattori principali legati a questo fenomeno sono la sincronizzazione tra le azioni e gli effetti ad esse associati e l'integrazione di feedback aptici e motori, consistenti con le azioni in atto.



*Figura 13: Set-up di implementazione di Mediated Physicality*

È stato già discusso come la capacità di trasferire conoscenze e abilità motorie sia connesso direttamente al grado di partecipazione e di immersività dello studente. Le applicazioni di realtà virtuale forniscono un'evoluzione nel raggiungimento di questo fine. Essendo una tecnologia emergente, esistono ancora molte problematiche legate al loro impiego nell'ambito del training; negli ultimi anni vi è però una forte spinta nella ricerca di metodi per realizzare questi obiettivi. Si propongono di seguito due lavori che si pongono come fondamenta di sviluppi futuri.

Il primo, portato avanti da L.Kobayashi et al. [2018 Kobayashi], riprende le procedure utilizzate in campo chirurgico, nel tentativo di creare una simulazione realistica per gli operatori di medicina di emergenza. È stata creata un'infrastruttura per l'accesso libero a database di bioimmagini, le quali vengono convertite ed elaborate affinché si ottengano mesh tridimensionali olografiche. Le immagini sono state quindi sovrapposte, tramite il device HoloLens di realtà aumentata, ad un manichino di simulazione per la visualizzazione delle strutture anatomiche, in sostituzione alle tecniche di ecografia portatile. Tale visualizzazione permette così la pratica di procedure di piazzamento di una linea venosa centrale e di inserzioni di tracheotomia (Figura 14). Per incrementare l'efficacia del training all'istruttore è stata data la possibilità di interagire con lo studente tramite una comunicazione skype tra il proprio laptop e il device di realtà aumentata, sfruttando così anche la funzionalità di point and drawing su schermo.



*Figura 14: Training supportato dalla realtà aumentata*

R.J.Stone et al. [2017 Stone] hanno invece lavorato per la ricostruzione di un contesto operativo del Medical Emergency Response Team, affinché l'applicazione risulti economica, trasportabile e con una configurabilità flessibile. In questo caso il lavoro si colloca nella fase di pre-training, ossia nella ricreazione di un ambiente di forte realismo in cui collocare successivamente diversi scenari di training. Questa operazione è di notevole importanza nell'ambito del training, in quanto la possibilità di avere una collezione di scenari virtuali a disposizione, espande ampiamente le esperienze che lo studente può affrontare durante il suo percorso di learning. Inoltre la personalizzazione del contesto rende l'applicazione più orizzontale e quindi personalizzabile per un numero maggiore di campi di studio. La realizzazione dello scenario è stata portata avanti tramite l'accurata progettazione dell'ambiente virtuale, in modo che avesse una corrispondenza esatta con il setting reale e con l'ingombro degli oggetti presenti (Figura 15).



*Figura 15: Punto di vista virtuale della procedura di soccorso*

Il tracciamento dell'utente è stato realizzato tramite il device HTC Vive, tuttavia l'interazione con il manichino attraverso i controller è risultata insoddisfacente, per l'ingombro di questi ultimi e per il feedback tattile incongruente che si ha rispetto agli elementi reali che essi dovrebbero rappresentare (Figura 16).



*Figura 16: Interazione tramite controller con un manichino di simulazione*

Alcuni degli sviluppi futuri che il team di ricerca espone nella discussione sono la realizzazione di una rappresentazione realistica del manichino, che presentasse inoltre ferite ed amputazioni, tipiche del contesto di soccorso medico militare e l'inserimento efficace di altri membri del team all'interno della simulazione, affinché si incrementasse la dinamicità di questa.

È evidente come la tecnologia di realtà virtuale sia da considerarsi ancora emergente e, quindi, non senza problematiche.

Il corrente lavoro di tesi pone le sue basi nell'ambito di interfacciamento dell'utente con la scena e in quello di training, risultando la prima fase di un progetto più ampio che mira al miglioramento delle pratiche di training, nello specifico degli operatori di medicina d'emergenza. All'interno di questo lavoro si è dovuto quindi affrontare il bisogno di avere un discreto livello di fedeltà per il miglioramento del grado di immersività dell'utente, integrando quindi concetti quali la Mediated Physicality e la disciplina di Human Factors/Ergonomics. Questo progetto può essere quindi considerato sulla linea del lavoro di R.J.Stone, in cui si è prestata massima attenzione alla rappresentazione del manichino da simulazione all'interno del mondo virtuale, concentrandosi anche sugli aspetti di interattività, necessari per le procedure di training clinico. La realizzazione di questi obiettivi porta ad avere un'applicazione più stabile ed efficace, che funga da base per le future implementazioni di task più complessi ed orientati al training.

## Capitolo II - Progetto

Questo lavoro si deve considerare come il primo passo verso la realizzazione di un progetto più ampio. L'idea da cui si è partiti è quella di avere un'applicazione software di realtà virtuale da usare in combinazione con l'attrezzatura fisica utilizzata per la simulazione di pratiche mediche a scopo educativo. Il fine è quello di aumentare l'immersività e quindi l'efficacia del training tramite simulazione, indirizzato principalmente ad operatori di primo soccorso in una situazione di emergenza.

Questo lavoro si propone quindi di porre le basi per la progettazione e lo sviluppo di un sistema che risponda a questa richiesta, sia dal punto di vista software che hardware, identificando e verificando le strumentazioni e le procedure più consone per la sua realizzazione.

Nello specifico, in questo lavoro di tesi ci si è posto come obiettivo la progettazione e lo sviluppo di un modello virtuale di un manichino reale ad alta fedeltà, tale che il modello virtuale abbia un aspetto più simile possibile ad una persona reale e apparire delle stesse dimensioni del manichino, al quale dovrà rimanere solidale all'interno della simulazione e replicarne quantomeno gli spostamenti base. Si vuole inoltre realizzare un ambiente virtuale in cui svolgere la simulazione di interesse e verificare se l'utilizzo di realtà virtuale aumenti effettivamente il senso di realismo dello scenario simulato e aiuti ad immedesimarsi nella situazione.

Considerando l'ambito in cui questa tesi è inserita, si è dovuto quindi curare in parte anche un aspetto più grafico nella ricerca di un certo livello di realismo, ma data la natura di questo lavoro ci si è concentrati maggiormente nella ricerca di strumenti e metodologie adatte alla realizzazione dell'intento.



## Motore Grafico

Unity è un motore grafico rilasciato nel 2005 da Unity Technologies, che può essere utilizzato per lo sviluppo di giochi e simulazioni bidimensionali e tridimensionali su più piattaforme (Windows, macOS, iPhone, Android, etc.). L'ambiente di sviluppo consente di creare modelli e scenari virtuali, nonché di importare al suo interno quelli realizzati con altri software grafici; la programmazione è per lo più grafica, ed è inoltre possibile l'implementazione di script in vari linguaggi di programmazione, tra cui C++, C#, Java. Un progetto di Unity si compone di una o più *scene*, dove ogni scena può contenere elementi diversi tra quelli importanti all'interno del progetto. Gli elementi presenti in una scena sono definiti Game Objects, e possono essere organizzati in gerarchie composte da un oggetto parente e uno o più oggetti figli, caratterizzati da dipendenze dall'oggetto genitore. Al momento dell'esportazione, l'applicazione realizzata conterrà tutte le scene presenti all'interno del progetto con i rispettivi oggetti. Un esempio dell'interfaccia è visibile nella Figura 18: Schermata di Unity per un progetto di esempio

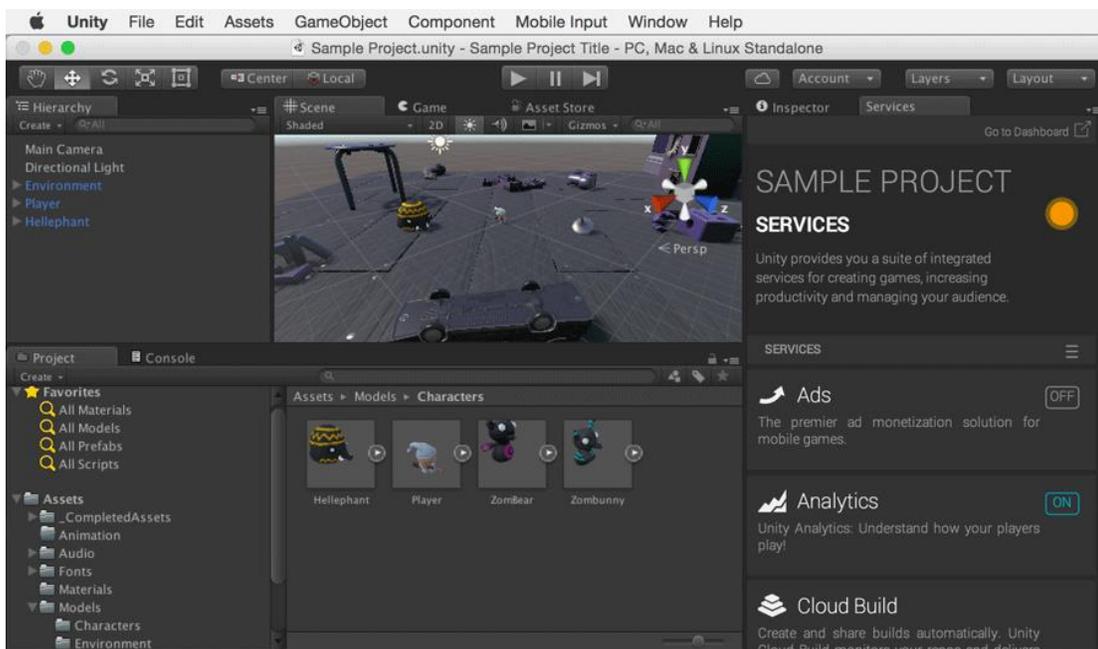


Figura 18: Schermata di Unity per un progetto di esempio

All'interno di questa tesi, Unity è stato utilizzato per sviluppare una applicazione di realtà virtuale per Windows, da utilizzare con il sistema HTC Vive e Leap Motion. È stata utilizzata

la versione personale gratuita di questa applicazione nella sua ultima versione disponibile rilasciata, che al momento della fine del lavoro risulta essere Unity 2018.2.15.

## HTC Vive

HTC Vive è un dispositivo di realtà virtuale prodotto dalla Valve in collaborazione con HTC, presente sul mercato dall'aprile del 2016. Questo dispositivo permette di visualizzare e muoversi all'interno di un ambiente virtuale e interagire con gli elementi presenti al suo interno. Il sistema del HTC consiste di un head mounted display (HMD), due controllers e due unità "Lighthouses" (emettitori di laser infrarossi)(Figura 19). In aggiunta al sistema di base, è possibile usare dei tracker, fino ad un massimo di 64 dispositivi collegati, ma solamente 13 se si utilizza su Unity(Figura 20).



*Figura 19: Sistema HTC vive, con Headset, Controllers e Lighthouses*



*Figura 20: Trackers del sistema HTC Vive*

L'HMD, anche definito headset, è costituito da un visore indossabile come un caschetto e collegato al computer tramite cavo USB; il visore presenta due display di risoluzione 1080x1200 pixels/°, uno per ciascun occhio, che vengono aggiornati con una frequenza di 90Hz, e coprono un campo visiva di circa 110° (circa 90° per occhio). Il tracciamento delle componenti del sistema avviene principalmente da misure inerziali attraverso il principio di navigazione stimata, che consente tempi di risposta rapidi. In aggiunta a questo, si aggiunge il sistema delle due unità Lighthouse, che consentono di limitare e correggere gli errori delle misure inerziali; le due unità emettono alternativamente segnali laser che si muovono orizzontalmente e verticalmente a coprire uno spazio di 120° in ogni direzione. Il caschetto e i controller hanno installati sulla loro superficie dei fotodiodi che rispondono quando vengono colpiti dal laser; in questo modo, registrando gli intervalli di tempo nelle risposte dei vari fotodiodi, il sistema è in grado di riconoscere la posizione e l'orientamento delle sue componenti. Le due basi Lighthouse devono essere posizionate una di fronte all'altra e in modo da coprire tutta l'area di gioco ed è importante che queste non vengano mai ostruite, in quanto la perdita di visibilità del headset o dei controller da parte delle basi implica una perdita del tracciamento. L'area di gioco viene configurata dall'utente durante il primo avvio del sistema, e deve essere effettuata una nuova calibrazione nel caso in cui vengano spostate le due unità Lighthouse, volontariamente o per sbaglio, o se si vuole cambiare l'area utilizzata, che può consistere al massimo di un'area 4x4m.

Il HTC Vive è gestito dal software di SteamVR, presente all'interno del sistema di Steam, una piattaforma della Valve, ed in particolare è stato utilizzato all'interno di Unity3D installando un plugin pre-esistente che consente l'integrazione dei due sistemi.

Il sistema del HTC Vive consente di avere un sistema di tracciamento ad un costo relativamente accessibile, garantendo una accuratezza adeguata a mantenere un senso di presenza stabile nella scena, pur presentando delle limitazioni [Niehorster, 2017]. Il problema principale riscontrato nell'utilizzo del HTC Vive come sistema di tracciamento è che questo è in grado di rilevare con precisione solamente la posizione delle sue componenti associate, ovvero i due controller

e dei tracker. Dato che questi oggetti hanno un ingombro fisico, risulta difficoltoso posizionarli in modo corretto sull'oggetto di cui si sta cercando di ottenere il tracciamento, dato che è necessario che il dispositivo sia fissato in modo stabile perché sia tracciato in modo corretto. Inoltre, il numero limitato dei dispositivi associabili risulta in una limitazione di componenti di cui è possibile avere una corrispondenza in virtuale, dal momento che si dovrebbe usare un diverso dispositivo per ogni componente che si muove in modo indipendente – in una persona, ad esempio, gli arti piuttosto che il busto o la testa e via dicendo. Ulteriormente, il sistema perde il tracciamento ogni qualvolta che le basi Lighthouse perdono la vista dei sensori dei dispositivi associati, risultando in un'interruzione della simulazione e una perdita nel senso di presenza nella scena. Risulterebbe più pratico poter utilizzare dei marker da poter posizionare direttamente sull'oggetto, tali che questi abbiano un ingombro minore possibile, risultino posizionabili sull'oggetto in modo più stabile e possano essere utilizzati in maggior numero. Tuttavia, il sistema HTC Vive offre una alternativa a sistemi di tracciamento più complessi, in quanto risulta meno costoso e facile da montare e utilizzare.

