

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione



Tesi di Laurea Magistrale

## Realtà virtuale per l'addestramento della saldatura attraverso l'uso del Co-Embodiment

Relatori

Prof. Andrea SANNA

Prof. Federico MANURI

Prof. Francesco DEPACE

Prof. Hannes KAUFMANN

Candidata

Letizia SACCO

Anno Accademico 2022-2023



# Ringraziamenti

*Ringrazio il professor Sanna per avermi permesso di vivere un'esperienza unica che rimarrà per sempre con me.*

*Ringrazio il ricercatore Francesco DePace che dal principio mi è stato accanto aiutandomi nei tanti momenti di difficoltà sempre pazientemente.*

*Ringrazio il ricercatore Federico Manuri per avermi aiutato e consigliato dal momento in cui sono tornata al Politecnico di Torino costantemente.*

*Ringrazio poi i miei genitori, senza il cui aiuto e sostegno costante e indiscriminato sono certa che non sarei riuscita a fare niente di tutto quello che sono riuscita a fare. Grazie per essere il mio costante punto di riferimento e la mia certezza.*

*Ringrazio i miei nonni, grazie per avermi sostenuta sempre e aver creduto in me sin da quando ho iniziato il mio percorso di studi. Ringrazio i miei zii, i miei cugini e tutti i miei parenti, grazie per esserci sempre e per il vostro aiuto.*

*Ringrazio Dave, Caie, Alby (sia piccolo che grande), e tutti quelli del gioco per avermi sopportata in questi anni, senza di voi sarebbe stata molto più dura.*

*Grazie a Cristiano per essermi sempre stato accanto.*

*Un ringraziamento speciale va ai miei amici del Poli, senza cui so che non sarei sicuramente riuscita ad arrivare fino a questo punto, grazie Luca, Lara, Sara, Filippo, Lorenzo, Vittorio, Marco, Eugenio e Matteo, grazie per aver creduto in me ed essere tutt'ora fonte costante di ispirazione.*

*Ringrazio le mie amiche Simona, Carolina e Valentina, questi anni con voi al Politecnico hanno reso la magistrale più leggera, siete speciali.*

*Grazie anche alle mie amiche Alessandra e Carlotta che dal primo anno mi sono sempre state accanto in ogni momento, grazie per esserci state sempre.*

*Grazie ai miei amici del Ciabot, lavorare con voi è sempre un piacere e anche se da adesso non sarò più con voi sappiate che lascio un pezzetto del mio cuore al Ciabot.*

*E infine, grazie a mia sorella, non servono tante parole per dire che senza di te io non sarei neanche la metà di ciò che sono, sei e sarai per sempre la mia "soma ulte", grazie per tutta la vita.*

*"It's okay to not have a dream, if you have moments where you can feel happiness.", by BTS*

# Abstract

La presente tesi documenta la ricerca e lo sviluppo di un'applicazione per l'addestramento alla saldatura attraverso l'utilizzo della realtà virtuale. In particolare, si è investigato l'utilizzo di un paradigma di interazione innovativo denominato Co-embodiment.

Tale fenomeno si presenta quando due utenti controllano nello stesso momento un unico avatar 3D, attraverso interfacce virtuali immersive, assegnando pesi differenti all'azione di ogni utente.

Questo fenomeno è stato studiato in maniera esigua nella letteratura scientifica attuale, con pochi esempi di studi presenti online.

Diversi studi analizzati si sono ritrovati concordi nel concludere che, per poter studiare al meglio ed in maniera innovativa questo fenomeno, c'era la necessità di poterlo applicare ad un esperimento reale, questo anche perché non è mai stato fatto prima.

A seguito di questa analisi si è deciso quindi di applicare il fenomeno di Co-embodiment all'insegnamento della saldatura.

La scelta di questa attività è stata dettata in primis poiché il fenomeno che desideriamo studiare diventa maggiormente accentuato ed interessante qualora il caso d'uso richieda lo svolgimento di movimenti precisi in realtà virtuale immersiva e la misurazione di dati oggettivi per valutare la correttezza dell'esercizio svolto.

Essendo che la saldatura richiede il mantenimento di una velocità e di un'angolazione corrette e valutabili oggettivamente attraverso parametri definiti a seguito di studi, essa risulta essere un esempio calzante per l'analisi del Co-embodiment.

È stata quindi sviluppata prima un'interfaccia multi-utente in realtà virtuale in cui due utenti, un insegnante ed uno studente, provano a saldare lo stesso pezzo di saldatura, lo studente cercando di ricalcare i movimenti dell'insegnante. Successivamente è stata sviluppata la medesima interfaccia in cui però in questo caso gli utenti vanno ad effettuare la stessa sequenza di saldature utilizzando un avatar unico in due, concedendo prima il controllo quasi intero all'insegnante per poi far passare gradualmente il controllo allo studente.

La finalità di questa applicazione è di poter valutare se una persona che sta imparando a saldare per la prima volta risulti essere agevolata in questo suo esercizio utilizzando una interfaccia virtuale e se il Co-embodiment possa garantire una migliore comprensione dell'attività.

Sono già presenti degli studi legati all'efficacia dell'insegnamento della saldatura attraverso la realtà virtuale su cui si è basata la realizzazione dell'applicazione.



# Indice

<b>Elenco delle figure</b>	VII
<b>Acronimi e Glossario</b>	XI
<b>1 Introduzione</b>	1
1.1 Argomento della tesi . . . . .	1
1.2 Organizzazione dei capitoli . . . . .	3
<b>2 Stato dell'arte</b>	5
2.1 Studi sulla saldatura ed i parametri analizzati . . . . .	5
2.1.1 Effetti della velocità sulla saldatura . . . . .	8
2.1.2 Effetto della corrente sulla saldatura . . . . .	9
2.1.3 Studio sul diametro dell'elettrodo . . . . .	11
2.2 Studi sull'utilizzo del VR nell'insegnamento della saldatura . . . . .	13
2.2.1 Insegnamento MMA in VR . . . . .	15
2.2.2 Importanza del feedback tattile . . . . .	18
2.3 Studi precedenti sul Co-embodiment . . . . .	19
2.3.1 Definizione del Virtual Co-Embodiment . . . . .	20
2.3.2 Effetti dell'addestramento collaborativoCoembodied . . . . .	23
2.3.3 Controllo suddiviso per arti di un Avatar congiunto . . . . .	24
2.3.4 Studio del Co-embodiment nell'apprendimento della batteria	26
2.3.5 Aggiunta del feedback tattile al Co-embodiment . . . . .	27
2.4 Riepilogo . . . . .	29
<b>3 Tecnologie utilizzate: Software e Hardware</b>	32
3.1 Unity . . . . .	32
3.1.1 Avatar Go: Plug and Play self-Avatars for VR . . . . .	35
3.1.2 Componenti aggiuntivi . . . . .	37
3.2 Visual Studio . . . . .	38
3.3 SourceTree . . . . .	39
3.4 NetCode . . . . .	40

3.5	Vive Pro . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Studio Preliminare</b>	<b>43</b>
4.1	Saldatura . . . . .	43
4.2	Saldatura in VR . . . . .	49
4.2.1	Animazione dell'Avatar . . . . .	49
4.2.2	Inserimento dei parametri . . . . .	50
4.2.3	Creazione del tracciato di saldatura . . . . .	51
4.3	Interfaccia Utente . . . . .	52
4.3.1	Comandi . . . . .	52
4.3.2	Feedback . . . . .	53
4.3.3	Ausili Virtuali . . . . .	54
4.3.4	Modelli 3d utilizzati . . . . .	54
4.4	Interazione e Valutazioni . . . . .	55
4.4.1	Interazione con il docente . . . . .	55
4.4.2	Valutazione oggettiva della prova . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Test e Risultati</b>	<b>60</b>
5.1	Test . . . . .	60
5.1.1	Struttura dei Test . . . . .	60
5.1.2	Target audience e utenti che verranno valutati . . . . .	64
5.1.3	Testing . . . . .	64
5.2	Raccolta dei dati oggettivi . . . . .	70
5.3	Parametri soggettivi . . . . .	72
5.3.1	Test di usabilità . . . . .	72
5.3.2	NASA Task Load Index . . . . .	74
5.3.3	System Usability Scale . . . . .	77
5.3.4	User Experience Questionnaire . . . . .	79
5.3.5	IPQ Questionnaire . . . . .	83
5.3.6	Questionario per valutare l'apprendimento della saldatura . . . . .	84
5.4	Risultati . . . . .	84
<b>6</b>	<b>Conclusioni e Sviluppi futuri</b>	<b>85</b>
6.1	Conclusioni . . . . .	85
6.2	Sviluppi futuri . . . . .	87
6.2.1	Utilizzo del Co-embodiment e del VR training . . . . .	87
6.2.2	Realismo del VE . . . . .	87
6.2.3	Modelli Avatar 3D variabili . . . . .	88
6.2.4	Ulteriori task di saldatura, differenti metalli e tecniche . . . . .	88
6.2.5	Sviluppo del multiplayer . . . . .	88
	<b>Bibliografia</b>	<b>90</b>

# Elenco delle figure

1.1	Descrizione visiva del fenomeno . . . . .	1
1.2	Differenti pesi comportano differenti movimenti . . . . .	2
1.3	Esempio di welding training in VR . . . . .	3
2.1	Saldatura . . . . .	5
2.2	Esempio di saldatura eterogenea . . . . .	6
2.3	Esempio di saldatura autogena . . . . .	7
2.4	Diverse dimensioni di elettrodo . . . . .	7
2.5	Raffigurazione del cordone di saldatura . . . . .	8
2.6	Metallic Manual Arc Welding . . . . .	9
2.7	Differenti geometrie di saldatura . . . . .	10
2.8	Gas Metal Arc Welding . . . . .	10
2.9	Angolo consigliato per la GMAW . . . . .	12
2.10	Taglio del filo di saldatura . . . . .	13
2.11	Insegnamento della saldatura in VR . . . . .	14
2.12	Ambiente VR . . . . .	14
2.13	Architettura dell'applicazione . . . . .	15
2.14	Struttura visiva dell'ambiente . . . . .	16
2.15	Orientamento dell'elettrodo . . . . .	17
2.16	Giunti . . . . .	17
2.17	Angoli di saldatura . . . . .	18
2.18	Design della torcia di saldatura . . . . .	19
2.19	Virtual Co-Embodiment . . . . .	20
2.20	Set up fisico dell'esperimento . . . . .	21
2.21	Task presentati . . . . .	22
2.22	Risultati ottenuti . . . . .	22
2.23	Caso del Co-Embodiment pesato . . . . .	23
2.24	Lo studente condivide la prospettiva dell'insegnante . . . . .	24
2.25	Caso del Co-Embodiment con il controllo degli arti suddiviso . . . . .	25
2.26	Collegamento tra gli utenti . . . . .	26
2.27	UI dell'applicazione sia in AO che VC . . . . .	27

2.28	Set up della stanza . . . . .	28
3.1	Interfaccia utente di Unity . . . . .	33
3.2	Attuali piattaforme supportate . . . . .	34
3.3	Asset Store di Unity . . . . .	35
3.4	Interfaccia di AvatarGo . . . . .	35
3.5	Calibrazione degli Avatar . . . . .	37
3.6	Esempio di utilizzo di TextMeshPro all'interno del progetto . . . . .	37
3.7	UI di Visual Studio . . . . .	38
3.8	UI di SourceTree . . . . .	40
3.9	Funzionamento del Network . . . . .	41
3.10	Vive Pro . . . . .	42
4.1	Macchina per la saldatura a filo continuo . . . . .	44
4.2	Foto di una massa con il cavo che la collegherà alla macchina . . . . .	45
4.3	Maschera protettiva . . . . .	46
4.4	Rappresentazione di due morse che tengono i metalli da saldare . . . . .	47
4.5	Torcia di saldatura . . . . .	48
4.6	Controller e Tracker del Vive . . . . .	50
4.7	Realizzazione del tracciato all'interno dell'applicazione . . . . .	51
4.8	Tasti necessari per l'inserimento dei parametri . . . . .	52
4.9	Tasti necessari per la saldatura . . . . .	53
4.10	Maschera e Torcia 3D . . . . .	55
4.11	Macchina per la saldatura . . . . .	56
4.12	Smerigliatrice, Scalpello e Pinze sul tavolo di lavoro . . . . .	57
4.13	Prima coppia di metalli . . . . .	57
4.14	Seconda coppia di metalli . . . . .	58
4.15	Terzo gruppo di metalli . . . . .	58
5.1	Primo task di saldatura . . . . .	62
5.2	Secondo task di saldatura . . . . .	62
5.3	Terzo task di saldatura . . . . .	63
5.4	Inserimento dell'IP dell'host . . . . .	64
5.5	Calibrazione utente . . . . .	65
5.6	Presentazione della scena . . . . .	66
5.7	Inserimento dei parametri . . . . .	67
5.8	Prima saldatura . . . . .	68
5.9	Visione del primo compito da parte di entrambi gli utenti . . . . .	69
5.10	Visione di entrambe le saldature compiute . . . . .	69
5.11	Visione dell'ultimo compito da svolgere . . . . .	70
5.12	Formula per il test di usabilità . . . . .	73
5.13	Questionario . . . . .	74

5.14 NasaTLX . . . . .	75
5.15 HTA . . . . .	77
5.16 Grafico SUS . . . . .	79
5.17 Rappresentazione di una scala . . . . .	80
5.18 Rappresentazione della struttura dell'UEQ . . . . .	81
5.19 Esempio di un item non interpretato correttamente . . . . .	81
5.20 Domande questionario IPQ . . . . .	83



# Acronimi e Glossario

## **AI**

artificial intelligence, intelligenza artificiale

## **VR**

virtual reality, realtà virtuale

## **VE**

virtual environment, ambiente virtuale

## **SoA**

sense of agency, Sentirsi padroni delle proprie azioni

## **SoSL**

sense of self-location, Essere consci del luogo in cui si è

## **SoBO**

sense of body ownership, Sentirsi padroni del proprio corpo

## **SoE**

sense of embodiment, percezione che ognuno ha del proprio corpo e delle sue caratteristiche

## **FoC**

feeling of control, sentire di avere il controllo delle proprie azioni

## **Vs**

La velocità di saldatura è la velocità con cui viaggia l'elettrodo sulla saldatura misurata come spazio percorso da elettrodo (mm)/arc time (min)

**V**

Il voltaggio, espresso in Volt, tensione sulla saldatrice

**A**

La corrente, espressa in Ampere, amperaggio che dipende dall'elettrodo e dallo spessore della saldatura

**Dim**

Il diametro dell'elettrodo, espresso in mm, è lo spessore dell'elettrodo utilizzato

**MMA**

Metal arc welding: processo in cui si utilizza la coalescenza (piccole gocce di liquido si uniscono alle più grandi formando aggregati di liquidi non miscibili) andando a scaldare con un arco di saldatura tra un elettrodo di metallo, che serve per unire i due metalli, ed il pezzo su cui si lavora.

**GMAW**

Gas Metal Arc Welding : in italiano chiamata MIG, è un procedimento di saldatura ad arco a filo continuo, con metallo sotto protezione di gas

**Pulling**

tipologia di orientazione dell'elettrodo in cui la torcia di saldatura forma un angolo di 80 gradi con il pezzo di lavoro rispetto alla direzione di saldatura

**Perpendicolare**

tipologia di orientazione dell'elettrodo in cui la torcia di saldatura forma un angolo di 90 gradi con il pezzo di lavoro

**Pushing**

tipologia di orientazione dell'elettrodo in cui la torcia di saldatura forma un angolo di 80 gradi con il pezzo di lavoro in direzione contraria alla saldatura

**Butt**

Giunto di testa, viene formato quando due pezzi vengono posizionati sullo stesso piano ed il lato di ciascun pezzo viene unito mediante saldatura

**Corner**

Giunto angolare, può essere eseguita da un unico lato oppure da ambo i lati ed è a forma di L

**T**

Giunto ad angolo, formato quando due pezzi vengono uniti a 90 gradi

**Lap**

Giunto a sovrapposizione o calettato, la saldatura viene formata nel punto in cui le superfici si intersecano

**KPI**

Key Performance Indicators

**SDK**

Software Development Kit

**VC**

Virtual Coembodiment

**AO**

Action Observation, osservazione dell'azione

**IDE**

Integrated Development Environment

**TFVC**

Team Foundation Version Control

**WPF**

Windows Presentation Foundation

**IVR**

Immersive Virtual Reality

**HMD**

Head Mounted Display

**MWL**

Mental WorkLoad

**HTA**

Hierarchical Task Analysis

**NASA-TLX**

National Aeronautics and Space Administration Task Load Index

**SUS**

System Usability Scale

**UEQ**

User Experience Questionnaire

**IPQ**

Igroup Presence Questionnaire

**UX**

User Experience

**UI**

User Interface

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Argomento della tesi

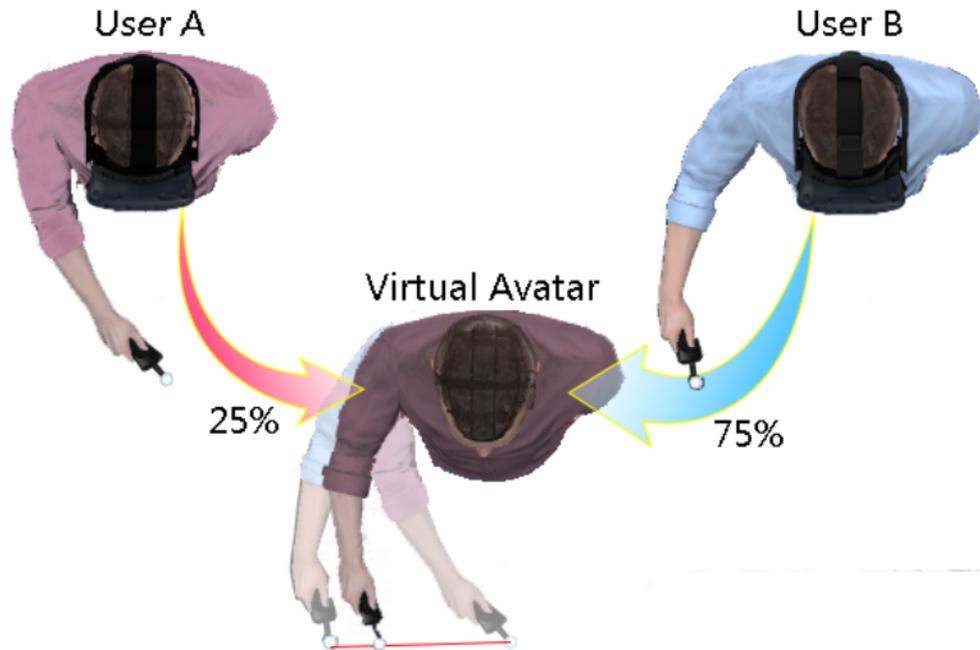
Negli ultimi anni sono aumentati i progetti di ricerca dedicati ad un fenomeno particolare che può essere provato attraverso la realtà virtuale, il fenomeno detto del Co-embodiment, presentato nella figura 1.1. Questo fenomeno si verifica quando



**Figura 1.1:** Descrizione visiva del fenomeno

due utenti accedono contemporaneamente allo stesso ambiente virtuale condividendo poi il controllo su un unico Avatar 3D. I due utenti considerati possono sia essere due persone diverse o una persona e un agente oppure una persona e un robot. Come mostrato nella figura 1.2, tipicamente, durante gli esperimenti, la condivisione del controllo avviene attraverso una media pesata dei movimenti effettuati da ciascun utente sull'Avatar. Il principale obiettivo che si vuole raggiungere è misurare quanto entrambi gli utenti si sentano coinvolti all'interno dell'Avatar,

anche quando in realtà hanno un controllo limitato o nullo su di esso. I precedenti



**Figura 1.2:** Differenti pesi comportano differenti movimenti

esperimenti di ricerca si sono concentrati principalmente su prove più semplici, quali, ad esempio, l'accensione di una luce o il raggiungimento di un obiettivo. Inoltre, questi studi hanno considerato unicamente il controllo condiviso della parte superiore del corpo, senza esplorare ed ampliare il coinvolgimento anche alla parte inferiore di entrambi gli utenti nell'Avatar.

Nel caso di studio attuale, invece, il concetto di 'Co-embodiment' viene utilizzato nell'addestramento e nell'insegnamento del processo di saldatura. Questa scelta è motivata dalla volontà di comprendere come il Co-embodiment possa influire sull'apprendimento di una persona attraverso l'insegnamento di un'attività pratica da parte di un'altra persona.

Tra le diverse applicazioni reali del Co-embodiment, la saldatura è stata selezionata per via dei parametri critici che determinano il suo successo. Inoltre, questa scelta è motivata anche dal sempre maggiore interesse da parte degli sviluppatori delle applicazioni di realtà virtuale/aumentata ad esplorare il campo dell'insegnamento della saldatura. Questa alternativa infatti è molto meno costosa rispetto ai metodi tradizionali e riduce il rischio di pericoli fisici sia per gli istruttori che per gli studenti.

Per rendere l'esperienza in realtà virtuale qui presentata ancora più coinvolgente, sono stati aggiunti a due controller una torcia di saldatura reale. Questo consente agli studenti di sperimentare direttamente la sensazione di effettuare una saldatura, inclusa la percezione del peso della torcia.



**Figura 1.3:** Esempio di welding training in VR

## 1.2 Organizzazione dei capitoli

Nel secondo capitolo, esamineremo lo stato attuale delle conoscenze inizialmente concentrandoci sui parametri chiave relativi alla saldatura. Successivamente, analizzeremo specifici progetti in cui l'insegnamento della saldatura è stato condotto utilizzando la realtà virtuale/aumentata. Infine, esploreremo gli studi relativi al 'Co-embodiment' attraverso casi di studio controllati.

Nel terzo capitolo, forniremo una descrizione dettagliata delle tecnologie hardware e software utilizzate per la progettazione e lo sviluppo delle due applicazioni. Inizieremo con un'analisi dell'ambiente di sviluppo software Unity e del progetto Avatar Go, il quale costituisce la base per la calibrazione degli Avatar Networked.

Nel quarto capitolo, esamineremo lo studio preliminare relativo alle scelte di sviluppo effettuate per realizzare l'architettura base dell'applicazione nelle sue due

versioni. Verranno quindi descritti i punti chiave che vanno a comporre la realizzazione di una saldatura nel mondo reale e come essi sono stati trasposti nel VR. In seguito sarà mostrata l'interfaccia utente realizzata attraverso la presentazione dei modelli 3D utilizzati, i feedback forniti all'utente insieme agli ausili virtuali implementati per permettere un maggiore apprendimento della tecnica.

Nel quinto capitolo saranno presentati i test che si desidererà condurre per poter validare il sistema e i questionari che verranno forniti agli utenti e come essi verranno valutati.

Nel sesto capitolo verranno scritte le conclusioni a seguito dello studio e gli sviluppi futuri che potranno essere ottenuti in seguito.

# Capitolo 2

## Stato dell'arte

In questo capitolo verrà analizzato lo stato dell'arte per quanto riguarda in primis i parametri che vengono utilizzati nella saldatura. Successivamente, saranno trattati in particolare progetti nei quali l'insegnamento della stessa è avvenuto attraverso l'uso della realtà virtuale/ aumentata per poi arrivare agli studi del Co-embodiment attraverso casi studio controllati.

### 2.1 Studi sulla saldatura e i parametri analizzati



**Figura 2.1:** Saldatura

Negli ultimi anni, sono stati condotti numerosi studi mirati a determinare i parametri essenziali per poter definire in modo chiaro e preciso gli elementi necessari

per poter effettuare una buona saldatura.

"La saldatura è il procedimento che permette l'unione fisico/chimica di due giunti mediante la fusione degli stessi, o tramite metallo d'apporto. Tale materiale può essere il materiale componente le parti stesse che vengono unite, ma può anche interessare materiale estraneo ad esse, detto materiale di apporto: nel primo caso si parla di saldatura autogena, presentata nella figura 2.3, (con o senza materiale d'apporto a seconda dei casi) nel secondo di saldatura eterogenea, mostrata nella figura 2.2, o brasatura (in cui la fusione interessa solo il materiale d'apporto). " <sup>1</sup>

Nella figura 2.1 si può vedere una foto rappresentante una saldatura effettuata in un'officina da un mastro fabbro.



**Figura 2.2:** Esempio di saldatura eterogenea

Per determinarne la qualità, gli esperti, durante la saldatura, devono valutare:

1. Dim: diametro dell'elettrodo, mostrato nella figura 2.4
2. A: corrente
3. V: voltaggio
4. Vs: velocità di saldatura

Questi rappresentano i parametri principali che sono stati considerati durante la fase di sviluppo della applicazione.

Alla fine del processo di saldatura è possibile analizzare i seguenti parametri oggettivi:

---

<sup>1</sup>(ctr. fonte <https://it.wikipedia.org/wiki/Saldatura>)

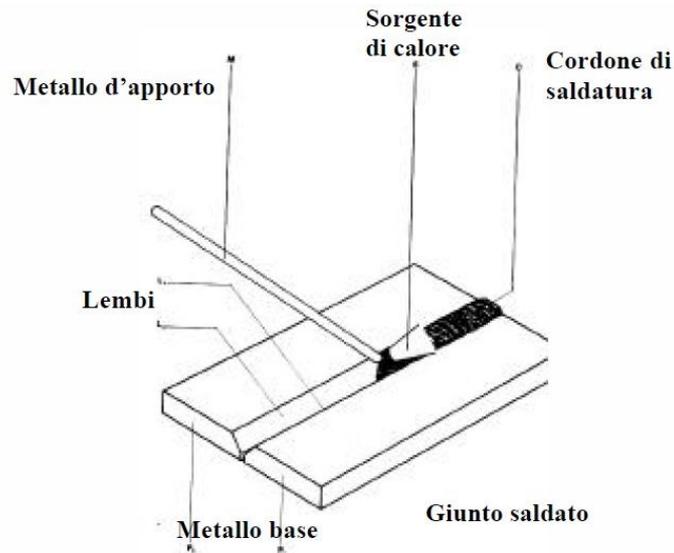


**Figura 2.3:** Esempio di saldatura autogena



**Figura 2.4:** Diverse dimensioni di elettrodo

1. La profondità di fusione
2. Lo spessore del cordone di saldatura, raffigurato nella figura 2.5
3. Eventuali bolle d'aria all'interno della saldatura
4. La geometria della saldatura



**Figura 2.5:** Raffigurazione del cordone di saldatura

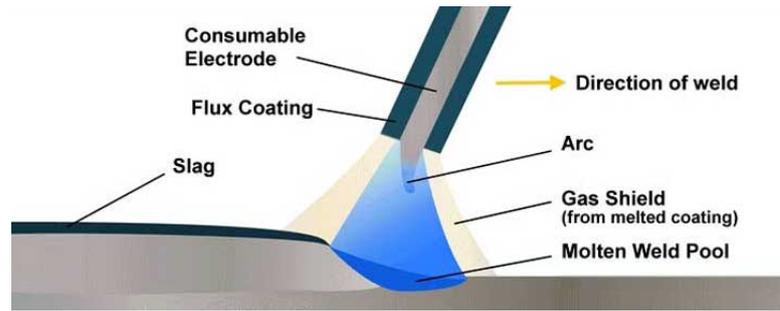
Sono stati effettuati vari studi a riguardo, a seguire i più significativi.

