POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

Un confronto tra diverse soluzioni per la visualizzazione tridimensionale in contesti industriali

Relatori
Fabrizio Lamberti
Andrea Bottino
Gianluca Paravati

Candidato
Oddera Fabrizio

Sessione di Ottobre 2017

Indice

Elenco delle figure V

Elenco delle tabelle VII

1 Valutazione della UX 1
- 1.1 Cenni storici . . . 1
  - 1.1.1 Le cinque fasi . . . 1
  - 1.1.2 Stato attuale . . . 3
  - 1.1.3 Futuro . . . 3
- 1.2 Dieci Euristiche sulla UX . . . 4
- 1.3 Stato dell'arte . . . 5
  - 1.3.1 Valutazioni empiriche del 21esimo secolo, Bargas-Avila e Hornback . 5
  - 1.3.2 Law, van Schaik e Roto, qualitativo contro quantitativo . . . 9
  - 1.3.3 Virtual Reality e virtual environments . . . 19
  - 1.3.4 Ambiente wearable . . . 23
- 1.4 Presenza negli ambienti di VR . . . 26
  - 1.4.1 Gradi di presenza . . . 27
  - 1.4.2 Fattori che contribuiscono alla presenza . . . 28
  - 1.4.3 Misurare la presenza . . . 30
- 1.5 Navigazione negli ambienti di VR . . . 30
- 1.6 Usabilità . . . 31
  - 1.6.1 Problemi nella valutazione della usabilità . . . 31
  - 1.6.2 Metodi per la valutazione dell'usabilità . . . 32
  - 1.6.3 Scale di valutazione per l'usabilità . . . 33
- 1.7 Manipolazione . . . 34
  - 1.7.1 Proprietà della manipolazione . . . 35

2 Tecnologie per la realtà virtuale 38
- 2.1 Dispositivi per gli ambienti immersivi . . . 38
  - 2.1.1 HMD . . . 38
  - 2.1.2 Guanti . . . 46
  - 2.1.3 Tute . . . 50
  - 2.1.4 CAVE . . . 53
  - 2.1.5 Altri dispositivi . . . 55

3 Prova sperimentale 61
3.1 Configurazioni . . . 61
3.1.1 HMD . . . 61
3.1.2 CAVE . . . 61
3.2 IC.IDO . . . 61
3.2.1 IDO.SolidMechanics . . . 63
3.2.2 IDO.Present . . . 64
3.2.3 IDO.Illuminate . . . 64
3.2.4 IDO.Script . . . 64
3.3 Task proposti . . . 66
3.3.1 Task 1: Navigazione . . . 67
3.3.2 Task 2: Accuratezza . . . 68
3.3.3 Task 3: selezione e manipolazione . . . 70
3.4 Raccolta dei dati . . . 70
3.4.1 Usabilità di Nielsen . . . 70
3.4.2 Presence Questionnaire . . . 71
3.4.3 VRUSE . . . 71
3.4.4 Navigazione . . . 72
3.4.5 Simulator Sickness Questionnaire . . . 72

4 Risultati 73
4.1 Risultati quantitativi . . . 73
4.2 Risultati qualitativi . . . 76

5 Conclusioni e possibili sviluppi futuri 83
5.1 Conclusioni . . . 83
5.2 Sviluppi futuri . . . 83

A Script in Jython utilizzati 84
A.1 Navigazione . . . 84
A.2 Accuratezza . . . 86
A.3 Selezione e manipolazione . . . 87

B Script Matlab 89
B.1 Disegno traiettorie e calcolo distanza percorsa . . . 89

C Questionario 90
C.0.1 Domande preliminari . . . 90
C.0.2 Criteri generali di usabilità (1 minimo - 5 massimo) . . . 90
C.0.3 Senso di nausea dovuto alla Realtà virtuale prima (1 minimo - 5 massimo) . . . 90
C.0.4 Senso di immersione e presenza (1 per nulla - 5 completamente) . . . 91
C.0.5 Input: i controller (1 per nulla - 5 completamente d'accordo) . . . 92
C.0.6 Input: spostamenti nel mondo virtuale (1 molto bassa - 5 molto alta) 92
C.0.7 Input: manipolazione di oggetti (1 molto basso - 5 molto alto) . . . 93

C.0.8 Output: sistema di visualizzazione (schermo, occhiali) (1 per nulla d'accordo - 5 completamente d'accordo) 93
C.0.9 Senso di nausea dovuto alla Realtà virtuale dopo (1 minimo - 5 massimo) 93

Elenco delle figure

1.1 Processo di scrematura 6
1.2 Domande preliminari 11
1.3 Domande principali sulla UX 11
1.4 Domande per una discussione approfondita 12
1.5 Modello CUE semplificato 13
1.6 Caratteristiche suddivise in misurabili e non misurabili 14
1.7 Diagrammi di Venn riassuntivi 16
1.8 Valutazione di un'applicazione di VE 20
1.9 Ciclo di valutazione centrata sull'utente 22
1.10 Ciclo di valutazione centrata sull'utente 23
1.11 Rappresentazione spaziale 24

2.1 HTC VIVE 39
2.2 Oculus Rift 40
2.3 Playstation VR 41
2.4 Google Cardboard 42
2.5 Samsung Gear VR 42
2.6 OSVR 43
2.7 FOVE 44
2.8 STARVR 45
2.9 VR22M 45
2.10 Sulon Q 46
2.11 MANUS VR 47
2.12 Gloveone 48
2.13 VMG 30 Plus 49
2.14 Hi5 Glove 49
2.15 Hands Omni 50
2.16 Dexmo 51
2.17 Tesla Suit 51
2.18 HardLight 52
2.19 HaptX 52
2.20 MVN Awinda a destra e Link a sinistra 53
2.21 VisCube M4 54
2.22 IC.Flight 55

2.23 STEM System . . . 56
2.24 UnlimitedHand . . . 57
2.25 Myo . . . 57
2.26 Leap Motion . . . 58
2.27 VicoVR . . . 59
2.28 PPT completo con telecomando e supporto per visore . . . 59
2.29 Ximmerse . . . 60