## Leap Motion Controller

Il Leap Motion Controller è uno strumento che consente di rilevare la posizione di entrambe le proprie mani in tempo reale (Figura 21). L'hardware è costituito da un piccolo dispositivo che viene collegato al computer tramite cavo USB e contenente due camere monocromatiche e tre LEDs infrarossi: questi scannerizzano un'area di circa 1m con luce infrarossa e generano dati ad una frequenza di circa 200frame/s. I dati derivanti dalle due immagini bidimensionali vengono quindi trasferiti al computer e analizzati dal software del Leap Motion che utilizza calcoli matematici complessi (le cui specifiche non sono ulteriormente spiegate dall'azienda in questione) per ricavare la posizione nello spazio tridimensionale.

Il Leap Motion può essere utilizzato sia in modo indipendente, sia in combinazione con un sistema di realtà virtuale, per il quale è stato sviluppato un SDK specifico, Orion. Sono inoltre scaricabili dei moduli specifici per la sua integrazione all'interno di Unity3D, che forniscono inoltre degli esempi di utilizzo e funzionalità del dispositivo.



*Figura 21: Utilizzo del Leap Motion*

Per il suo utilizzo in combinazione con sistemi di realtà virtuale, il Leap Motion viene generalmente fissato davanti al visore, in modo che sia solidale con la camera del HMD, come visibile nella Figura 22. È importante che la distanza tra il dispositivo e il range di azione delle mani sia stabile, dato che il tracciamento avviene solamente nell'area immediatamente frontale ad esso.



*Figura 22: Leap Motion montato su headset del HTC Vive*

L'utilizzo di questo strumento all'interno di ambienti di realtà virtuale non solo permette di avere visibilità delle proprie mani, ma anche di poterle utilizzare per compiere azioni ed

interagire direttamente con l'ambiente qualora questa funzione sia dovutamente implementata, senza dover necessariamente utilizzare i controllers. Questo consente di avere un maggior grado di presenza nell'ambiente virtuale, dato che si acquista la diretta visibilità delle proprie mani all'interno della scena.

Il Leap Motion risulta essere uno strumento con un altro grado di fedeltà, avendo un'accuratezza stimata di circa 0.7mm [Weichert, 2013]. È tuttavia soggetto a momenti di scarsa stabilità, soprattutto all'interno di un ambiente simulato di costo computazionale elevato, ed è da notare come il tracking delle mani viene perso una volta che queste sono fuori dal campo visivo dello strumento: questo è un problema nel caso si stia interagendo con un oggetto all'interno della scena virtuale, perché la fine del tracciamento implica la perdita di contatto con questo. In particolare diventa altamente instabile se all'interno del suo campo visivo si presentano più mani oltre alle due dell'utente, come ad esempio quelle del manichino. In questo lavoro il Leap Motion è stato utilizzato principalmente per aumentare il senso di presenza all'interno della scena, nonché per il compimento di alcuni task sviluppati e nella raccolta di dati di analisi.

## Animazione e montaggio 1

Blender è un software per la modellazione, rigging, animazione, montaggio, composizione e rendering di immagini tridimensionali e bidimensionali, nonché dispone di funzionalità per mappature UV, simulazioni di fluidi, di rivestimenti, di particelle, simulazioni non lineari e creazione di applicazioni tridimensionali. Il programma è gratuito e open source e consente di importare ed esportare file in numerose estensioni su varie piattaforme. In questo lavoro, questo software è stato utilizzato principalmente per la modellazione di mesh tridimensionali, nonché per realizzare delle animazioni sulla stessa.

## Fotogrammetria

La fotogrammetria è una tecnica che consente di ricreare virtualmente un modello tridimensionale partendo da più fotogrammi dell'oggetto in considerazione. L'idea cardine alla base di questa metodologia è che i dati metrici di forma e posizione degli oggetti possono essere ricavati da più immagini bidimensionali che raffigurano l'oggetto da diverse angolazioni, consentendo una computazione geometrica dei dati forniti. Questa tecnica è largamente utilizzata in ambito architettonico e per la rilevazione topografica del territorio, tramite la tecnica della fotogrammetria aerea. Affinché la ricostruzione sia fedele e ben riuscita, è necessario che i fotogrammi forniti (sia nella forma di fotografie che in un video siano numerosi e raffigurino l'oggetto a 360°, nella stessa posizione e con illuminazione uniforme; questo rende più difficoltosa l'acquisizione di un corpo non statico, come risulta essere una persona.

In questo lavoro di tesi è stato utilizzato il software Zephyr3D, che consente di caricare al suo interno delle fotografie o dei video che vengono quindi automaticamente elaborati in più fasi, fino ad ottenere una mesh tridimensionale compresa di texture mappata. È stata utilizzata la versione gratuita di questo programma, che consente l'upload solamente di un numero di foto ristretto: questa limitazione implica la difficoltà ad ottenere un'elaborazione corretta di corpi particolarmente complessi, come ad esempio il corpo umano. Per questo motivo si è scelto di ricostruire in fotogrammetria solamente il volto di una persona, e di utilizzare un modello già esistente di corpo da integrare con la mesh del viso ottenuta.

## Animazione e montaggio 2

La skeletal animation [Magnenat, 1988] è una tecnica di animazione digitale largamente utilizzata per la realizzazione delle animazioni principalmente di personaggi umanoidi, ma che può essere applicata virtualmente a qualsiasi tipologia di modello. All'oggetto mesh viene associato un insieme gerarchico di ossa interconnesse che rappresenta di fatto una sorta di scheletro semplificato, definito rig; questo può consistere di un numero di ossa del tutto

arbitrario e funzionale ai bisogni dell'animatore, per cui non è necessario che sia riprodotto esattamente lo scheletro reale del personaggio in tutte le sue componenti. Ogni osso ha una sua posizione, orientamento e scala, ed è connesso agli altri con un rapporto figlio-genitore, per cui muovendo l'osso parente si muoverà anche l'osso figlio; ogni rig presenta un osso che risulta essere genitore di tutte le altre, e controllerà quindi la trasformata di tutta la gerarchia. Il processo di associazione del rig con la mesh è definito skinning, mediante al quale ad ogni osso è associata una parte della mesh con un certo peso, che definisce quanto controllo l'osso eserciterà su quella specifica zona: muovendo l'osso sarà dunque possibile muovere la parte ad esso associata; i pesi non sono mutualmente esclusivi, in quanto più ossa possono avere diversi livelli di controllo sulla stessa parte della mesh.

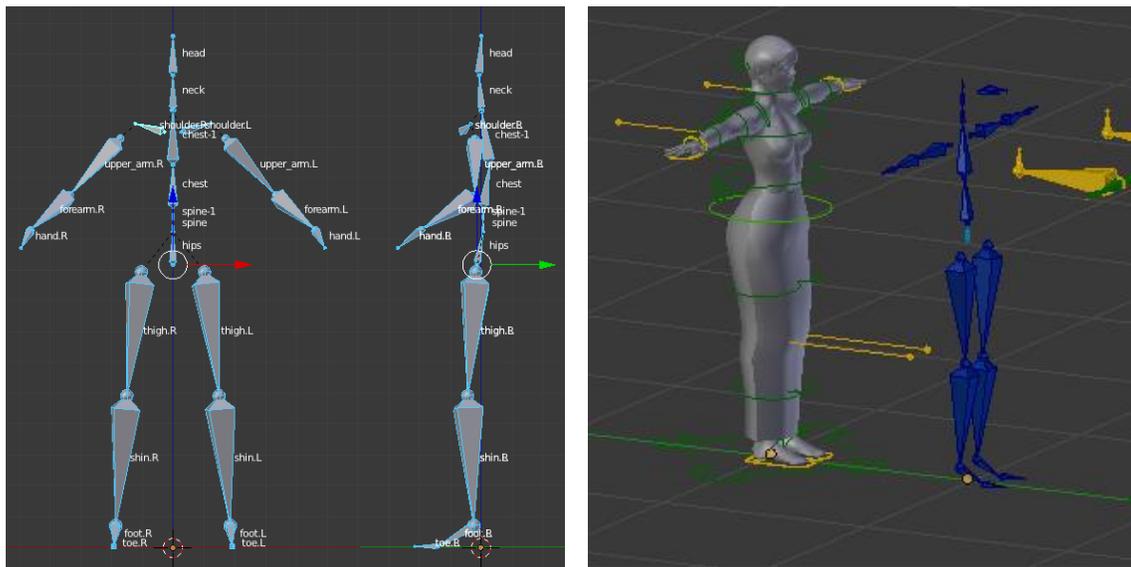


Figura 23: Rappresentazione del rigging

Lo skinning può essere realizzato sia in modo automatico, grazie a software dedicati, sia in modo manuale, definendo i pesi delle singole ossa. In questo modo l'animazione del modello viene realizzata non deformando direttamente la mesh, ma muovendo lo scheletro ad essa associata, manipolando le singole ossa o gruppi di esse. Ulteriormente, possono essere definite delle ossa di controllo che abbiano una relazione di cinematica inversa con un gruppo di ossa, ad esempio si può creare un osso collegato a quello del piede che controlli tutte le ossa presenti

nella gamba: questo è utile per realizzare un movimento simile a quello reale, dal momento che manipolando l'osso del piede si potrebbe muovere semplicemente tutta la gamba, riproducendo la dinamica del cammino.

Benché le animazioni possano essere realizzate anche senza la creazione di un impianto di rigging, questa tecnica rende la manipolazione della mesh più intuitiva e rapida.

## Progettazione e sviluppo del modello

Un aspetto cardine di questo lavoro di tesi è stata la progettazione di un modello virtuale tridimensionale che riproducesse nel modo più fedele possibile la fisionomia e le dimensioni di un manichino ad alta fedeltà, fornito dal SimAv, utilizzato all'interno delle simulazioni. Il modello è da considerarsi composto da:

- Una mesh poligonale, ovvero un reticolo che definisce un oggetto nello spazio virtuale, composto da vertici, spigoli e facce. Può essere pensata come la “scultura” del modello.
- Una texture da applicare alla mesh, ovvero quello che costituisce il “materiale” di cui è fatta la superficie.
- Delle animazioni da applicare sul modello.

In questo lavoro non ci si è concentrati sul riprodurre necessariamente tutte le funzionalità del manichino fisico, come ad esempio la possibilità di effettuare una intubazione: queste attività sono da ritenersi degli sviluppi futuri del progetto da implementare sulle basi poste da questo lavoro.

L'obiettivo principale nella realizzazione di questo modello è ottenere un alto grado di corrispondenza in forma e dimensioni al manichino fisico, e al contempo aumentare il realismo del suo aspetto così da aumentare la sensazione di trovarsi davanti ad una persona vera, sia da un punto di vista puramente estetico che nell'aggiunta di elementi che imitassero il comportamento di un essere umano.

## Mesh e Texture

Per rispondere all'esigenza di realismo ricercato, si è deciso di costruire il modello sulla base di una persona vera, utilizzando tecniche di scansione digitale.

Inizialmente si è provato a generare un modello tridimensionale utilizzando il Kinect v2, e in particolare l'SDK Kinect Fusion Explorer fornito dalla Microsoft per Windows [Kinect hyperlink]. È stato scansionato il corpo del soggetto, in modo da ricavare sia la mesh tridimensionale che la texture mappata al di sopra di essa. In seguito a varie prove e tentativi, si è tuttavia giudicato questo strumento inadatto ad ottenere il risultato desiderato, in quanto le mesh ottenute risultavano essere poco precise, incomplete e poco dettagliate. Si è quindi deciso di cambiare metodologia, optando stavolta per tecniche di fotogrammetria.

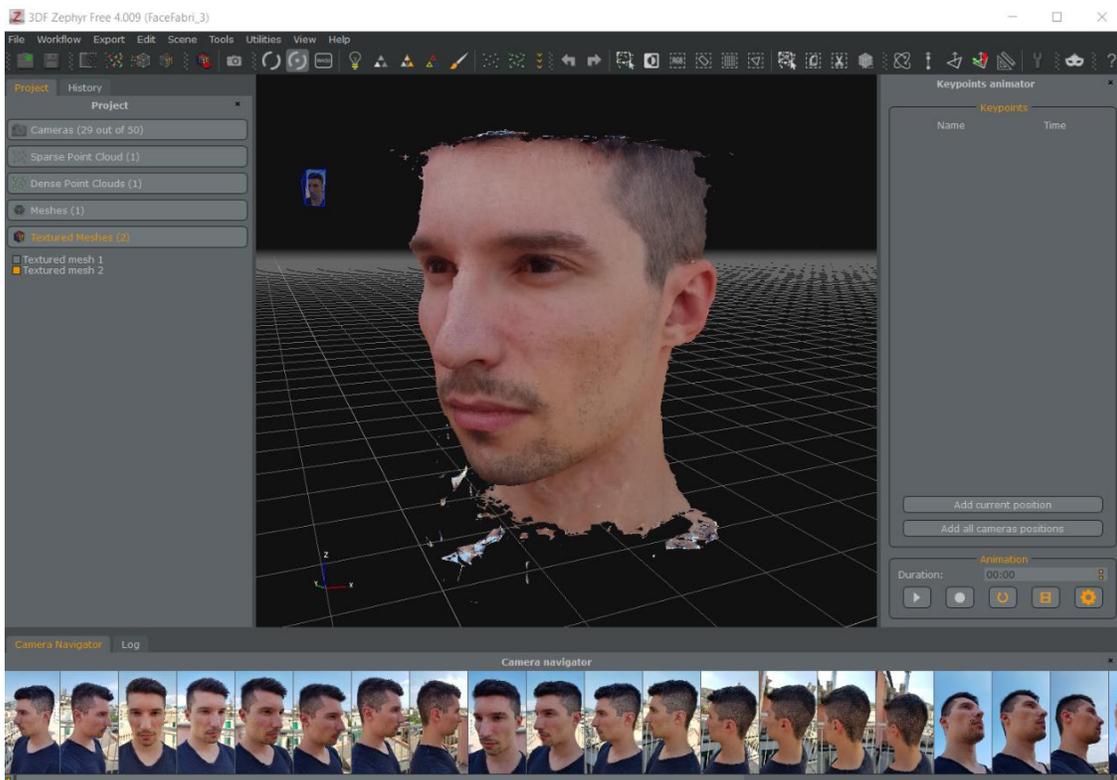


Figura 24: Realizzazione del viso su Zephyr

È stato utilizzato il software Zephyr3D, nella sua versione gratuita (Figura 24). In questa modalità, viene imposto un limite massimo di 50 foto da utilizzare per la ricostruzione del modello: data questa limitazione, i primi risultati non sono stati soddisfacenti. Si è deciso quindi di abbandonare l'idea di ricostruire l'intero corpo, e di cercare invece di acquisire soltanto un volto: in questo modo si è riusciti ad ottenere un modello soddisfacente, sia in termini di mesh che di texture. La mesh è stata ulteriormente migliorata utilizzando programmi di modellazione grafica, quali MeshLab e Blender: con questi programmi sono stati eliminati i vertici liberi, chiusi i "buchi" del reticolo, effettuato uno smoothing delle superfici e posta qualche attenzione su piccoli dettagli. Il modello virtuale è stato esportato in formato .fbx ed è stato da qui in poi sempre gestito come tale.