### 2.1.1 Effetti della velocità sulla saldatura

In questo studio, sono stati condotti diversi esperimenti utilizzando la tecnica del MMA (Metallic Manual Arc Welding), tecnica mostrata nella figura 2.6, è stato utilizzato come caso studio un elemento di acciaio di carbonio (mild steel) delle dimensioni di 50 mm x 40 mm x 6 mm e un elettrodo di acciaio di carbonio E6011 con un diametro di 2,5 mm. La corrente è stata mantenuta a 106 ampere ed il voltaggio a 24 volt. In questa serie di esperimenti, tutti i parametri menzionati sopra sono stati mantenuti costanti, ad eccezione della velocità, poiché l'obiettivo era quello di determinare il valore ottimale di questo specifico parametro.

I parametri per la saldatura dipendono principalmente da:

1. Tipologia di metallo



**Figura 2.6:** Metallic Manual Arc Welding

## 2. Tipologia di elettrodo

Per questa ragione, come esposto sopra, non verranno prese in considerazione tipologie di metallo o di elettrodo differenti ma verrà considerato solo l'acciaio di carbonio.

Secondo studi precedenti, confermati anche in seguito da quello presentato in questo sottocapitolo, si è accertato che la corrente di saldatura è la variabile che influisce maggiormente sulla qualità della stessa. Questo poichè controlla quanto brucia l'elettrodo, la profondità di fusione e la geometria della saldatura. Di seguito nella figura 2.7 vengono mostrati vari esempi di differenti geometrie di saldatura.

Il risultato finale desiderato è la definizione del valore ottimale della velocità di saldatura.

A seguito di svariati esperimenti, effettuati modificando unicamente la velocità, la conclusione a cui gli autori sono arrivati porta a trovare il valore ottimale di velocità di saldatura, 110,39 mm/min, valore in cui si raggiunge il massimo valore di penetrazione. Maggiore è la penetrazione e migliore è la saldatura, questo fintanto che non venga raggiunto il valore massimo, da quel punto in poi il valore della stessa va a diminuire per valori maggiori.

### 2.1.2 Effetto della corrente sulla saldatura

In questo studio gli autori si concentrano maggiormente sull'effetto di diversi parametri sulla Gas Metal Arc Welding (GMAW) una tipologia di saldatura ad arco mostrata nella figura 2.8.

Vengono utilizzati tre set diversi di parametri predefiniti. Questi, durante i vari esperimenti, verranno mescolati tra loro per poter valutare l'effetto delle loro

Tipi di giunto	Schema	Simbolo	Tipi di giunto	Schema	Simbolo
saldatura a bordi rilevati (con bordi completamente fusi)			saldatura d'angolo		
saldatura a lembi retti			saldatura in foro o in asola		
saldatura a V			saldatura a punti		
saldatura a mezza V			saldatura in linea continua		
saldatura a mezza V con spalla			saldatura a V a fianchi ripidi		
saldatura a U			saldatura a mezza V a fianchi ripidi		
saldatura a J			saldatura d'orlo		
saldatura di ripresa a rovescio			saldatura di riporto		

Figura 2.7: Differenti geometrie di saldatura

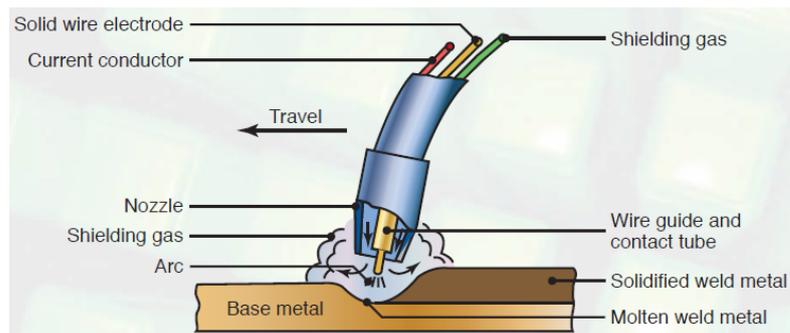


Figura 2.8: Gas Metal Arc Welding

combinazioni sui metalli.

A seguito di queste sperimentazioni si vuole poter definire una regola per collegare la penetrazione, la corrente di saldatura, il voltaggio e la velocità tra loro.

Questo set è formato dai seguenti parametri:

1. Voltaggio
  - 22V
  - 26V
  - 30V

2. Corrente

- 90A
- 150A
- 210A

3. Velocità

- 20 cm/min
- 40 cm/min
- 60 cm/min

Questi parametri possono influenzare:

1. Qualità
2. Produttività
3. Costo del joint

Sarà possibile ottenere l'arco perfetto dopo aver confrontato tutti i parametri (ulteriori a quelli già nominati sono presenti: l'angolo tra la torcia ed il piano di lavoro, la lunghezza del filo libero, la distanza dell'ugello, la posizione di saldatura e la sua direzione ed infine il rate con cui fluisce il gas).

Nella figura 2.9 viene mostrato l'angolo ideale per la GMAW.

Importanti per lo studio compiuto dagli autori sono anche le tipologie base del metallo, la geometria delle parti da saldare e il processo di saldatura.

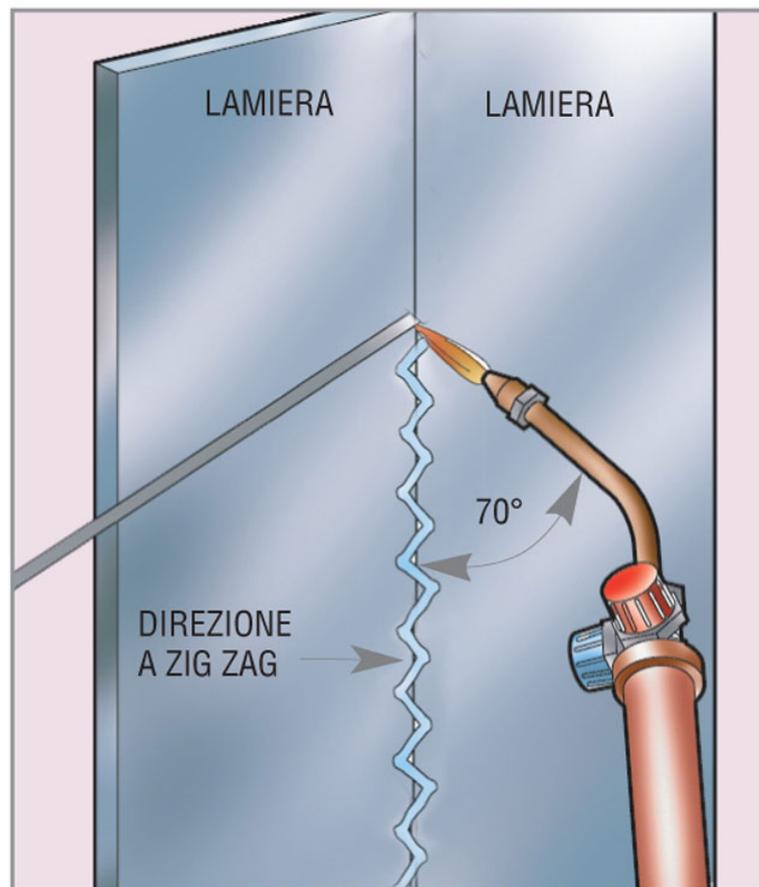
La conclusione a cui gli autori arrivano prevede che la profondità di penetrazione aumenta all'aumentare della corrente di saldatura e la velocità con cui si forma l'arco diminuisce fino a un valore minimo, che dipende dalla potenza dello stesso, ma al contempo diminuisce al decrescere del voltaggio.

A seguito di ciò si può dedurre che la corrente stessa è il fattore determinante per la penetrazione.

### 2.1.3 Studio sul diametro dell'elettrodo

In questo caso studio viene analizzato l'utilizzo di tre gas:

1. Argon
2. Diossido di carbonio



**Figura 2.9:** Angolo consigliato per la GMAW

### 3. Elio

Il metodo di saldatura utilizzato è GMAW, mentre come materiale si utilizza l'acciaio di carbonio di dimensioni 150 mm x 80 mm x 8 mm.

Il filo scelto per saldare è in acciaio. Risulta essere fondamentale per la buona riuscita di una saldatura anche il quantitativo di filo uscente dall'ugello, tra i 6-13 mm, nel caso il tracciato sia estremamente ampio è consigliabile fornirne però una maggiore quantità. Nella figura 2.10 viene mostrata la corretta procedura per effettuare il taglio del filo.

In questo studio gli autori desideravano definire il diametro del filo ottimale in queste condizioni di lavoro.



**Figura 2.10:** Taglio del filo di saldatura

Il risultato finale è stato che per parametri costanti ottimali il diametro deve essere di 0.8 mm.

Per approfondire maggiormente le varie tecniche di saldatura è consigliata la lettura del libro di Massimo Cassano "Tecniche di saldatura". Al suo interno vengono presentate anche varie tabelle utili per poter imparare e comprendere velocemente i valori ideali di parametri, postura, angolazione, velocità e distanza da mantenere.

Al suo interno è presente anche una digressione sulle normative vigenti nel mondo della saldatura e la presentazione del test per poter ottenere il brevetto di saldatore.

## **2.2 Studi sull'utilizzo del VR nell'insegnamento della saldatura**

Negli ultimi anni si sono sviluppati sempre più studi relativi all'utilizzo del VR in applicazione a casi reali. Tra questi studi ce ne sono stati molti relativi all'insegnamento della saldatura attraverso la realtà virtuale.

Nella figura 2.11 viene mostrato un esempio di saldatura in VR mentre nella figura 2.12 viene mostrato un esempio di ambiente VR dedicato alla saldatura.

Le ragioni di questa espansione negli studi sono molteplici.

Sicuramente un fattore importante può essere considerato il prezzo sempre minore dei caschetti e dei vari dispositivi utili per il tracking in comparazione al prezzo crescente delle materie prime necessarie per poter insegnare ai nuovi saldatori il loro mestiere.



Figura 2.11: Insegnamento della saldatura in VR

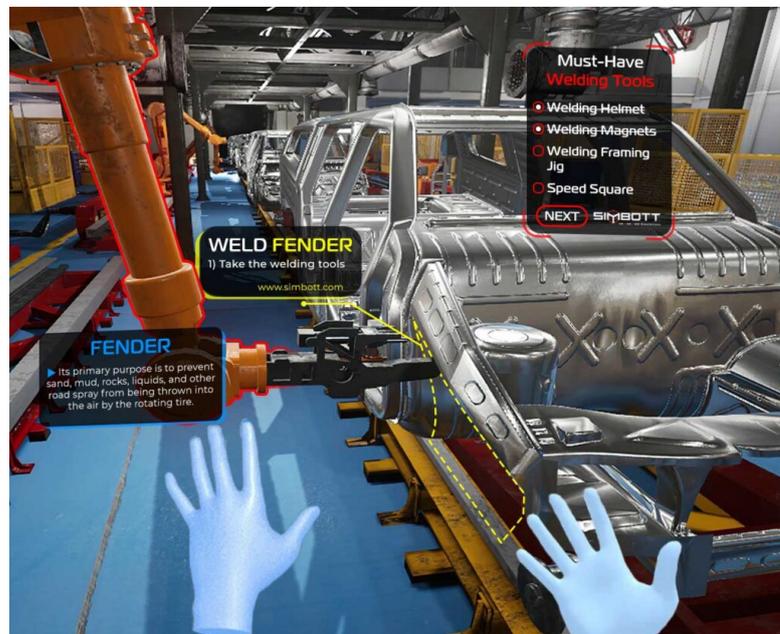


Figura 2.12: Ambiente VR

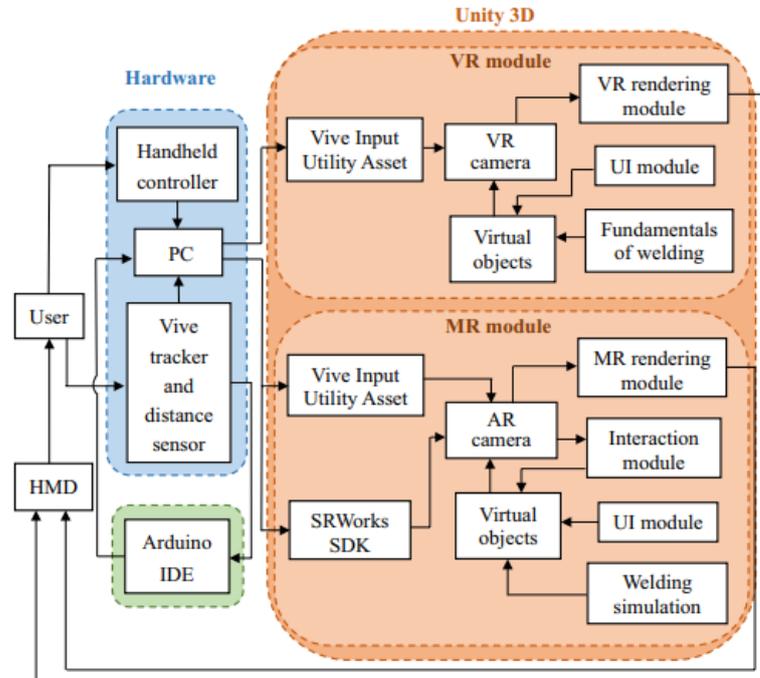
Un altro motivo è legato anche al crescente realismo a cui certe applicazioni per la realtà virtuale possono arrivare.

Tutto ciò porta a un sempre maggiore interesse dei mastri saldatori nel prendere in considerazione questo metodo di addestramento per insegnare ai loro studenti.

A seguire verranno analizzati due studi dedicati all'insegnamento della saldatura

all'interno della realtà virtuale.

### 2.2.1 Insegnamento MMA in VR



**Figura 2.13:** Architettura dell'applicazione

In questo studio gli autori desiderano analizzare l'utilizzo della realtà aumentata per insegnare la tecnica MMA (manual metal arc). Per far ciò però nel prototipo analizzato mancava la sensazione realistica di tenere in mano una torcia di saldatura, considerata estremamente importante in seguito ai test effettuati. Nella figura 2.13 viene mostrata l'architettura dell'applicazione, come si può notare essa è composta da vari step per poter arrivare al completamento di un test interno per poter permettere una maggiore comprensione del task richiesto.

Anche gli aiuti visivi e la guida passo dopo passo sono elementi essenziali per la buona riuscita dell'esperimento.

Nella figura 2.14 invece viene mostrato l'ambiente in cui l'utente si può muovere all'interno dell'applicazione.

In questo studio gli utenti si trovano in una stanza in cui hanno dapprima la possibilità di scegliere la geometria del giunto che desiderano ricreare potendo in

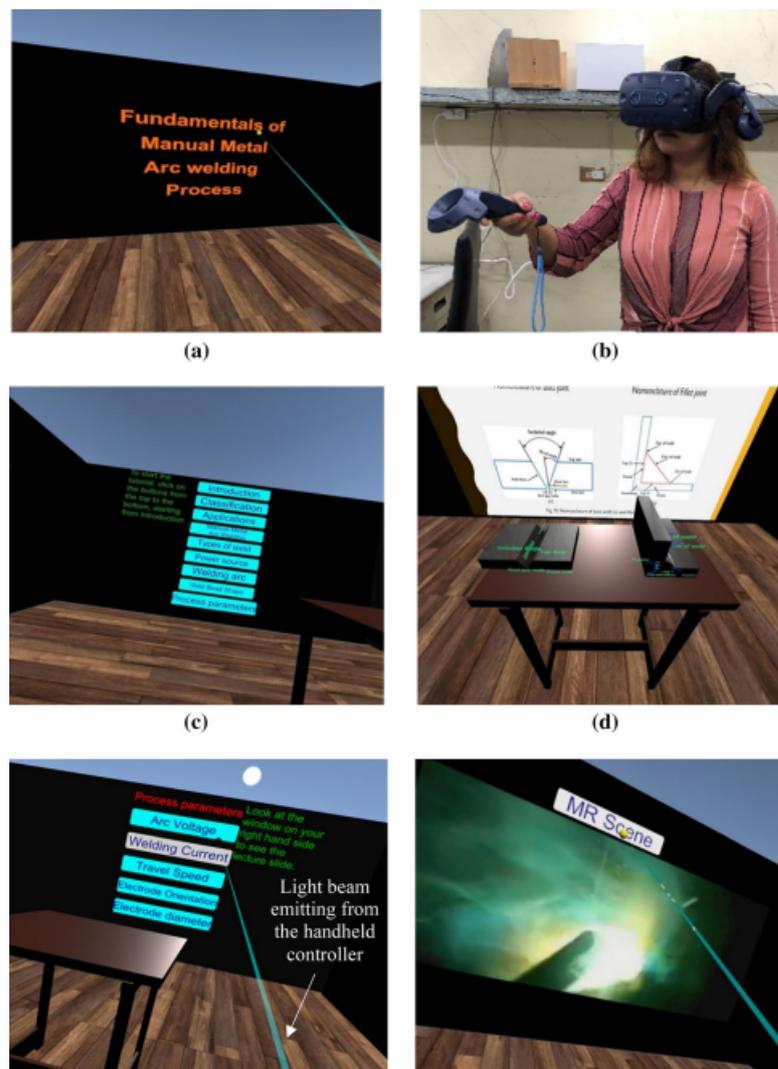


Figura 2.14: Struttura visiva dell'ambiente

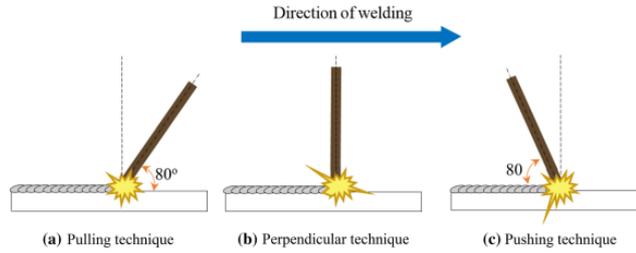
seguito scegliere la tipologia di elettrodo. Lo step successivo richiede loro di settare il valore di un parametro per volta. Potranno poi iniziare a saldare. Lo stesso task viene ripetuto finchè non vengono testati tutti i parametri.

Vengono considerati quindi dei range ideali per i quattro parametri fondamentali:

1. Corrente compresa tra 90 e 210 A
2. Voltaggio compreso tra 27 e 45 V
3. Velocità compresa tra 0.38 e 1.5 mm/min

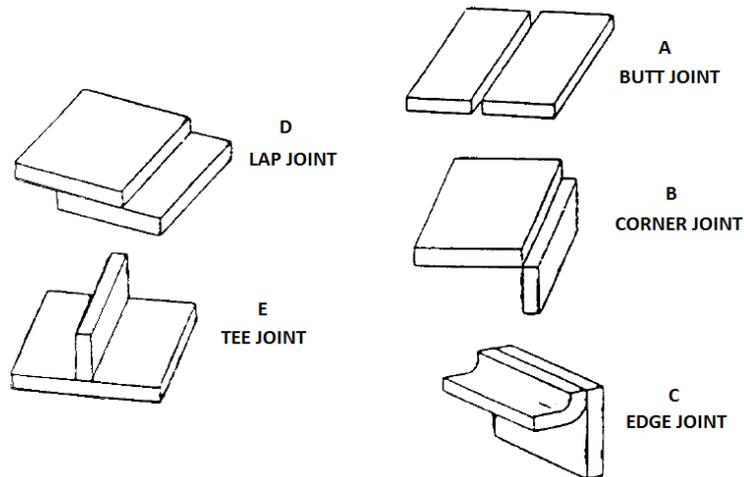
4. Diametro dell'elettrodo compreso tra 3.2 e 5.5 mm

Gli autori considerano quindi tre tipi differenti di orientazioni dell'elettrodo, come quelle mostrate nella figura 2.15:



**Figura 2.15:** Orientamento dell'elettrodo

- a) Pulling
- b) Perpendicolare
- c) Pushing



**FIGURE 1: TYPES OF JOINTS**

**Figura 2.16:** Giunti

E quattro tipologie di giunti differenti, mostrati anche nella figura 2.16:

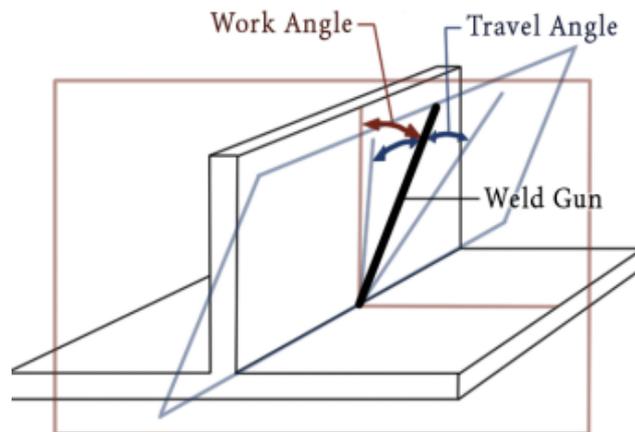
- a) Butt

- b) Corner
- c) Edge
- d) Lap
- e) Tee

A seguito di alcuni esperimenti un risultato ottenuto è stato quello per cui se il voltaggio è costante allora la quantità di metallo fuso, il rate con cui si deposita il metallo e la profondità della penetrazione è proporzionale al rate dell'input di calore.

La conclusione a cui questo studio ha puntato è risultata essere l'importanza della possibilità di poter cambiare i parametri e poter vedere il loro impatto immediato sulla saldatura aiuta gli studenti nell'apprendimento.

### 2.2.2 Importanza del feedback tattile



**Figura 2.17:** Angoli di saldatura

In quest'ultimo studio considerato vengono studiate le 4 KPI che influenzano maggiormente la qualità del lavoro, esse sono:

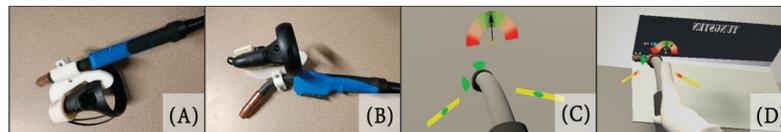
- 1 Angolo di direzione
- 2 Angolo di Lavoro
- 3  $V_s$ , velocità di saldatura
- 4 Distanza tra il punto dell'elettrodo ed il pezzo di lavoro

Nella figura 2.17 sono rappresentate varie tipologie di angolo per la saldatura, essenziali per poter compiere un buon lavoro.

Per decidere l'impatto di questi parametri sulla saldatura finale sono stati presi in considerazione degli studi precedenti sui casi reali secondo cui la  $V_s$ , se troppo alta, causa un raffreddamento repentino della saldatura che potrebbe causare una contaminazione del pezzo. Se poi la distanza fosse troppo corta, essa non permetterà di avere abbastanza calore per poter sciogliere il metallo base e ciò potrebbe quindi causare una penetrazione non adeguata.

In questo caso studio l'attività di saldatura viene suddivisa in due task: effettuare la saldatura con il normale controller oppure saldare impugnando la torcia reale, come mostrato nella figura 2.18.

La conclusione degli autori riguarda il caso della saldatura che avviene impugnando



**Figura 2.18:** Design della torcia di saldatura

la torcia reale.

In quest'ultimo task infatti, la precisione sui parametri e come essi influenzano la riuscita di una buona saldatura aumenta.

## 2.3 Studi sul Co-embodiment precedenti

Come presentato nella precedente sottosezione, il VR è uno strumento molto promettente per permettere l'insegnamento di maestranze che richiedono movimenti definiti e un grande livello di precisione.

Studi infatti provano che poter osservare e seguire i movimenti di un insegnante in prima persona, usando il VR, facilita all'utente la possibilità di imparare abilità fisiche.

Questo metodo però causa una debolezza nel SoA, a causa del grande impegno che l'utente deve porre per poter seguire dettagliatamente i movimenti dell'insegnante.

Negli ultimi anni, per cercare di far fronte a questa problematica, si è iniziato a sviluppare un nuovo metodo di controllo dell'Avatar , il "virtual Co-Embodiment".

Questo sistema è risultato efficiente nel migliorare l'apprendimento di conoscenze fisiche rispetto alla condivisione della prima persona dell'insegnante o l'apprendimento in solitaria. Nella figura 2.19 di può vedere una rappresentazione del Virtual Co-embodiment per come è stato inteso in questo studio.