3.1 La suddivisione in pannelli dell'interfaccia grafica. ©ESI Group, 2016. All right reserved . . . 62
3.2 Bottone del menù script . . . 65
3.3 Script console . . . 65
3.4 Script console con script caricato e in esecuzione . . . 65
3.5 Modello dello Yacht . . . 66
3.6 Immagini del percorso da seguire . . . 67
3.7 Esempio di traiettoria disegnata con Matlab (percorsa dal sottoscritto) . . . 68
3.8 Cabina di comando . . . 69
3.9 I tre oggetti posizionati nella propria destinazione . . . 69
3.10 Processo di montaggio del tubo . . . 71

4.1 Traiettoria percorsa con il VIVE . . . 74
4.2 Traiettoria percorsa con il CAVE . . . 74
4.3 Distanze medie percorse . . . 74
4.4 Tempi medi impiegati . . . 74
4.5 Scostamento medio tra posizione scelta e destinazione . . . 75
4.6 Tempi medi impiegati . . . 75
4.7 Area tracciamento SMARTRACK . . . 75
4.8 Tempi medi impiegati . . . 76
4.9 Risposte relative alla parte di Nielsen . . . 76
4.10 Risposte relative alla prima parte del Presence Questionnaire . . . 77
4.11 Risposte relative alla seconda parte del Presence Questionnaire . . . 78
4.12 Risposte relative alla terza parte del Presence Questionnaire . . . 78
4.13 Risposte relative alla prima parte dei controller . . . 79
4.14 Risposte relative alla seconda parte dei controller . . . 80
4.15 Risposte relative alla parte sulla navigazione . . . 80
4.16 Risposte relative alla parte di manipolazione . . . 81
4.17 Risposte relative alla prima parte di output . . . 81
4.18 Risposte relative alla seconda parte di output . . . 82
4.19 Risposte relative alla parte di cybersickness prima e dopo la prova . . . 82

Elenco delle tabelle

1.1 Tipologia di prodotti 7
1.2 Dimensioni 7
1.3 Strumenti per la raccolta dati 8
1.4 Tipi di questionari 8
1.5 Costrutti misurati 10
1.6 Modello CUE semplificato 15
1.7 Categorie per motivare la misurazione dei costrutti 16
1.8 Categorie per motivare la non misurabilità di alcuni costrutti 17
1.9 Categorie di argomenti teorici a favore e contro la misurabiltà 17
1.10 Categorie di argomenti metodologici a favore e contro la misurabiltà 18
1.11 Categorie di argomenti pratici a favore e contro la misurabiltà 18
1.12 Divisione in gruppi 25
1.13 Gruppi di descrittori 26
1.14 Definizioni delle CRSs 26
1.15 Questionario PSSUQ 34
1.16 Questionario SUS 35

Introduzione

Lo scopo del presente lavoro di tesi è lo studio comparativo di due sistemi di Realtà Virtuale (RV) in ambito industriale. Nello specifico sono stati confrontati un HMD (Head Mounted Display) VIVE, prodotto dallazienda HTC, e un IC.Flight, interfaccia CAVE mono-parete da trasporto. La particolarità di questultimo sistema è la sua facilità di trasporto, possibile grazie al fatto che IC.Flight è, in sostanza, un flight case nel al quale vengono inseriti un proiettore stereo, un telo bianco su cui proiettare, uno smARTrack (sistema di tracciamento ottico prodotto dalla ART, per rilevare gli spostamenti allinterno dellambiente virtuale) e dieci occhiali attivi NVIDIA. Per poter utilizzare IC.Flight è sufficiente collegarlo ad un PC sul quale è installato il software IC.IDO di ESI Group. ESI Group è unazienda leader nel settore dei software di prototipazione virtuale. Grazie ad una specializzazione nella fisica dei materiali, lazienda ha sviluppato un supporto industriale per sostituire i prototipi fisici. In questo modo, possono essere riprodotti virtualmente processi di fabbricazione, assemblaggio e collaudo di prodotti in svariati ambiti. In abbinamento alla Realtà Virtuale, la prototipazione diventa immersiva ed interattiva. In questo modo, i clienti possono interagire con i prodotti e avere la ragionevole certezza che potranno, ad esempio, superare i test di certificazione ancora prima di produrre anche solo un prototipo fisico. Attualmente, ESI Group lavora con svariati clienti dislocati in oltre 40 paesi del mondo. Lattività di analisi oggetto del lavoro è stata condotta in collaborazione con lazienda, la quale ha messo a disposizione il materiale necessario. Per poter effettuare un confronto approfondito dellesperienza utente con i due sistemi, sono state prese in considerazione le tecniche di interazione tipiche di un ambiente virtuale: navigazione, selezione e manipolazione. Oltre a queste, è stata considerata anche laccuratezza, con lobiettivo di analizzare le prestazioni dei due strumenti. Come detto, il confronto è stato condotto utilizzando il software IC.IDO. Tale software permette la virtualizzazione 3D di modelli CAD. I modelli vengono generati con altri software perché IC.IDO non ne consente la creazione. Grazie alla sua grande compatibilità con moltissimi formati di file esportati da altri software, è possibile utilizzare qualsiasi programma per generare i contenuti in questione. Attualmente, la versione del software è la 11.1. Con il rilascio della versione 11 è stata inserita la compatibilità con il sistema VIVE sviluppato dalla HTC. Fino alla versione 10.1, il software era solamente in grado di virtualizzare il mondo tridimensionale e di proiettarlo attraverso IC.Flight. La visione era pertanto possibile solo attraverso gli occhiali attivi forniti dallazienda. Come detto, lo scopo principale del lavoro è il confronto di due sistemi. Nello specifico, lazienda era interessata a capire se potesse essere efficace