Il modello completo è stato quindi composto utilizzando la mesh del volto ottenuta con la fotogrammetria ed una mesh di un corpo trovata online dal sito free3d.com, dove sono raccolti dei modelli realizzati da terzi e messi a disposizione degli utenti gratuitamente. Questa soluzione è stata giudicata ragionevole considerando che il viso costituisce la parte più caratterizzante di una persona e quindi la parte più importante da considerare per ottenere un alto grado di realismo, e che un modello del corpo è in ogni caso più facile da realizzare in modo realistico anche con altre tecniche di scultura virtuale. Per unire il corpo e il volto è stato utilizzato ancora una volta Blender (Figura 25).

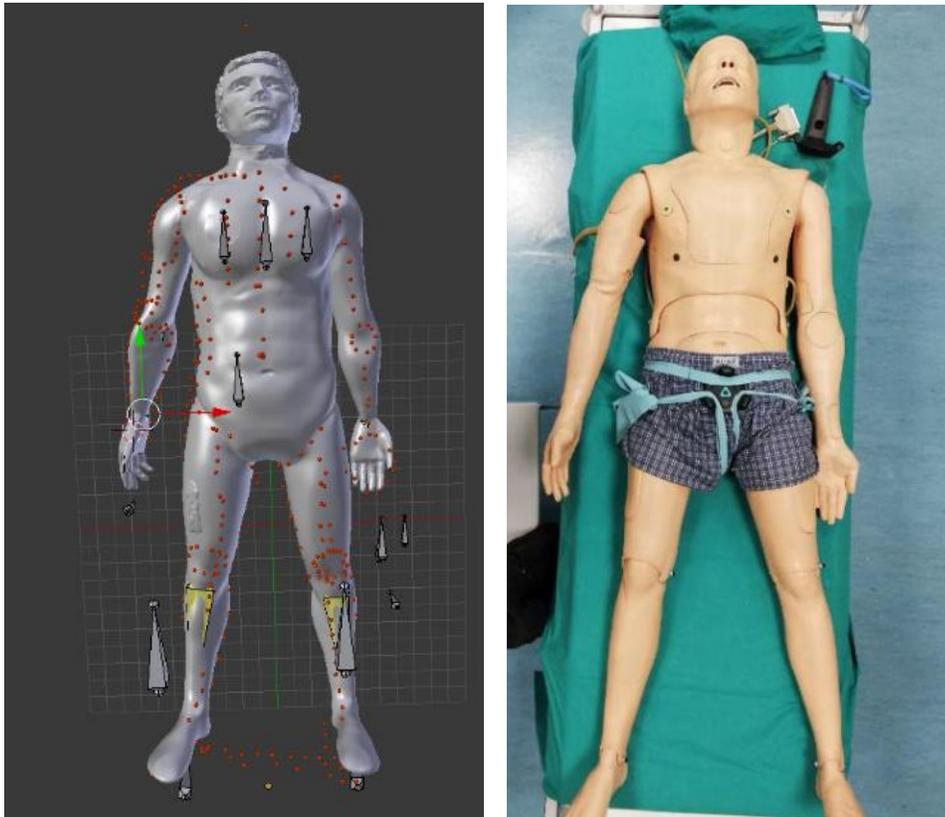


Figura 25: Sviluppo del modello completo su Blender

Per poter ottenere un alto grado di corrispondenza tra il reale e il virtuale è stato necessario scalare e posizionare il modello virtuale sulla base del manichino reale. Questa operazione, che racchiude uno dei punti cardine di questo lavoro, risulta particolarmente complessa e consiste di fatto in una delle problematiche principali nell'ambito dello sviluppo di applicazioni di realtà virtuale: trovare delle corrispondenze tra realtà e virtuale implica il dover trovare dei riferimenti che siano univoci tra due piani di esistenza totalmente slegati. Ulteriormente, la corretta modellazione è strettamente dipendente dal sistema di tracking utilizzato, sia nel momento dello sviluppo del modello che della verifica della riuscita di questa operazione: infatti pure assumendo che il modello sia scalato perfettamente rispetto al manichino, se il riferimento nel sistema di tracciamento risulta spostato, la corrispondenza dei due risulterebbe totalmente compromessa.

Per modellare la mesh in modo adeguato, si è seguito il procedimento di seguito:

- È stato creato uno script all'interno di Unity, associato all'oggetto controller, con il quale, ogni volta che viene premuto il tasto Trigger del dispositivo, viene creato un oggetto in virtuale della forma di una piccola sfera in corrispondenza della posizione dell'estremità del controller.
- Con questo espediente, all'interno di una scena di Unity è stata tracciata la sagoma reale del manichino, creando una serie di punti in corrispondenza della sua superficie, andando a poggiare il controller fisicamente al di sopra del manichino così da poter riportare la sua forma e dimensione in ambiente virtuale. I punti sono stati quindi salvati ed esportati in formato .fbx. (Figura 26)
- Avendo la sagoma del corpo reale, è stata quindi sovrapposta al modello virtuale, che è stato quindi scalato e dimensionato sulla base di questa. Questa operazione è stata svolta totalmente su Blender.



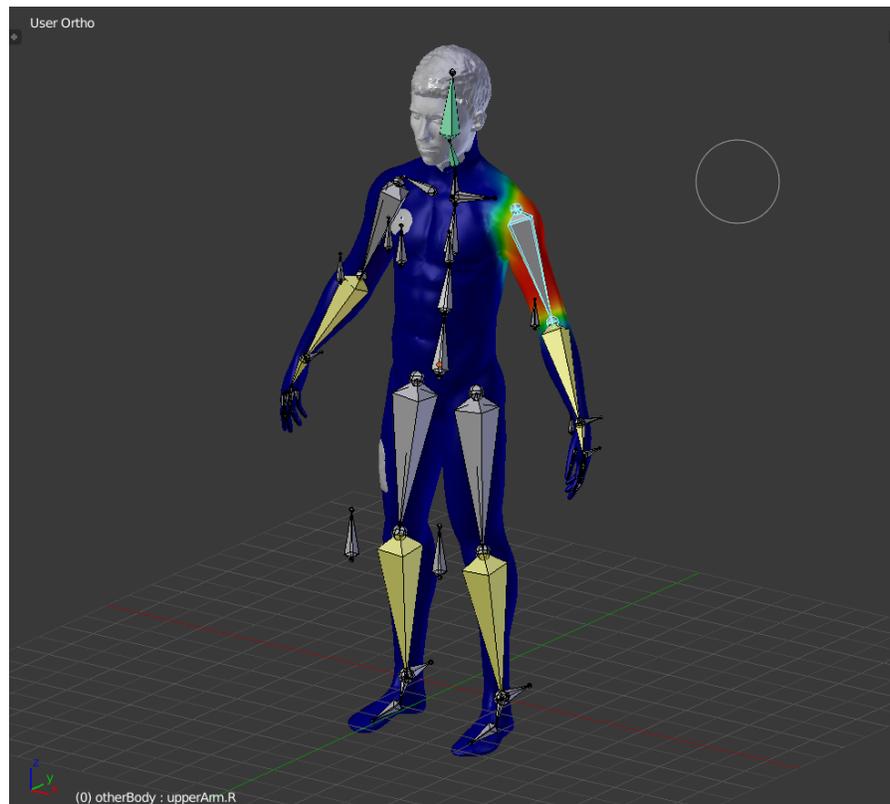
*Figura 26: Comparazione modello virtuale e manichino reale. I punti rossi nel modello sono i punti ottenuti dal tracciamento del manichino e posizionati per scalare la mesh.*

Si è giudicato che questo procedimento permettesse di modellare il corpo in modo ragionevolmente accurato, se pur non potendo garantire un grado di precisione ottimale, in quanto soggetto ad errori umani e del sistema di tracciamento.

## Animazioni

Una volta ottenuto il modello di base, è stato ritenuto opportuno realizzare delle animazioni per aumentare il grado di realismo della simulazione, dal momento che una persona reale non è mai del tutto immobile. Dal momento che è necessario mantenere una corrispondenza tra reale e virtuale, e il manichino reale è da considerarsi totalmente statico all'interno di questa simulazione, se ne consegue che l'animazione non potrà consistere di movimenti esagerati; è

tuttavia il caso di notare come anche solamente dettagli fini, quali un leggero movimento della testa o di una mano, come si avrebbe nella realtà da una persona sdraiata alla quale viene chiesto di rimanere ferma, rendono la simulazione più simile ad una situazione reale. Si è deciso quindi di realizzare una animazione per simulare uno stato di riposo, mettendo il modello in posa supina e simulando una respirazione. Al di sopra di questa animazione è stata posta una secondaria, che consiste nello sbattimento occasionale delle palpebre.



*Figura 27: Rigging del modello, con evidenziato il peso relativo all'osso del braccio*

In un primo momento si è provato ad utilizzare delle animazioni pre-esistenti fornite dal sito meshmixer.com, ma data la complessità e la pesantezza del modello ottenuto, l'eseguire l'upload e conseguente download dal sito implicava una notevole perdita di dettagli, quindi questa opzione è stata scartata. Per realizzare queste animazioni è stata quindi utilizzata la tecnica della skeletal animation, realizzando un rigging del modello e conseguente registrazione delle keyframes, sempre su Blender (Figura 27).

Per utilizzare e gestire le animazioni realizzate all'interno di Unity, all'oggetto del modello è stata aggiunta una componente Animator, che richiama le animazioni associate al file.

## Elementi aggiuntivi

Sempre con l'obiettivo di rendere la simulazione più realistica ed immersiva, considerando che nella sua concettualizzazione è stata pensata per simulare situazioni che necessitano di interventi di primo soccorso, si è pensato di realizzare degli elementi che simulassero una condizione di emergenza. In particolare, sono state ricreate due tipologie di ferite al di sopra del modello, una ferita al petto ed una ferita alla gamba.

Sono state realizzate due mesh a partire dalle parti del corpo del modello sulle quali si intendeva avere la ferita, utilizzando MeshMixer per "tagliare" la parte interessata. Sulla mesh sono state quindi mappate delle texture che riproducessero le tipologie di ferite ricercate, in particolare un taglio per la gamba e una ferita da arma da fuoco per il petto, visibili nella Figura 28: queste sono state realizzate con delle immagini trovate su internet e modificate su Photoshop per adattarsi alla mesh. Una volta ottenute le due mesh, queste sono state unite al modello del corpo così che rimanessero solidali con esso: è stata necessaria quindi un'ulteriore modellazione delle mesh, perché si adattassero al corpo, nonché una definizione dei loro pesi relativi al rig del modello, perché si muovessero in modo conforme ad esso. Questa operazione è stata ancora una volta svolta su Blender.



Figura 28: Visualizzazione delle ferite sul modello

È da notare come l'oggetto Modello sia costituito da varie componenti, legate tra di loro ma gestite come mesh distinte; nello specifico, è composto da Face, Body, legWound, gunWound e Eyes, come visibile in Figura 29:

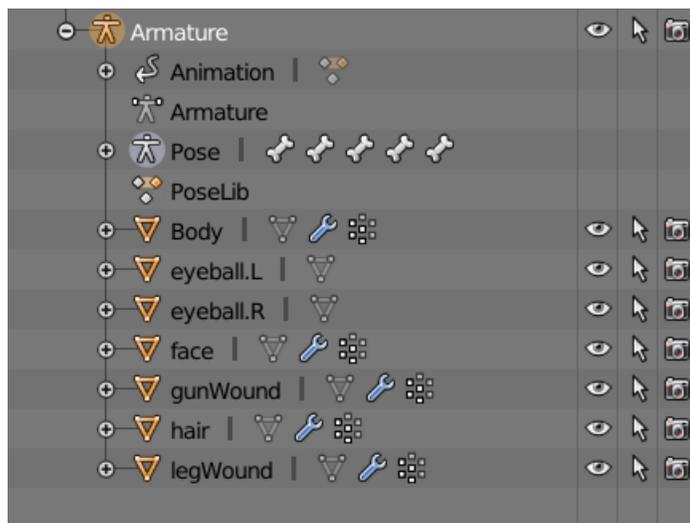


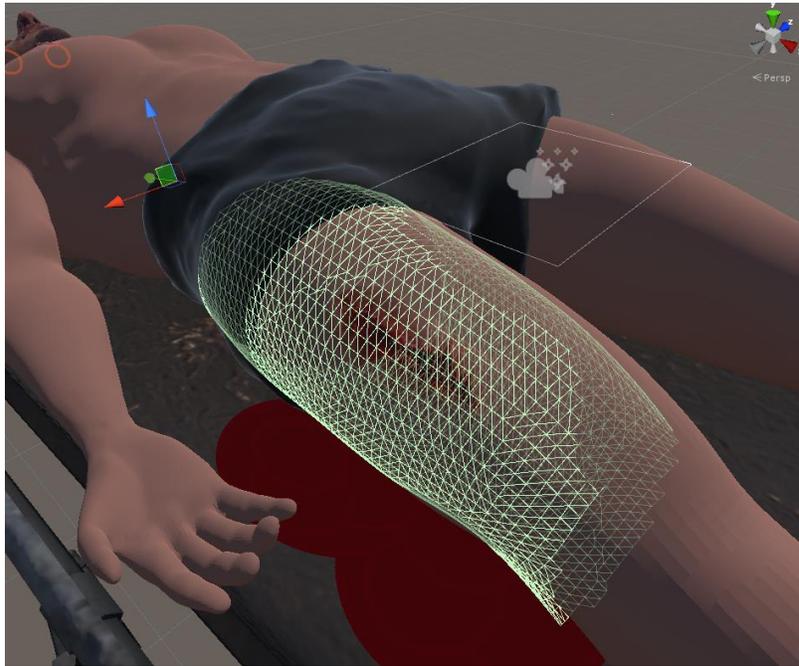
Figura 29

L'aver un oggetto diviso in più moduli con dipendenza gerarchica permette di gestire le varie componenti in modo indipendente, pur mantenendole solidali l'una con l'altra, e quindi avere maggiore controllo e flessibilità nella realizzazione di diverse impostazioni. Ognuna di queste componenti ha difatti una propria texture, mappata al di sopra di essa in modo univoco, e viene gestita all'interno del programma in diversi modi. In particolare, l'aver le mesh delle ferite separate dal corpo consente di gestirle come oggetti distinti all'interno di Unity, e quindi di attivarle e disattivarle a seconda delle esigenze, ed esempio nella realizzazione di un task specifico dove si desidera vedere la ferita sul petto ma non quella sulla gamba; questo comportamento è gestito da script descritti più avanti, nel paragrafo dedicato all'interfaccia grafica. Un altro esempio di utilità di questa modularità è relativo agli oggetti rappresentati i due occhi, come sarà discusso più avanti.