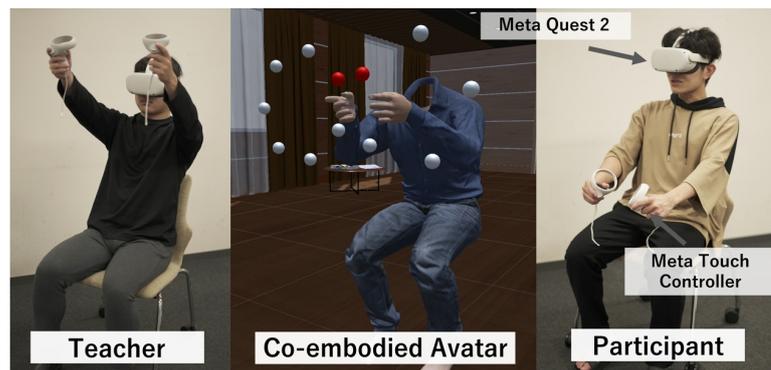


Figura 2.19: Virtual Co-Embodiment

### 2.3.1 Definizione del Virtual Co-Embodiment

Uno dei primi studi nella letteratura definisce il “virtual Co-embodiment” come una situazione che permette ad un utente e a un'altra entità, come ad esempio un'altra persona oppure un robot o un agente, di sentirsi all'interno di un Avatar unico nello stesso momento.

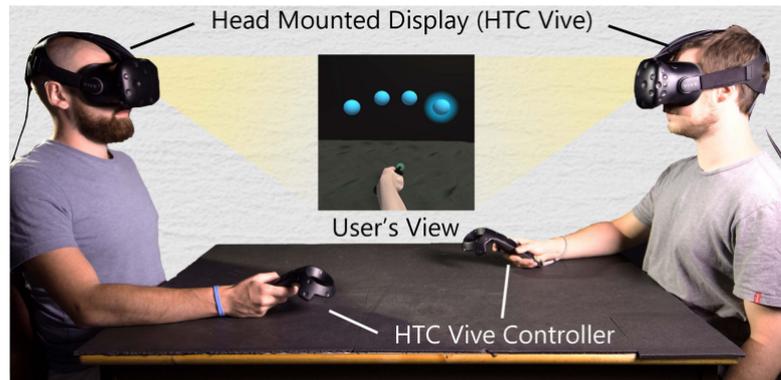
Come primo passaggio questo studio si concentra sui due utenti che condividono lo stesso corpo virtuale. In VR il SoE è un framework teorico molto utilizzato per valutare come gli utenti percepiscono e accettano il loro Avatar come la loro stessa rappresentazione in un ambiente virtuale.

Questo framework è normalmente suddiviso in tre dimensioni:

- 1 SoA, Sense Of Agency, Sentirsi padroni delle proprie azioni
- 2 SoSL, Sense Of Self-Location, Essere consci del luogo in cui si è
- 3 SoBO, Sense Of Body Ownership, Sentirsi padroni del proprio corpo

Tuttavia, per via della particolarità dell'esperienza che è il Co-embodiment virtuale, in cui gli utenti condividono il controllo sul loro corpo virtuale e le potenziali implicazioni che questa condivisione può portare nelle capacità di interazione degli utenti in VE, in questo studio si è deciso di concentrarsi principalmente sulla SoA. La causa di questa scelta è principalmente legata alle ipotesi che considerano il Co Embodiment come possibile soluzione alla problematica diminuzione di SoA durante una esperienza di training virtuale.

L'esperimento esaminato in questo studio è stato suddiviso in tre fasi principali:



**Figura 2.20:** Set up fisico dell'esperimento

- 1 Una prima esposizione al controllo condiviso dell'Avatar attraverso la quale sono state valutate le SoA e SoBO iniziali degli utenti
- 2 Poi l'esperimento principale che permette di esplorare l'influenza del livello di controllo condiviso verso l'Avatar sulla SoA. In questa parte sono stati considerati cinque pesi di controllo differenti tra 0 e 100 per cento
- 3 Un'ultima fase in cui venivano valutati gli effetti del training vissuto durante l'esperimento principale sulla agency e ownership

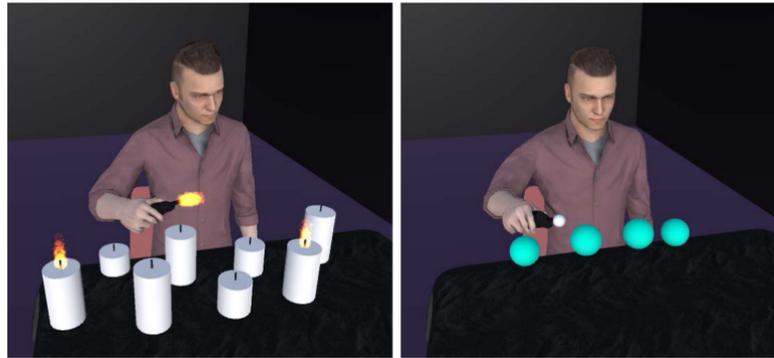
Nella figura 2.20 viene mostrato il Set up fisico che è stato realizzato per permettere l'esperimento.

I risultati ottenuti mostrano che i cambiamenti sul grado di controllo hanno chiaramente influenzato la SoA. Ancora più importante è il fatto che i dati della FoC, <sup>2</sup> trattati come una misura esplicita della SoA (questo in riferimento a studi precedenti riscontrati nella letteratura), sono aumentati linearmente con l'aumento del grado di controllo per tutti e tre i task, presentati nella figura 2.21.

Questa ultima affermazione può essere spiegata dal fatto che, più alto è il grado

---

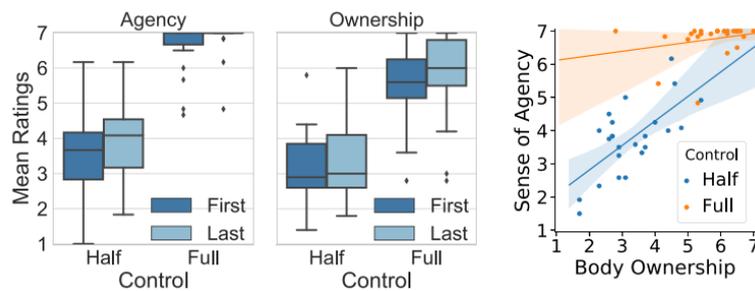
<sup>2</sup>(Feeling Of Control, sentire di avere il controllo delle proprie azioni)



**Figura 2.21:** Task presentati

di controllo più sarà vicino il feedback visivo della mano dell'Avatar rispetto alla mano reale del partecipante. Questo andrà quindi a ridurre il mismatch visuale tra i movimenti dell'Avatar virtuale e dell'utente reale. Infatti, come affermato da Farrer, la nostra abilità di riconoscere la SoA da spunti visivi di movimento tendono a diminuire in caso di mismatch tra il feedback visuale ed il movimento attuale.

In conclusione i risultati ottenuti, mostrati nella figura 2.22, indicano che i par-



**Figura 2.22:** Risultati ottenuti

tecipanti hanno avuto successo nella stima del loro livello effettivo di controllo sull'Avatar condiviso, per quanto essa risulti sovrastimata nel caso in cui il feedback visivo si avvicinava maggiormente all'azione da loro effettuata oppure nel caso in cui avessero avuto conoscenza precedente della mossa da effettuare.

I partecipanti hanno performato movimenti simili in generale senza considerare il loro effettivo livello di controllo.

### 2.3.2 Effetti dell'addestramento collaborativo Coembodied

In un ulteriore studio sul Co-embodiment analizzato gli autori spiegano la differenza tra due sue diverse tipologie:



**Figura 2.23:** Caso del Co-Embodiment pesato

- 1 Co-embodiment pesato, rappresentato nella figura 2.23, in cui un Avatar virtuale viene controllato in base alla media pesata dei movimenti di multiple entità. In questo caso è importante considerare che la sensazione dell'utente verso l'Avatar cambia a seconda del peso che egli ha nei movimenti.
- 2 Segmentazione delle parti del corpo. In questa tipologia di Co-embodiment due utenti manipolano nello stesso momento diverse parti del corpo dell'Avatar. In questo caso si è trovato che l'embodiment verso l'arto controllato dal partner era molto maggiore quando i due partecipanti condividevano un obiettivo comune.

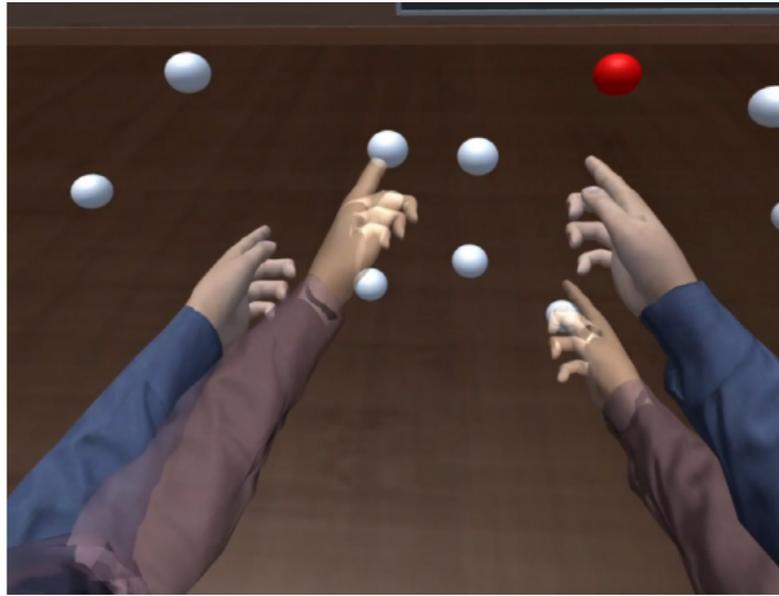
In un altro studio, illustrato nella figura 2.24, viene invece mostrato un esempio di Co-embodiment in cui l'utente condivide interamente la visione dell'ambiente virtuale con l'altro utente, questo caso normalmente causa però una motion sickness più accentuata poichè la visione dello studente viene sostituita con quella dell'insegnante e di conseguenza anche i movimenti.

Seguendo il sistema di virtual Co-embodiment di Fribourg la testa non è stata resa Coembodied poichè potrebbe causare all'utente una sensazione di malessere a causa di possibili movimenti della visuale non desiderati.

L'esperimento effettuato nel caso studio, presentato all'inizio della sottosezione, riguarda un test per migliorare l'efficienza dell'apprendimento di una abilità fisica. È stato quindi adottato un paradigma duale che consiste in una procedura che richiede a un individuo di eseguire due task nello stesso momento.

L'esperimento richiedeva di creare una stella a sette punte con la mano destra e una a cinque con la sinistra. Esso è stato effettuato secondo tre paradigmi:

- 1 Co-embodiment



**Figura 2.24:** Lo studente condivide la prospettiva dell'insegnante

## 2 Condivisione della prospettiva

### 3 Da soli

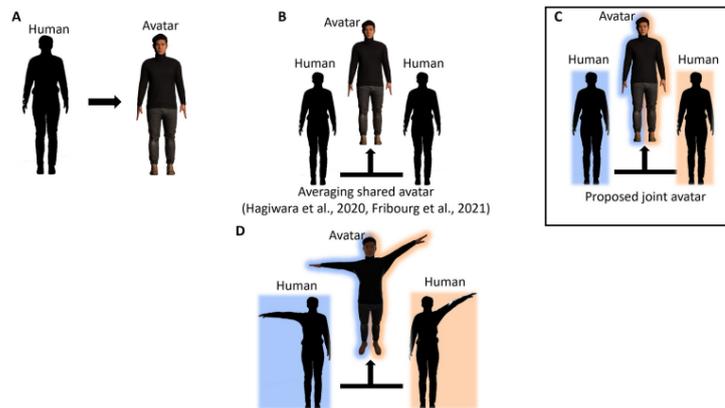
A seguito dello studio dei questionari compilati dagli utenti e dalla valutazione in loco dell'esperimento si è potuto notare un miglioramento sostanziale durante la fase di apprendimento nei casi di Co-embodiment e di condivisione della prospettiva rispetto al caso di single player. Durante il caso della condivisione della prospettiva però la performance è calata significativamente rispetto al caso single player. Questo è dovuto probabilmente alla dipendenza maggiore dell'utente nei confronti dell'insegnante

In conclusione questo esperimento è riuscito a verificare, grazie alla comparazione di tre casi studio differenti, la validità dell'insegnamento attraverso l'interfaccia del Co-embodiment e come esso aiuti gli studenti a provare una maggiore SoA verso i movimenti corretti che gli vengono insegnati dagli insegnanti durante un trasferimento di abilità motorie.

### **2.3.3 Controllo suddiviso per arti di un Avatar congiunto**

Un recente studio ha provato ad investigare la condivisione del controllo di un Avatar in un ambiente virtuale attraverso il completo controllo di determinati arti da parte di un utente e quindi la completa dissociazione dei propri movimenti sugli

arti non controllati da sè stessi, come mostrato nell'immagine 2.25. Questo studio è stato effettuato a seguito dell'ipotesi per cui sono stati spesso



**Figura 2.25:** Caso del Co-Embodiment con il controllo degli arti suddiviso

testati sistemi in cui un utente dimostra di provare una sensazione di possesso nei confronti di un arto non proprio, come, ad esempio, l'esperimento della mano di gomma, qualora esso sia rimpiazzato da un arto visibile al posto del proprio.

Si desiderava quindi scoprire se la stessa correlazione poteva essere provata anche nel caso limite per cui il corpo visibile non era il proprio ma quello di un Avatar virtuale, che veniva controllato parzialmente da sè stessi e si desiderava comprendere se si provava però lo stesso senso di possesso anche per quell'arto non controllato da sè stessi.

Per poter verificare questa teoria si sono svolti dei test in cui i due utenti dovevano svolgere dei compiti molto semplici, l'arto interessato era o un braccio o una gamba per volta, e vedevano prima l'altra persona completare il compito senza poter interferire ma sapendo cosa stava accadendo e, al momento del loro turno, l'altra persona viveva la medesima esperienza.

Inoltre era stata ideata una configurazione in cui gli utenti risultavano essere collegati tra loro attraverso dei poli di supporto per permettere di sentire anche attraverso una sensazione fisica il movimento dell'altra persona e quindi per aumentare la sensazione di Embodiment.

Il collegamento tra gli utenti avveniva come mostrato nella figura 2.26.

Un'altra condizione presente era quella in cui i due utenti erano collegati ad un manichino e quindi in questo caso, quando vedevano il movimento del partner, non ricevevano un feedback fisico che gli indicava il movimento come invece avveniva nella condizione unita.

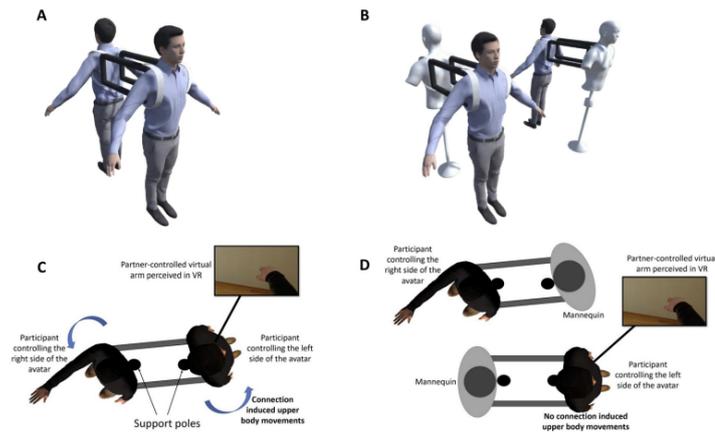


Figura 2.26: Collegamento tra gli utenti

Secondo i questionari svolti successivamente gli utenti hanno confermato la sensazione di appartenenza dell'arto mosso dall'altro utente come se fossero loro stessi a muoverlo.

### 2.3.4 Studio del Co-embodiment nell'apprendimento della batteria

Questo studio dell'utilizzo del Co-embodiment risulta essere particolarmente simile a quello presentato nello sviluppo di questa tesi.

Si desidera mostrare infatti come l'apprendimento attraverso la segmentazione di alcune parti del corpo controllate attraverso il paradigma del Co-embodiment possa fornire dei risultati molto più efficaci rispetto all'insegnamento attraverso l'osservazione in prima persona delle azioni dell'insegnante, AO<sup>3</sup>.

Il legame con la saldatura risiede nella ritmicità e importanza dei movimenti effettuati anche per poter produrre un suono con la batteria e risultano essere entrambi degli studi legati all'apprendimento di un'attività del mondo reale.

Questo studio è stato sviluppato utilizzando l'Oculus Quest e vengono visualizzate unicamente le mani dell'Avatar Coembodied e non l'interezza della persona.

Nel caso in cui l'utente possa vedere in prima persona i movimenti dell'insegnante le mani vengono mosse e mostrate in una scena in cui sono presenti delle bacchette che si muovono da sole e le mani dell'utente devono provare a seguirne i movimenti. Mentre nel caso del VC, Virtual Co-embodiment, una mano dell'utente è legata ai

<sup>3</sup>Action Observation, osservazione dell'azione

suoi movimenti mentre l'altra viene mossa da un'animazione pre programmata del movimento corretto.

Questo modo di gestione dell'Avatar viene denominato Halvatar, da half-Avatar, poichè consiste in un manichino controllato in parte da un utente ed in parte da un processo separato.

Nella figura 2.27 è mostrata l'interfaccia utente visibile nei due casi di configurazione

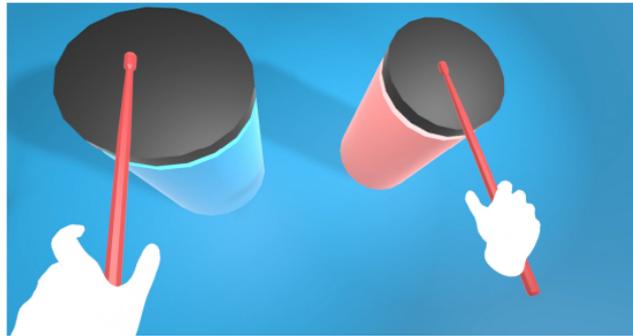


Figure 12. Polyrhythmic AO virtual scene: The user's hands are tracked and displayed in a scene with automated drum sticks performing exemplarily.

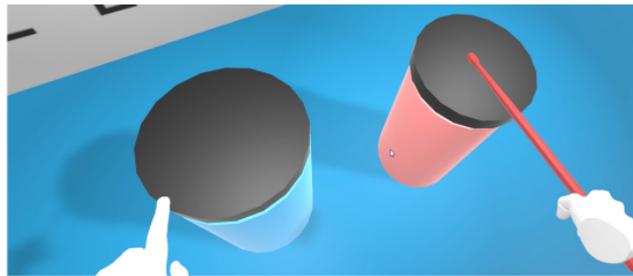


Figure 13. Polyrhythmic VC scene: The left hand of the halvatar is controlled by the user, and movements of the right hand and stick are controlled via programmed animation.

**Figura 2.27:** UI dell'applicazione sia in AO che VC

del sistema.

In conclusione questo studio pone l'accento sulla maggiore flessibilità che si riesce ad ottenere attraverso l'utilizzo di un Halvatar controllato in parte da un umano e in parte da una espressione virtuale o robotica.

Non è stato però possibile determinare attraverso questo studio, che è ancora al suo stato pilot, una effettiva preferenza tra AO e VC, sicuramente un approfondimento dello studio è necessario per poter dimostrare l'efficacia del sistema.

### 2.3.5 Aggiunta del feedback tattile al Co-embodiment

Un ultimo studio che si desidera presentare è legato all'attinenza presente tra il Co-embodiment e l'aggiunta del feedback tattile all'esperienza che si desidera far

vivere agli utenti.

Già nello studio presentato nella sottosezione 2.3.2, veniva sottolineata l'importanza della presenza di feedback tattile durante l'esperienza condivisa per poter fornire un supporto in più alla SoA.

Nella figura 2.28 viene mostrato il Set up della stanza in cui gli utenti potevano

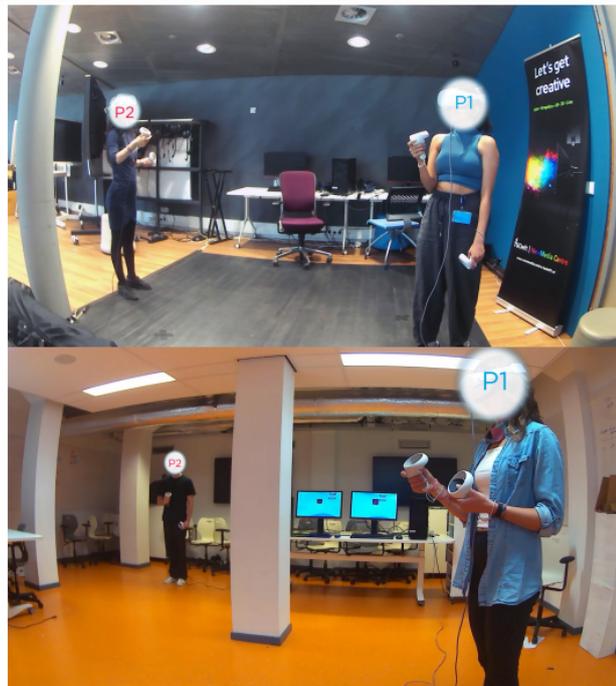


Figure 43. Experiment setup in VR Zone (Top) and a studio (Bottom) at TU Delft

**Figura 2.28:** Set up della stanza

muoversi per completare i loro task.

A seguito delle sessioni di testing, agli utenti veniva richiesto il livello di Co presenza, Co-embodiment e SoA provato, gli veniva inoltre richiesto di non comunicare con l'altra persona durante lo svolgimento del compito.

Durante l'analisi dello studio presentato però emerge la diminuzione della SoA durante il Co-embodiment nel caso in cui le due mani siano sovrapposte. Lo studio ha mostrato che una intenzione condivisa ha impattato sia la co presenza che il Co-embodiment.

Questi risultati forniscono anche un insight sulle differenti strategie che i partecipanti hanno adottato in base al controllo percepito sull'Avatar condiviso.

## 2.4 Riepilogo

In questo capitolo sono stati approfonditi i tre argomenti principali su cui si basa la teoria di ricerca della tesi a seguire.

In primis è stato presentato lo studio effettuato sulla ricerca dei parametri necessari per poter ottenere una buona saldatura. In questa analisi sono stati analizzati tre differenti studi relativi alla ricerca dei parametri in due tipologie di saldature differenti:

1 MMA

2 GMAW

La conclusione di questi tre casi studi porta quindi a considerare innanzitutto l'importanza del metallo e dell'elettrodo usato durante la saldatura per poter definire i parametri migliori, importante risulta anche essere lo spessore dell'elettrodo utilizzato.

Sono stati poi considerati, due studi relativi all'utilizzo del VR nell'insegnamento della saldatura.

In questi due studi si è appresa l'importanza dei feedback sia visivi che tattili. Nel primo, infatti la mancanza di quest'ultimo è stata sottolineata per poter valutare i risultati come lievemente sfalsati a causa di questa mancanza, mentre nel secondo è stata inserita la possibilità di saldare utilizzando una torcia legata ad un controller. L'aggiunta di una vera torcia di saldatura da poter utilizzare aumenta infatti il realismo dell'applicazione e permette un embodiment maggiore da parte dell'utente durante lo svolgimento del task.

Un altro elemento importante riportato dai due esperimenti analizzati è il feedback visivo dei vari parametri, è stato riportato come il poter vedere immediatamente l'influenza che i vari parametri hanno sulla qualità della saldatura, anche con una sola modifica, ha aumentato molto la consapevolezza della loro importanza per gli studenti.

Importante è quindi poter mostrare tutti i parametri in modo immediato e facilmente comprensibile agli utenti, sia che essi siano considerati nel range non corretto che in quello corretto.

Infine gli ultimi cinque studi analizzati riguardano gli esperimenti di ricerca effettuati sul Co-embodiment e come esso sia importante per poter migliorare

la sensazione di SoA, che risulta essere molto indebolita durante i training VR tradizionali in cui si condivide la prospettiva dell'insegnante.

Risulta essere importante considerare la testa separatamente rispetto al resto del corpo per evitare la motion sickness dovuta a possibili movimenti dell'altro utente, ed anche considerare lo studio di differenti pesi dati a ogni utente per poter comprendere meglio il livello di apprendimento a cui è arrivato.

A seguito di quanto presentato all'interno di questo capitolo, durante lo sviluppo dell'applicazione si è cercato di considerare tutti gli elementi appresi per poter ottenere un'applicazione il più realistico possibile ed efficace per l'insegnamento. Sono stati quindi considerati cinque parametri principali durante lo sviluppo quali:

- 1 Corrente tra 95-115 A, in quanto quella ideale risulta essere 105A
- 2 Voltaggio 14-34 V, quello ideale è 24V
- 3 Velocità 0.8-1.3 dm/min, essendo 1,10 dm/min quella ideale
- 4 Diametro elettrodo 1.5-3.5 mm, risultando 2.5mm essere quello ideale
- 5 Orientamento della saldatura, maggiore penetrazione con un movimento della torcia nella direzione della saldatura

Questi parametri sono stati decisi in base alla tipologia di saldatura che si sta effettuando, la tipologia di metallo saldata e le sue dimensioni.

La tipologia di saldatura scelta tra quelle analizzate è la GMAW utilizzando come metallo vari pezzi di acciaio di carbonio di dimensioni 50mm × 40mm × 6 mm. Si è cercato anche di poter offrire agli utenti un feedback tattile attraverso l'aggiunta delle torce di saldatura collegate ai controller ed un feedback visivo attraverso l'allineamento degli oggetti della stanza virtuale con quelli presenti nella stanza reale.

Per far sì che anche l'effetto di saldatura risultasse maggiormente realistico si è calcolato lo spessore del cordone creato in virtuale seguendo le regole del reale secondo cui lo spessore del cordone deve essere  $0.8 \times$  spessore del metallo.

Un altro feedback visivo integrato all'interno dello sviluppo è stato quello della possibilità dell'inserimento dei parametri di saldatura. Questo feedback non è legato direttamente con lo studio dell'effetto del Co-embodiment sugli utenti poichè non comporta alcun movimento del corpo ma è legato allo studio dell'embodiement che la persona prova all'interno dell'esperienza in realtà virtuale.

Risulterebbe anche interessante inserire nello studio il caso di Co-embodiment che prevede gli arti degli utenti controllati uno da un utente e l'altro dal partner. La ragione per cui in questo caso studio però non è stato ritenuto interessante

è legata alla necessità per saldare dell'utilizzo di una mano sola. Non potendo quindi suddividere il corpo degli utenti in zone legate all'utilizzo dei vari arti per lo svolgimento del compito richiesto si è preferito concentrarsi unicamente sul caso di Co-embodiment pesato.