ridurre lutilizzo degli IC.Flight e passare alluso dei VIVE di HTC. Con questo cambiamento, sarebbe possibile ridurre notevolmente i costi e lingombro degli strumenti. Lo studio è stato condotto attraverso la definizione di tre task, da svolgere da parte di volontari utilizzando entrambi i sistemi. Una volta completati i task con uninterfaccia, questi sono stati svolti con laltra. In seguito, i volontari hanno compilato un questionario creato ad hoc riguardante lesperienza con uno o con laltro sistema. I test sono stati svolti utilizzando un modello CAD fornito dallazienda, rappresentante uno yacht ormeggiato in un lago. Il primo task da svolgere è stato pensato per mettere in evidenza le differenze che ci sono tra le due configurazioni. In particolare, è stato chiesto allutente di percorrere uno dei ponti dello yacht fino a raggiungere la sala comandi, posizionata allo stesso livello. Durante il test, sono stati raccolti dati quantitativi attraverso uno script in Jython (il linguaggio di scripting del software utilizzato), che ha registrato posizioni e tempo impiegato. Una volta ottenuti questi dati grezzi, attraverso Matlab si è calcolata (e disegnata) la traiettoria (e la distanza) percorsa nel mondo virtuale da ciascun volontario. Il secondo task è stato pensato per il confronto dellaccuratezza dei due sistemi. Lobiettivo era quello di posizionare tre oggetti della sala comandi in modo tale da farli combaciare esattamente con loro copie. Una volta che il volontario riteneva di aver posizionato gli elementi nel modo più preciso possibile, veniva eseguito uno script che calcolava la distanza tra le coppie di elementi ed il tempo trascorso. Il terzo ed ultimo task è stato progettato per la valutazione della capacità di selezionare e manipolare una serie di oggetti presenti allinterno di una scena del mondo virtuale. In particolare, allinterno della sala motori dello yacht è stato smontato un tubo ed ogni pezzo è stato colorato con un colore differente. È stato quindi chiesto di ricostruire il tubo seguendo unimmagine di riferimento. La disposizione dei pezzi allinterno della scena richiedeva diverse manipolazioni, rotazioni e spostamenti per poter posizionare i vari elementi nel punto corretto. Uno script rilevava listante in cui due elementi venivano uniti e calcolava il tempo totale per lo svolgimento delloperazione. Come detto, una volta che ogni volontario aveva completato i test con uno dei due sistemi, gli veniva sottoposto ad un questionario creato andando ad utilizzare un insieme di domande estratte da diversi studi condotti principalmente nei campi della Realtà Virtuale e della Realtà Aumentata. Nello specifico, oltre alle domande generali per raccogliere informazioni circa le generalità dellutilizzatore, età, sesso ed esperienza con i particolari strumenti considerati, sono state inserite le domande del test di usabilità di Nielsen. Queste domande permettono di misurare la capacità di imparare ad usare il sistema che si sta valutando, la sua efficacia, la capacità di ricordarsi come si utilizzi anche dopo tanto tempo, la precisione e la soddisfazione generale. Le domande successive derivano dal PQ (Presence Questionnaire), creato da Witmer e Singer nel 1994. Questo questionario riguarda principalmente lesperienza dellutente allinterno del mondo virtuale a livello di immersività e presenza. Le domande poste sono mirate a comprendere il grado di presenza percepita, la naturalezza dei movimenti e dellinterazione, la capacità di osservare gli oggetti circostante e la gestione di errori ed eventi. A seguire, è stata inserita una sezione riguardante la manipolazione adattata dal questionario VRUSE, pubblicato nel 1999 da Kalawsky. Successivamente, sono state inserite cinque domande estratte da uno studio dellUniversità di Surrey, nel quale sono stati messi a confronto una serie di sistemi di Realtà Virtuale. Sono state selezionate solamente le domande riguardanti la parte della navigazione, quindi domande su controllo

del moto, capacità di rotazione, movimenti, osservazione del mondo virtuale. La sezione finale è dedicata alle domande tratte dal questionario noto come SSQ (Simulator Sickness Questionnaire). Le domande menzionano una serie di sintomi tra cui nausea, mal di testa e tutto ciò che lutilizzo di un sistema di Realtà Virtuale potrebbe comportare. Lutente deve rispondere ad ogni domanda indicando un valore da 1 a 4, dove 1 indica lassenza del particolare sintomo e 4 ne indica il massimo. Questa sezione del questionario deve essere compilata sia prima che dopo lutilizzo di ciascun sistema, in modo da poter verificare lo stato di salute del volontario prima di iniziare il test. Successivamente, si confrontano i valori per capire se il sistema causi determinati stati di alterazione di salute. I risultati ottenuti rivelano come gli utenti abbiano preferito, in generale il sistema VIVE, trovando molto facile sia muoversi all'interno dell'ambiente sia selezionare e manipolare gli oggetti all'interno della scena. Questa preferenza è stata confermata anche dai risultati quantitativi che mostrano come gli utenti abbiano percorso meno strada in meno tempo e abbiano ricomposto il tubo, mediamente, in tempi significativamente ridotti. Il CAVE, però, si è rivelato uno strumento lievemente più preciso nel task di accuratezza. Il documento è diviso in alcune sezioni principali più unappendice. La prima sezione illustra il contesto del lavoro. Nella parte iniziale della seconda sezione è invece presente unintroduzione storica della valutazione della UX (User eXperience) a partire dai primi sistemi di HCI (Human-Computer Interaction), ovvero a partire dalla comparsa dei primi computer. In seguito, viene esplorato lo stato dellarte a partire dai primi anni 2000, cioè a partire dal periodo in cui i sistemi HCI sono diventati molto più comuni e rivolti anche, ad esempio, ad applicazioni ludiche. Lultima parte della seconda sezione descrive le principali caratteristiche di un sistema di Realtà Virtuale, navigazione, usabilità, presenza, manipolazione. Queste caratteristiche sono le stesse che vengono indagate per il confronto condotto in questo lavoro, come in moltissimi altri studi in questo campo. La terza sezione è dedicata interamente alle tecnologie di Realtà Virtuale presenti sul mercato, suddivise in HMD, guanti, tute, CAVE e altri dispositivi. La quarta sezione riguarda la vera e propria parte sperimentale. Nello specifico, vengono descritte le due configurazioni utilizzate presenti nella sede Bolognese di ESI Group. Successivamente, viene descritto il software IC.IDO utilizzato, andando ad elencare tutte le parti che sono state considerate per la realizzazione dei test. Dopo la descrizione del software, è inserita una spiegazione dettagliata dei task proposti agli utenti, sia in termini di compito da svolgere sia in termini di dati raccolti. In particolare, viene descritto il questionario utilizzato, i dati raccolti ed il modo in cui sono stati elaborati. La quita sezione contiene i risultati e la loro discussione. Infine, lultima sezione riporta le conclusioni del lavoro ed i possibili sviluppi futuri.