In aggiunta, le due ferite sono state ulteriormente migliorate con elementi realizzati ad hoc per ciascuna, considerando anche il possibile sviluppo di task intorno a queste.

Per la ferita della gamba, è stato aggiunto un sistema per simulare il sanguinamento, tramite il Sistema di particelle di Unity. Questo GameObject permette la generazione di un flusso di mesh arbitrarie, le cui caratteristiche sono ampiamente controllabili. Per mezzo di questo sistema è possibile simulare un fluido (tra le altre cose), regolandone l'emissione, la forma, dimensioni, e la texture. Ciascuna particella, essendo un oggetto, può essere programmata per interagire con altri oggetti nella scena, e in particolare avere collisioni con essi, consentendo di simulare più efficacemente la fuoriuscita di sangue che scorre sulla gamba: perché questo sia possibile è necessario che la gamba abbia una componente Collider, che consente all'oggetto di rilevare le collisioni con altri collider presenti nella scena. Benché il Collider non debba avere necessariamente la geometria reale di un oggetto, affinché si avesse l'effetto realistico di scorrimento sulla superficie della gamba è stato necessario creare un Collider che corrispondesse quanto più possibile all'area della gamba interessata dall'interazione con il sistema di particelle.

È stato quindi definito un task interattivo relativo a questo elemento, nel quale l'utente deve comprimere la ferita per fermare il sanguinamento; questo comportamento è stato definito utilizzando le funzioni relative al Leap Motion su Unity, e in particolare le funzioni fornite dal modulo Interactions. Affinché sia possibile accedere a questo modulo, deve essere presente all'interno della scena un oggetto Interaction Manager, che gestisce i comportamenti relativi alle interazioni con il Leap Motion, e tutti gli oggetti che hanno interazioni con esso devono avere tra le componenti lo script Interaction Behaviour (presente nel modulo fornito dal Leap Motion), un Rigidbody (che consente di accedere alle funzioni di Unity relative alla fisica) e un Collider (Figura 30). È stato quindi creato uno script associato all'oggetto della mesh della ferita, che richiama l'Interaction Manager, rileva la posizione delle mani dell'utente e disattiva l'oggetto "sangue" dopo 5 secondi che una mano rimane all'interno del Collider della mesh.



*Figura 30: Collider della gamba*

Per la ferita al petto è stata invece realizzata una nuova animazione che replicasse quello che accade quando una persona subisce un perforamento del polmone, previa consultazione con personale medico per avere indicazioni di una simulazione realistica: l'animazione è stata realizzata su Blender e simula una respirazione asimmetrica, dove il pettorale ferito rimane immobile durante la respirazione, a differenza del polmone sano. Anche in questo caso è stato realizzato un task, dove nuovamente l'utente deve comprimere la zona relativa alla ferita per ripristinare la respirazione normale del modello; il comportamento è il medesimo di quello definito per la ferita alla gamba e quindi valgono le stesse considerazioni fatte precedentemente, con la differenza che in questo caso lo script controlla lo switch tra l'animazione del respiro asimmetrico e quello normale al compimento del task, cambiando il valore di una variabile definita all'interno della componente Animator associata all'oggetto del modello.

Un ulteriore elemento aggiunto al modello, finalizzato ad aumentare il suo realismo, è stato fare in modo che risulti che il suo "sguardo" segua l'utente quando questo entra in quello che sarebbe

il suo campo visivo; questo comportamento è stato realizzato tramite scripting, utilizzando le funzioni degli oggetti di Unity.

È stato creato un oggetto all'interno della scena che fosse solidale con il modello e che rappresentasse i confini del campo visivo, rappresentato da un parallelepipedo rettangolo. Questo oggetto, definito FieldOfView è stato dotato di un collider, impostato per essere un trigger, così che possa rilevare le collisioni con gli altri oggetti ma non attivare le interazioni fisiche, e gli è stata nascosta la componente mesh renderer, così che non fosse visibile nella scena se pur presente (Figura 31). È stato quindi definito un script, tale per cui quando l'oggetto MainCamera, che rappresenta la posizione dell'utente all'interno della scena, entra all'interno di FieldOfView, i due oggetti occhi (eye.L e eye.R) copiassero la rotazione dell'oggetto MainCamera, ovvero risultino rivolti verso l'utente.

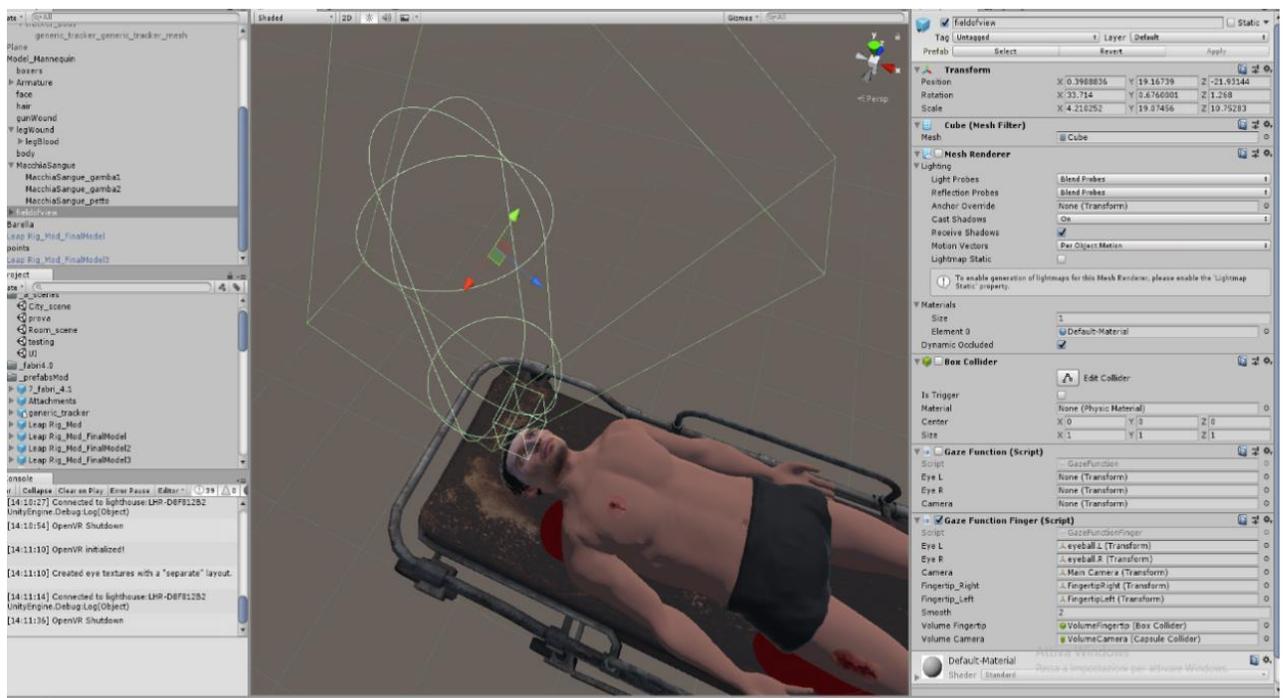
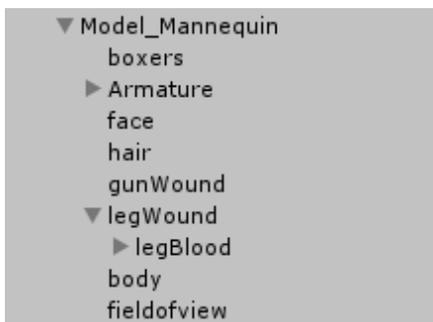


Figura 31: Campi visivi realizzati su Unity

Il modello finale è visto su Unity come un oggetto contenente le componenti in figura:



## Creazione dell'ambiente

Sono stati ricreati all'interno di Unity due ambienti virtuali in cui inserire il modello realizzato. Questi ambienti sono finalizzati a riprodurre delle situazioni in cui un team d'emergenza dovrebbe intervenire per stabilizzare il paziente in questione. Si volevano ricreare degli ambienti che fossero al di fuori di una situazione strettamente controllata, come può essere una sala operatoria o un ambito ospedaliero, ma che rappresentassero piuttosto situazioni esterne che sarebbero stati altresì difficili da riprodurre all'interno di una simulazione: usando la realtà virtuale è possibile in questo modo far svolgere la simulazione all'interno di diversi ambienti in modo molto più pratico e in condizioni controllate, ma mantenendo il senso di presenza in una situazione di emergenza, garantendo l'aggiunta di un fattore di stress derivante dalla situazione di emergenza e dalla ridotta familiarità con l'ambiente circostante. Entrambi gli ambienti sono stati creati all'interno di Unity, in due scene separate.

Il primo ambiente, all'interno della scena "Room", è costituito da una semplice stanza visibile nella Figura 32, nella quale si trova un tavolo al di sopra del quale è sdraiato il "paziente". Questo ambiente virtuale è stato realizzato a partire da un asset trovato all'interno del Unity Store e modificato per renderlo più conforme alle esigenze della nostra simulazione.



Figura 32: Scena della stanza

Il secondo ambiente, all'interno della scena "City" è costituito da una scena cittadina, dove il paziente si trova nei pressi di un'incrocio stradale. In questo caso si vuole simulare una situazione di emergenza in cui l'intervento del team d'emergenza avviene "sul campo", per cui sono stati aggiunti una serie di elementi "di distrazione", tra cui il suono di macchine e rumori urbani, una macchina che passa di fronte alla strada, varie persone che si muovono nel background (Figura 33). L'ambiente è stato realizzato direttamente all'interno di Unity, utilizzando una serie di modelli trovati in siti quali Turbosquid, Mixamo e Free3D.

All'interno di entrambe le scene è stato posizionato il modello realizzato, con le medesime impostazioni.



Figura 33: Scena della città

## Interfaccia Grafica

È stata inoltre realizzata un'interfaccia grafica nella quale l'utente possa definire le impostazioni che definiscono la simulazione: in particolare si può scegliere tra i due ambienti proposti, la città o la stanza, e se si desidera che il modello presenti una, entrambe o nessuna tipologia di ferita, tra quella della gamba e quella sul petto.

La UI è anch'essa un'ambientazione tridimensionale visibile in realtà virtuale, e di fatto è il primo ambiente in cui ci si ritrova una volta aperta la applicazione di simulazione realizzata. Si è pensato di realizzarla in questo modo, piuttosto che avere una semplice interfaccia bidimensionale, in modo da sfruttare al massimo le potenzialità della realtà virtuale e così che

una volta avviata la applicazione l'utente fosse da subito all'interno dello scenario virtuale. In questo modo, oltretutto, viene dato all'utente l'opportunità di familiarizzare con l'ambiente virtuale prima di essere immerso nella simulazione vera e propria, e c'è la possibilità di dargli informazioni su quello che sta per vedere senza detrarre dall'esperienza della presenza nella scena.

L'interfaccia è costituita da una stanza con dei pannelli che spiegano semplicemente le decisioni che l'utente deve prendere, e dei pulsanti che rappresentano le scelte: due pulsanti per gli ambienti "ROOM" e "CITY", due per le ferite, "LEG WOUND" e "GUN WOUND", e un pulsante "START" per far partire la simulazione (Figura 34). L'interazione con i pulsanti è stata gestita utilizzando il Leap Motion, in particolare utilizzando gli scripts contenuti nel modulo Leap Motion Interaction Engine per Unity, che permettono di "premere" i pulsanti virtuali utilizzando la gestualità delle proprie mani. Il comportamento dei singoli pulsanti è definito in un ulteriore script che utilizza le funzioni di Unity relative specificamente alle GUI. Dal momento che la UI si trova in una scena a se stante, è stato necessario definire un modo per conservare le decisioni prese dall'utente in questa scena e applicarle agli elementi della scena seguente: questo comportamento è stato definito in due ulteriori script, uno attaccato ad un oggetto vuoto presente in questa scena che serve per conservare le variabili di interesse e trasferirle nella scena seguente, e un altro nella scena selezionata, attaccato al modello stesso, che legge le variabili e applica la decisione presa, nello specifico attivando o meno gli oggetti delle ferite corrispondenti e, nel caso della ferita alla gamba, attivando il sistema di particelle che simula il sanguinamento, mentre nel caso della ferita al petto, attivando l'animazione corrispondente a questa.

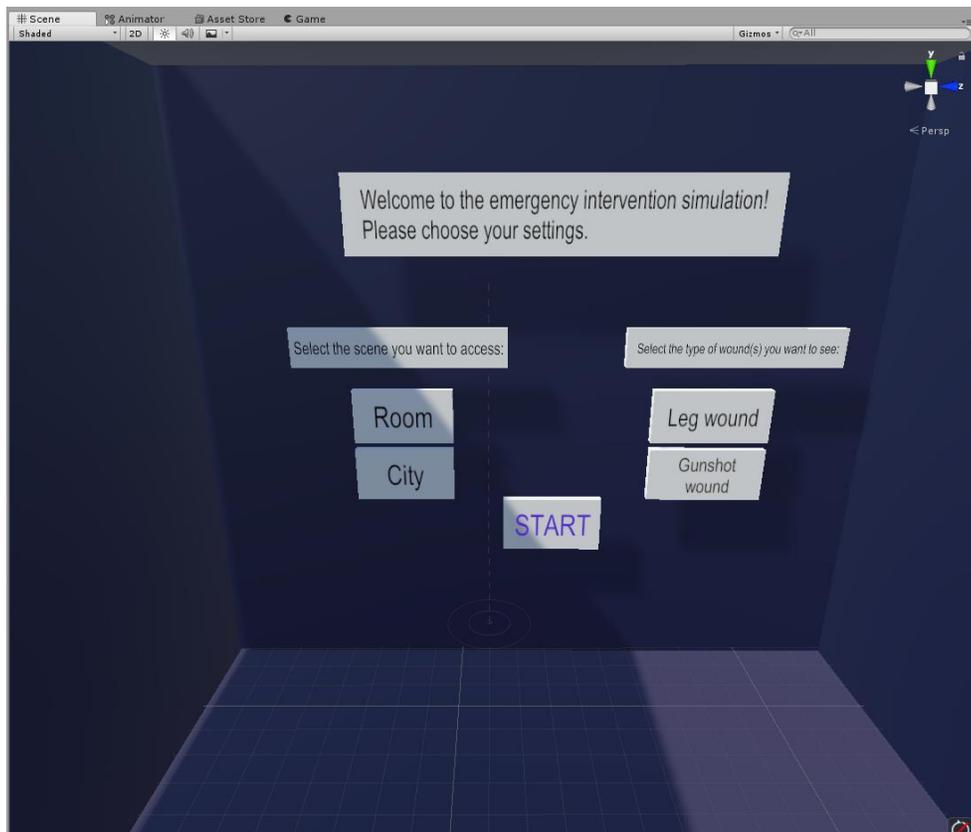


Figura 34: Scena della UI

## Tracking

Affinché sia possibile avere corrispondenza tra reale e virtuale, è necessario utilizzare un sistema di tracciamento in grado di rilevare la posizione di oggetti reali e riportarla nel virtuale. In questo lavoro è stato utilizzato il sistema del HTC Vive come sistema di tracking all'interno di Unity, integrando i due sistemi grazie al plug-in SteamVR disponibile nello Unity Store; in particolare, i dispositivi tracciati dal sistema sono il HMD, che rappresenta di fatto la posizione dell'utente all'interno della scena, oltre al quale sono stati utilizzati tre trackers, uno solidale con il corpo del manichino, uno solidale con il braccio destro (Figura 36), e uno sulla barella.