È stata però implementata la funzionalità della suddivisione all'interno del progetto per possibili test futuri.

## Capitolo 3

# Tecnologie utilizzate: Software e Hardware

Di seguito verranno presentate le tecnologie Software e Hardware utilizzate per lo sviluppo dell'applicazione.

Verrà presentato in primis il motore grafico di Unity, elemento centrale per lo sviluppo dell'applicazione. Collegati a Unity verranno presentati anche AvatarGo, progetto open source realizzato dall'università politecnica della Catalogna che permette la calibrazione di un Avatar attraverso l'utilizzo di un Vive Pro a cui vengono collegati tre tracker e due controller, e TextMesh Pro, plug-in di Unity essenziale per lo sviluppo dell'applicazione.

In seguito, verrà descritto l'ambiente di sviluppo di Microsoft Visual Studio, tramite il quale è stato possibile programmare i vari elementi e passaggi per permettere l'interazione dell'utente con l'ambiente virtuale.

Presenteremo poi SourceTree, client Git utilizzato per mantenere le versioni dell'applicazione sempre aggiornate tra i vari dispositivi e il NetCode di Unity, necessario per la comunicazione e la sincronizzazione tra varie macchine connesse ad una stessa rete.

Infine, come tecnologia Hardware, verranno presentate le varie caratteristiche e funzionalità del Vive Pro.

### 3.1 Unity

Sviluppato da Unity Technologies, Unity è un motore grafico pensato come game engine cross platform per permettere lo sviluppo di videogiochi su diverse piattaforme.

Nella figura 3.1 viene presentata la sua interfaccia utente e come si presenta al suo avvio.

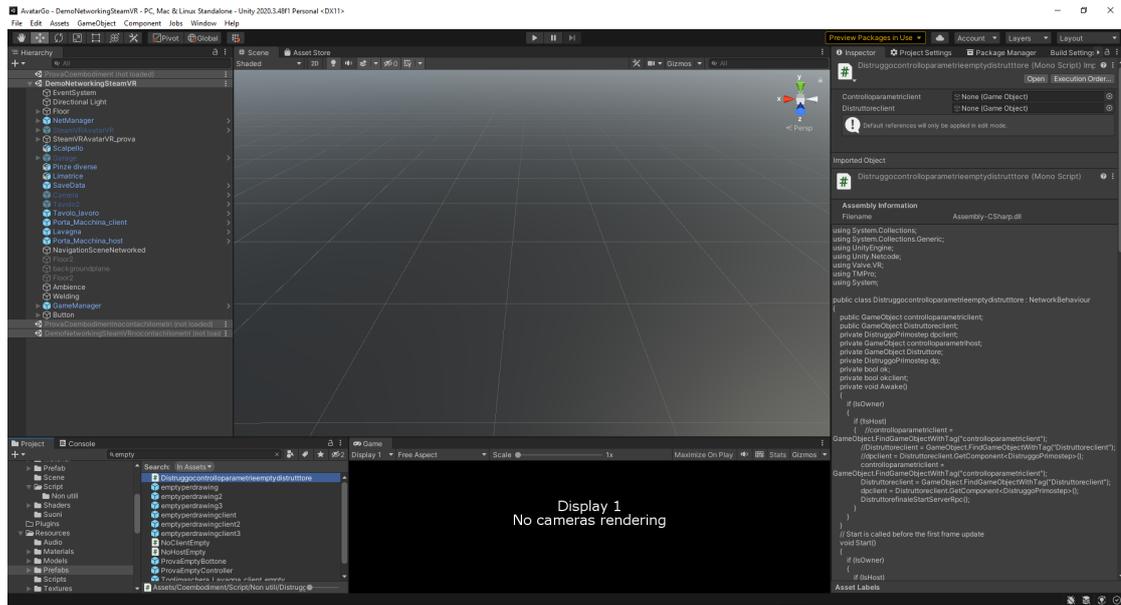


Figura 3.1: Interfaccia utente di Unity

È stato lanciato nel giugno del 2005 durante la Apple Worldwide Developers conference, inizialmente come game engine per videogiochi per Mac ma, durante gli anni, il Software ha ampliato sempre più il suo supporto per diverse piattaforme, mostrate nella figura 3.2, tra cui:

- 1 Desktop: Windows, Mac, Linux
- 2 Web: WebGL
- 3 Mobile: iOS, Android, tvOS
- 4 Console: PlayStation 4/5, Xbox One, Nintendo Switch
- 5 AR/VR: Oculus, Steam VR, Google Cardboard e molte altre

Attraverso il suo utilizzo è possibile creare sia giochi 3D, come nel caso dell'applicazione sviluppata durante il progetto di tesi, che in 2D. Unity supporta come linguaggio principale C# (C sharp) per lo sviluppo delle sue applicazioni. Inoltre, essendo Unity una piattaforma di sviluppo cross-platform, non viene richiesto agli sviluppatori di dover riscrivere l'intero codice da capo per ogni piattaforma target per il loro progetto, permettendo così uno sviluppo più veloce e fluido dell'applicazione. Questo avviene grazie all'ampia gamma di piattaforme supportate da Unity ed è anche una delle ragioni per cui Unity risulta essere una delle maggiori game engine utilizzate dagli sviluppatori di tutto il mondo.



**Figura 3.2:** Attuali piattaforme supportate

Il Software presentava in passato anche altri linguaggi di programmazione, tra i quali Boo, rimosso nella versione Unity 5, e UnityScript, deprecato nel 2017, che era un linguaggio JavaScript basato su Boo.

Unity inoltre possiede un importante Asset store che permette di mettere a disposizione degli sviluppatori modelli 3D, simulazioni, e molto altro ancora per i loro progetti. Questi asset sono tutti di alta qualità ed utili sempre per permettere uno snellimento dello sviluppo e un aiuto ulteriore.

Nella figura 3.3 è mostrata la pagina principale dell'Asset store di Unity, grazie ad esso è possibile acquistare e utilizzare nei propri progetti una grande quantità di modelli 3D di alto livello, permettendo così lo snellimento dello sviluppo di un'applicazione.

La comunità degli sviluppatori su Unity, essendo molto vasta, garantisce anche un costante aiuto per coloro che desiderano muovere i primi passi all'interno della piattaforma attraverso tutorial, supportati spesso da Unity, semplici e completi. Sono presenti anche forum e sezioni apposite per poter far richiesta direttamente agli sviluppatori di Unity così da ottenere un appoggio durante la fase di apprendimento.

Sono presenti molte versioni di Unity, essendo un Software aggiornato spesso, durante l'anno ne vengono normalmente rilasciate almeno 4, due beta e due stabili. La licenza gratuita offerta da Unity è garantita per l'utilizzo personale e per piccole compagnie, mentre la versione Pro è richiesta per le compagnie che superano un

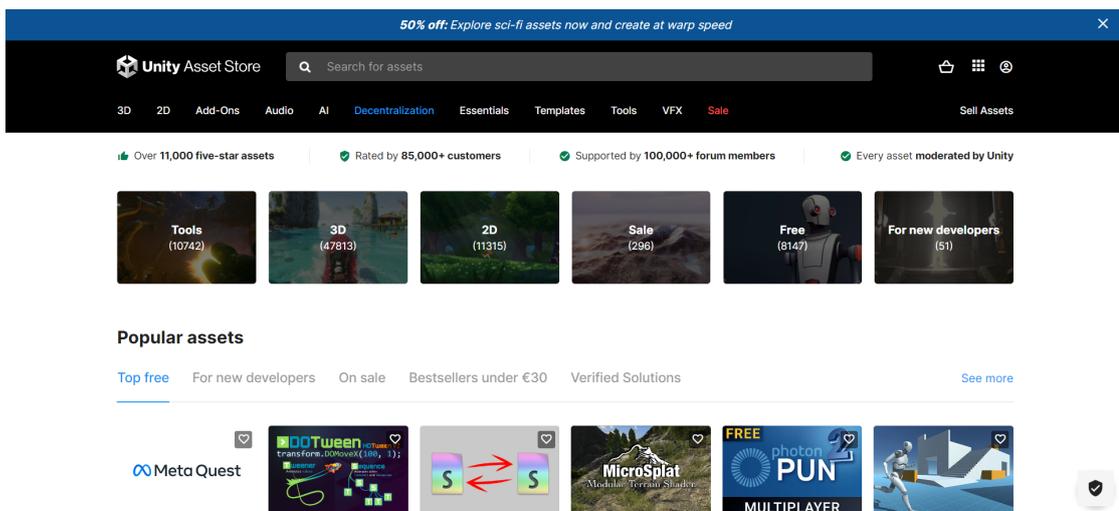


Figura 3.3: Asset Store di Unity

certo livello di profitto.

A seguito di questo studio sulle potenzialità di Unity e dello studio affrontato negli anni precedenti del linguaggio C# si è deciso di procedere con l'implementazione dell'applicazione utilizzando come ambiente di sviluppo la sua versione 2020.3.48. La scelta della versione è legata all'utilizzo del plug-in Avatar Go, presentato in seguito, il quale richiede l'utilizzo di una versione di Unity uscita nel 2020.3.

### 3.1.1 Avatar Go: Plug and Play self-Avatars for VR



Figura 3.4: Interfaccia di AvatarGo

Avatar Go: Plug and Play self-Avatars for VR, la cui interfaccia è presentata nella figura 3.4, è un progetto nato dalla mente di Jose Luis Ponton, Eva Monclús e Nuria Pelechano dell'università politecnica della Catalogna in Spagna. Questo progetto è nato a seguito della recente pandemia di Covid-19 durante la quale non era permesso alle persone di incontrarsi e quindi spesso esse si

ritrovavano a utilizzare maggiormente i canali di comunicazione social, disponibili grazie all'avanzamento della tecnologia.

La natura 2D di questa comunicazione però è un fattore limitante che ha portato molti a credere che in un futuro la vera collaborazione sarà basata su una IVR<sup>4</sup> in cui le persone potranno incontrarsi e comunicare tra loro indossando degli HMD<sup>5</sup> per poter discutere di argomenti complessi in maniera naturale in un ambiente 3D. Questo livello di collaborazione però richiede agli utenti l'utilizzo di Avatar 3D personali in grado di seguire accuratamente i loro movimenti.

Nonostante il livello di fotorealismo degli Avatar attuali, ottenuto grazie a scanner 3D ed a strumenti di modifica di modelli di Avatar 3D tramite GUI, sia estremamente alto, la difficoltà maggiore rimane portare gli Avatar in una qualsiasi applicazione IVR e permettere all'utente di calibrarli velocemente ai loro movimenti attraverso l'utilizzo dei tracker low cost.

Questo progetto cerca di raggiungere esattamente questo obiettivo. Per poter implementare questo sistema è richiesto l'uso di un HMD compatibile con SteamVR (es: HTC VIVE), due controller per le mani e tre Tracker compatibili con l'HTC VIVE.

Due dei tre tracker saranno posizionati sui piedi mentre uno sarà posizionato sulla vita per permettere al sistema di poter tracciare il corpo dell'utente nell'ambiente. Gli utenti, una volta avviato il sistema, potranno selezionare un qualsiasi Avatar umanoide presente nel formato FBX di Unity e, dopo aver indossato l'HMD, dovranno posizionarsi in una T-pose rivolgendosi nella direzione specifica in cui è presente uno "specchio" per le istruzioni da seguire. Questo permette al sistema di poter tracciare le posizioni dei tracker e dei controller in maniera precisa.

Nella figura 3.5 è mostrato come avviene la calibrazione.

A seguire, quando il sistema confermerà di aver salvato tutti i parametri necessari, l'utente potrà proseguire con la calibrazione una prima volta con il trigger per segnalare al sistema la sua posizione e verrà quindi istanziato l'Avatar scelto in T-pose. Sarà quindi richiesto all'utente di posizionarsi davanti ad esso, mantenendo la posizione, e, quando sarà davanti all'Avatar virtuale, premendo nuovamente il trigger, potrà iniziare a esplorare l'ambiente virtuale tramite l'utilizzo dell'Avatar. Nel caso del progetto di tesi qui presentato è stato utilizzato AvatarGo per poter permettere la calibrazione dei due Avatar, quello dedicato all'insegnante/Host e quello dedicato allo studente/Client, in modo che l'Avatar poi utilizzato potesse essere preciso nel seguire i movimenti dell'utente durante la fase di training.

---

<sup>4</sup>Realtà Virtuale Immersiva

<sup>5</sup>Head-Mounted Display

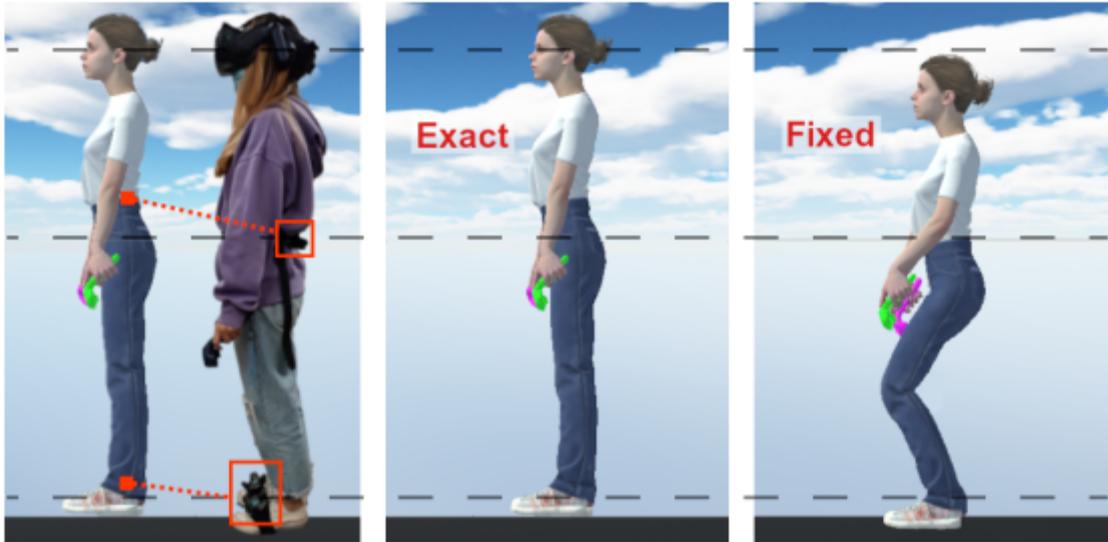


Figura 3.5: Calibrazione degli Avatar

### 3.1.2 Componenti aggiuntivi

Per poter implementare alcune funzionalità dell'applicazione, come ad esempio la possibilità di avere dei testi modificabili dall'utente in real time, è stato necessario installare dei pacchetti aggiuntivi forniti da Unity Assets quali:

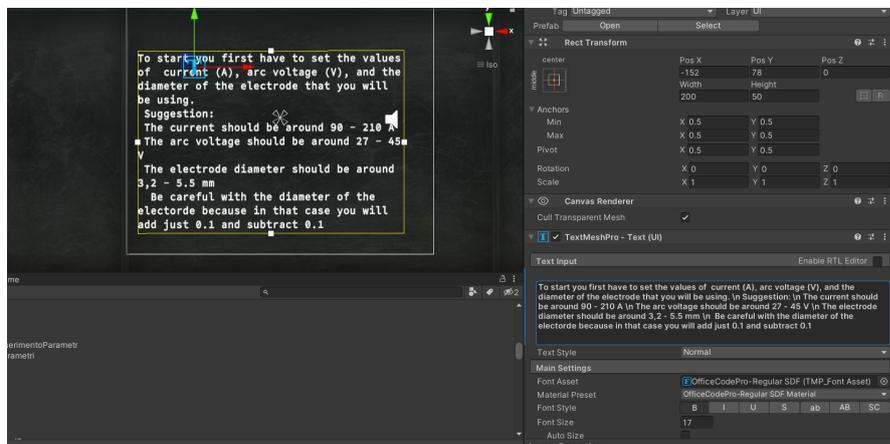


Figura 3.6: Esempio di utilizzo di TextMeshPro all'interno del progetto

- 1 TextMeshPro (TMP): È la soluzione più innovativa per i testi offerta da Unity. È molto potente e semplice da usare. Esso utilizza delle tecniche di rendering di

testo avanzato che permettono così di farlo risultare sempre preciso e semplice da leggere.

Offre un miglioramento sostanziale per la qualità visiva garantendo agli utenti una grande flessibilità nello stile e nella texture del testo. Fornisce un controllo sul testo potenziato con un supporto multi font, possibilità di inserimento di link, testo giustificato e molto altro ancora.

Il suo utilizzo all'interno del progetto, mostrato nella figura 3.6, è stato molto importante per riuscire a mostrare il cambiamento real time di valori immessi in input da parte degli utenti.

## 3.2 Visual Studio

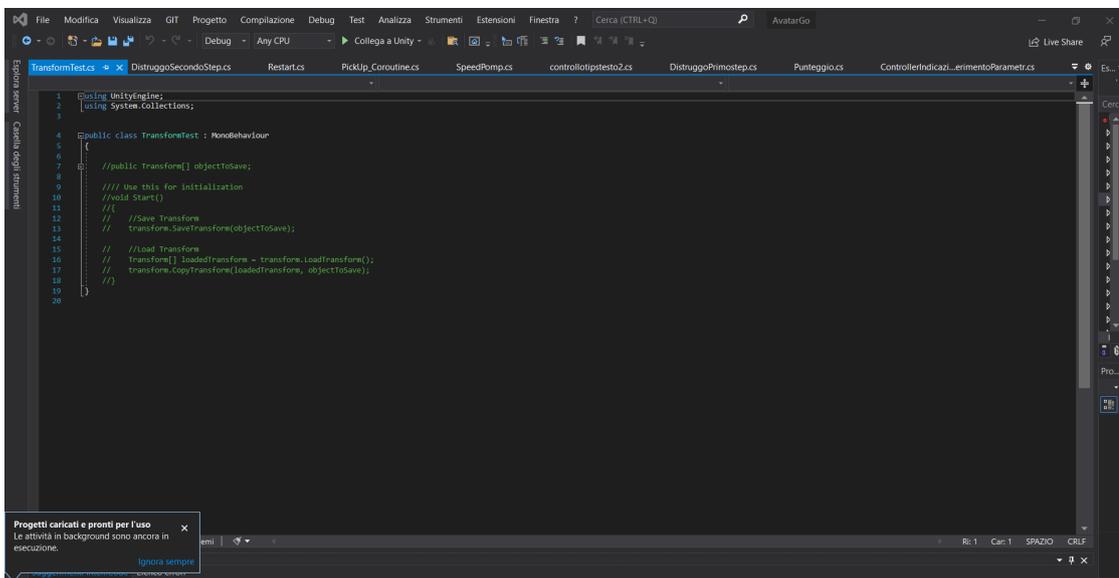


Figura 3.7: UI di Visual Studio

Visual Studio, la cui interfaccia è mostrata nella figura 3.7, è un Integrate Development Environment, IDE, (Ambiente di Sviluppo Integrato) sviluppato da Microsoft.

Esso viene utilizzato dagli sviluppatori per poter ideare svariati programmi e applicazioni per il computer, come ad esempio:

- 1 Videogiochi per desktop e per mobile
- 2 Applicazioni Web
- 3 Servizi Web

Supporta moltissimi linguaggi di programmazione tra cui:

- 1 C, C++, C#
- 2 JavaScript, HTML
- 3 Python, Node.js

E molte altre ancora, anche attraverso plug-in.

L'utilizzo di Visual Studio per lo sviluppo dell'applicazione presentata è dovuto principalmente al suo supporto per C# e alla sua comodità di utilizzo.

Visual Studio infatti permette di poter riconoscere velocemente, attraverso l'utilizzo di differenti colori, gli elementi utilizzati e la loro funzione.

Permette anche di poter vedere le referenze tra le varie funzioni e dove esse vengono richiamate così da snellire il processo di ricerca dei vari errori.

È disponibile anche un debugger interno che permette di far andare avanti il codice fino a riuscire a trovare con esattezza il punto dell'errore. È prevista anche una funzione di auto completamento e di suggerimento per la correzione di errori molto precisa.

Attraverso il debugger è possibile anche effettuare un testing preciso e mirato per poter constatare le funzionalità dell'applicazione sviluppata.

Visual Studio è integrato anche con i client Git, come SourceTree e GitHub, così da permettere un editing da parte di più sviluppatori nello stesso momento attraverso un controllo delle versioni.

### 3.3 SourceTree

SourceTree, la cui interfaccia viene mostrata nella figura 3.8, è il client Git gratuito utilizzato durante lo sviluppo dell'applicazione.

Esso risulta essere integrato sia con Unity che con Visual Studio e questo è servito molto per poter semplificare il passaggio di informazioni da un PC all'altro, attraverso il salvataggio su Cloud, e permettere l'aggiornamento costante delle versioni. La necessità di avere delle versioni sempre aggiornate durante lo sviluppo del progetto è dettata dalla natura stessa dell'applicazione multi-utente che, per permettere un corretto passaggio dei dati, richiede l'omogeneità delle versioni che vogliono comunicare tra loro.

Richiedendo quindi l'utilizzo di due macchine in contemporanea nasce il bisogno di poter permettere un passaggio dei dati semplice e veloce.

SourceTree permette il passaggio dei dati ed il controllo delle varie versioni attraverso una struttura ad albero che aiuta i suoi utenti a tenere sempre traccia della versione utilizzata e, nel caso dell'insorgere di problemi, riuscire a tornare alla versione precedente.

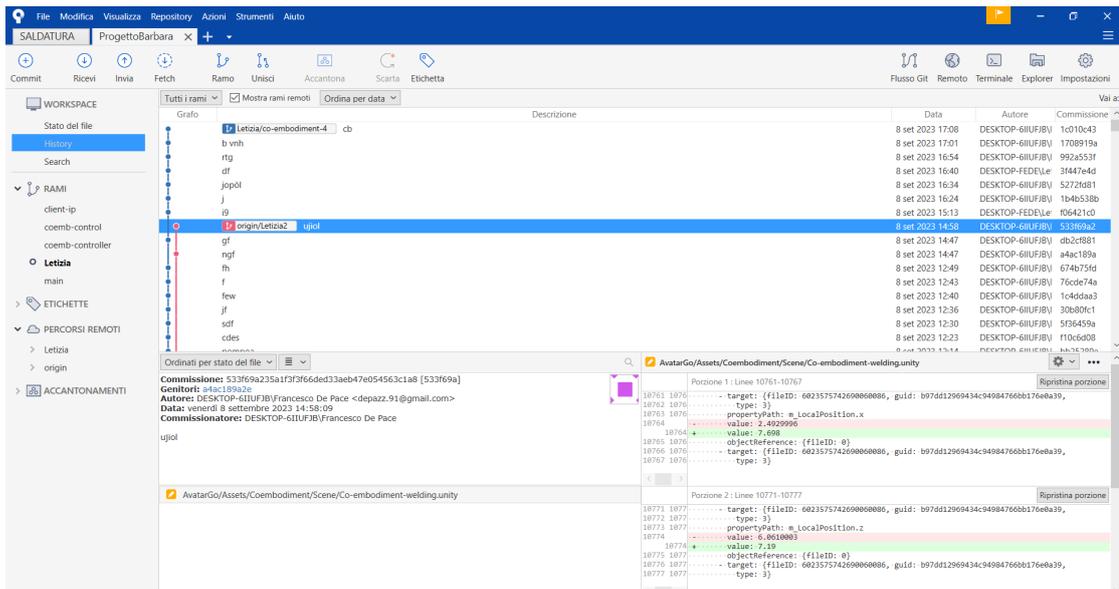


Figura 3.8: UI di SourceTree

Inoltre, nel caso della nascita di errori nel progetto, è possibile vedere un tracciato delle modifiche effettuate durante il commit precedente così da poter eliminare le modifiche relative all'errore mantenendo però quelle slegate da esso.

I commit sono rappresentati da nodi dell'albero del progetto e, se eseguiti da differenti sviluppatori, vengono nominati in maniera differente così da poter riconoscere chi li ha effettuati.

### 3.4 NetCode

Il "NetCode" è inteso all'interno della comunità di gaming e di sviluppatori come un termine ampio per poter indicare le problematiche e le soluzioni di sincronizzazione tra server e client.

Nell'immagine 3.9 viene mostrato il funzionamento del Network di Unity.

All'interno della comunità di gaming, infatti, il lag che si verifica durante una partita viene spesso attribuito a un pessimo "Netcode". Le cause di ciò possono essere molteplici in realtà, potrebbe essere causato da un'alta latenza tra server e client oppure da fattori esterni, come una pessima rete internet.

Esso è stato necessario da implementare durante lo sviluppo dell'applicazione per poter implementare il paradigma multi utente e quindi della necessità di poter permettere una comunicazione tra due diversi PC.