Capitolo 1

Valutazione della UX

1.1 Cenni storici

La valutazione dei sistemi interattivi è da sempre uno dei fondamenti per lo studio di un sistema HCI (Human Computer Interaction) e uno dei tre principi per un design centrato sull'utente. Da un punto di vista storico è possibile identificare quattro fasi fondamentali, susseguitesi nel corso degli anni in seguito all'evoluzione degli utenti finali sia degli stessi valutatori. I primi con il passare del tempo sono aumentati in un numero grazie alla maggiore semplicità di utilizzo dei sistemi che li ha resi più appetibili, i secondi, invece, hanno cambiato metodi e oggetti di valutazione. Queste diverse fasi di valutazione coprono un lasso di tempo di almeno 70 anni, di conseguenza lo sviluppo tecnologico a cui si è assistito ha modificato nel tempo gli obiettivi di queste valutazioni e, allo stesso tempo, il vero concetto di analisi della UX (User eXperience) è emerso solo nel momento in cui i sistemi sono stati in grado di fornire un livello di prestazioni e di stabilità tali da non doverne più richiedere valutazioni. Grazie a questa evoluzione nel tempo si è fatta strada una nuova fase, la quinta, la vera e propria *User Experience Phase*.

1.1.1 Le cinque fasi

System Reliability Phase

Il primo periodo della valutazione dei sistemi HCI si colloca tra l'inizio della Seconda Guerra Mondiale e il primo dopoguerra, anni in cui venne sviluppato ENIAC, universalmente riconosciuto come il primo computer della storia [1]. ENIAC, così come le altre macchine dell'epoca, a causa della sua complessità, aveva come unico bacino di utenza ingegneri o personale altamente qualificato. Lo scopo di questi computer era quello di elaborare grandi quantità di dati e la più grande preoccupazione che li riguardava era la loro stabilità e affidabilità, in modo tale da minimizzare i system fault e diminuire i tempi di correzione degli errori. Ragion per cui il vero punto fondamentale della valutazione era mirato alla misurazione del lasso di tempo in cui la macchina poteva funzionare senza causare crash di sistema.

System Performance Phase

Con il passare del tempo le macchine avevano raggiunto una maggiore stabilità e sicurezza, al contempo nacquero i primi linguaggi di programmazione e vennero inventati supporti fisici per aumentare l'interazione con i computer (es. mouse, tastiera ecc.). Grazie a questo progresso aumentò il numero di persone in grado di poter interagire con questi sistemi, non solo più ingegneri ma anche programmatori e informatici. In seguito a questo avanzamento tecnologico anche il processo di valutazione si modificò. Non era più necessario valutare l'affidabilità del sistema, doveva essere misurato il tempo in cui un sistema poteva essere in grado di elaborare un grande numero di dati nel minor tempo possibile e con il minor numero di errori, impiegando opportune simulazioni, quindi valutarne le prestazioni.

User Performance Phase

All'inizio degli anni 60 i computer iniziarono a diffondersi su larga scala e di conseguenza anche coloro che non erano esperti iniziarono ad avvicinarsi al mondo dell'informatica. Quindi l'attenzione si spostò dai sistemi verso gli utenti, in particolare sulla loro velocità di eseguire un dato compito. English, Engelbart e Berman [2] pubblicarono uno studio nel quale dimostrarono che il mouse fosse il supporto più efficiente per selezionare parti di testo su uno schermo di un computer. Misurarono velocità, precisione, percentuali di errore e soddisfazione. Poco dopo Sime, Green e Guest [3] condussero una valutazione sui programmatori, considerando i loro tempi di esecuzione per alcuni task, la percentuale di successo e il numero di errori.

Usability Phase

Gli anni 70 videro l'avvento delle interfacce grafiche e una drastica riduzione delle dimensioni e dei costi dei computer. Poco dopo, all'inizo degli anni 80 iniziarono a circolare sul mercato software molto potenti che non richiedevano conoscenze troppo complesse, allargando così ulteriormente il numero di nuovi utenti che si avvicinavano per la prima volta al mondo dell'informatica. Questo indusse gli sviluppatori a trovare un modo per poter creare software alla portata di tuttie allo stesso tempo divenne importante valutare la facilità d'uso questi prodotti. Nacquero in questo periodo i modelli GOMS[1] e i ricercatori iniziarono a formalizzare il processo di valutazione conosciuto come "think aloud". Mediante questo processo vengono forniti all'utente una serie di compiti da portare a termine, durante i quali questo è invitato ad esprimere ad alta voce ciò che sta facendo, cosa vede sullo schermo, come pensa di proseguire e quali dubbi o difficoltà sta incontrando. Oggetto di valutazione sono la facilità di imparare, l'attitudine e i risultati ottenuti, ai quali talvolta possono essere aggiunti tempo di completamento, percentuale di errori, precisione, soddisfazione e percentuale di completamento dei task. Negli anni 90 venne introdotta la valutazione euristica, un metodo semplificato che consentí di sostituire le valutazioni empiriche condotto sugli utenti con le conoscenze degli esperti del settore.