Perché il tracking sia efficace, la posizione del tracker deve rimanere stabile e fissa, operazione resa complessa sia dall'ingombro fisico del dispositivo, sia dal fatto che i suoi sensori devono sempre risultare visibili dalle due basi Lighthouse perché la sua posizione non venga persa. La stabilità del tracker è necessaria soprattutto perché si deve gestire sia il suo posizionamento fisico nella realtà, sia il suo posizionamento all'interno della scena in virtuale: ovvero la posizione relativa del tracker reale rispetto al manichino dev'essere la medesima della posizione relativa dell'oggetto tracker virtuale rispetto al modello all'interno della simulazione.



*Figura 35: Posizionamento del tracker solidale con il corpo in reale(a) e virtuale(b)*

I tracker sono stati quindi fissati al manichino utilizzando delle bande elastiche, come visibile nella (Figura 35a) e all'interno della scena su Unity nelle posizioni corrispondenti al modello (Figura 35b); il loro posizionamento è da considerarsi come un dato fisso e non modificabile, poiché anche un leggero cambiamento in posizione o orientamento comporterebbe una compromissione della corretta corrispondenza con il manichino virtuale.



Figura 36: Posizionamento tracker solidale con il braccio destro

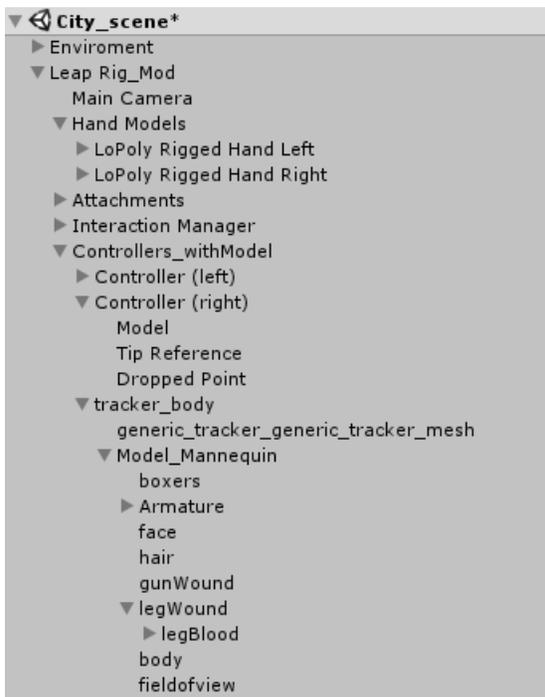
## Applicazione Finale

L'applicazione finale è quindi composta da tre scene all'interno di Unity:

1. UI, contenente le componenti in figura:



2. City\_scene e Room\_scene, contenenti le componenti in figura:



Il set-up fisico del sistema consiste in una stanza nella quale sono state posizionate le due unità Lighthouse e per la quale è stata definita l'area di gioco relativa al sistema HTC Vive, al centro della quale si trova il manichino utilizzato posizionato al di sopra di una barella (Figura 37).



Figura 37: Set up fisico del sistema del HTC Vive e del manichino nella stanza

# Capitolo IV - Validazione del sistema

In questo capitolo verranno descritte le modalità di raccolta dei dati ed esposte le tecniche di analisi per l'elaborazione dei risultati.

## Raccolta Dati

Per verificare la validità del sistema, si sono considerate principalmente due questioni:

1. Quanto sia accurata la corrispondenza tra il modello virtuale e il manichino, utilizzando il sistema di tracciamento precedentemente discusso;
2. Quanto l'applicazione sia immersiva ed effettivamente in grado di aumentare il senso di presenza all'interno della scena.

Questi due punti sono stati valutati attraverso la raccolta di dati rispettivamente quantitativi (misure statistiche) e qualitativi (questionari).

## Misure di accuratezza

La misura di accuratezza, nel campo della Virtualità Aumentata, sono particolarmente problematiche poiché si hanno contemporaneamente due piani di realtà ed è quindi necessario individuare un elemento che funga da riferimento per entrambi. Considerando questo aspetto, è stato deciso di sfruttare il tracciamento built-in dei controller e la visibilità del loro modello all'interno del mondo virtuale. È stato deciso quindi di misurare l'accuratezza del modello virtuale acquisendo la sua posizione e confrontandola con quella del manichino reale, identificando nel processo l'errore.

Il procedimento è di seguito descritto:

- Sono stati identificati una serie di punti sulla superficie del manichino che potessero essere significativi della forma e dimensioni dell'intero corpo;

- È stato utilizzato lo script *TriggerPoint2* per la creazione di punti in virtuale, menzionato precedentemente. Essendo associato all'oggetto controller, ogni volta che viene premuto il tasto Trigger del dispositivo, viene creato un oggetto virtuale in Unity della forma di una piccola sfera, in corrispondenza della posizione dell'estremità del controller.
- All'interno di una scena virtuale, sono stati creati i punti virtuali corrispondenti al dataset individuato sul manichino. Questo è stato fatto poggiando fisicamente l'estremità del controller al di sopra di ciascun punto reale. I punti sono stati rilevati sempre nello stesso ordine(Figura 38a).
- Allo stesso modo, si è creato un secondo insieme di punti nel modello virtuale, caratterizzati da una corrispondenza percettiva con quelli identificati sul manichino reale(Figura 38b).
- È stato quindi calcolato il modulo della differenza tra questi due punti: questo dato rappresenta la differenza tra il dato percettivo e quello reale, ovvero l'errore nella corrispondenza tra il manichino e il modello.



Figura 38: Punti raccolti sul manichino e sul modello corrispondente

Per minimizzare l'errore umano e l'errore di tracciamento del controller, la procedura di acquisizione descritta è stata ripetuta più volte, riavviando per ciascuna l'applicazione e rilanciando la scena per ogni trial, così da includere nella misura se l'accuratezza venisse modificata ad ogni avvio. Inizialmente sono stati individuati 20 punti che descrivessero opportunamente la proporzione dell'intero corpo. Con questo set di punti sono stati eseguiti 20 trial in totale, per ciascun trial sono state prodotte quindi 20 misure di errore, per un totale di 400 per l'intera acquisizione. È stato successivamente individuato un ulteriore set di 19 punti che rappresentasse il contorno del corpo, svolgendo poi ulteriori 10 trial in totale e conseguenti 190 misure di errore. L'acquisizione è stata gestita tramite sempre all'interno dello script *TriggerPoint2* all'interno di Unity: i punti generati dal controller vengono imparentati ad un oggetto vuoto *points* ed il calcolo degli errori e il salvataggio sotto forma di vettore su file .txt vengono eseguiti alla pressione della barra spaziatrice alla fine del trial.

Per la fase di elaborazione dei dati quantitativi è stato usato MATLAB, da ciascun trial vengono acquisiti i vettori e integrati in un'unica matrice. Dalla matrice sono state poi estratte le seguenti misure statistiche:

- la media degli errori su ciascun trial, indicante una stima dell'errore sull'intero corpo;
- la deviazione standard su ciascun trial, indicante la variabilità dell'errore lungo il corpo;
- la media degli errori di ciascun punto rispetto a tutti i trial, indicante la stima dell'errore nel punto specifico di acquisizione;
- la deviazione standard degli errori di ciascun punto, indicante il grado di variazione dell'errore per ciascun punto.

## Misure di immersività

Sono stati condotti degli esperimenti su (27) soggetti compresi tra 20-30 anni, divisi in due gruppi: un primo gruppo di controllo consistente di 13 persone, e un secondo gruppo consistente di 14 studenti di medicina e persone con esperienza in ambito sanitario, ovvero coloro a cui questo tipo di applicazione sarebbe effettivamente rivolta. Tutti i soggetti hanno svolto lo stesso

tipo di task nelle medesime condizioni. Gli esperimenti sono stati svolti in una stanza all'interno del SimAV al centro della quale è stato collocato il manichino Nursing Anne al di sopra di una barella, con il set-up sperimentale precedentemente descritto. Lo svolgimento degli esperimenti ha occupato un tempo di circa 20 minuti per soggetto, considerando un tempo effettivo all'interno dello scenario virtuale di circa 10 minuti e il resto del tempo occupato per la spiegazione del task e la compilazione dei questionari.

## Task

Il task svolto dai partecipanti è stato realizzato in modo da risultare conforme con la tipologia di scenari di simulazione ricreati durante sessioni di training di operatori di primo soccorso. Non è stato ricreato un training completo, data la natura preliminare di questo lavoro, ma si è creata piuttosto una versione semplificata che mostrasse le potenzialità di base della realtà virtuale unita alla realtà della simulazione.

In un primo momento ad ogni partecipante è stata fornita una breve spiegazione della realtà virtuale e più precisamente della realtà mista nella quale stavano per andare ad operare, facendogli prendere visione diretta dello spazio in cui avrebbero potuto muoversi, ovvero intorno alla barella, e del manichino con cui si è sviluppato il task, specificando che avrebbero potuto interagire direttamente con esso, toccandolo fisicamente. Gli è stato raccomandato di non muovere le parti del corpo non tracciate e di cercare di non ostruire o dare colpi ai tracker assicurati al di sopra del manichino, rassicurandoli comunque che questi sarebbero stati indicati all'interno della simulazione con delle scatoline nere virtuali.

Ai soggetti è stato quindi fatto indossare l'headset del HTC Vive e sono stati inseriti nella prima scena, ovvero l'interfaccia grafica, dove gli si è fatti familiarizzare con l'utilizzo delle proprie mani all'interno dell'ambiente virtuale, facendogli premere i pulsanti dell'interfaccia. Gli è

stato quindi descritto il seguente scenario: “Sei un passante che sta camminando per strada. Hai notato una persona sdraiata per strada e un poliziotto dall’altra parte della strada, quindi ti sei avvicinato a controllare la situazione. Vieni informato che c’è stato qualche tipo di conflitto per cui sono stati chiamati i soccorsi, nel frattempo ti chiedono di stare al telefono con un operatore per assicurarti dello stato di salute della persona in attesa dell’arrivo dell’ambulanza. Durante la simulazione parlerai quindi con l’operatore, che ti porrà delle domande e ti chiederà di svolgere delle semplici operazioni. Quando sei pronto ad iniziare, premi il pulsante START.” I partecipanti sono stati inseriti all’interno della scena CITY, precedentemente descritta, con il modello presentante entrambe le ferite e i relativi comportamenti.

Durante la simulazione sono state poste ai soggetti le seguenti domande e date le seguenti istruzioni, con leggere variazioni a seconda delle risposte di ciascuno:

- Mi descriva quello che vede.
- La persona presenta delle ferite?
- Controlli lo stato di coscienza della persona. Si avvicini e muova una mano davanti al suo viso, per testare il movimento degli occhi. Segue la sua mano con lo sguardo?
- Hai notato che la persona presenta una ferita sulla gamba. Per bloccare l’emorragia, poni una mano al di sopra di essa e mantieni la pressione fino a quando ti sembra che il sanguinamento si sia arrestato.
- Hai notato che la persona ha una ferita sul petto, che causa una respirazione asimmetrica. Poni una mano al di sopra di essa e mantieni la pressione per fino a quando non ti sembra che la respirazione sia tornata normale.
- Adesso controlla il resto del corpo. Poggi le sue mani su varie parti del corpo, assicurandosi che siano integre.
- Controlla di tanto in tanto che non siano arrivati i soccorsi.

Ad ogni partecipante è stato fatto compilare il questionario sulla Simulation Sickness, prima e dopo lo svolgimento del task, e l’IPQ (Igroup Presence Questionnaire)[Schubert et al.,2001] per valutare il senso di presenza nella scena.

## Questionari

Per la valutazione del task sono state svolte analisi sulla Cybersickness e sull'immersività. Il dato sulla cybersickness è stato raccolto tramite il Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), mentre per il dato di presenza e immersività è stato somministrato il Igroup Presence Questionnaire (IPQ).

### Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

Il SSQ è strutturato da 16 domande, misurate tramite una scala Likert a 4 punti, e valuta tre aspetti dello stato fisico del soggetto al momento della compilazione:

- Nausea;
- Disordini oculomotori;
- Disorientamento.

Il questionario deve essere compilato prima e dopo l'esposizione all'applicazione di realtà virtuale, in modo da valutare eventuali cambiamenti fisiologici associabili al fenomeno di cybersickness.