Differentemente da una normale applicazione single player, per poter sviluppare

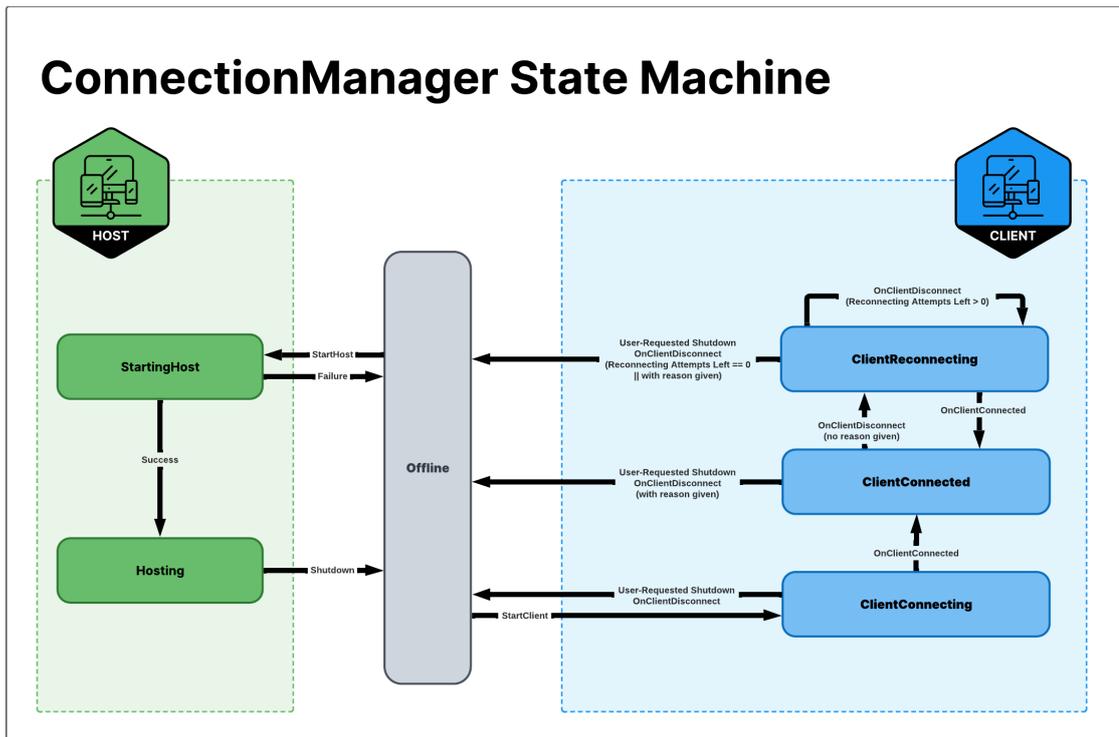


Figura 3.9: Funzionamento del Network

un'applicazione online oppure multi player serve la possibilità di permettere a tutti gli utenti di poter avere dei feedback uguali e sempre aggiornati. Ad esempio, se un utente decide di premere un bottone, fornendo quindi un input al sistema, allora tutti gli altri utenti devono essere istantaneamente notificati di questa modifica e la loro scena deve essere modificata di conseguenza.

Tutto ciò può avvenire attraverso la formazione di un Network tra i vari PC, che può essere formato da un semplice passaggio diretto di IP oppure passando attraverso la rete Internet, che permette questo passaggio di informazioni in maniera diretta e real time.

Durante lo sviluppo dell'applicazione il NetCode utilizzato è quello offerto da Unity, UNet Transport.

Esso si basa su un modello di autorità condivisione-predizione. L'autorità sulla rete è gestita unicamente dal server a cui si possono collegare vari client i quali si occupano di predire gli eventi in locale così da ridurre il ritardo che potrebbe crearsi e offrire un'esperienza più reattiva ai giocatori.

UNet Transport permette infine anche il supporto del cloud-based hosting, consentendo così agli sviluppatori di ospitare le loro partite sui server cloud di Unity.

### 3.5 Vive Pro



**Figura 3.10:** Vive Pro

Il visore, mostrato nella figura 3.10, utilizzato sia durante la fase di sviluppo che durante i test futuri, è stato il Vive Pro di HTC corporation.

Esso è un dispositivo Hardware che permette il supporto di applicazioni in realtà virtuale di vario genere ed è progettato per poter migliorare l'esperienza immersiva dell'utente all'interno dell'ambiente virtuale.

Il Vive Pro è stato scelto principalmente per il suo supporto a Steam VR, la piattaforma di distribuzione di Valve per la realtà virtuale, supporto essenziale per l'utilizzo del progetto AvatarGo per la calibrazione degli Avatar.

I tracker offerti da HTC inoltre risultano essere estremamente precisi, grazie al loro utilizzo della tecnologia ad infrarossi, e questo permette di offrire un Avatar più preciso nel seguire i movimenti dell'utente.

Il Vive Pro è stato annunciato nel 2018 e offre un display ad alta risoluzione,  $1440 \times 1600$  per ogni occhio, e un audio 3D spazializzato per permettere un'immersione ancora maggiore.

Possiede anche un design ergonomico e bilanciato che permette il suo utilizzo per sessioni di gioco prolungate senza causare un'affaticamento della vista e un peso eccessivo sulla testa. Questo risulta essere essenziale anche in fase di testing per permettere una maggiore comodità agli utenti non incidendo così anche sulla qualità dell'esperienza.

# Capitolo 4

## Studio Preliminare

In questo capitolo verrà presentato lo studio effettuato che ha portato alla realizzazione dell'applicazione partendo dalla presentazione di una operazione di saldatura in un caso reale nei suoi vari step e come da essa sia stata quindi organizzata l'operazione di saldatura in virtuale presentata in questo studio.

Per poter spiegare al meglio il passaggio tra il reale e il virtuale verranno anche approfondite le interazioni dell'utente con l'interfaccia, i feedback e gli ausili VR presenti al suo interno atti ad aiutare l'utente nello svolgimento dei vari compiti presentati.

### 4.1 Saldatura

Per poter effettuare una saldatura nel mondo reale è necessario seguire una catena di step serrata. Questo per via sia della complessità e della pericolosità del compito, che quindi richiede un'attenzione maggiore da parte degli studenti per potersi proteggere durante lo svolgimento, sia per via del costo che l'operazione richiede per l'utilizzo dei materiali e della manodopera.

Viene descritta ora la sequenza di passaggi necessari da compiere per poter effettuare una saldatura GMAW, quindi ad arco, che è quella presentata nell'applicazione sviluppata.

Questa sequenza inizia con l'inserimento iniziale dei parametri nella macchina di saldatura, di cui si può vedere un esempio nella figura 4.1.

Sarà quindi necessario inserire l'arco di voltaggio e la corrente di saldatura adatti allo svolgimento del compito richiesto, i valori sono differenti in base alla tipologia di metalli, al loro spessore ed alla loro dimensione.

I fabbri a questo punto scelgono anche il diametro del filo da inserire all'interno dell'ugello della torcia di saldatura, anch'esso dipendente dagli stessi fattori da

cui dipendono gli altri parametri. Questo filo dovrà poi sporgere dalla torcia di saldatura di almeno 10 cm per poter far sì che la torcia non tocchi mai direttamente le piastre di metallo da saldare.

Questo passaggio è molto importante soprattutto per la saldatura a filo continuo, rappresentata nell'applicazione, poichè il filo scelto determinerà la robustezza della saldatura.



**Figura 4.1:** Macchina per la saldatura a filo continuo

A questo punto i saldatori dovranno collegare una massa, mostrata nella figura 4.2, al piano di lavoro, nel caso esso sia realizzato con un materiale conduttore, oppure direttamente ai metalli, collegata alla macchina di saldatura.

Questa parte è molto importante perchè assicura la possibilità di creare l'arco di corrente necessario per far avvenire la fusione e quindi la saldatura effettiva dei metalli. Quindi bisogna sempre fare attenzione a dove si inserisce la massa sul piano di lavoro, non troppo vicino nè troppo lontano dai pezzi che si desidera saldare.

A seguire sarà necessario per i saldatori indossare gli indumenti appositi per la propria protezione.



**Figura 4.2:** Foto di una massa con il cavo che la collegherà alla macchina

Dovranno quindi indossare guanti, scarpe antinfortunistiche, un camice per coprirsi dai possibili spruzzi e infine, la parte più importante, dovranno indossare la maschera per proteggere gli occhi dalle scintille.

Ve ne sono di diverse tipologie e con diverse caratteristiche, le più "tradizionali" hanno una protezione degli occhi quasi completa attraverso un filtro verde molto scuro. Proprio a causa di ciò non è possibile vedere dove effettivamente si sta saldando quando la si indossa. È necessario quindi indossarla solo durante la saldatura e fermarsi più volte per controllare la buona riuscita della stessa.

Quelle più moderne invece, come quella della figura 4.3, hanno la possibilità di impostare la tipologia di saldatura che si sta effettuando e si attivano unicamente in base alla potenza delle scintille che ne stanno uscendo, quando sono troppo alte risulta essere più scura mentre se sono più basse è possibile avere un verde più tenue che permette di non toglierla ogni volta per poter vedere il risultato del cordone che si sta producendo.

Dopo aver quindi indossato i dispositivi di protezione i saldatori posizioneranno i metalli a seconda di come devono effettuare la saldatura e per quale scopo devono realizzarla. Spesso vengono tenuti fermi da due morse, mostrate nella figura 4.4,



**Figura 4.3:** Maschera protettiva

questo per poterli mantenere precisamente dritti durante l'intera durata dell'esercizio.

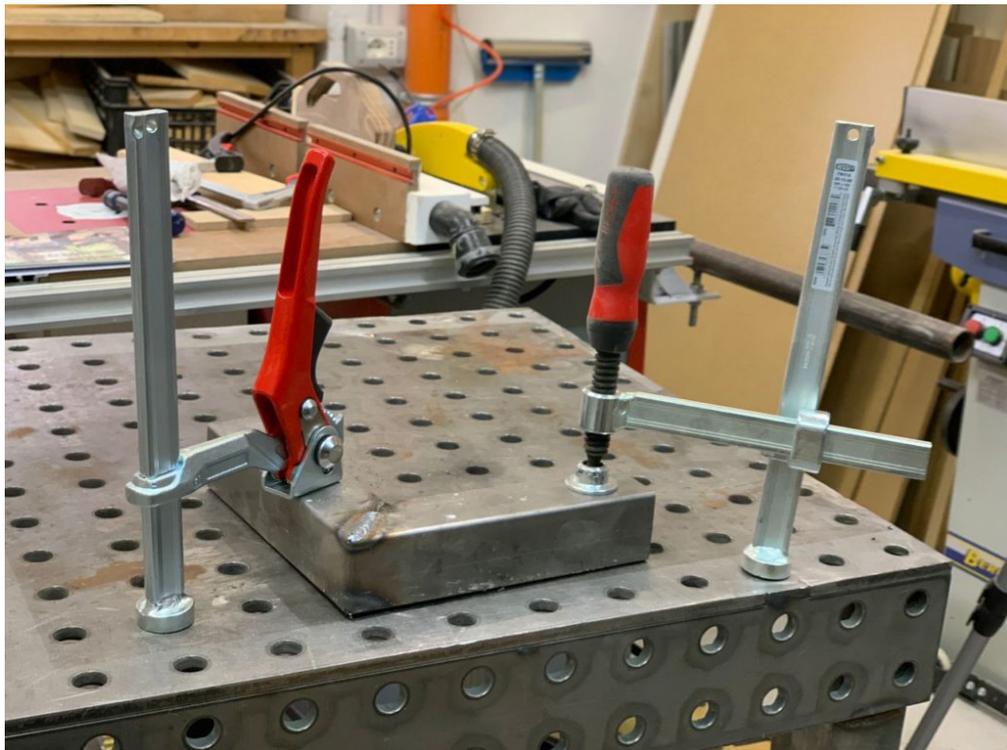
Qualora i metalli a disposizione non risultassero essere perfettamente lisci si utilizza la smerigliatrice angolare per poter lisciare le superfici e ottenere così un materiale di appoggio migliore.

A questo punto sarà possibile procedere con la saldatura effettiva dei pezzi di metalli la quale può avvenire in più step nel caso in cui sia una saldatura ad elettrodo oppure che sia particolarmente lunga. Normalmente nel caso di quella studiata, ad arco a filo continuo, la saldatura avviene con un unico cordone ondulado creato a partire dal punto più lontano del metallo fino ad arrivare alla persona.

In base allo spessore del metallo si può decidere la grandezza del cordone che si vuole creare, normalmente deve essere largo con un fattore di  $0.8^*$  la dimensione dello spessore.

Molto importanti inoltre per la realizzazione una saldatura resistente sono l'angolazione, la distanza dalle piastre di metallo e la velocità da mantenere.

Per quanto riguarda l'angolo viene considerato quello che si viene a formare tra i



**Figura 4.4:** Rappresentazione di due morse che tengono i metalli da saldare

lati della torcia di saldatura ed i metalli che si desidera saldare, ed esso deve essere mantenuto ad un valore a metà dell'angolo formato dai metalli. Ad esempio se i metalli sono posti a formare un angolo di 180 gradi l'angolo che la torcia deve mantenere è di 90 gradi mentre se l'angolo tra i metalli è di 90 gradi la torcia deve restare intorno ai 45 gradi.

La distanza dalle piastre che normalmente si cerca di mantenere deve essere costante per poter permettere la fuoriuscita omogenea della quantità di filo dall'ugello, e non deve essere nè troppo vicina perchè potrebbe causare l'attaccamento del filo di saldatura al cordone e quindi la necessità di rompere la saldatura per poterlo staccare, ma neanche troppo distante, perchè potrebbe causare l'apertura dell'arco di saldatura formato dalle due masse e quindi non si riuscirebbe più ad effettuare l'effettiva saldatura.

Per la velocità in generale è importante che il saldatore non si muova troppo velocemente per evitare possibili sbavature ma neanche troppo lentamente per non permettere la formazione di un punto in cui il cordone risulti essere troppo spesso e caldo, causando così un agglomerato di materiale fuso che potrebbe intaccare la resistenza della saldatura.

Normalmente la velocità di saldatura consigliata è intorno a 0.1 dm/min da



**Figura 4.5:** Torcia di saldatura

mantenere per tutta la durata della lavorazione.

Nel caso di saldature di metalli di dimensioni esigue si cerca di effettuare una linea ondulata e continua che parte da un punto ed arriva alla fine dei metalli. Se le piastre invece risultassero essere particolarmente grandi e spesse il cordone dovrebbe essere realizzato a zig zag.

Al termine dell'operazione di saldatura sarà necessario ripulire la punta dell'ugello, la parte finale della torcia di saldatura visibile in figura 4.5, tramite l'utilizzo delle pinze, in modo che non si formi una goccia dal filo che ne fuoriesce e si potrà lasciar raffreddare il tutto per poi poterne valutare la resistenza.

## 4.2 Saldatura in VR

A seguito dello studio effettuato sulla saldatura nel mondo reale, quello dello stato dell'arte e delle tecnologie disponibili, sono stati valutati dei fattori chiave da riportare nel VE <sup>5</sup> per poter offrire un'esperienza realistica di apprendimento agli utenti.

I punti chiave analizzati per eseguire una saldatura in GMAW sono:

- 1 Inserimento dei parametri all'interno della macchina di saldatura (arco di voltaggio, corrente di saldatura e diametro dell'elettrodo)
- 2 Presentazione dei dispositivi di sicurezza necessari come la maschera protettiva per poter offrire anche un feedback visivo per quello che gli utenti possono vedere nella realtà
- 3 Ausili VR per poter mostrare all'utente l'angolo, la distanza e la velocità da mantenere
- 4 Possibilità di saldare unicamente entro una certa distanza dai metalli e solo all'interno degli stessi per simulare l'arco di saldatura presente tra il tavolo di lavoro e la macchina di saldatura
- 5 Creazione di un cordone di saldatura che simula quello reale tra i due metalli.

Molto importante è sicuramente la possibilità di offrire all'utente, sia un feedback visivo all'interno del VE tramite la formazione del cordone di saldatura, e dell'utilizzo di modelli realistici che attraverso la possibilità di avere un feedback tattile, importante secondo lo studio dell'arte. Verranno ora presentati i vari passaggi ideati nel virtuale per poter realizzare un processo di saldatura realistico.

### 4.2.1 Animazione dell'Avatar

Per poter permettere l'animazione dell'Avatar virtuale si è scelto di utilizzare il plug-in di AvatarGo, presentato nel capitolo 3.1.1.

Per poter permettere una calibrazione che permette una riproduzione dei movimenti molto precisa lungo tutto il corpo questo plug-in ci è sembrato il più realistico e completo tra quelli attualmente presenti online.

---

<sup>5</sup>Virtual Environment

Per effettuare la calibrazione gli utenti dovranno collegare tre tracker e due controller, come quelli mostrati in figura 4.6, a testa.



**Figura 4.6:** Controller e Tracker del Vive

Dovranno posizionarsi a formare una T-pose di fronte allo specchio presente davanti a loro e, a seguito della pressione del trigger sul controller, potranno poi muoversi come lo desiderano potendo vedere i loro movimenti ricalcati dall'Avatar virtuale.

Le posizioni dei gomiti e delle ginocchia vengono calcolate attraverso l'utilizzo della cinematica inversa per poter consentire un maggiore realismo all'Avatar.

### 4.2.2 Inserimento dei parametri

A seguito della calibrazione sarà possibile inserire all'interno della macchina di saldatura i parametri presentati in precedenza.

Questo consentirà all'utente di sentirsi maggiormente immerso all'interno del processo di saldatura reale e permetterà, inoltre di insegnargli gli step necessari all'avvio di un'effettivo compito di saldatura.

Successivamente all'inserimento dei parametri, quali l'arco e la corrente, sarà possibile inserire anche il diametro dell'elettrodo, questo per una semplificazione di sviluppo e per garantire una maggiore intuitività dell'interfaccia.

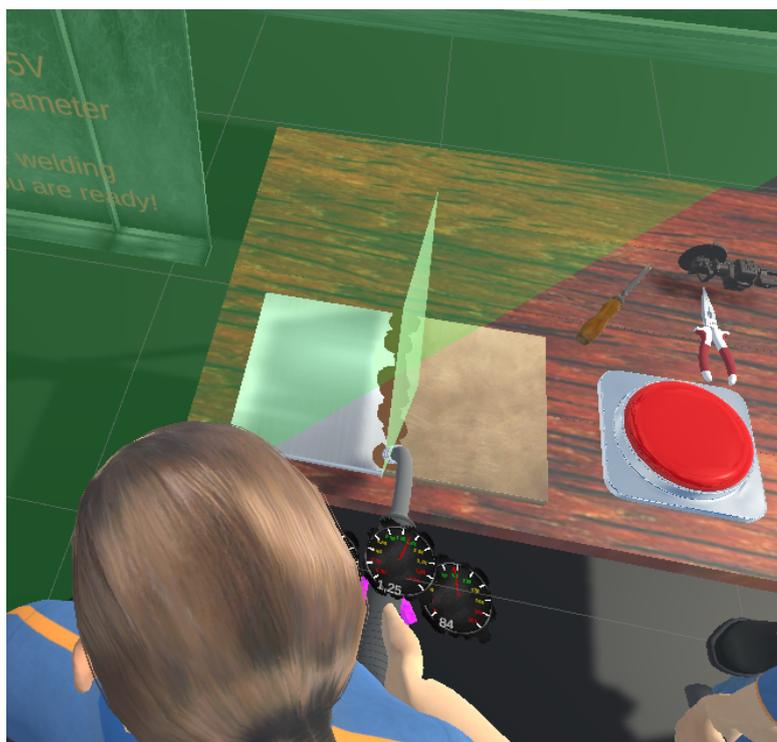


Figura 4.7: Realizzazione del tracciato all'interno dell'applicazione

### 4.2.3 Creazione del tracciato di saldatura

A seguito della conferma dell'inserimento dei parametri corretti, discussi tra gli utenti oppure scelti in maniera autonoma dai due, sarà possibile effettuare la saldatura dei metalli presenti davanti a loro.

Verrà attivata automaticamente la maschera di protezione e, collegata al movimento del controller destro, verrà posizionata la torcia di saldatura. Saranno resi visibili in alcuni casi dei "contachilometri" atti ad aiutare l'utente nella realizzazione della saldatura.

Ogni utente potrà creare un tracciato, che rappresenterà la formazione del cordone di saldatura.

Il tracciato che si può formare all'interno dell'applicazione è mostrato nella figura 4.7.

Il tracciato realizzato dallo studente verrà poi comparato, durante la fase di test e di raccolta dei dati oggettivi, con quello considerato come "ideale", calcolato secondo le regole della saldatura reale, per poter valutare la sua correttezza.

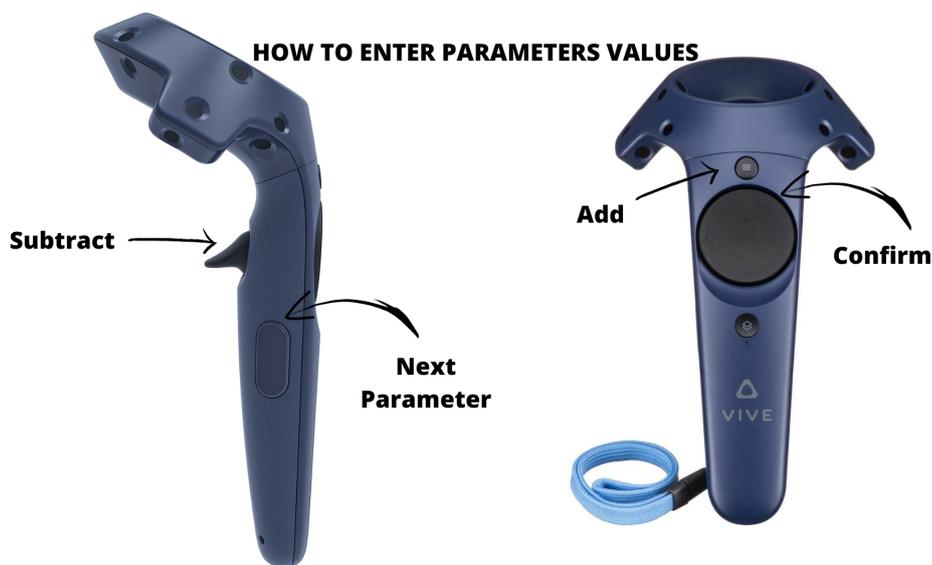
## 4.3 Interfaccia Utente

L'interfaccia utente realizzata è stata ideata per poter fornire un'interazione semplice e intuitiva all'interno dell'applicazione così da permettere a tutte le varie tipologie di utenti a cui l'applicazione si rivolge, di poter vivere un'esperienza di saldatura virtuale senza bisogno di essere esperti di VR.

### 4.3.1 Comandi

I tasti necessari da conoscere per poter usufruire di tutte le funzionalità presenti all'interno dell'applicazione saranno sempre visibili agli utenti attraverso due immagini, presenti nelle figure 4.8 e 4.9, poste ai rispettivi lati, che si modificano in base allo step in cui gli utenti si trovano in quel momento.

Durante la fase di inserimento dei parametri sono necessari:



**Figura 4.8:** Tasti necessari per l'inserimento dei parametri

- 1 Il trigger per poter far diminuire il valore inserito del parametro corrente
- 2 Il menu per poter far aumentare il valore inserito del parametro corrente
- 3 Il grab per poter passare da un parametro all'altro
- 4 Il tasto centrale per poter confermare tutti i valori inseriti

Durante la fase relativa alla saldatura essi saranno invece:



Figura 4.9: Tasti necessari per la saldatura

- 1 Il trigger per poter far iniziare il cordone di saldatura, questo cordone verrà creato fintanto che il trigger verrà tenuto premuto
- 2 Il tasto centrale per poter confermare il termine della saldatura e il desiderio di passare alla prova successiva

Sarà possibile rifare il compito presentato tante volte quante si vuole, il cordone di saldatura verrà nascosto alla vista degli utenti tutte le volte che si desidererà riprovare così da poter ricominciare il task da zero ogni volta potendosi migliorare.

### 4.3.2 Feedback

All'utente verranno forniti dei feedback all'interno dell'ambiente virtuale per permettergli di immedesimarsi maggiormente durante lo svolgimento del compito.

Successivamente alla calibrazione di entrambi gli utenti, verrà creata la scena iniziale in cui verrà mostrata loro la possibilità di inserire i parametri visibili tramite una finestra testuale accanto alla macchina di saldatura.

Subito dopo la conferma dei parametri, davanti all'utente verrà attivata la visione verde scuro, pensata per simulare la presenza della maschera di protezione che era visibile precedentemente accanto alla torcia di saldatura sul tavolo, e verranno anche attivati degli ausili virtuali atti ad aiutare lo studente e l'insegnante durante lo svolgimento del compito.

Inoltre verrà portata la torcia, dapprima visibile di fronte ai metalli, ad essere

attaccata alla mano dell'Avatar.

A seguito di tutta questa serie di modifiche rispetto a ciò che si presenta davanti all'utente, egli potrà iniziare ad effettuare l'effettivo compito di saldatura.

Durante i test saranno disponibili anche dei feedback tattili forniti all'utente tramite il collegamento di una torcia di saldatura reale ai controller del Vive ed il posizionamento, concorde a quello presente nel VE, di un effettivo tavolo di lavoro di fronte agli utenti.

### 4.3.3 Ausili Virtuali

Durante lo svolgimento della saldatura ed anche nell'inserimento dei parametri saranno disponibili all'utente degli ausili per poterlo consigliare nel compito che deve eseguire:

- 1 I contachilometri, sono una effettiva rappresentazione grafica dei tre valori fondamentali per la realizzazione di una buona saldatura, l'angolazione, la velocità e la distanza dai metalli. Essi sono raccolti in real time in base alla posizione dell'utente. Servono con il solo scopo di poterlo aiutare nella riuscita del compito postogli davanti mostrandogli il valore ideale al centro in verde e una lancetta che varia di posizione in base ai suoi movimenti. L'utente dovrà cercare di rimanere sempre all'interno del range verde per potersi assicurare un punteggio ottimale al termine del compito.
- 2 Sarà anche visibile un raggio rosso che partirà dalla torcia di saldatura per indicare da che punto effettivamente trarrà origine la saldatura che si andrà a realizzare
- 3 Sarà presente un piano, o due, in semitrasparenza che servirà per indicare la corretta posizione della torcia rispetto alle piastre di metallo e alla loro angolazione. Questi piani avranno un colore variabile tra verde giallo e rosso. Il colore varierà in base all'angolo che si andrà a formare seguendo le stesse regole presenti sui contachilometri. Saranno posizionati tagliando a metà l'angolo formato dai metalli.
- 4 Di fronte agli utenti saranno sempre visibili i consigli, gli aiuti e le percentuali con cui sta avvenendo la saldatura per poter permettere all'utente di avere un feedback immediato sull'andamento della saldatura e sapere come correggersi.