[1] Metodo per lo studio della struttura cognitiva degli utenti in termini di *Goals*, *Operators*, *Methods* per ottenere il risultato e una serie di *selection rules* per stabilire quale sia il metodo corretto da utilizzare

User Experience (UX) Phase

Con l'arrivo del nuovo millennio e con il sempre più dilagante commercio di smartphone e altri prodotti di consumo volti all'uso non utilitaristico del computer, divenne necessario comprendere e utilizzare tutte le informazioni che i nuovi utenti potevano fornire. La sfida più grande fu quella di trovare un vero e proprio metodo per studiare la UX. Hassenzahl [4] propose un modello in cui i prodotti presentavano aspetti edonici e aspetti pragmatici. I primi riguardavano il piacere o i sentimenti evocati, in generale aspetti emozionali, mentre il secondo ne indicava il vero e proprio lato pratico e utilitaristico. L'implicazione più diretta che conseguí da questo modello fu quella di dover concentrarsi su entrambi gli aspetti del prodotto.

1.1.2 Stato attuale

Allo stato attuale delle cose sono previsti tre principali metodi per la valutazione di un sistema HCI: *User Testing Method*, *Inspection Method*, *Field Method*. Il primo metodo consiste nel valutare l'esperienza dell'utente attraverso questionari, tracciamento dello sguardo o del mouse. Per gli attributi edonici spesso vengono usate anche delle "emocard" anche se recentemente sono stati sviluppati dei software che sono in grado di percepire i sentimenti dell'utente durante la fase sperimentale. Il secondo metodo mira ad eliminare il feedback dell'utente per poterlo rimpiazzare con un giudizio esperto al fine di concentrarsi solo sugli aspetti pragmantici del prodotto attraverso l'uso di linee guida o checklist. I metodi più comuni restano le opinioni degli esperti e le valutazioni euristiche. Per ora non sono disponibili metodi di questo tipo per la valutazione degli aspetti edonici. Il terzo ed ultimo metodo rappresenta la valutazione condotta in un ambiente reale. Questa tecnica consiste nello studio di attributi pragmatici od edonici, usando studi comportamentali, analisi dei risultato, studio dei diari degli utenti sia in termini di estetica sia di usabilità.

1.1.3 Futuro

Fin dal principio dell'epoca dell'informazione designer e valutatori dei diversi sistemi di HCI hanno sempre inseguito il progresso tecnologico per adattare i loro metodi a ciò che stava per essere inserito sul mercato. Con l'avvento di diverse nuove tecnologie come i cloud, i social, gli smartphone e tanti altri è cambiata anche la natura dell'interazione e, di conseguenza, dei prodotti. Anche la natura del processo di valutazione, quindi, è molto diversa. Per ora esistono cinque potenziali campi di ricerca.

- *Creare un modello olistico per la valutazione della UX*: molti framework prendono in considerazione sia gli aspetti edonici sia pragmatici, ma solo pochi sono pensati per catturare questi parametri in una visione olistica. Quindi una possibile direzione da prendere può essere quella di creare un modello per una vera valutazione totale.

- *Sviluppare un modello per identificare gli aspetti edonici*: la creazione di un sistema per identificare gli aspetti edonici porterebbe il beneficio di risparmiare tempo e denaro senza impiegare i test con gli utenti.

- *Esaminare le abilità fondamentali necessarie per la valutazione*: la storia della valutazione della UX e in generale dei sistemi di HCI ha evidenziato come coloro che conducono gli studi si siano adattati nel tempo a causa del progresso. Un vero passo avanti in questo campo sarebbe quello di capire quali siano le abilità richieste per poter condurre queste indagini in modo da poter educare ed addestrare in futuro nuovi esperti del settore.
- *Ricercare metodi di ricerca informali*: il processo di valutazione deve mantenere un certo grado di formalità per poter essere considerato affidabile e serio. Ma allo stesso tempo non si può escludere tutta quella parte informale che intercorre durante la fase di sviluppo e di design, ad esempio l'abbandono di idee considerate no buone e l'adozione di alcune migliori.
- *Imparare dalla valutazione a livello pratico*: a livello di conoscenze si sa poco di come queste valutazioni vengano condotte sotto un aspetto pratico. Nel mondo reale bisogna considerare sempre anche il tempo e i costi. È importante quindi capire come le decisioni possano impattare sulla valutazione finale, quali metodi conviene adottare e la loro efficacia. Comprendere questi dettagli permette di creare e sviluppare un modello applicabile in ambiti diversi e allo stesso tempo capire meglio lo scopo e il ruolo della valutazione in un lato pratico.

1.2 Dieci Euristiche sulla UX

Come è stato detto in precedenza non esiste ancora un unico metodo per valutare la UX all'interno di un sistema HCI, però in molti casi viene utilizzato il metodo che prende il nome di *Ten Usability Heuristic*. L'obiettivo di questo metodo è fornire uno strumento a basso costo che possa essere usato nelle prime fasi dello sviluppo dell'applicazione in modo da definirne il design opportuno. Queste euristiche sono state sviluppate in seguito ad esperimenti empirici condotti su diversi utenti e possono essere usate per ogni tipo di prodotto o valutazione di contesto.

- **Assicurare usabilità**. Dal momento che gli utenti provano e testano il sistemaè importante che sia utilizzabile.
- **Fornire corrispondenza tra l'utilità i valori dell'utente**. È importante che l'utente percepisca l'importanza e l'utilità del prodotto in modo tale da ignorare eventuali difetti che possono affliggere il sistema.
- **Sorprendere l'utente**. Molte volte l'utente parte con delle basse aspettative. È importante catturare subito la sua attenzione in modo tale da renderlo partecipativo e continuare a sorprenderlo attraverso l'utilità, il piacere o semplicemente il facile utilizzo del prodotto.
- **Rispettare l'utente**. Bisogna conoscere il gruppo di utenti perché le loro conoscenze e abilità influenzano la loro percezione del prodotto che dovranno prendere in considerazione. Più il prodotto rispetta il mondo dell'utente, migliore sarà la sua esperienza.