### Igroup Presence Questionnaire (IPQ)

Il senso di presenza è un parametro soggettivo dell'utente perciò non è possibile ricavare misure quantitative per la sua valutazione. È possibile ricorrere però a questionari standardizzati per ottenere dei dati consistenti all'interno della letteratura scientifica. Per questo lavoro è stato selezionato l'IPQ, strutturato in 13 domande con scala Likert a 7 punti per la valutazione di tre aspetti percettivi:

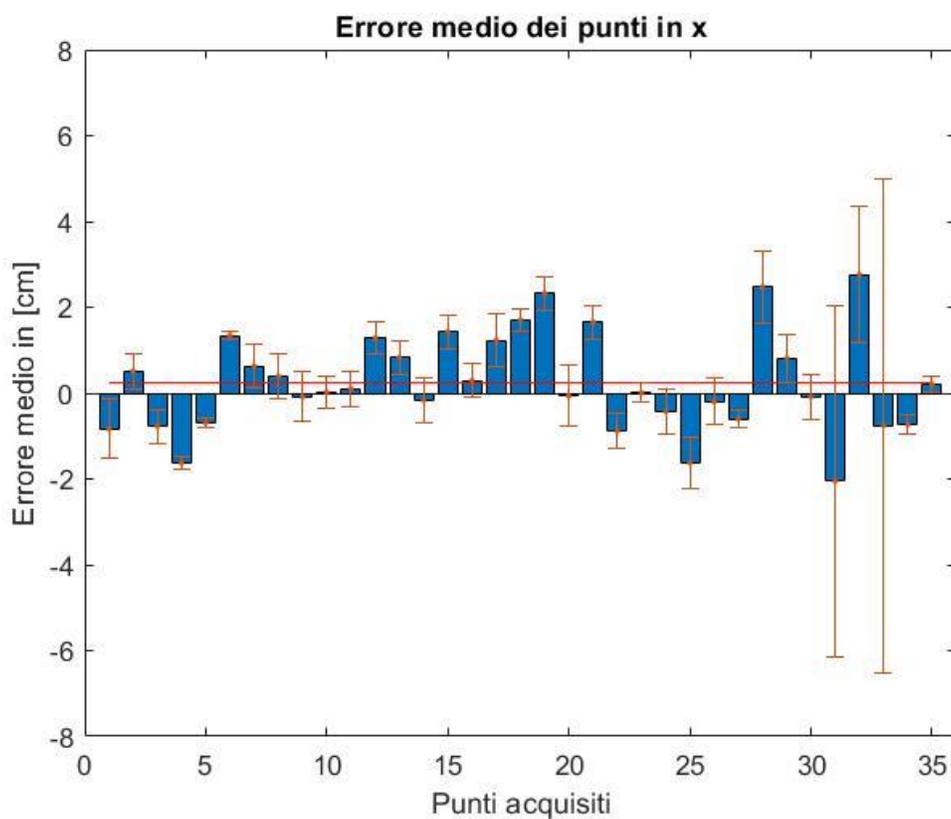
- Presenza spaziale, quindi il senso di essere fisicamente all'interno dell'ambiente virtuale;
- Coinvolgimento, quindi l'attenzione e l'interesse dell'utente, particolarmente importanti nel campo del training;
- Percezione della realtà, ossia il livello di realismo percepito all'interno del mondo virtuale.

# Capitolo V - Risultati

Di seguito saranno esposti e commentati i risultati ottenuti.

## Dati sulla corrispondenza

Nelle Figura 39(a,b,c) sono rappresentati i dati raccolti relativi alla corrispondenza del modello virtuale rispetto al manichino reale: ogni grafico rappresenta l'errore medio relativo ad ogni punto del corpo considerato, rispetto alle singole coordinate del sistema di riferimento (x,y,z).



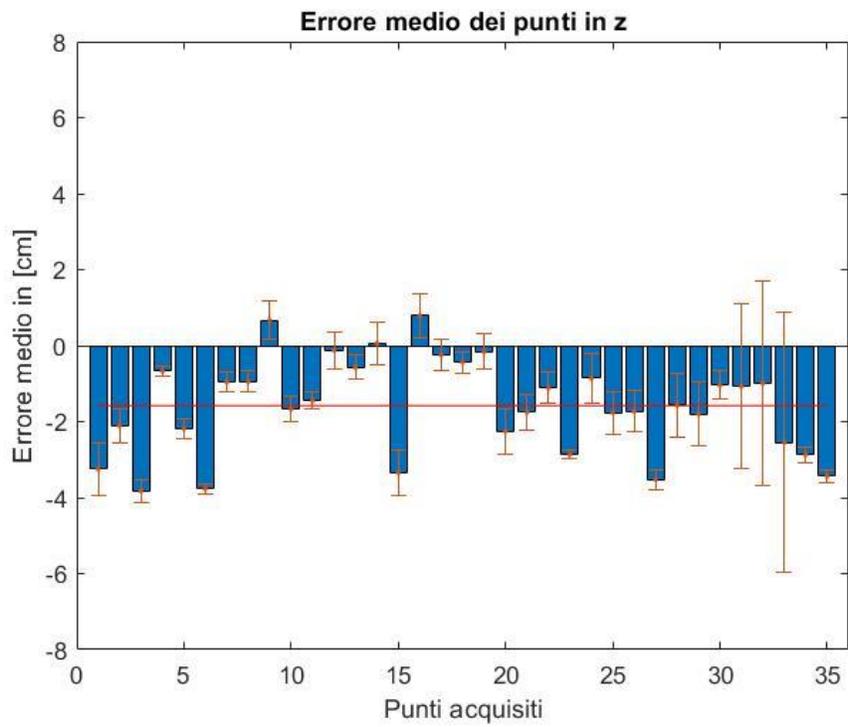
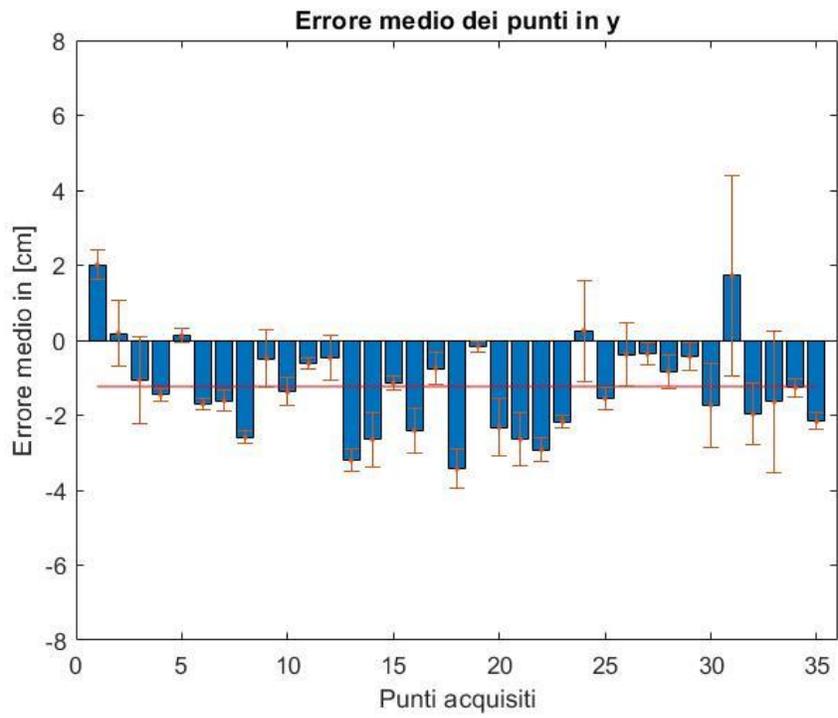
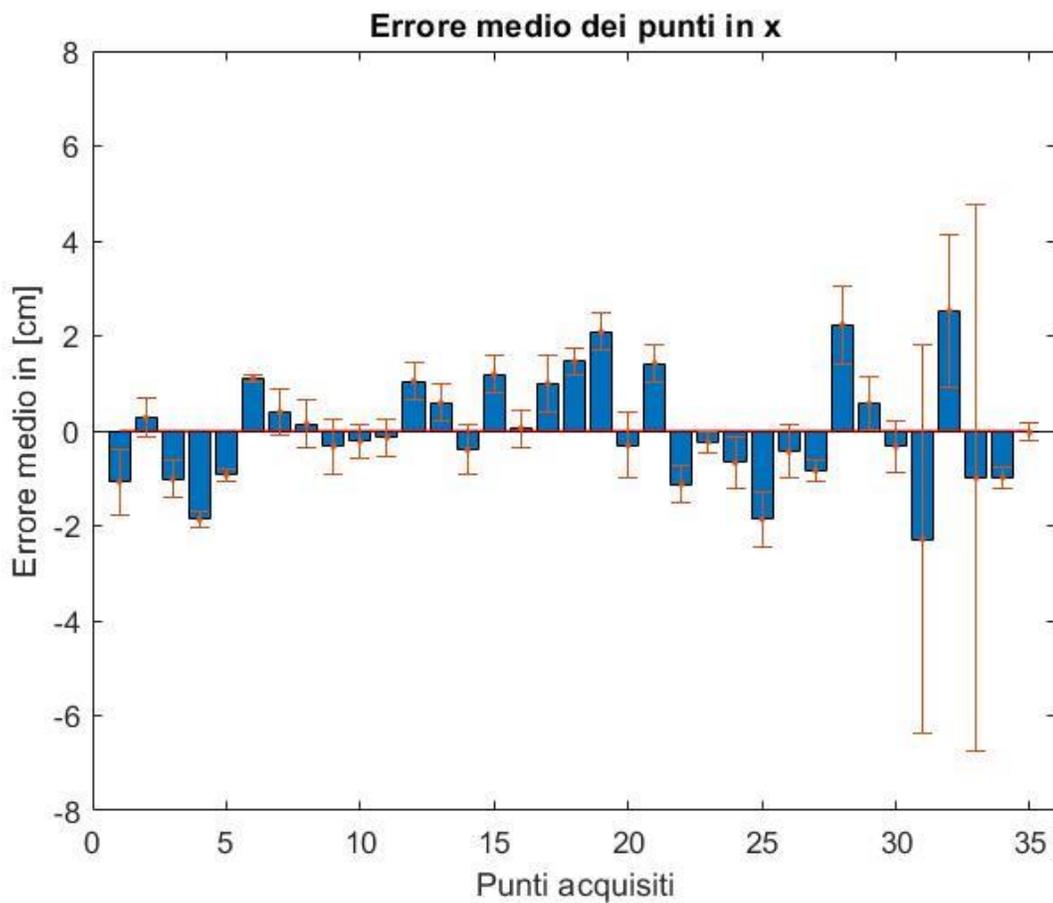


Figura 39: Figure(a,b,c) Errore medio per ciascun punto, calcolato rispetto a tutti i trial con l'offset.

In seguito alla prima raccolta dei dati, è stato valutato come ottimizzare il posizionamento del modello virtuale rispetto al tracker su ciascuna coordinata spaziale. Per fare questo, è stata fatta la media su tutti i punti e su tutti i trial, rappresentata nelle figure da una linea retta rossa: questo valore è stato considerato come offset di posizione ed è stato quindi opportunamente corretto all'interno della scena virtuale.

In seguito a questa operazione, sono state quindi ripetute le misure di accuratezza, rappresentate nelle Figura 40(a,b,c):



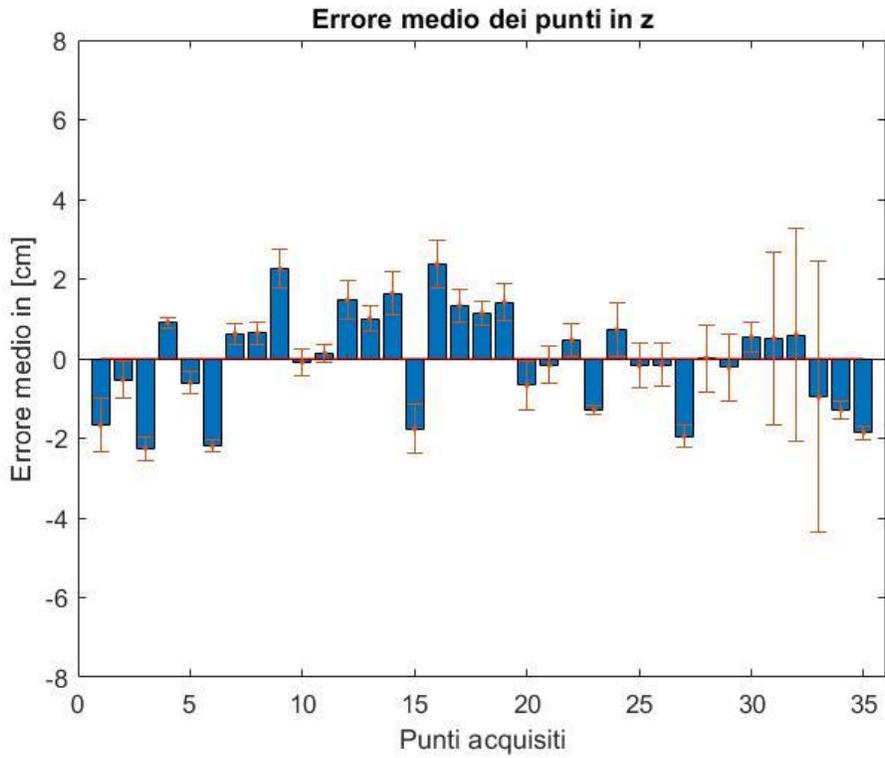
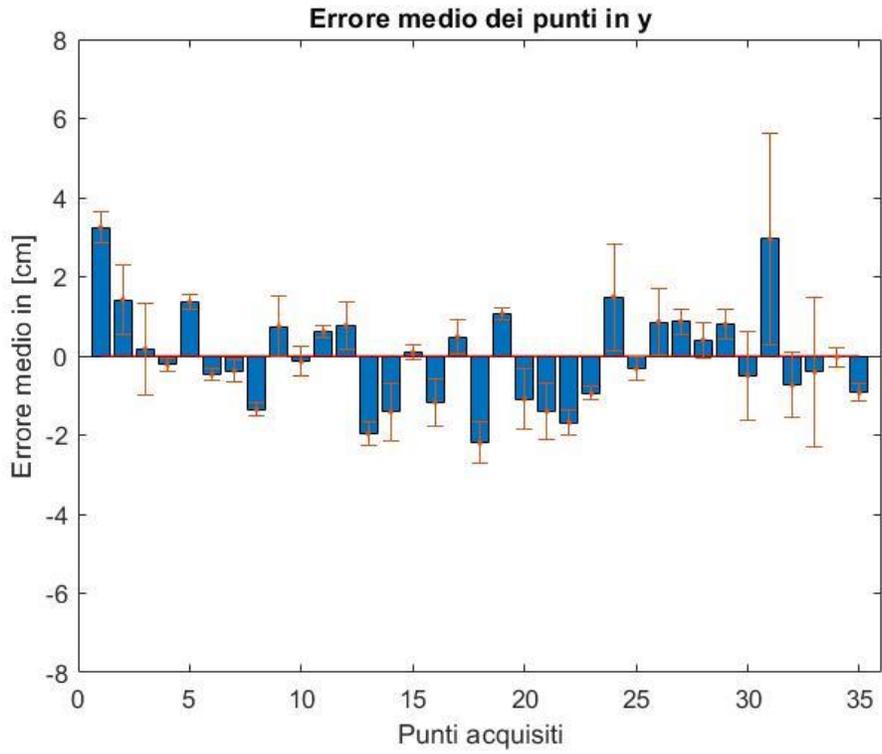


Figura 40: (a,b,c) Errore medio per ciascun punto su tutti i trial con offset nullo.