### 4.3.4 Modelli 3d utilizzati

Sono stati utilizzati per la rappresentazione degli oggetti necessari per il processo della saldatura dei modelli 3D specifici atti ad aumentare la SoP, quali:



**Figura 4.10:** Maschera e Torcia 3D

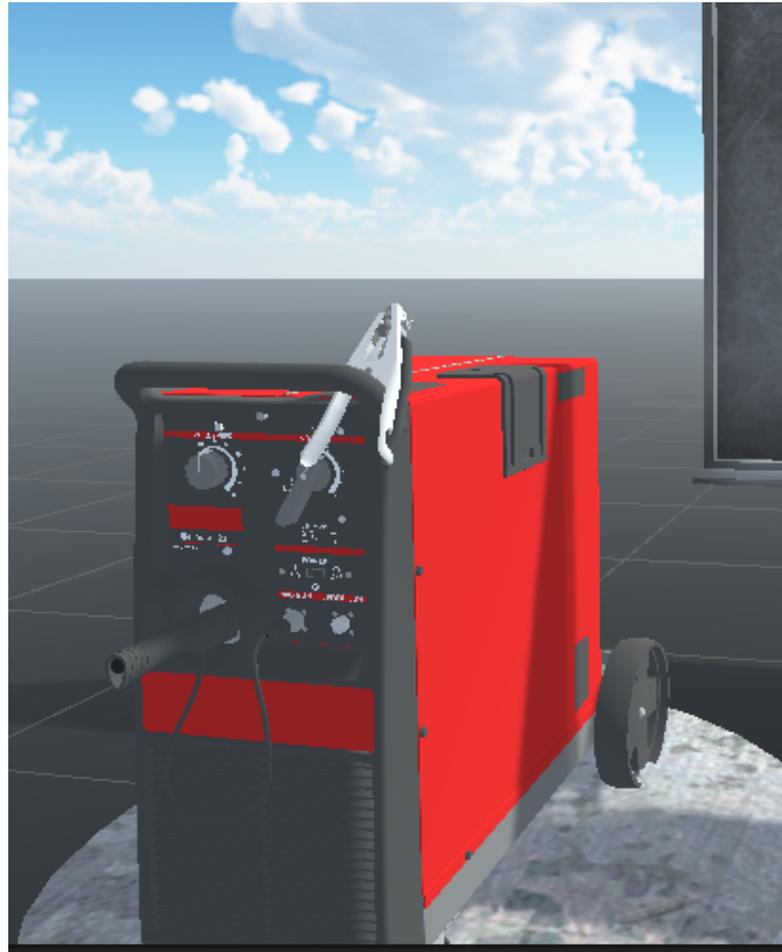
- 1 Torcia di saldatura
- 2 Maschera per la saldatura, insieme alla torcia sono visibili in figura 4.10
- 3 Macchina per la saldatura, in figura 4.11
- 4 Tavolo di lavoro
- 5 Pinze, figura 4.12 con scalpello e smerigliatrice angolare
- 6 Metalli con la stessa dimensione e texture simile per indicare l'utilizzo della stessa tipologia, visibili nelle figure 4.13, 4.14, 4.15

Questi modelli sono stati scaricati dall'Asset store di Unity con uso gratuito. Sono stati scelti come gli elementi principali per poter rendere più realistica l'interazione tra l'utente e il VE e, a seguito dello studio dell'effettivo procedimento della saldatura, per rappresentare al meglio tutti gli step anche quelli che non si è potuto traslare nel virtuale.

## 4.4 Interazione e Valutazioni

### 4.4.1 Interazione con il docente

Durante l'utilizzo dell'applicazione attraverso il Co-embodiment lo studente non potrà vedere l'Avatar dell'insegnante poichè i due utenti avranno i movimenti



**Figura 4.11:** Macchina per la saldatura

dell'Avatar uniti tra loro utilizzandone uno unico.

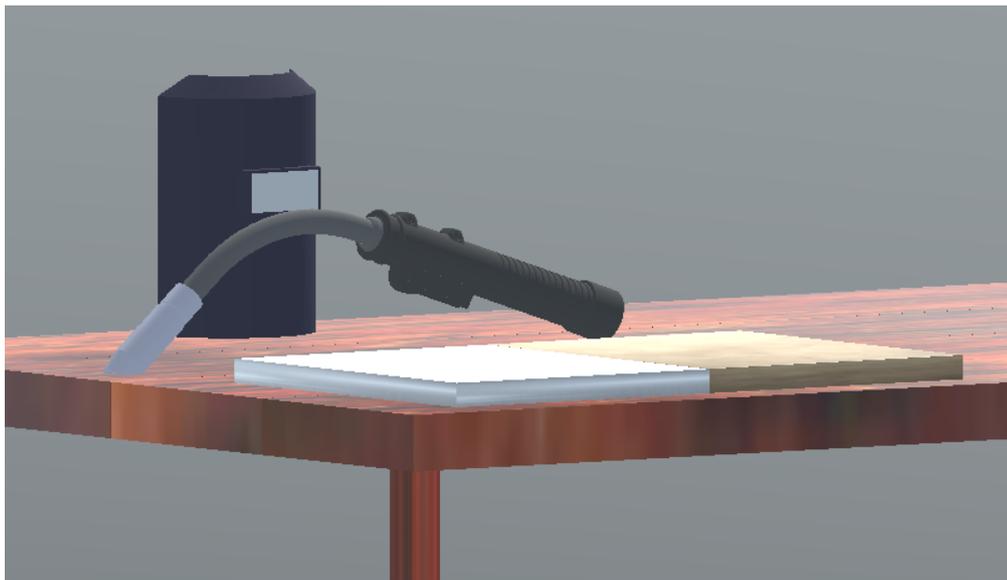
Sarà quindi possibile per lo studente riconoscere i movimenti effettuati dall'insegnante attraverso la visualizzazione dei controller di quest'ultimo, colorati di nero e posizionati più in basso rispetto all'Avatar, e potrà anche vederne i movimenti attraverso la loro ripercussione sui movimenti dell'Avatar condiviso.

Nel caso in cui il controllo sia dato totalmente all'insegnante infatti l'Avatar si muoverà seguendo unicamente i suoi movimenti e viceversa nel caso del controllo unico dello studente.

Se invece sono presenti i due Avatar atti a rappresentare gli utenti, lo studente potrà vedere il movimento effettuato dall'insegnante direttamente guardando l'Avatar presente nell'ambiente virtuale; potrà quindi imparare la saldatura cercando di imitarne i movimenti al meglio possibile dopo averli visti e seguendo le istruzioni

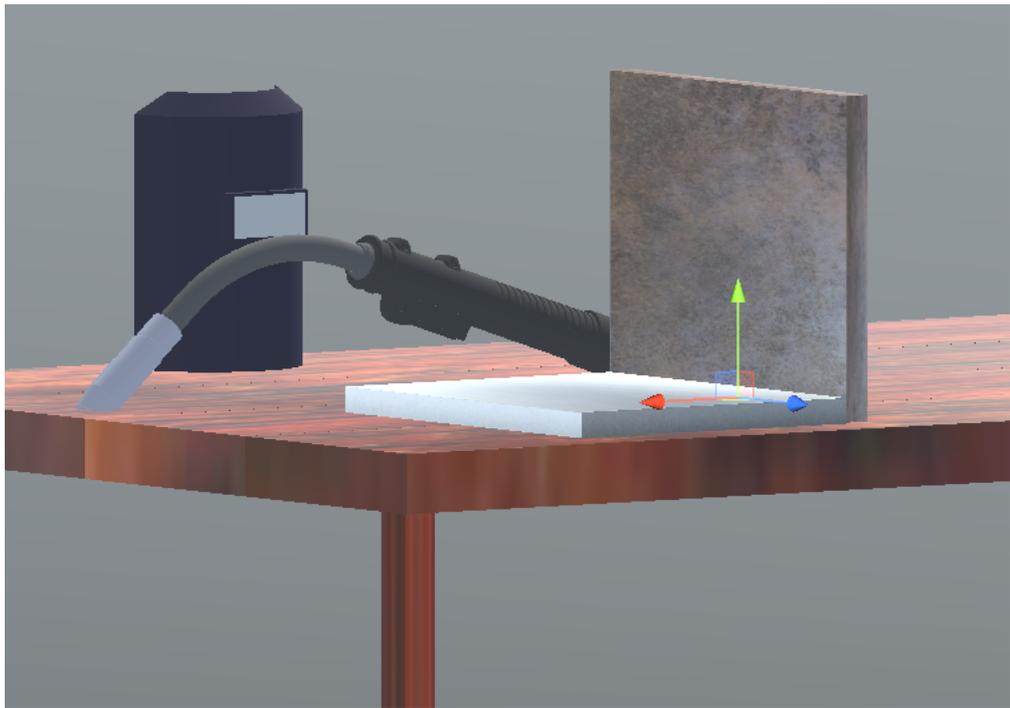


**Figura 4.12:** Smerigliatrice, Scalpello e Pinze sul tavolo di lavoro

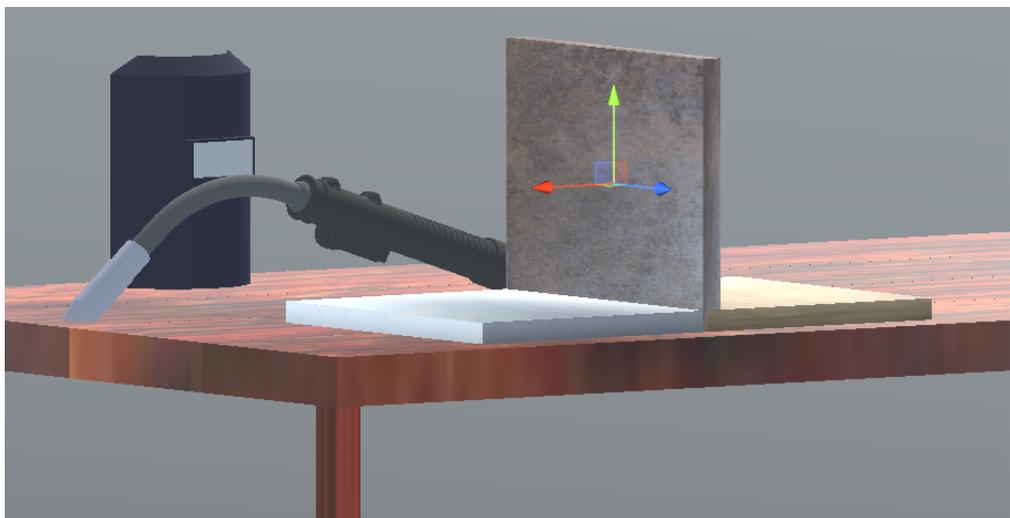


**Figura 4.13:** Prima coppia di metalli

fornitegli direttamente dall'insegnante durante lo svolgimento del compito. Durante i vari task l'aiuto dell'insegnante sarà via via minore per cercare di valutare l'accrescimento in autonomia dello studente.



**Figura 4.14:** Seconda coppia di metalli



**Figura 4.15:** Terzo gruppo di metalli

#### 4.4.2 Valutazione oggettiva della prova

Per poter permettere la valutazione oggettiva del lavoro dello studente all'interno del VE, si è deciso di salvare alcuni valori fondamentali su file per poterli studiare e analizzare in seguito.

I parametri che si è deciso di portare in analisi sono:

- 1 I tre parametri iniziali da inserire
- 2 Il tempo impiegato per effettuare la saldatura
- 3 L'angolazione mantenuta
- 4 La velocità
- 5 La distanza dai metalli
- 6 La posizione del tracciato realizzato dallo studente
- 7 Il punteggio finale dello studente

Questi parametri verranno in seguito analizzati sulla base di varie metriche quali:

- 1 Il miglioramento o il peggioramento dello studente tra il primo e l'ultimo task che dovrà eseguire secondo tutti questi parametri
- 2 Verranno contrapposti i parametri inseriti dall'insegnante a quelli inseriti dallo studente durante i vari task e verrà valutata la comprensione dello studente dei consigli fornitigli dal docente in base alla loro similarità
- 3 Verrà valutata la somiglianza del tracciato dello studente al tracciato giudicato "ideale", se questa somiglianza aumenta nel tempo e quindi con la pratica
- 4 Valuteremo la velocità, l'angolazione e la distanza media mantenuta durante i vari compiti da eseguire e se essa sia andata a migliorare nel tempo e ad avvicinarsi maggiormente al valore ideale
- 5 Il tempo impiegato dallo studente verrà valutato in base al tempo medio dell'insegnante per realizzare la saldatura e se con la pratica esso migliori
- 6 Il punteggio finale verrà analizzato per poter avere un'idea generale del miglioramento o del peggioramento delle prestazioni dello studente durante il test

Tutte queste valutazioni saranno analizzate più nel dettaglio nel capitolo 5.

# Capitolo 5

## Test e Risultati

A seguito della realizzazione dell'applicazione presentata, verranno eseguiti dei test con lo scopo di poter valutare contemporaneamente la User Experience (UX) ed il metodo giudicato come più efficiente per poter imparare la saldatura.

Qui di seguito verranno descritti sia i test che si desidera svolgere che, a seguire, come si desidera poi raccogliere i dati soggettivi e quelli oggettivi.

### 5.1 Test

#### 5.1.1 Struttura dei Test

I test che si vorranno svolgere per poter verificare l'efficacia e l'effettiva funzionalità dell'applicazione verranno proposti a tre gruppi di utenti differenti. Questo per evitare il learning effect che ne deriva a causa del quale una volta che l'utente ha imparato in una modalità ad eseguire un compito poi gli può risultare più semplice provarlo utilizzando l'interfaccia successiva, e questo non permette una raccolta corretta dei dati.

I gruppi in cui gli utenti verranno suddivisi saranno quindi:

- 1 Learning by imitation
- 2 Learning by imitation con gli asset virtuali
- 3 Co-embodiment by imitation

Nel primo caso allo studente verrà richiesto di effettuare i tre task di saldatura senza l'ausilio degli asset virtuali, quindi nella versione base dell'applicazione, e dovrà imparare a saldare copiando i movimenti dell'insegnante e seguendone i consigli.

Il docente in questo caso potrà però vedere ancora tutti gli asset disponibili così da poter consigliare al meglio l'allievo.

Nel secondo caso invece saranno presenti tutti gli asset VR presentati nel quarto capitolo e lo studente potrà, oltre a vedere i movimenti dell'insegnante, avere un aiuto ulteriore conoscendo il valore dell'angolo, della distanza tra la torcia ed i metalli e la velocità.

Il terzo e ultimo caso si presenta quasi completamente identico al primo presentato con l'unica differenza dell'utilizzo del Co-embodiment come paradigma di controllo dell'Avatar, mentre prima ve ne era uno per ogni persona coinvolta che veniva controllato singolarmente da ognuno.

Durante i test relativi al controllo dell'Avatar in Co-embodiment i test saranno strutturati in modo da concedere il controllo crescente dei movimenti allo studente. Durante il primo task sarà l'insegnante ad avere il controllo totale dei movimenti dell'Avatar così da poter mostrare in prima persona allo studente la corretta esecuzione del task.

Durante il secondo task il controllo sarà suddiviso in parti uguali tra i due utenti e, nel caso in cui l'insegnante ne veda la necessità, avrà la possibilità di ritornare a controllare in una percentuale maggiore i movimenti per poter correggere la postura dell'Avatar, la velocità dei movimenti e la distanza dalle piastre di metallo.

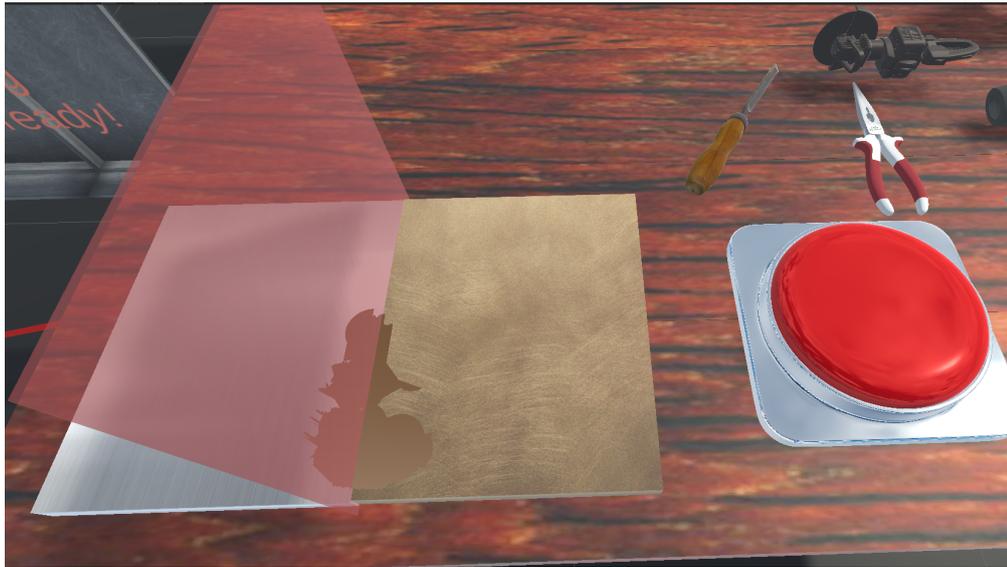
Durante il task finale il controllo sarà reso interamente allo studente che proverà ora ad effettuare una saldatura in autonomia, sarà però sempre possibile vedere le posizioni dei controller dell'insegnante e sarà anche possibile per il docente tornare a un controllo maggiore dell'Avatar attraverso la UI desktop presente nell'editor di Unity sia dalla parte dell'insegnante che da quella dello studente.

I tre task di saldatura che si desidera mostrare sono:

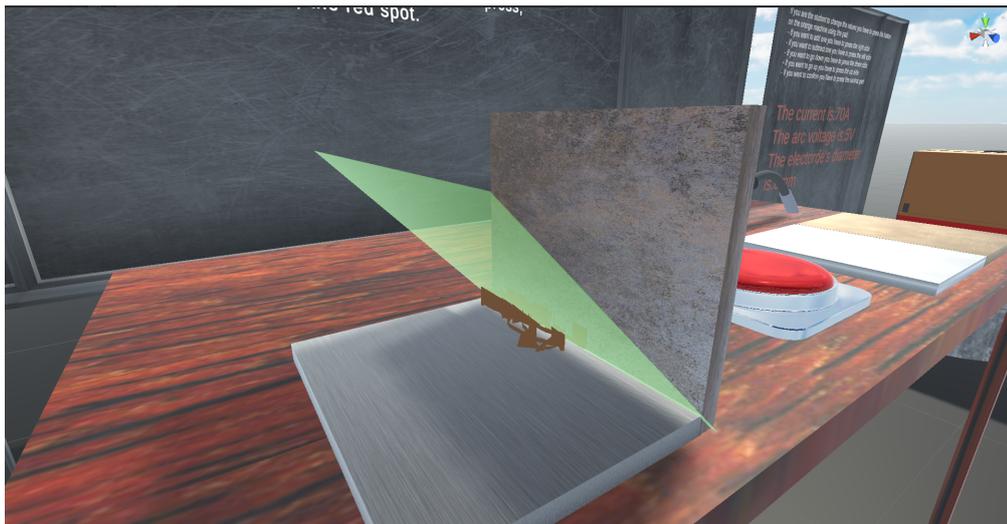
- 1 Una coppia di metalli posti a formare un angolo di 180 gradi tra loro e posizionati orizzontalmente uno di fronte all'insegnante e uno di fronte allo studente
- 2 Una coppia di metalli posti a formare un angolo di 90 gradi tra loro, una coppia per ognuno dei due utenti
- 3 Tre metalli posti a formare una "T" con due metalli posti a 180 gradi orizzontali ed un metallo che li taglia a metà con un angolo di 90 gradi, per questa tipologia di saldatura sarà necessario saldare prima una coppia di metalli e poi l'altra per riuscire a completare il compito

Nelle immagini di seguito, 5.1-5.2-5.3 vi è una rappresentazione di come vengono visualizzati i vari task.

In tutte le configurazioni prima di poter effettuare il task di saldatura sarà necessario impostare il valore dei parametri per poter proseguire con il task. Questo per rendere gli utenti consci degli step da seguire per poter effettuare una saldatura



**Figura 5.1:** Primo task di saldatura



**Figura 5.2:** Secondo task di saldatura

nel mondo reale e per poterli guidare in quello che successivamente sarà il training effettivo.

Ai loro lati gli utenti potranno vedere due immagini, una relativa all'insegnante e una allo studente, utili per poter sapere sempre quali bottoni sono necessari da utilizzare durante lo step attuale e a cosa sono relativi.

Al centro della stanza ci sarà inoltre visibile una lavagna con i consigli relativi



**Figura 5.3:** Terzo task di saldatura

allo step in cui gli utenti si trovano per poter rispettivamente inserire i parametri ottimali oppure, durante la saldatura, potranno conoscere l'angolazione, la velocità e la distanza corrette da mantenere.

Durante i test senza il Co-embodiment agli utenti, verrà richiesto di eseguire i tre task di saldatura uno dietro l'altro comunicando con l'insegnante ogni qual volta abbiano qualche dubbio o perplessità. Gli verrà richiesto di settare i parametri dapprima seguendo i consigli dell'insegnante e poi in autonomia crescente per poter valutare il loro miglioramento.

Gli studenti potranno sempre vedere il punteggio, calcolato rispetto ai valori ideali, ed alla fine di ogni task potranno vedere la media finale della loro saldatura.

Per poter aiutare lo studente, attraverso l'utilizzo del suo Avatar virtuale visibile all'utente, l'insegnante mostrerà la corretta esecuzione della saldatura e potrà vedere se lo studente ricalcherà la posizione attraverso il suo Avatar.

Si desidera confrontare questi tre task specifici per via della loro importanza nel mondo della saldatura.

Tra i metodi di saldatura relativi a due o tre piastre di metallo la saldatura a T oppure a 90 gradi sono le più richieste mentre quella a 180 gradi è lo standard per poter saper saldare.

In base a questi dati raccolti si è quindi deciso di presentarle tutte e tre, andando da quella standard a quella più comune ma anche più complessa, per poter fornire agli studenti le conoscenze fondamentali per poter saldare nel mondo reale.

### 5.1.2 Target audience e utenti che verranno valutati

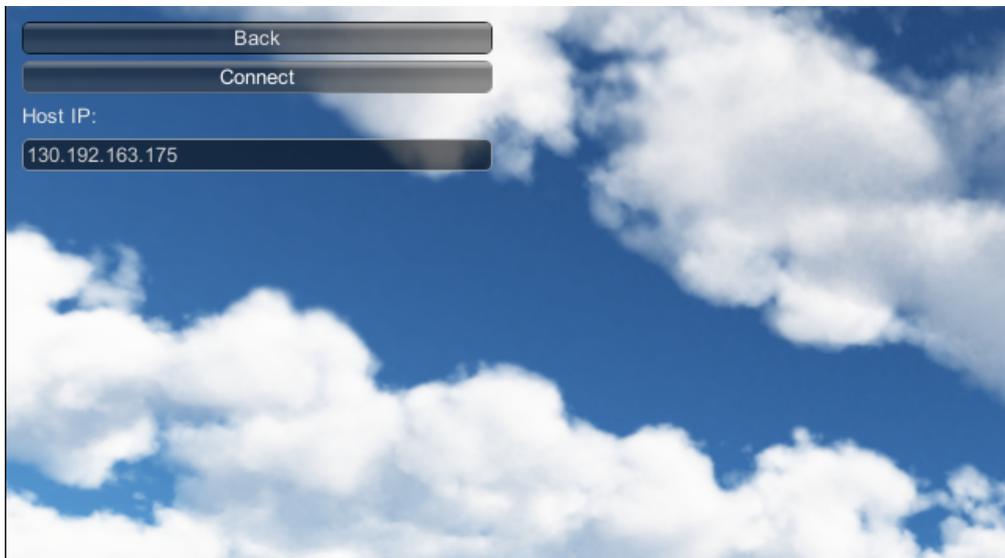
L'applicazione è stata creata per poter permettere agli apprendisti fabbri di potersi esercitare senza alcuno spreco di materiale, in maniera però realistica e che permetta di avere un feedback immediato da parte degli insegnanti.

È stata anche ideata per poter permettere agli insegnanti di insegnare ai loro studenti ad un prezzo più modico rispetto a quello a cui dovrebbero far fronte qualora dovessero cambiare tutti i metalli utilizzati durante le esercitazioni.

Non essendo stata realizzata per esperti di VR, l'Avatar a disposizione va a ricalcare completamente i movimenti delle persone per poter ottenere un feedback visivo realistico e una facilità maggiore di utilizzo. I pulsanti del controller da utilizzare sono tre, previsti su un unico controller, e visibili sulle immagini presenti in scena in ogni momento.

Per quanto riguarda invece gli utenti con cui si desidererà valutare il funzionamento dell'applicazione e raccoglierne quindi i dati, sia oggettivi che soggettivi, ci rivolgeremo verso una audience di studenti di ingegneria informatica oppure di cinema. Non essendo esperti di VR ma persone che ne hanno una conoscenza base potranno fornirci un feedback simile a quello della target audience.

### 5.1.3 Testing



**Figura 5.4:** Inserimento dell'IP dell'host

All'avvio dell'applicazione l'utente verrà introdotto all'interno del VE. I due utenti dovranno, come prima cosa, vestirsi indossando due tracker di posizione

sui piedi ed un terzo tracker all'altezza della vita legato ad una cintura.

A seguire verrà scelta la modalità con cui gli utenti dovranno controllare l'Avatar, quindi tra Co-embodiment oppure controllo del singolo sull'Avatar, e se saranno presenti o no gli asset virtuali.

Verrà quindi avviata l'applicazione, prima dal computer dell'insegnante che ricoprirà il ruolo dell'Host e poi da quello dello studente che sarà il Client. Lo studente per potersi collegare dovrà inserire l'IP della macchina a cui è collegato l'insegnante, processo mostrato nella figura 5.4.

Una volta collegati agli utenti verrà richiesto di effettuare la calibrazione dell'Avatar uno per volta. Attraverso l'utilizzo del plug-in AvatarGo prima l'insegnante e poi lo studente dovranno seguire le istruzioni presenti sullo specchio posto di fronte a loro per poter collegare i movimenti dell'Avatar ai propri.