- **Progettare un sistema che si adatti al contesto desiderato**. Il prodotto o servizio viene progettato per lavorare in un determinato contesto. L'utente a sua volta testa il prodotto in relazione alla propria cultura e al proprio modo di vivere e questi fattori sono molto determinanti per l'esperienza utente.
- **Libera scelta per l'utente**. Ogni utente è differente e predilige diverse tecniche di interazione, di conseguenza, dove possibile, sarebbe opportuno predisporre controlli manuali e adattivi, come touch, gesti o comandi vocali.
- **Rispettare la privacy dell'utente a la sicurezza**. Nonostante il progresso tecnologico, l'utente tende sempre a mostrare una certa diffidenza in termini di privacy e sicurezza e questo va ad influire sulla sua esperienza.
- **Non forzare l'utente**. È importare mostrare all'utente come il prodotto sia utile nelle azioni di tutti i giorni senza forzarlo ad usarlo.
- **Cercare il design ideale**. Bisogna cercare di rendere le interfacce il più comprensibili possibile, allo stesso tempo piacevoli di aspetto.
- **Sorpresa**. Le persone vogliono sempre qualcosa in più, non basta che il prodotto sia utilizzabile ed utile, serve qualcosa di extra che li renda felici, che superi le loro aspettative e che migliori la loro esperienza utente.

1.3 Stato dell'arte

Per analizzare lo stato dell'arte in merito alla valutazione utente, sono stati presi in considerazione due studi pubblicati nel 2010 e nel 2013, il primo di Bargas-Avila e Hornback mentre il secondo di Law, van Schaik e Roto. Entrambi gli studi analizzano i vari lavori pubblicati nel primo decennio del 21esimo secolo e ne analizzano il campo di studio o i metodi di raccolta dei dati.

1.3.1 Valutazioni empiriche del 21esimo secolo, Bargas-Avila e Hornback

Raccolta dati e scrematura

Il primo passo per l'analisi dello stato dell'arte è stato quello della raccolta dati. Sono stati presi in considerazione 51 pubblicazioni tra il 2005 e il 2009, che hanno prodotto 66 studi empirici. Per scegliere quali lavori analizzare i due studiosi sono partiti da una ricerca su tre delle principali banche dati utilizzare in ambito accademico: *ACM Library*, *ISI Web Of Knowledge* e *ScienceDirect*, usando "user experience" come parole chiave. Nonostante sia un termine molto generico si applica molto bene per la ricerca di studi sui dispositivi di HCI. Allo stesso tempo molti esperti del settore utilizzano questa espressione nelle proprie pubblicazioni. La prima ricerca ha restituito 1254 risultati, eliminando i duplicati e quelli fuori intervallo di anno (nonostante fosse già stato fatto in precenza alcuni risultati non rispettavano i criteri) sono rimaste 906 pubblicazioni. Una scrematura successiva ha

ridotto gli elementi a 449, eliminando i lavori non originali, non in inglese e fuori dal campo di applicazione. Come ultima scrematura sono stati esclusi i lavori che non riportavano dati utente empirici e quelli che non parlavano di UX come "nuovo movimento" (esperienza vista come percezione psicologica). Come già detto in precedenza sono stati estratti 66 studi (Figura 1.1).

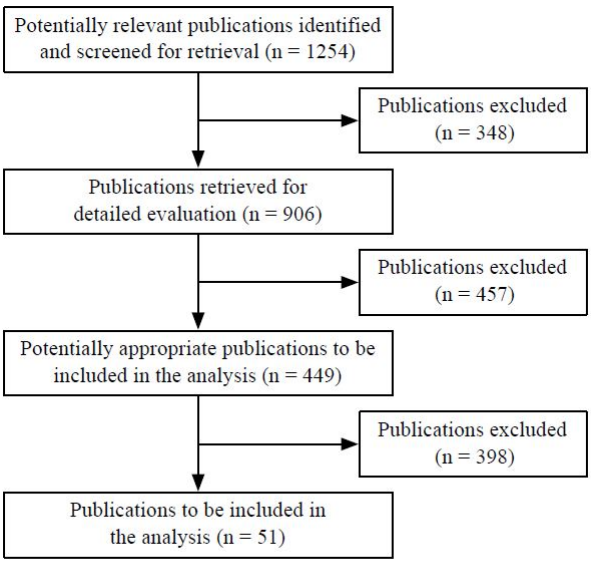

Figura 1.1. Processo di scrematura

Risultati

Osservando la Tabella 1.1 è facile notare che la maggior parte degli studi presi in considerazione riguardano prodotti inerenti al tempo libero, sintomo di come con il passare del tempo, l'attenzione si sia spostata dall'usabilità all'esperienza utente ma anche di un progressivo allargamento di orizzonti sulle tematiche studiate. Bargas-Avila e Hornback hanno suddiviso ulteriormente le pubblicazioni in base a come sono stati svolti i task dagli utenti. *Controlled task* per indicare precise assegnazioni, *open use situation* per indicare una risoluzione basata solo sul definire il passo successivo senza indicarne il metodo risolutivo, infine il termine *user initiated use* per indicare una situazione in cui l'utente è libero di scegliere come agire. Il 61% delle pubblicazioni erano di tipo open use situation, il 33% controlled task e il restante 20% scelta libera per l'utente. Un'altra menzione rilevante per lo studio della UX è da attribuirsi al contesto. Nello specifico con questo termine si va ad indicare il luogo in cui questi test vengono effettuati. Non tutti gli studi presi in considerazione hanno lavorato in un contesto controllato ed un terzo di questi non hanno nemmeno fornito indicazioni a riguardo. Questo è il caso, ad esempio, di studi condotti online, dove il contesto non viene praticamente considerato.

Products used	e.g.	Total		Leisure		Work		Mixed	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Art	[15]	14	21	14	100				
Mobile app/phone	[42]	14	21	5	36	4	29	5	36
Audio, video, TV	[55]	10	15	10	100				
Website	[86]	8	12			7	88	1	13
Imagined product	[31]	6	9	4	67			2	33
Interactive game	[56]	4	6	4	100				
No specific product	[67]	4	6	1	25			3	75
Other products		6	9	4	67	1	17	1	17

Notes. N = 66 studies; deviations from 100% due to rounding

Tabella 1.1. Tipologia di prodotti

Quando si parla di valutazione della UX è importante far riferimento anche al piano dell'esperienza, ovvero sulla dimensione, su cui di lavora, *dimension*. La maggior parte delle pubblicazioni è stata classificata come generica sul piano dimensionale. Quelle più specifiche, invece, fanno riferimento a emozioni, piacere e estetica, che, non a caso, sono i pilastri fondamentali per la valutazione empirica.