Dalle (fig) si vede come l'errore non sia costante su tutti i punti ma abbia un certo grado di variabilità, ovvero alcuni punti hanno un grado di corrispondenza maggiore di altri. Il range di variazione dell'errore in valore assoluto per ciascuna coordinata è:

	x	y	z
Min(cm)	0.033	0.027	0.015
Max(cm)	2.525	3.246	2.368

Dalla tabella si vede come l'errore massimo è di circa 3cm, mentre quello minimo è al di sotto del millimetro. Si denota altresì di come 75% dei punti abbia un errore inferiore a 1.5cm, come è visibile nella Figura 41 dove sono rappresentati gli andamenti degli errori per ogni coordinata, ordinati in modo crescente.

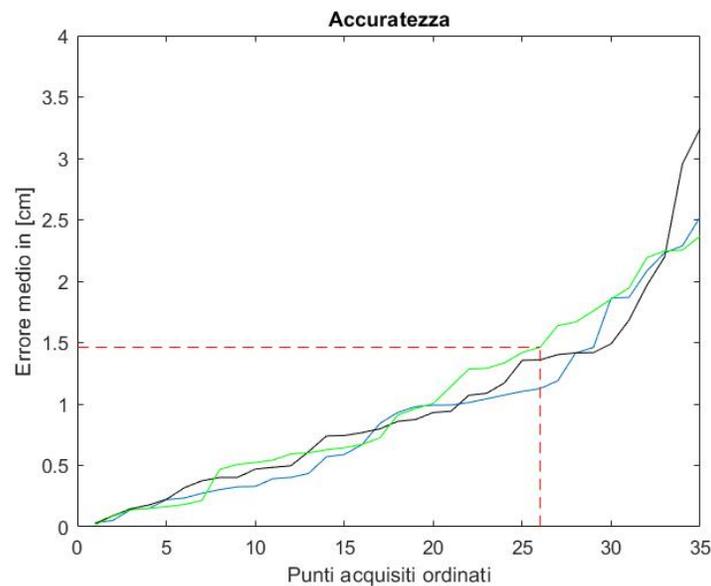
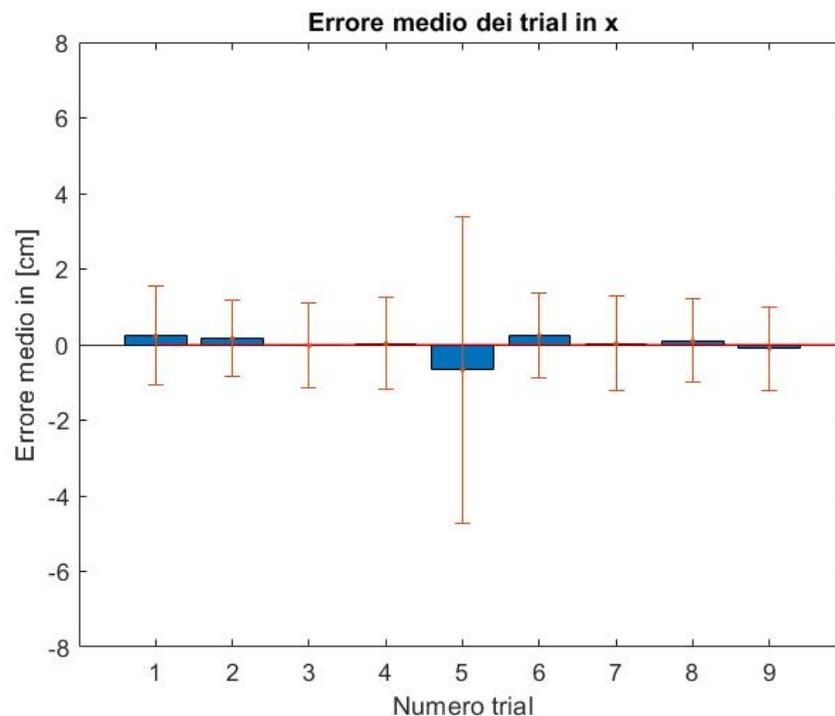


Figura 41: Andamento crescente del modulo dell'errore medio per la x (blu), y (nero) e z (verde).

Le deviazioni standard associate agli errori denotano la variabilità della posizione dei punti virtuali identificati nei diversi trial. Questa è dipendente sia da un errore umano, dal momento che si tratta di una misura percettiva, sia da un possibile errore di tracciamento, dato dalla stabilità delle condizioni in cui si sono svolte le misure (posizionamento del tracker, posizionamento del corpo) e del sistema HTC Vive. Si può notare come la deviazione si mantenga in valori relativamente bassi, nello specifico nell'ordine di circa 0.6cm, escluso per alcuni punti critici; si può notare ad esempio come i punti 31-32-33 abbiano un'elevata variabilità: questi punti sono relativi alla gamba sinistra, e la variabilità si può imputare alla mobilità dell'arto reale del manichino, che non era tracciato singolarmente e quindi particolarmente soggetta a variazioni di orientamento o posizione.

Nelle Figura 42(a,b,c) sono invece rappresentate le medie degli errori di tutti i punti su ciascun trial. Si può notare come questi rimangano relativamente stabili tra un trial e l'altro, con una variazione massima tra un trial e l'altro inferiore di 1cm.



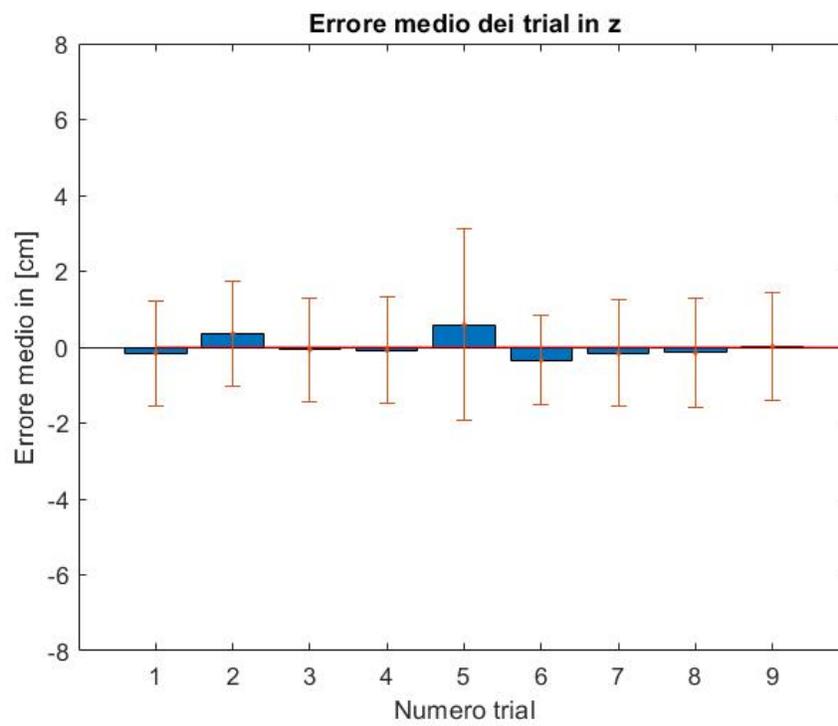
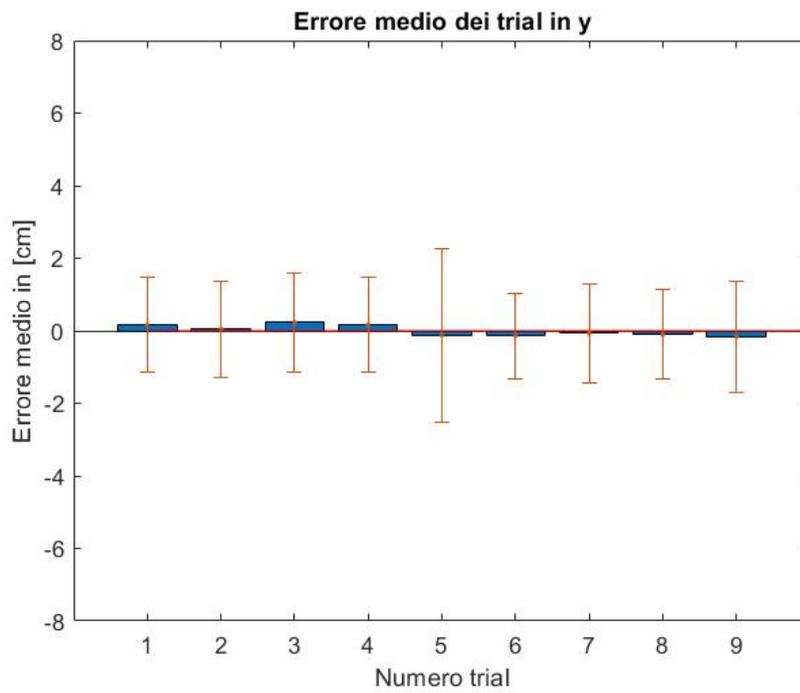


Figura 42: (a,b,c) Errore medio per ciascun trial, calcolato sull'intero corpo.

In queste misure, la deviazione standard identifica la dispersione dell'errore su tutti i punti per ogni trial. Questa tende ad un valore medio di circa 1.5cm, che è conforme all'osservazione fatta precedentemente sulla variabilità dell'errore sui diversi punti. Come si nota dai grafici, anche questo dato tende a rimanere stabile sui vari trial, confermando la stabilità del sistema e la consistenza delle misure.

## Dati sui questionari

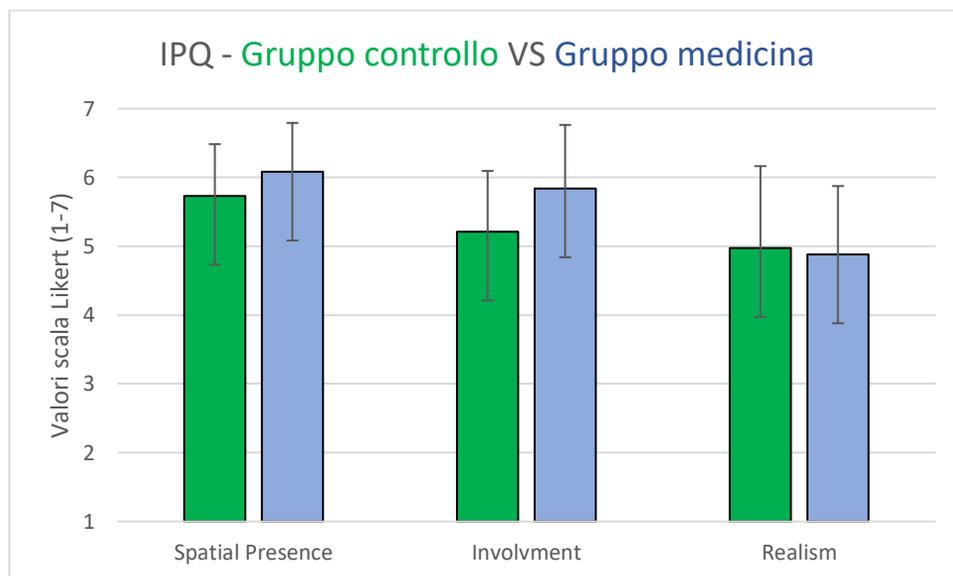


Figura 43: Confronto dei risultati del questionario IPQ tra il gruppo di controllo e quello di medicina.

Nella Figura 43 sono rappresentati i risultati del IPQ, in cui vengono comparati i punteggi medi e relativa deviazione standard tra il gruppo di controllo e il gruppo del personale medico, per ciascuno dei tre aspetti percettivi. I risultati tra i due gruppi sono consistenti e comparabili, in cui la differenza massima prodotta è relativa al coinvolgimento, pari a 0.627. Il senso di presenza è risultato essere l'aspetto percettivo con il punteggio massimo per entrambi i gruppi, rispettivamente di 5.73 e 6.08. La feature invece caratterizzata dal valore inferiore è il realismo con 4.88, stabilendosi comunque a circa il 70% del valore di scala.

Questi risultati sono conformi con i commenti ricevuti dai soggetti testati alla richiesta di un feedback sull'esperienza: varie persone hanno riferito di sentirsi presenti all'interno dello spazio virtuale e molto coinvolti dal task che stavano eseguendo e hanno commentato di come la possibilità di vedere le proprie mani aiutasse nella interazione con il manichino e nell'avere un senso di poter interagire in modo diretto nel mondo virtuale, come pure il fatto che le proprie azioni avessero conseguenze visibili (il respiro che cambia, il sanguinamento che si interrompe, la barella che si muove se spostata). I commenti principali sul senso di realismo percepito sono stati relativi al volto della persona e dagli elementi quali lo sguardo e i movimenti del corpo, mentre alcuni hanno commentato di come varie parti dell'ambiente sembrassero “come un videogioco”. I principali elementi notati come disturbo del senso di presenza sono stati la poca stabilità delle mani virtuali e l'attenzione nel muoversi nell'ambiente per paura di sbattere contro oggetti reali.



Figura 44: Confronto dei risultati del questionario SSQ del gruppo di controllo (pre e post) e il gruppo di medicina (pre e post)

Nella Figura 44 sono presentati invece i punteggi medi, con deviazione standard associata, dei due gruppi del SSQ. Per ciascun gruppo sono stati confrontati i punteggi pre-simulazione e

post-simulazione. All'interno di una simulazione di 10 minuti non sono stati riscontrati incrementi di discomfort dello stato fisiologico dei soggetti, escludendo la presenza del fenomeno di cybersickness.

## Capitolo VI - Discussione e conclusioni

Questo lavoro di tesi, pluridisciplinare, realizzato grazie alla collaborazione di diverse figure professionali, quali il dott. Fabrizio Mura e la dott.ssa Elisa Girau, Ingegneri biomedici, si colloca come punto iniziale e fondamentale di un progetto più ampio, mirato al miglioramento delle pratiche di training clinico attraverso l'incremento del senso di immersività dell'utente durante la simulazione. Per realizzare questo aspetto, è stato posto l'obiettivo di progettare e sviluppare un modello virtuale realistico di persona, che corrispondesse in forma e dimensioni ad un manichino di simulazione, tale che fosse solidale ad esso in uno scenario virtuale che contestualizzasse le azioni compiute, verificando che questi elementi possano garantire immersività nell'utilizzatore. Per conseguire questo è stato necessario quindi affrontare tre differenti aspetti: il realismo, il senso di presenza e il coinvolgimento.