Essi dovranno quindi premere il trigger sui due controller nelle loro mani e, una



**Figura 5.5:** Calibrazione utente

volta reso visibile l'Avatar nel VE, posizionarsi al suo interno in T-pose, come mostrato nella figura 5.5, e, dopo aver nuovamente premuto trigger, sarà possibile a questo punto vedere il proprio Avatar muoversi all'interno del VE seguendo i movimenti della persona.

Per potersi ambientare gli utenti potranno muoversi all'interno dello spazio, visibile in figura 5.6, dedicato e avranno tutto il tempo che desiderano per potersi abituare

alla sensazione di essere all'interno di un ambiente virtuale.



**Figura 5.6:** Presentazione della scena

Nel caso in cui stiano utilizzando il Co-embodiment ciò sarà ancora più importante per poter comprendere la sensazione del controllo condiviso e potersi adattare di conseguenza.

Successivamente gli sarà richiesto di inserire all'interno della macchina di saldatura i valori dei parametri, come mostrato nella figura 5.7, con cui desiderano iniziare il primo compito.

Lo studente in entrambi i casi dovrà seguire i consigli dell'insegnante per riuscire ad inserire il corretto valore dei parametri.

Saranno visibili le istruzioni per poter inserire il corretto valore dei parametri e, durante la fase di saldatura, esse varieranno poi per poter aiutare lo studente con dei consigli per poter realizzare un corretto cordone.

Successivamente passeranno alla fase di saldatura premendo il tasto di conferma.

A questo punto gli utenti potranno, in base al controllo dell'Avatar scelto all'inizio, effettuare la saldatura.

Nel caso del Co-embodiment sarà visibile solo un Avatar che rappresenterà i movimenti di entrambi, saranno quindi visibili i controller, colorati di verde o di rosa, che seguiranno i movimenti mediati dei due utenti e i controller neri che invece rappresenteranno unicamente i movimenti e le rotazioni dell'altro utente per permettere un feedback immediato di quale sia la corretta angolazione o posizione da mantenere.

In questo caso saranno anche rese visibili unicamente le proprie piastre di metalli,



**Figura 5.7:** Inserimento dei parametri

mentre nei casi di learning by imitation saranno visibili a entrambi sia le piastre dell'insegnante sia quelle dello studente.

L'inizio della saldatura sarà subordinato alla pressione del trigger da parte dell'utente, lo studente potrà iniziare la saldatura quando desidera e di seguito anche l'insegnante.

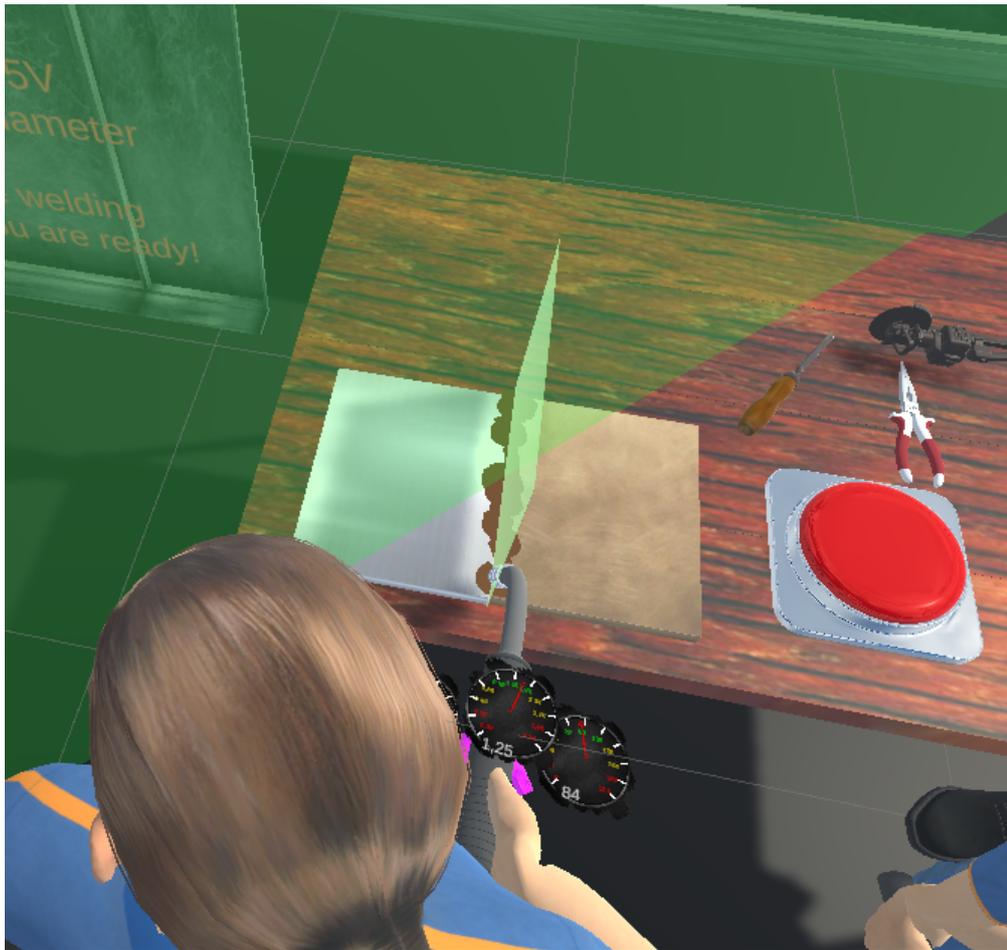
Nel caso del learning by imitation l'insegnante eseguirà per primo la saldatura così da poter mostrare allo studente il corretto svolgimento della stessa ed a seguire lo studente potrà effettuare la sua saldatura cercando di ricalcare il più possibile i movimenti e la posizione.

Saranno prese in esame le posizioni della linea di saldatura dell'insegnante e dello studente per poter valutare il delta di differenza tra le due così da poter analizzare il miglioramento dello studente durante lo svolgimento dei tre task proposti.

Nel caso invece del Co-embodiment ai due utenti saranno visibili solo le proprie piastre, questo poichè sarà anche visibile un Avatar solo, così da poter aumentare la sensazione di Embodiment per i due utenti e di controllo multiplo dello stesso Avatar.

Durante lo svolgimento della saldatura, di cui un esempio è visibile nella figura 5.8, i due cordoni saranno visibili quindi sulla stessa coppia anche se a premere il trigger sarà una volta l'insegnante e una volta lo studente, questo per poter sempre permettere a quest'ultimo di apprendere la tecnica seguendo il tracciato dell'insegnante e la sua guida.

In questo caso la comparazione potrà essere effettuata in maniera identica al caso del learning by imitation ma con l'aggiunta di poter anche aiutare visivamente lo



**Figura 5.8:** Prima saldatura

studente che potrà vedere davanti a sé la formazione del cordone sulle sue stesse piastre e potrà effettuare una ricalcatura del tracciato molto più semplicemente con anche l'aiuto diretto dell'insegnante sui suoi movimenti.

Durante il primo task del Co-embodiment, in realtà, lo studente non avrà alcuna percentuale di controllo sull'Avatar e potrà solo vedere i movimenti dell'Avatar eseguiti dall'insegnante per poter imparare il corretto svolgimento del compito. Questa catena di eventi verrà eseguita in maniera identica, con la differenza della tipologia e angolazione dei metalli presentati, anche per gli altri due task di saldatura presentati.

Nel caso del Co-embodiment la percentuale di controllo dell'Avatar varierà in base sia al task, crescendo sempre di più in autonomia per lo studente, che in base alle richieste dell'insegnante che, se lo riterrà, necessario potrà riprendere il controllo



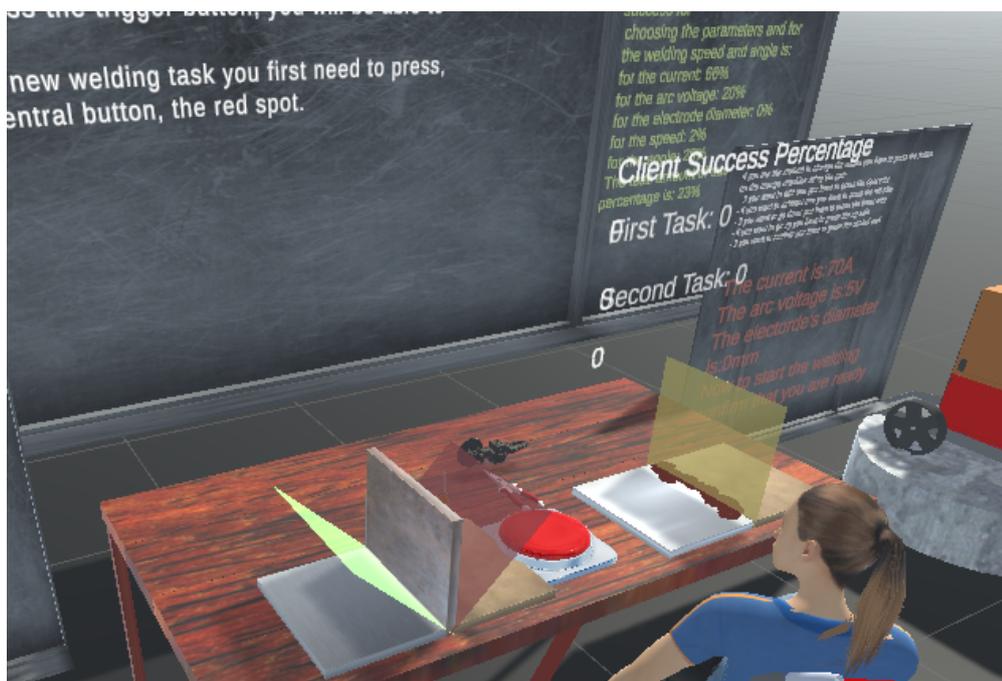
Figura 5.9: Visione del primo compito da parte di entrambi gli utenti



Figura 5.10: Visione di entrambe le saldature compiute

dell'Avatar per mostrare all'utente la corretta esecuzione.

Nell'immagine 5.9 viene mostrata la visione del primo compito di saldatura.



**Figura 5.11:** Visione dell'ultimo compito da svolgere

Per quanto riguarda il caso di learning by imitation invece, all'inizio sarà l'insegnante a mostrare come effettuare una saldatura corretta, e, nei task successivi, sarà lo studente che proverà per primo, potendo però richiedere sempre assistenza all'insegnante; durante il terzo dovrà provare ad effettuare la saldatura da solo e senza poter richiedere l'aiuto dell'insegnante che valuterà in seguito lo svolgimento e, se lo riterrà necessario, mostrerà lo svolgimento giusto per permettere così allo studente di correggersi.

Nella figura 5.10 è presente una rappresentazione delle saldature compiute da entrambi gli utenti, su due task differenti, in cui l'insegnante mostra allo studente il corretto svolgimento del secondo task.

La figura 5.11 rappresenta la visione dell'ultimo compito da svolgere dal punto di vista dell'insegnante.

## 5.2 Raccolta dei dati oggettivi

Verranno raccolte in real time alcune metriche per poter effettuare delle misurazioni successive atte a valutare il miglioramento dell'esecuzione e l'apprendimento dello studente.

Queste sono:

- 1 Tempo impiegato per la realizzazione della saldatura
- 2 Posizione del cordone di saldatura creato
- 3 L'angolazione mantenuta
- 4 La velocità mantenuta
- 5 La distanza mantenuta tra la punta della torcia ed i metalli

Insieme a queste metriche verranno anche salvati i valori dei parametri impostati all'inizio di ogni saldatura ed il punteggio complessivo raggiunto dallo studente rispetto ai valori ideali.

Queste misurazioni verranno raccolte sia per lo studente che per l'insegnante in contemporanea, loggate e salvate su vari file numerati in base al task, alla tipologia di apprendimento, ed al caso utente in studio.

Esse verranno quindi comparate tra loro per poter valutare:

- 1 Posizione del cordone dello studente rispetto alla posizione del cordone nella posizione ideale
- 2 L'avvicinamento dei parametri inseriti dallo studente al valore ideale durante i tre task
- 3 L'avvicinamento dei parametri inseriti dallo studente al valore inserito dall'insegnante durante i tre task
- 4 L'aumento o la diminuzione del punteggio complessivo durante i tre task
- 5 L'avvicinamento della distanza mantenuta dallo studente al valore ideale comparando i valori ottenuti durante i tre task
- 6 L'avvicinamento dell'angolazione mantenuta dallo studente al valore ideale comparando i valori ottenuti durante i tre task
- 7 L'avvicinamento della velocità mantenuta dallo studente al valore ideale comparando i valori ottenuti durante i tre task
- 8 La diminuzione o l'aumento del tempo impiegato per effettuare il compito comparando i valori ottenuti durante i tre task

Tutto ciò ci servirà per poter verificare il funzionamento dell'applicazione per l'effettivo insegnamento della saldatura e per poter valutare il miglioramento (o il peggioramento) dello studente durante le varie fasi dell'esperimento.

## 5.3 Parametri soggettivi

In seguito allo svolgimento dei test si vorranno raccogliere i parametri soggettivi degli utenti per poter permettere una valutazione della UX, user experience, e della UI, user interface.

Verranno quindi utilizzati cinque mezzi di misurazione per poter valutare la UX del nostro sistema. Al termine dell'intera esperienza a ogni utente verrà richiesto di compilare i seguenti questionari per poter avere una valutazione soggettiva dell'applicazione e permettere così un confronto dettagliato degli elementi considerati tra le differenti configurazioni. Nei seguenti sottocapitoli verrà inizialmente presentata la funzionalità del test di usabilità e l'obiettivo che ci si pone nel suo svolgimento. A seguire verranno presentati i cinque questionari scelti che verranno utilizzati per la raccolta dei dati soggettivi. Durante questa presentazione verranno spiegate le loro funzionalità e come i dati raccolti tramite essi verranno analizzati.

### 5.3.1 Test di usabilità

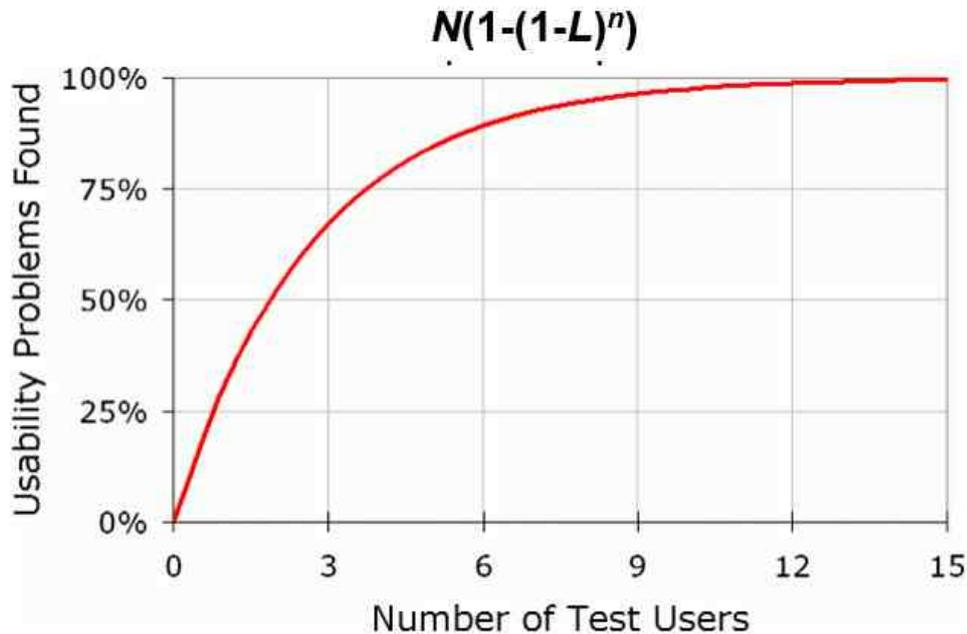
In seguito allo svolgimento dei test si vorrà valutare l'usabilità della UX del sistema attraverso l'utilizzo di vari questionari somministrati agli utenti coinvolti al termine dello svolgimento di tutti i task richiesti. Questa analisi è necessaria per capire se gli obiettivi della UI e della UX sono raggiunti e anche per individuare possibili problematiche presenti con l'interfaccia.

Secondo Jakob Nielsen, noto studioso della usabilità delle pagine Web ed i cui parametri e studi sono applicabili anche nell'analisi della usabilità delle applicazioni VR, essa può essere definita in un set di 5 elementi:

- 1 Apprendibilità: quanto, per un utente, è semplice raggiungere dei task semplici la prima volta che si interfacciano con l'applicazione
- 2 Efficienza: quanto velocemente un utente può svolgere un compito una volta che ha appreso le funzionalità
- 3 Memorabilità: quanto facilmente l'utente riesce a riprendere confidenza con il sistema dopo un periodo in cui non lo utilizza
- 4 Errori: quanti errori un utente fa e quanto riesce a riprendersi da essi
- 5 Soddisfazione: quanto il design è piacevole

Per poter trovare il numero di problemi, sull'asse delle ascisse, ci viene in aiuto la formula presentata nella figura 5.12.

In questa formula N sono il numero di problematiche della nostra UI di cui noi



**Figura 5.12:** Formula per il test di usabilità

siamo a conoscenza,  $L$  è la probabilità per cui ogni utente possa trovare i problemi e questo viene fissato a 31% da Nielsen, infine  $n$  è il numero di partecipanti selezionati. Attraverso questa formula possiamo notare quanto non sia necessario un numero di partecipanti elevato per riuscire a trovare quasi la totalità delle problematiche, già con 15 partecipanti infatti si può arrivare al 99.6%.

Esistono due tipologie di test di usabilità:

- 1 **Formativo:** utilizzato maggiormente durante i primi stage del design e dello sviluppo, viene utilizzato per identificare e dare soluzioni per problematiche legate alla UI. Viene anche chiamato test qualitativo.
- 2 **Sommativo:** condotto per valutare l'efficienza del design finale e quindi viene normalmente completato a seguito del lancio del prodotto sul mercato

Per poter valutare il design dell'ambiente VR bisogna considerare varie problematiche come la percezione, la navigazione, l'esplorazione e l'impegno.

Per poter valutare l'usabilità del sistema VR viene considerato lo studio di Dorota Kamińska, Grzegorz Zwoliński e Anna Laska-Leśniewicz chiamato "Usability Testing of Virtual Reality Applications—The Pilot Study".

Sono quindi state poste le seguenti domande, mostrate nella figura 5.13, alla fine

di ogni fase di test.

---

**Questions**

---

- #1 I thought the application was easy to use.
  - #2 I thought there was too much inconsistency in this application.
  - #3 I found the buttons that were too low or too high very cumbersome to use.
  - #4 I felt very uncomfortable/unconfident when the buttons were out of field of view.
  - #5 I thought the user interface placed too close was uncomfortable to use.
  - #6 I thought the user interface placed too far was difficult to use.
  - #7 I found the colour of buttons (green for YES, red for NO) helpful to select wanted answer.
  - #8 I needed more time to select the answer when the buttons were in opposite colours (YES—red, NO—green).
  - #9 I found it surprising when the sound confirming selection was different than previously.
  - #10 I found it easier when the answers to select when in button-form (buttons in a frame with colour background).
- 

**Figura 5.13:** Questionario

### 5.3.2 NASA Task Load Index

Strumento necessario per condurre e misurare una valutazione del carico di lavoro mentale richiesto (MWL).

Esso è stato sviluppato dalla NASA, National Aeronautics and Space Administration, dal suo gruppo "Human Performance Group" per poter permettere la valutazione dei fattori umani negli esperimenti di ricerca.

Questo strumento permette di determinare il MWL richiesto durante il compito svolto.

La performance viene classificata attraverso sei dimensioni per poter determinare il grado complessivo di MWL. Esse sono:

- 1 Richiesta mentale: quanto pensiero, decisione o calcolo serviva per poter svolgere il compito
- 2 Richiesta fisica: quanto è intensa l'attività fisica richiesta per completare il compito
- 3 Richiesta di tempo: quanto tempo viene richiesto ad un utente per completare il compito



presentate in precedenza a due a due. Viene prevista la presentazione di 15 combinazioni di due affermazioni e viene richiesto ad ogni partecipante di selezionare da ognuna di queste 15 coppie di sottolivelli quale ha contribuito maggiormente al carico di lavoro del task.

Questa procedura tiene così in considerazione due potenziali fonti di variazione: le differenze tra le definizioni di carico di lavoro tra scale di classificazione e le differenze tra i task nelle sue origini oppure nel suo carico di lavoro richiesto.

Queste sottoscale vengono date ai partecipanti o durante o successivamente al test. Agli utenti viene, dopo la valutazione delle 15 coppie, richiesto di effettuare una valutazione personale tra 1 e 20 per valutare al meglio cosa ha un effetto maggiore sul carico di lavoro richiesto durante lo svolgimento del compito di saldatura.

Per poter utilizzare questo strumento bisogna:

- 1 Definire un compito
- 2 Condurre un Hierarchical Task Analysis (HTA)
- 3 Selezionare i partecipanti
- 4 Spiegare ai partecipanti l'obiettivo dello studio che si sta facendo e le basi del metodo NASA-TLX
- 5 Svolgere il compito in analisi, quindi nel caso della tesi presentata, i tre task di saldatura svolti o in modalità Coembodied o in modalità learning by imitation o il learning by imitation senza asset virtuali
- 6 Seguire la procedura di pesatura del carico di lavoro attraverso le 15 coppie di affermazioni sviluppate appositamente per valutare il compito svolto
- 7 Completare il NASA-TLX rating chiedendogli di dare una valutazione di ogni sottoscala da 1 a 20
- 8 Calcolare il valore del punteggio TLX

L'HTA serve per poter descrivere una attività nei termini dei suoi obiettivi specifici, i suoi sotto-obiettivi, le sue operazioni e i suoi piani.

Una volta completata questa analisi l'attività risulta essere descritta nel dettaglio. Nella figura 5.15 viene mostrato un esempio di un HTA del compito relativo al controllo del bilancio di un account bancario con una applicazione di mobile banking. Per poterla comprendere al meglio si può notare che gli elementi nell'HTA evidenziati di rosso sono dei compiti secondari che per il ricercatore potrebbero anche venire eliminati successivamente a varie iterazioni del sistema.

Nel caso del sistema presentato in questa tesi il NASA TLX è di vitale importanza per poter permettere la valutazione soggettiva da parte degli utenti-studenti dell'impegno richiesto loro.

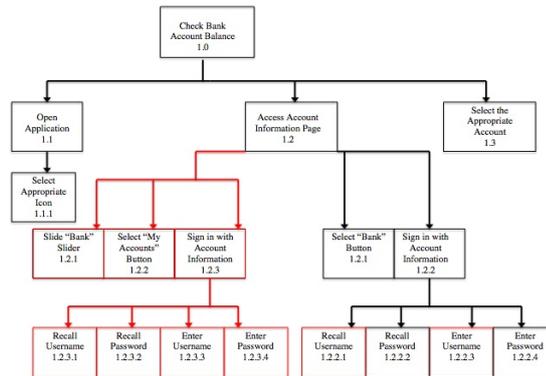


Figura 5.15: HTA

Questo sarà estremamente utile per poter effettuare una valutazione oggettiva, oltre che dello scopo effettivo dell'applicazione, anche delle implicazioni sull'affaticamento fisico che l'utilizzo dell'HMD e dei tracker possono comportare e quanto questo può influenzare la UX degli utenti.

Sarà poi anche estremamente importante per poter valutare l'impegno e lo sforzo fisico che gli utenti proveranno durante lo svolgimento dei tre task di saldatura e, attraverso il livello di frustrazione, verrà valutato anche l'aumento del grado di difficoltà del task di saldatura.

### 5.3.3 System Usability Scale

Il System Usability Scale (SUS) fornisce un mezzo per misurare l'usabilità di un sistema detto "veloce e sporco".

Esso consiste di 10 questionari con 5 possibilità di risposta, scalate tra fortemente in accordo e fortemente in disaccordo.

È stato creato in origine da John Brooke nel 1986 e permette di valutare una grande varietà di prodotti e servizi, sia hardware che software tra cui anche applicazioni in VR.

Questo grazie alla divisione in tre componenti separate per la valutazione dell'usabilità, quali:

- 1 Efficacia
- 2 Efficienza
- 3 Soddisfazione

Il SUS è diventato ormai di uso comune per ottenere una valutazione sempre oggettiva dei sistemi. Alcuni dei suoi punti di forza sono:

- 1 Scalabilità in base alla tipologia di applicazione o sistema che si desidera valutare
- 2 Può essere utilizzato anche con un numero esiguo di test ottenendo dei risultati adeguati
- 3 È un sistema giudicato molto efficace grazie anche alla sua abilità di riconoscere un sistema valido da uno non valido

Quando si utilizza un SUS ai partecipanti viene richiesto di valutare le seguenti 10 voci in base ad una scala da 1 a 5 che va dall'essere d'accordo all'essere fortemente in disaccordo.

Le 10 voci prese in considerazione sono:

- 1 Penso che vorrei usare questo sistema frequentemente
- 2 Trovo questo sistema inutilmente complesso
- 3 Pensavo che il sistema sarebbe stato facilmente utilizzabile
- 4 Penso che avrò bisogno dell'aiuto di un esperto per poter usare il sistema
- 5 Trovo che le varie funzionalità del sistema siano tutte ben integrate
- 6 Penso che ci sia troppa inconsistenza nel sistema
- 7 Immagino che la maggior parte delle persone impareranno ad utilizzare questo sistema velocemente
- 8 Trovo che questo sistema sia molto complicato da utilizzare
- 9 Mi sono sentita molto sicura di me stessa utilizzando il sistema
- 10 Ho avuto bisogno di imparare molte cose prima di poter utilizzare bene il sistema

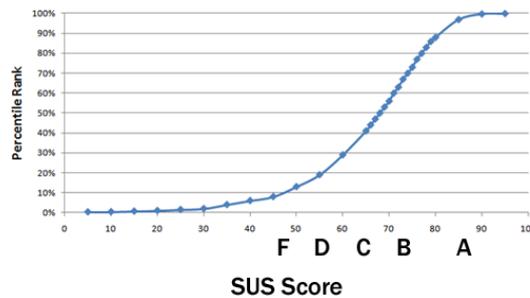
Può risultare complesso riuscire ad interpretare il punteggio che ne esce, questo anche perchè esso viene nella forma di un valore tra 1-100, attraverso una conversione atta alla semplificazione di lettura, senza essere però in realtà un'indicatore percentuale.