UX dimension **	Examples and sources	N	%*
Generic UX	Interviews at the start and end of the trial [63]; Users made collages to express UX with mobile phones [61]	27	41
Affect, emotion ***	Affect measured with SAM [47] scale [28]; Emotional responses measured with psychophysiology [56]	16	24
Enjoyment, fun	Rate 13 play categories on a 5-point scale [8]; Pictures drawn after game experiences were coded e.g. for "fun" [92]	11	17
Aesthetics, appeal	Classical and expressive aesthetics [49] measured [87]; Website attractiveness [75] measured [19]	10	15
Hedonic quality	AttrakDiff [21] used to measure hedonic quality of websites [86]	9	14
Engagement, flow	FSS [38] used to measure flow [15]; Semi-structured interviews to understand engagement with technology [67]	8	12
Motivation	Probes used to understand motivation behind selecting a specific home [39]	5	8
Enchantment	Interview with a person to understand enchantment of technology [65]	4	6
Frustration	When people expressed aspects that they did not like (in semi-structured interviews) [4]	3	5
Other constructs	Values, spontaneity, ...	15	23

Notes. N = 66 studies * does not sum up to 100% because studies can measure several dimensions ** If authors mention exploring a certain dimension, it was counted as such without judging if the work really reports it *** We categorized *affect* and *emotion* in the same group, as they are treated mostly as synonyms in UX research. Many researchers in psychology, however, consider affect and emotions to be different (e.g., [72])

Tabella 1.2. Dimensioni

Allo stesso tempo, come è possibile notare dalla Tabella 1.2 oltre alle classiche dimensioni precedentemente evidenziate ne sono state introdotte altre dai vari studiosi che hanno condotto le pubblicazioni, quali incantamento, frustrazione o rilevanza. Degli studi presi in considerazione, il 45% si è concentrato sulla valutazione di una sola dimensione, mentre solo il 6% ne ha prese più di quattro. Questo denota che nonostante la valutazione della UX sia considerata come un insieme di fattori, una visione olistica, si tenda lo stesso ad analizzare singolarmente ciascun fattore. Bargas-Avila e Hornback hanno anche messo in luce il modo in cui questi test sono stati condotti evidenziando come la metà esatta delle pubblicazioni sia stata condotta in modo qualitativo, il 33% in modo quantitativo e il restante in una combinazione dei due approcci. La Tabella 1.4 evidenzia come il questionario sia stato lo strumento dominante per la raccolta dei dati. Infatti è stato usato per il 53% dei casi. In altri per lo studio qualitativo si è ricorso a colloqui, semistrutturati

o di gruppo, in alternativa i dati sono stati raccolti esaminando videoregistrazioni o diari degli utenti durante la sperimentazione.

Collection method	Examples and sources	N	%*
Questionnaires	Affect measured with SAM scale [30]; user feedback assessed with self-developed questionnaire [4]	35	53
Interviews (semi-structured)	Interview regarding interaction experience [84]; interview to elicit reactions regarding engagement [67]	13	20
User observation (live)	In-situ observation of PDA usage [70]; observation of people experiencing an artistic installation [8]	11	17
Videorecordings	Recordings of interactions with canvas [84]; videos to capture listening experiences on the move [52]	11	17
Focus groups	Focus group at end of trial to reflect PAD usage [70] ; group discussion to investigate preferences [19]	10	15
Interviews (open)	Interview to understand enchantment [65]; interviews regarding photo sharing experience [63]	8	12
Diaries	Emotions assessed with diaries [37]; diaries using day reconstruction & experience narration [42]	7	11
Probes	Participants were given a probe kit with a brief personal explanation and instruction [53]	6	9
Collage or drawings	From a list of topic areas participants chose an experience to articulate through collage [61]	5	8
Photographs	Encouraged users to take photographs related to attributes in their domestic environment [39]	5	8
Body movements	Choreography of interaction with canvas was evaluated by analysing the movements [84]	3	5
Psychophysiological measures	Psychopyhsiology (galvanic skin response, EMG, heart rate) of a game experience recorded [56]	3	5
Other methods	Think aloud, personal meaning maps, ...	18	27

Notes. N = 66 studies * data do not sum up to 100% because studies can use more than one method

Tabella 1.3. Strumenti per la raccolta dati

Dal momento che il questionario risulta lo strumento più usato può essere interessante analizzarnare in dettaglio il modo in cui questo venga strutturato ai fini dello studio. Il 51% dei questionari utilizzati sono stati sviluppati direttamente da coloro che hanno condotto il test, senza però illustrare al lettore gli strumenti utilizzati, quindi fornendo solo un risultato diretto dello studio senza spiegare come fossero strutturate le domande poste; il 29%, invece, oltre ad aver creato ad hoc le domande ha fornito nell'appendice la composizione del questionario, mentre un 11% ne ha riportata solo una parte. Quello che emerge è che molti risultati non riportano in dettaglio la struttura dei propri metodi di indagine. Per quanto riguarda l'uso di tipologie di questionari esistenti sono da segnalare il principale utilizzo dei questionari basati sulla qualità edonica evidenziata da Hassenzahl e il test di estetica di Lavie & Tractinsky, ciascuno con una percentuale intorno al 20%.