Per quanto riguarda il realismo si è ricorso alle potenzialità del virtuale: è stato infatti possibile realizzare un aspetto foto-realistico del volto tramite la tecnica della fotogrammetria. Questo ha permesso di superare la resa grafica caratteristica del mondo videoludico ed ottenere una rappresentazione più vicina alla realtà. Il modello virtuale è stato realizzato unendo il volto così ottenuto e una mesh realistica presa da archivi online e successivamente scalato ed orientato in modo che si avesse corrispondenza più elevata possibile tra il modello ed il manichino. Questo aspetto è stato particolarmente critico sia a causa della diversa conformazione del corpo reale e quello virtuale, sia perché ottenere corrispondenza tra elementi reali ed elementi virtuali rappresenta una delle challenge principali della virtualità aumentata e non esiste ancora un procedimento standardizzato per riuscire a collegare efficacemente e in modo automatico questi due piani. È stata quindi progettata una metodologia per ottenere dei riferimenti della conformazione del manichino all'interno del mondo virtuale, sfruttando il tracciamento del sistema HTC Vive all'interno di Unity e Blender: questo procedimento ha necessitato di numerose sessioni manuali di misura del corpo reale e di successiva modellazione grafica. Con gli attuali mezzi a disposizione il procedimento seguito per scalare il modello virtuale risulta essere particolarmente laborioso e dispendioso di tempo, oltre al fatto che così realizzato questo può essere associato solamente con l'esatto modello di manichino utilizzato per la sua

realizzazione. Per far fronte a questo, una soluzione percorribile consisterebbe nell'abbinare il sistema con un dispositivo di tracciamento più complesso e definendo una metodologia di scalamento automatica che consente di superare almeno in parte questo vincolo. Un modo in cui si sarebbe potuta ottenere maggiore precisione nella corrispondenza del modello virtuale e quello reale, almeno per quanto riguarda la sua fisionomia, sarebbe stato quello di realizzare il modello del corpo attraverso la fotogrammetria del manichino reale. Si è deciso tuttavia di procedere in altro modo sia per la problematica già precedentemente evidenziata nell'ottenere risultati soddisfacenti riproducendo un corpo intero tramite questa metodologia, sia perché uno degli obiettivi era ottenere una rappresentazione più realistica del modello in virtuale, da cui ne deriva che se il corpo virtuale risulta essere visivamente identico a quella di un manichino questo punto sarebbe del tutto mancato. In ogni caso, come si può osservare dai dati raccolti relativi all'accuratezza, questo procedimento ha permesso di ottenere un buon grado di corrispondenza ed è pertanto una metodologia valida in assenza di strumentazione che permetta l'automatizzazione del processo.

Un avanzamento importante per l'aumento del realismo è stata l'implementazione di elementi specifici che creassero l'illusione di trovarsi di fronte ad una persona vera e non ad un manichino inanimato. Sono stati individuati quindi dei dettagli comportamentali che producessero l'effetto desiderato, quali il movimento controllato degli occhi, l'animazione del corpo, comprensiva della respirazione e di micro-movimenti degli arti, e il sanguinamento delle ferite. L'implementazione di questi dettagli è stato accolto con positività dai partecipanti, contribuendo ad avere un valore di realismo medio-alto nei questionari, come ci si aspettava. Confrontando i dati sul realismo con le misure di accuratezza, è possibile affermare che una discrepanza dell'ordine del centimetro è sufficiente affinché la percezione dell'utente venga compensata, soprattutto in un'applicazione di virtualità aumentata in cui è presente il feedback tattile. Questo livello di corrispondenza tra manichino reale e modello virtuale permette infatti di aggiungere un ulteriore input sensoriale oltre a quello puramente visivo, avvicinando così ancora di più il piano virtuale e quello reale; in questo modo oltretutto la presenza di più feedback sensoriali risulta in una compensazione dei possibili errori del sistema, facendo sì che la percezione dell'utente in qualche modo si "corregga" da sola e risulti in elevati livelli di realismo, senso di presenza e coinvolgimento, come si denota dai risultati ottenuti.

Il Leap Motion diventa un elemento fondamentale soprattutto per quanto concerne il senso di presenza all'interno della scena e il coinvolgimento dell'utente, che potendo avere una rappresentazione visiva di se stesso all'interno del mondo virtuale, ha la percezione di poter agire in modo diretto all'interno di essa senza ricorrere a strumenti intermediari, come possono essere i controller. Va tuttavia menzionato di come il tracciamento delle mani diventa particolarmente instabile quando si va ad interagire con oggetti fisici, come il manichino, dal momento che questo strumento è pensato per gestire interazioni con oggetti virtuali e quindi non è ottimale per applicazioni di realtà mista; inoltre, ha il difetto di perdere il tracciamento nel momento in cui le mani escono dal campo visibile al device. Si potrebbe pensare ad un'alternativa all'utilizzo del Leap Motion, che permetta comunque di avere visibilità delle proprie mani e la possibilità di usarle all'interno della simulazione, dato che questo è risultato essere un elemento irrinunciabile per un adeguato senso di presenza. L'implementazione di un sistema di tracking più complesso potrebbe offrire una valida soluzione a questa problematica, oltre che essere sostituito al HTC Vive come principale sistema di tracciamento del manichino. La problematica principale riscontrata dall'utilizzo del HTC Vive è legata all'ingombro spaziale dei tracker, soprattutto perché risulta essere poco stabile e difficile da fissare sul manichino; in questo caso, avere un sistema di tracking dedicato permetterebbe l'utilizzo di marker riflettenti, che ridurrebbero drasticamente l'ingombro e potrebbero essere utilizzati in maggior numero. Tuttavia, l'HTC Vive è una soluzione più economica, dato che ha un sistema di tracciamento integrato alla strumentazione già utilizzata per navigare la realtà virtuale, e ha comunque permesso di ottenere una corrispondenza adeguata e stabile, come dimostrato dai dati di accuratezza precedentemente riportati.

Ulteriormente, per aumentare il senso di presenza è stato ricreato un ambiente virtuale che permettesse di contestualizzare l'intera pratica di simulazione. Questo aspetto è uno dei punti di forza principali dell'utilizzo della realtà virtuale all'interno del training clinico, specialmente per quando riguarda la simulazione di scenari di emergenza, difficilmente ricreabili nella realtà sia per motivi di sicurezza, sia per i costi elevati. Con questa strumentazione diventa invece molto più efficiente creare degli scenari ad hoc legati allo scenario simulato, permettendo di aumentare il senso di presenza e il fattore di stress dell'utente, che stimola il coinvolgimento nella pratica trattata.

Sono stati inoltre progettati dei task che l'utente potesse svolgere all'interno della scena, che lo portassero ad interagire direttamente con il modello. All'interno di questo scenario simulato è stato importante avere coesione tra tutti gli elementi ricreati, in modo che il mondo virtuale si comportasse in modo coerente alle azioni dell'utente.

I risultati del IPQ hanno mostrato come gli utenti abbiano percepito un alto senso di presenza e di coinvolgimento. Si sono ottenuti anche medio-alti livelli di realismo, come ci si aspettava; in questa area si ha il più ampio margine di miglioramento, in dipendenza sia del continuo avanzamento delle tecnologie, sia del coinvolgimento di figure professionali in ambito di grafica.

Legata all'utilizzo dell'applicazione, è stato anche riscontrato un livello quasi inesistente di cyber-sickness: questo dato è imputabile al fatto che la percezione del movimento all'interno del mondo virtuale era dipendente unicamente dai movimenti autonomi dell'utente, che quindi non ha riscontrato nessuna disparità tra le sue azioni effettive e il comportamento dello scenario virtuale. Questa valutazione andrebbe ulteriormente indagata per confermare l'ipotesi avanzata, realizzando delle sessioni di training più lunghe e complesse, aumentando quindi il tempo di permanenza all'interno del mondo virtuale.

Alla conclusione di questo lavoro, è stato quindi possibile realizzare un'applicazione di virtualità aumentata utilizzabile in unione con un manichino per ricreare uno scenario di simulazione inerente alle procedure di training clinico, ottenendo un buon riscontro sia dai dati quantitativi di accuratezza sia dai dati percettivi degli utenti a cui è stata proposta. Per gli sviluppi futuri, oltre ai vari miglioramenti procedurali e tecnologici precedentemente discussi, sarebbe interessante realizzare dei task che riproducano in modo specifico le funzionalità del manichino e possano essere quindi svolte delle sessioni di training confrontabili tra procedure simulate nel reale e le stesse corrispondenti aumentate con lo scenario virtuale.



# Riferimenti Bibliografici

1. Bradley, P. (2006). The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical education*, 40(3), 254-262.
2. Brockwell, H. (2016). Forgotten genius: the man who made a working VR machine in 1957. *Techradar*, April, 3.
3. Dawe, S. R., Windsor, J. A., Broeders, J. A., Cregan, P. C., Hewett, P. J., & Maddern, G. J. (2014). A systematic review of surgical skills transfer after simulation-based training: laparoscopic cholecystectomy and endoscopy. *Annals of surgery*, 259(2), 236-248.
4. Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., ... & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377-395.
5. Engström, H., Hagiwara, M. A., Backlund, P., Lebram, M., Lundberg, L., Johannesson, M., ... & Söderholm, H. M. (2016). The impact of contextualization on immersion in healthcare simulation. *Advances in Simulation*, 1(1), 8.
6. Feinstein, A. H., & Cannon, H. M. (2002). Constructs of simulation evaluation. *Simulation & Gaming*, 33(4), 425-440.
7. Fernandez, G. L., Page, D. W., Coe, N. P., Lee, P. C., Patterson, L. A., Skylizard, L., ... & Seymour, N. E. (2012). Boot cAMP: educational outcomes after 4 successive years of preparatory simulation-based training at onset of internship. *Journal of surgical education*, 69(2), 242-248.
8. Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1), i2-i10.
9. Jetly, C. R., Meakin, L. C., Sinitski, E. H., Blackburn, L., Menard, J., Vincent, M., & Antwi, M. (2017, June). Multi-Modal virtual-reality based treatment for members with combat related posttraumatic stress disorder: Canadian Armed Forces pilot study. In *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2017 International Conference on* (pp. 1-2). IEEE.

10. Jones, F., Passos-Neto, C. E., & Braghiroli, O. F. M. (2015). Simulation in Medical Education: Brief history and methodology. *Principles and Practice of Clinical Research*, 1(2).
11. Kinect hyperlink, <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/kinectfusion-project-page/>
12. Kobayashi, L., Zhang, X. C., Collins, S. A., Karim, N., & Merck, D. L. (2018). Exploratory Application of Augmented Reality/Mixed Reality Devices for Acute Care Procedure Training. *Western Journal of Emergency Medicine*, 19(1), 158.
13. Lee, M. (2018, March). Mediated Physicality: Inducing Illusory Physicality of a Virtual Human via Environmental Objects. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 1-2). IEEE.
14. Magnenat-Thalmann, N., Laperrire, R., & Thalmann, D. (1988). Joint-dependent local deformations for hand animation and object grasping. In *In Proceedings on Graphics interface'88*.
15. Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
16. Niehorster, D. C., Li, L., & Lappe, M. (2017). The accuracy and precision of position and orientation tracking in the HTC vive virtual reality system for scientific research. *i-Perception*, 8(3), 2041669517708205.
17. Nowak, A., Wozniak, M., Pieprzowski, M., & Romanowski, A. (2018, September). Towards Amblyopia Therapy Using Mixed Reality Technology. In *2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (pp. 279-282). IEEE..
18. ONLINE ETYMOLOGY DICTIONARY,  
[https://www.etymonline.com/word/virtually#etymonline\\_v\\_30874](https://www.etymonline.com/word/virtually#etymonline_v_30874)
19. Pensieri, C., & Pennacchini, M. (2014). Overview: virtual reality in medicine. *Journal For Virtual Worlds Research*, 7(1).
20. Peyre, S. E., Peyre, C. G., Sullivan, M. E., & Towfigh, S. (2006). A surgical skills elective can improve student confidence prior to internship. *Journal of Surgical Research*, 133(1), 11-15.

21. Quero, G., Lapergola, A., Soler, L., Shabaz, M., Hostettler, A., Collins, T., ... & Pessaux, P. (2019). Virtual and Augmented Reality in Oncologic Liver Surgery. *Surgical Oncology Clinics*, 28(1), 31-44.
22. Reznek, M., Harter, P., & Krummel, T. (2002). Virtual reality and simulation: training the future emergency physician. *Academic Emergency Medicine*, 9(1), 78-87.
23. Salas, E., & Burke, C. S. (2002). Simulation for training is effective when.... *BMJ Quality & Safety*, 11(2), 119-120.
24. Satish, U., & Streufert, S. (2002). Value of a cognitive simulation in medicine: towards optimizing decision making performance of healthcare personnel. *BMJ Quality & Safety*, 11(2), 163-167.
25. Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2002). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Elsevier.
26. SIMAV, <http://simav.unige.it/node/47>
27. Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., Kooper, R., & Street, G. (1996, July). Immersion, presence, and performance in virtual environments: An experiment with tri-dimensional chess. In *ACM virtual reality software and technology (VRST)* (Vol. 163, p. 72). New York, NY: ACM Press.
28. Stone, R. J., Guest, R., Mahoney, P., Lamb, D., & Gibson, C. (2017). A 'mixed reality' simulator concept for future Medical Emergency Response Team training. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 163(4), 280-287.
29. Torre, G. et al., (2015) L'organizzazione di un centro di simulazione: l'esperienza dell'Università degli Studi di Genova. *Medic, Centro di Simulazione Avanzata*, p. 64-72, 2015.
30. Tun, J. K., Alinier, G., Tang, J., & Kneebone, R. L. (2015). Redefining simulation fidelity for healthcare education. *Simulation & Gaming*, 46(2), 159-174.
31. Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*, 13(5), 6380-6393.
32. WIKIPEDIA, [https://it.wikipedia.org/wiki/Sospensione\\_dell%27incredulità](https://it.wikipedia.org/wiki/Sospensione_dell%27incredulità).

33. Yuan, H. B., Williams, B. A., Fang, J. B., & Ye, Q. H. (2012). A systematic review of selected evidence on improving knowledge and skills through high-fidelity simulation. *Nurse Education Today*, 32(3), 294-298.
34. Zeng, W., Woodhouse, J., & Brunt, L. M. (2010). Do preclinical background and clerkship experiences impact skills performance in an accelerated internship preparation course for senior medical students?. *Surgery*, 148(4), 768-777.