Normalmente viene quindi consigliata la conversione ulteriore dei valori ottenuti in una percentuale, questo per poterne facilitare la comprensione.

Di solito, il questionario SUS viene compilato a seguito dell'utilizzo del sistema valutato ma precedentemente ad una discussione dello stesso, questo per poter avere una risposta immediata piuttosto che mediata da un pensiero successivo.

Il risultato del SUS per essere interpretato viene convertito in un percentile attraverso un processo di normalizzazione, il grafico che ne esce fuori è mostrato nella figura 5.16.

Bisognerà quindi arrivare a un punteggio sopra il 80.3% per ottenere una A e questo



**Figura 5.16:** Grafico SUS

è anche il punto in cui gli utenti saranno più propensi a raccomandare il prodotto a un amico o a un conoscente.

SUS permette la misurazione sia della facilità di utilizzo che anche dell'usabilità e dell'apprendibilità del sistema. Esso non permette però di riconoscere i problemi di usabilità, non permette pertanto di riconoscere la ragione per cui gli utenti stanno rispondendo in un certo modo al sistema.

Non è inoltre possibile correlarne i risultati con la performance degli utenti, solo intorno al 6% dei risultati SUS possono essere spiegati con quello che accade durante il test di usabilità.

Il questionario SUS risulta essere molto utile quando si desidera comparare due versioni di una applicazione che sono basate su differenti tecnologie. Essendo questo il caso studiato in questa tesi, esso si rivela quindi un mezzo di valutazione essenziale.

Essendo le due versioni realizzate con gli stessi criteri e come unica differenza vi è il paradigma di controllo dell'Avatar utilizzato, tramite il SUS si vuole valutare la preferenza degli utenti nei suoi confronti e permettere una valutazione oggettiva per poter poi confrontare i risultati e classificare quindi il paradigma migliore per insegnare la saldatura agli utenti.

### 5.3.4 User Experience Questionnaire

UEQ, User Experience Questionnaire, è nato in Germania nel 2005 come approccio analitico usato per garantire una rilevanza pratica delle classifiche, derivate da dati, che riguardano un maggiore bacino di paradigmi.

Esso viene utilizzato spesso come parte del test di usabilità per poter raccogliere

alcuni dati quantitativi sull'impressione dei partecipanti a riguardo della UX in sè, normalmente esso viene fatto compilare agli utenti una volta finiti i task richiesti così da non avere alcuna influenza con i risultati.

È formata da 6 scale di classifica le quali sono composte ognuna da due termini opposti e sette punti intermedi, qualora l'utente si voglia posizionare più vicino al termine più a destra deve andare, come mostrato nella figura 5.17, verso il punto più a destra mentre se si volesse avvicinare di più al termine di sinistra dovrebbe fare il contrario.

Normalmente i valori variano tra -3, che indica il termine posto a sinistra che

attractive   o o o o o o o   unattractive

**Figura 5.17:** Rappresentazione di una scala

rappresenta un termine negativo, e 3, quello a destra normalmente rappresentante un termine positivo.

Attraverso l'UEQ si vogliono trattare sei scale di interesse:

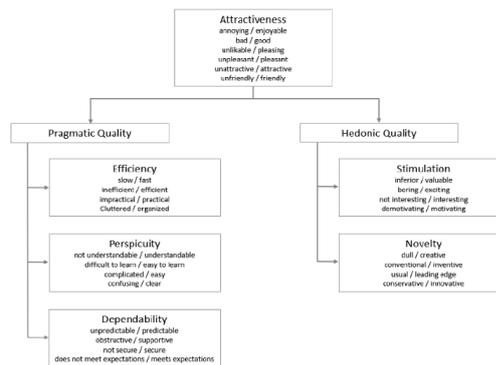
- 1 Attrattività, una dimensione di importanza principalmente legata al valore dell'applicazione
- 2 Perspicacia, quanto è semplice familiarizzare con il prodotto
- 3 Efficienza, possono gli utenti risolvere i loro compiti senza un impegno eccessivo?
- 4 Dipendenza, se l'utente si sente di avere il controllo sulle interazioni
- 5 Stimolazione, se l'applicazione in studio è emozionante e motivante
- 6 Novità, se il prodotto è innovativo e creativo

L'attrattività è composta da sei componenti mentre tutte le altre scale sono composte da quattro.

La figura 5.18 mostra la struttura dell'UEQ in inglese.

Per lo studio affrontato in questa tesi risulta essere molto utile l'utilizzo dell'UEQ per poter comparare l'UX tra due differenti versioni della stessa applicazione, una Coembodied e una no. Nel caso studio della tesi si vorranno poi aggiungere anche i casi senza gli asset virtuali durante la comparazione dei risultati per riuscire ad avere anche dei valori base non alterati da possibili facilitazioni derivate dagli aiuti presenti.

È importante anche testare se il prodotto ha una UX sufficiente per riuscire a presentare tutte le funzionalità ed a gestire le varie situazioni.

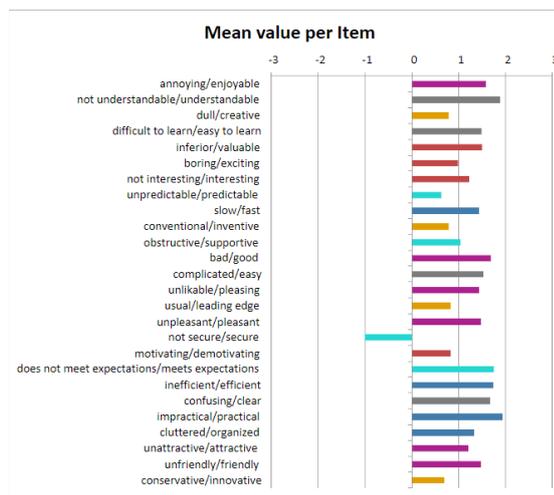


**Figura 5.18:** Rappresentazione della struttura dell'UEQ

Per poter facilitare l'analisi, è presente in documentazione anche il tool Excel. Già preimpostato, è sufficiente inserire i dati nel foglio di lavoro corrispondente e tutte le computazioni necessarie sono fatte automaticamente. Nel caso in cui sia necessario effettuare la comparazione tra due prodotti bisognerà utilizzare il foglio chiamato: UEQCompareProductsVersion<x>.xlsx.

Per poter interpretare i dati bisogna definire tre importanti limiti:

- 1 Elevato consenso, deviazione standard sotto 0.83
- 2 Consenso medio, deviazione standard tra 0.83 e 1.01
- 3 Basso consenso, deviazione standard sopra 1.01



**Figura 5.19:** Esempio di un item non interpretato correttamente

Nella figura 5.19 viene mostrato un esempio di un item non interpretato correttamente, questo perchè può accadere che in base al contesto uno o più item potrebbero venire interpretati dagli utenti non nella maniera corretta. Per questa ragione è presente nei fogli di lavoro Excel un coefficiente chiamato Cronbach-Alpha che permette, se assume un valore maggiore di 0.6 o 0.7, di notare se alcuni partecipanti interpretano non correttamente alcuni termini oppure se per l'applicazione in studio un valore o più non è pertinente all'esperienza.

Normalmente nel caso più generale di utilizzo dell'UEQ per studiare l'UX di un'applicazione, i valori medi dei sei casi considerati devono oscillare tra 1.6 e 2 per essere eccellenti.

Nel caso studio di questa applicazione è stata considerata l'estensione UEQ+, un UEQ integrato con scale per valutare la UX con delle domande adattate per una ricerca più concreta. Esso è uno strumento per poter costruire un questionario ottimizzato per poter valutare degli scenari speciali.

La ragione dietro a questa scelta è legata alla particolarità dell'argomento trattato, l'insegnamento della saldatura in VR attraverso l'utilizzo del Co-embodiment, e quindi si è voluto cercare di integrare oltre al normale questionario anche una ricerca più specifica.

Si è scelto quindi di inserire, ulteriormente agli item presentati in precedenza, anche:

- 1 L'adattabilità
- 2 L'utilità
- 3 L'intuitività
- 4 L'affidabilità delle informazioni fornite
- 5 La qualità del contenuto
- 6 La sensazione fisica dovuta al toccare effettivamente la torcia di saldatura
- 7 La chiarezza
- 8 La comprensibilità
- 9 La qualità del risultato

Questi parametri ulteriori di valutazione sono stati scelti per poter garantire una valutazione più dettagliata e relativa al caso studio considerato.

### 5.3.5 IPQ Questionnaire

Infine è stato svolto il questionario IPQ, igroup presence questionnaire. Questo questionario è volto a valutare la comprensione del senso di presenza degli utenti coinvolti nello studio considerato come il senso soggettivo di essere all'interno di un ambiente virtuale.

Il senso di presenza può essere separato oltretutto dall'abilità di una tecnologia e può essere descritto oggettivamente, la presenza è una variabile importante per l'esperienza utente.

Il questionario IPQ è una scala per misurare il senso di presenza nel VE, virtual environment. È stato costruito utilizzando un grande bacino di item e due sondaggi. Da questo primo bacino sono stati presi poi in considerazione tre sottogruppi:

- 1 Presenza spaziale, il senso di essere presente fisicamente nel VE
- 2 Coinvolgimento, misurare l'attenzione verso il VE dell'utente
- 3 Il senso di realismo provato, misurando l'esperienza soggettiva del realismo nel VE

Normalmente viene poi sempre valutato un sottogruppo aggiuntivo generale che va a considerare il senso di essere all'interno dell'ambiente in generale per l'utente. Nella figura 5.20 vengono presentate le domande del questionario in inglese.

Nel caso studio della tesi queste domande risultano essere essenziali per poter

English IPQ Items							
Number	PQ/III Nr. (internal)	IPQ item name	shortcut	loading on ...	English question	English anchors	Copyright (item source)
1	s62	G1	sense of being there	PRES	In the computer generated world I had a sense of "being there"	not at all--very much	Slater & Usoh (1994)
2	s44	SP1	sense of VE behind	SP	Somehow I felt that the virtual world surrounded me.	fully disagree--fully agree	IPQ
3	s30	SP2	only pictures	SP	I felt like I was just perceiving pictures	fully disagree--fully agree	IPQ
4	s28	SP3	not sense of being in v. space	SP	I did not feel present in the virtual space.	did not feel--felt present	???
5	s31	SP4	sense of acting in VE	SP	I had a sense of acting in the virtual space, rather than operating something from outside.	fully disagree--fully agree	IPQ
6	s33	SP5	sense of being present in VE	SP	I felt present in the virtual space.	fully disagree--fully agree	IPQ
7	s64	INV1	awareness of real env.	INV	How aware were you of the real world surrounding while navigating in the virtual world? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.?)	extremely aware--moderately aware--not aware at all	Witmer & Singer (1994)
8	s37	INV2	not aware of real env.	INV	I was not aware of my real environment.	fully disagree--fully agree	IPQ
9	s40	INV3	no attention to real env.	INV	I still paid attention to the real environment.	fully disagree--fully agree	IPQ
10	s38	INV4	attention captivated by VE	INV	I was completely captivated by the virtual world.	fully disagree--fully agree	IPQ
11	s48	REAL1	VE real (real/not real)	REAL	How real did the virtual world seem to you?	completely real--not real at all	Hendrix (1994)
12	s7	REAL2	experience similar to real env.	REAL	How much did your experience in the virtual environment seem consistent with your real world experience ?	not consistent--moderately consistent--very consistent	Witmer & Singer (1994)
13	s59	REAL3	VE real (imagined/real)	REAL	How real did the virtual world seem to you?	about as real as an imagined world--indistinguishable from the real world	Carlin, Hoffman, & Weghorst (1997)
14	s47	REAL4	VE wirklich	REAL	The virtual world seemed more realistic than the real world.	fully disagree--fully agree	IPQ

Figura 5.20: Domande questionario IPQ

valutare quanto gli utenti si sentissero coinvolti all'interno dell'ambiente virtuale durante lo svolgimento dei test.

Si vuole anche poi arrivare a confrontare i valori ottenuti rispettivamente alla versione dell'applicazione considerata per riuscire a valutare in quale paradigma

di controllo dell'Avatar gli utenti si sentissero maggiormente immersi all'interno dell'ambiente.

### **5.3.6 Questionario per valutare l'apprendimento della saldatura**

Per poter valutare l'apprendimento dello studente a ognuno degli utenti verrà somministrato un questionario mirato unicamente alla verifica delle conoscenze. Questo questionario sarà formato da domande sulle tecniche presentate e sui valori ideali di angolazione, velocità e distanza dalle piastre, per poter realizzare una buona saldatura.

## **5.4 Risultati**

I test sono attualmente in corso e per questo non è possibile ancora valutarne lo stato finale poichè i dati sono parziali.

## Capitolo 6

# Conclusioni e Sviluppi futuri

### 6.1 Conclusioni

La realizzazione del paradigma del Co-embodiment e dell'applicazione multiutente sono stati la parte centrale e più importante per lo sviluppo della tesi in esame. Sicuramente le possibilità di applicazione della condivisione dell'Avatar conferendo pesi differenti ai vari utenti a casi di studio reali è interessante secondo vari aspetti. Attraverso l'uso condiviso di un Avatar qualora un utente stia apprendendo una nuova disciplina, come in questo caso la saldatura, sarà possibile vedere i movimenti dell'insegnante in prima persona come se egli stesse muovendo le nostre braccia e noi potessimo vedere le corrette posizioni da mantenere in prima persona. Tutto ciò ovviamente nella realtà non sarebbe possibile mentre nel mondo virtuale è questione di codice e di sviluppo.

Sicuramente però non si è esenti da perplessità sull'effettiva funzionalità del sistema. Per la configurazione Coembodied infatti si vuole anche poter controllare durante i test la sua funzionalità di correzione diretta della posizione del braccio utilizzato e dell'apprendimento della giusta angolazione da parte dello studente. Questo perchè idealmente, qualora il controllo dell'Avatar risulta essere pesato tra i due utenti, lo studente dal momento che viene corretto dall'insegnante potrebbe o non accorgersene e quindi continuare a mantenere una posizione scorretta e non apprendere quella corretta per via della mancanza del feedback visivo poichè per lui l'Avatar risulta essere nella posizione corretta, grazie al riposizionamento da parte dell'insegnante, oppure potrebbe modificare la sua posizione per poter incontrare quella visiva dell'Avatar che però, essendo mediato con la posizione dell'insegnante che in quel momento sta correggendo, potrebbe non essere abbastanza veloce a riposizionarsi e quindi potrebbe esserci un mismatching visivo che potrebbe causare un non completo raggiungimento dell'obiettivo del training in VR.

Questa risulta essere una problematica molto importante che è sorta durante lo

sviluppo dell'applicazione e per cui attualmente si stanno cercando di trovare varie soluzioni per riuscire a risolverla.

Una delle soluzioni pensate potrebbe essere l'aggiunta di un Avatar in trasparenza che rappresenta la posizione ideale, questo per permettere allo studente di cercare di raggiungere la posizione corretta anche attraverso un feedback visivo.

Un'altra soluzione pensata è quella di permettere la visione di entrambi gli Avatar in trasparenza, uno per l'insegnante e uno per lo studente, ed un Avatar centrale ben visibile che mostra i movimenti mediati così da permettere allo studente di vedere subito i movimenti dell'insegnante e all'insegnante di vedere quelli dello studente per correggerli.

L'utilizzo del plug-in AvatarGo per la calibrazione di entrambe le configurazioni ha permesso una maggiore semplicità di programmazione e di gestione delle interazioni tra i due utenti permettendo una calibrazione intuitiva e che non richiede un eccessivo impegno da parte delle persone coinvolte. Grazie alla presenza dei tre tracker e dei controller inoltre il tracciamento degli Avatar rispetto ai movimenti degli utenti risulta essere quasi perfetto, fatta eccezione dei possibili errori commessi durante il calcolo dell'angolatura del gomito e delle ginocchia dell'Avatar, errori comunque quasi sempre trascurabili, questo grazie anche al calcolo in cinematica inversa del movimento delle braccia e delle gambe che permette così una maggiore facilità di predizione dei movimenti dell'utente.

Durante la realizzazione dell'applicazione una decisione fondamentale è stata anche quella legata alla realizzazione dell'effetto di saldatura.

È importantissimo, inoltre la comunicazione tra i due utenti, per poter permettere anche all'utente che possiede in quel momento un peso di controllo a 0 di vedere la saldatura essere fatta nel luogo corretto.

Essendo questa applicazione dedicata all'insegnamento di un mestiere, si è cercato di mantenere il più possibile il fine di offrire un feedback visivo realistico, per quanto ancora migliorabile.

Un'ultima problematica presentatasi durante lo sviluppo del sistema è legata all'utilizzo della stessa stanza e delle stesse base station per entrambi gli utenti.

Questo ha comportato la necessità di riuscire ad unificare la calibrazione della stanza su SteamVR per poter ottenere le corrette distanze tra gli Avatar durante la configurazione multiplayer.

Procedimento necessario per riuscire a non causare agli utenti di scontrarsi l'uno con l'altro nel mondo fisico durante la saldatura a causa di un feedback visivo nel virtuale errato.

## **6.2 Sviluppi futuri**

In futuro sarà sicuramente sempre maggiormente usato il paradigma del Co-embodiment sia nell'apprendimento di nuove conoscenze che nell'utilizzo dell'Avatar anche per scopi ludici.

Questo anche poichè sarà possibile implementare sempre nuovi metodi con flessibilità differenti per poter permettere un controllo fluido degli Avatar sia tra diverse persone che tra diverse entità, quali i robot oppure un programma automatico che permette all'utente un grado variabile di autonomia sul proprio Avatar.

Lo scopo di questa tesi è proprio quello di presentare queste funzionalità e sottolinearne le possibilità future soprattutto nell'ambito dell'apprendimento di skill utili nel mondo reale.

### **6.2.1 Utilizzo del Co-embodiment e del VR training**

L'utilizzo del Co-embodiment e del VR training potrebbe portare anche ad un atteggiamento più sostenibile nei confronti dell'apprendimento della saldatura. A causa dell'alto impatto ecologico delle piastre di metallo necessarie per poter insegnare ai nuovi fabbri il mestiere, la possibilità concreta di poter avere a disposizione un'alternativa realistica è molto importante.

Questo è possibile grazie all'avanzamento della tecnologia e anche ai nuovi paradigmi disponibili che permettono un training ancora più avanzato aiutando gli studenti tramite gli asset virtuali che nel mondo reale non sarebbero disponibili.

Poter inoltre insegnare ad uno studente potendone correggere la posizione direttamente sul braccio virtuale, apportando modifiche immediate e un feedback visivo immediato allo studente, egli potrà sentirsi come immerso all'interno del corpo del suo insegnante.

Potrà inoltre conoscere la corretta posizione in prima persona del proprio braccio nel virtuale e potrà così collegare questa sensazione nel reale.

### **6.2.2 Realismo del VE**

Una delle prime cose importanti da raggiungere sarà la realizzazione di un cordone di saldatura visivamente realistico, magari riuscendo anche ad aggiungere degli effetti per riuscire a permettere un'immersione maggiore da parte dell'utente nel compito della saldatura e fornendo anche un supporto visivo realistico alla base dello studio.

### 6.2.3 Modelli Avatar 3D variabili

Un'altra miglioria da effettuare sarà permettere la scelta del genere dell'Avatar utilizzato, attualmente infatti è possibile utilizzare unicamente un Avatar femminile in tutte le configurazioni. Questo potrebbe permettere sicuramente un'immedesimazione ancora maggiore da parte degli utenti maschili all'interno del VE e gioverebbe a favore del senso di Co-embodiment.

### 6.2.4 Ulteriori task di saldatura, differenti metalli e tecniche

Una possibilità di sviluppo per quanto riguarda invece i task effettivi di saldatura sarebbe sicuramente la possibilità di effettuarne un numero maggiore, con giunti differenti.

Sarebbe anche interessante permettere agli utenti di poter scegliere i metalli che desiderano saldare così da poter anche insegnare l'importanza della scelta di questi ultimi nella determinazione dei parametri da impostare all'inizio.

Inoltre sarebbe utile poter insegnare, oltre alla saldatura ad arco a filo, anche quella ad elettrodo ed altre tipologie di saldature così da poter rendere il più completo possibile il training.

Per poter aumentare il realismo dell'applicazione in sé sarà necessario inserire dei modelli di livello più alto e con texture più dettagliate così da riuscire a far sentire maggiormente l'utente a proprio agio.

### 6.2.5 Sviluppo del multiplayer

In conclusione, un'ulteriore sviluppo molto interessante sarebbe riuscire ad aumentare la quantità di studenti che possono collegarsi al sistema nello stesso momento. Attualmente questa possibilità potrebbe venire già implementata, ma non è ancora mai stata testata anche a causa delle esigue dimensioni dello spazio per i test disponibile, comportando quindi la possibilità di testare il sistema unicamente in due persone per volta.

Sarebbe sicuramente molto interessante provare a testare il sistema di learning by imitation privo del Co-embodiment tra più utenti seguiti da un unico insegnante, sia possedendo gli asset virtuali che non possedendoli, così da poter vedere l'impatto che la presenza di più studenti e più Avatar può avere nell'apprendimento e nell'utilizzo della simulazione.

Sarebbe inoltre interessante poter sviluppare una possibilità di Co-embodiment "plurimo" in cui lo stesso insegnante oltre a poter decidere il grado di controllo

dell'Avatar può anche scegliere con quale studente sta effettuando la condivisione, la tipologia di quest'ultima (pesata, suddivisa per arto o in verticale o in orizzontale). Questo potrebbe portare anche ad uno studio futuro del SoA e SO che l'insegnante prova nei confronti del suo Avatar e che anche gli studenti provano. Sarebbe da decidere anche se in quel caso potrebbero vedersi tra di loro senza dare fastidio alla loro esperienza di Co-embodiment, potendo così magari riuscire ad imparare anche tutti insieme qualcosa correggendosi a vicenda e condividendo allo stesso tempo anche la correzione dell'insegnante.

# Bibliografia

- [1] S. P. Tewari, Ankur Gupta, Jyoti Prakash (2010) Effect of welding parameters on the weldability of material. Mechanical Engineering Department, Institute Of Technology, Banaras Hindu University.
- [2] Izzatul Aini Ibrahim, Syarul Asraf Mohamat<sup>1</sup>, Amalina Amir<sup>1</sup>, Abdul Ghalib<sup>1</sup> (2012) The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters. Universiti Teknologi Mara (UiTM), Faculty of Mechanical Engineering, 40450 Selangor.
- [3] K.R. Madavi, B.F. Jogi, G.S. Lohar (2021) Metal inert gas (MIG) welding process: A study of effect of welding parameters welding parameters. Dr. Babasaheb Ambedkar Technological University, Lonere, India.
- [4] Kalpana Shankhwar, Shana Smith (2022) An interactive extended reality-based tutorial system for fundamental manual metal arc welding training.
- [5] Ananya Ipsita, Levi Erickson, Yangzi Dong, Sraven Saradhi, Thomas S Redick, Karthik Ramani, Kylie A Pepler, Ana M Villanueva, Alexa K Bushinski, oey Huang (2022) Towards Modeling of Virtual Reality Welding Simulators to Promote Accessible and Scalable Training.
- [6] Rebecca Fribourg , Nami Ogawa , Ludovic Hoyet , Ferran Argelaguet, Takuji Narumi , Michitaka Hirose, and Anatole Lecuyer (2021) Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency While Sharing the Control of a Virtual Body Among Two Individuals.
- [7] Daiki Kodama , Takato Mizuho , Yuji Hatada , Takuji Narumi , and Michitaka Hirose (2023) Effects of Collaborative Training Using Virtual Co-embodiment on Motor Skill Learning.
- [8] Harin Hapuarachchi , Takayoshi Hagiwara, Gowrishankar Ganesh, Michiteru Kitazaki (2023) Effect of connection induced upper body movements on embodiment towards a limb controlled by another during virtual co-embodiment.
- [9] James Pinkl, and Michael Cohen (2023) VR Drumming Pedagogy: Action Observation, Virtual Co-Embodiment, and Development of Drumming “Halvatar”
- [10] Jose Luis Ponton, Eva Monclús and Nuria Pelechano (2022) AvatarGo: Plug and Play self-avatars for VR, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain.

- [11] Dorota Kamińska,\* Grzegorz Zwoliński, and Anna Laska-Leśniewicz (2022) Usability Testing of Virtual Reality Applications—The Pilot Study.
- [12] Karthikeya Puttur Venkatraj Msc. Integrated Product Design Faculty of Industrial Design Engineering TU Delft, Dr. Gijs Huisman Industrial Design Engineering Delft University of Technology (TU Delft), Wo Meijer Industrial Design Engineering Delft University of Technology (TU Delft) (2022) SHARE Your reality The effects of haptic feedback on virtual avatar co-embodiment.
- [13] John Brooke (1995) SUS - A quick and dirty usability scale, Redhatch Consulting Ltd., 12 Beaconsfield Way, Earley, READING RG6 2UX United Kingdom
- [14] John Brooke (2013) SUS - A Retrospective
- [15] Martin Schrepp(2015) User Experience Questionnaire Handbook
- [16] Massimo Cassano(2022) Tecniche di saldatura. Normative, formazione, tabelle.
- [17] Definizione saldatura: <https://it.wikipedia.org/wiki/Saldatura>
- [18] NASA Task Load Index: <https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/nasa-task-load-index1>
- [19] NASA-TLX: <https://en.wikipedia.org/wiki/NASA-TLX>
- [20] Hierarchical Task Analysis: <https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/hierarchical-task-analysis>
- [21] HTA: <https://hfacmethods.wordpress.com/hierarchical-task-analysis/>
- [22] System Usability Scale : <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>
- [23] Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS): <https://measuringu.com/sus/>
- [24] UEQ+: <https://ueqplus.ueq-research.org/>
- [25] IPQ: <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>
- [26] IPQ questionario: <https://www.igroup.org/pq/ipq/download.php>