Used questionnaire	N	%*
Self-developed (items unknown)	18	51
Self-developed (items listed in the paper)	10	29
AttrakDiff [21]	7	20
Lavie & Traktinsky [49]	7	20
SAM [47]	7	20
Self-developed (items partly known)	4	11
Other surveys (e.g., FSS [38], IMI [58], Emocards [10])	11	35

Notes. n = 35 studies that used questionnaires * data do not sum up to 100% because some studies use more than one questionnaire

Tabella 1.4. Tipi di questionari

Oltre alle proprietà evidenziate in precedenza non si può trascurare il quando venga misurata la UX. Per questo motivo Bargas-Avila e Hornback hanno deciso di suddividere il "quando" in quattro categorie: *before*, *during*, *after* e *imagined interaction*. I dati, visibili anche nella figura 1.5, mostrano come in prevalenza si tenda a valutare la UX after, nel 70% delle volte, mentre una valutazione antecedente all'esperienza è stata usata solo nel 20% dei casi. Il pattern più frequente è una combinazione di rilevazioni a posteriori e durante la fase di test, mentre solo il 17% dei casi raccoglie i dati prima dopo e durante.

Considerazioni

Analizzando tutti i dati raccolti da Bargas-Avila e Hornback si può intuire come per lo studio della UX si tenda a utilizzare indagini non strumentali, non-task-oriented goal per valutare aspetti edonici, mentre approcci strumentali, pragmatici o task-oriented sono da associararsi a studi sull'usabilità. L'estetica è l'elemento chiave di ricerca e molto spesso viene usato come elemento base per lo studio dell'esperienza utente, nelle pubblicazioni precedenti molti ricercatori hanno utilizzato il metodo di Lang riferito alla SAM Scale, la quale consiste nel valutare la propria esperienza selezionando dei manichini che rappresentano differenti stati emozionali. Questa scala è da ritenersi molto valida e largamente utilizzata, anche se si tende a considerarla un po' semplicistica. Nessuno degli studi mira ad ottenere uno studio approfondito delle emozioni anche se contemporaneamente è considerato il cardine fondamentale per la valutazione della UX. Gli studi presi in considerazione hanno messo in luce anche un aspetto molto importante dal punto di vista estetico: con il passare del tempo gli studiosi si sono spostati dalle dimensioni classiche inserendone di nuove e diversificando le ricerca e quindi anche i risultati. Questo processo di aggiornamento e diversificazione crea un problema che non è ancora stato studiato a fondo: il rapporto di interazione tra queste dimensioni.

1.3.2 Law, van Schaik e Roto, qualitativo contro quantitativo

In uno studio pubblicato nel 2013 i tre ricercatori sopra citati hanno deciso di capire quali fossero le basi fondamentali per lo studio della UX, e per farlo hanno deciso di condurre un'indagine semi strutturata andando ad interrogare direttamente coloro che lavorano nel settore al fine di capire quali sono le attitudini prevalenti nella comunità della HCI. Per raggiungere questo scopo hanno creato un nuovo tipo di sondaggio che prende il nome di *UXMAS* (UX Measurement Attitude Survey). Con questa intervista, mai usata prima di allora, hanno cercato di stimolare la comunità della HCI a trovare finalmente un punto d'incontro per lo studio della UX, dal momento che fino ad adesso esistono ancora fratture interne per quanto concerne la scelta di utilizzare metodi qualititativi oppure quantitativi.

Analisi

L'obiettivo principale per questo studio è stato cercare come i costrutti [2] di UX vengono definiti, per fare questo Law, van Schaik e Roto hanno deciso di prendere come modello la ricerca esposta nel paragrafo precedente effettuata da Bargas-Avila e Hornback. A differenza di quest'ultima è stato preso in considerazione un diverso intervallo di tempo, in particolare le pubblicazioni uscite tra il 2010 e il 2012, esattamente successivi a quelli presi in considerazione da Bargas-Avila e Hornback. Sono state usate le stesse fonti ma, dal momento che questo lavoro è più specifico di quello precedente, hanno deciso di aggiungere come parola chiave per la ricerca "measure". In totale sono stati trovati circa 500 lavori, utilizzando lo stesso metodo di scrematura descritto in precedenza sono rimasti 58 studi.

[2] In statistica si definiscono costrutti le astrazioni fatte dai ricercatori per concettualizzare variabili non direttamente osservabili, chiamate variabili latenti

Con questo risultato sono stati in grado di estrarre le informazioni principali per comprendere al meglio cosa e come i costrutti della UX sono misurati. La figura 1.6 mostra i costrutti con una frequenza superiore a due. Al contrario degli studi di Bargas-Avila e Hornback, è possbile notare come le misurazioni multidimensionali siano diventate meno rare e più comuni. Seguendo, invece, i risultati dello studio precedente, è possibile notare che tutti i paper presi in considerazione utilizzino come metodo per la raccolta dei dati dei questionari, siano essi basati su modelli già validati oppure creati ad hoc per lo scopo, allo stesso modo è possibile notare come i prodotti presi in considerazione, con il passare del tempo, tendano ad allontanarsi dall'ambito lavorativo tendendo più verso un ambito ludico e di divertimento.

Measured UX construct	Frequency
Flow: general (8); multi-dimensional (4)	12
Aesthetic/beauty	9
Emotion: multi-dimensional (4); general (3)	7
Enjoyment	5
Affect: general (3); multi-dimensional (2)	5
Arousal/valence	4
Hedonic quality	4
Intrinsic motivation	4
Presence	4
Engagement: general (2); multi-dimensional (2)	4
Attractiveness	3
Satisfaction	3

Tabella 1.5. Costrutti misurati

Come preventivato *flow* e *Aesthetic/beauty* si collocano nelle prime posizioni essendo, senza alcun dubbio, i principi fondamentali per la valutazione della UX.

UXMAS

Il questionario *User Experience Measurement Attitude Test* è stato creato e utilizzato in tre diversi contesti:

- **Intervista**: 11 interviste individuali, i partecipanti sono stati reclutati tramite email e tramite contatti personali di uno degli autori dello studio.
- **Sondaggio cartaceo**: distribuito ai partecipanti di un seminario sulla UX in Finlandia, di 100 distruiti sono tornati compilati 35.
- **Sondaggio online**: distruito a coloro i cui nomi erano registrati in alcune rubriche elettroniche incluse SIGHCI, BCS-HCI e qualche associazione locale di UX. Di 332 inviati solo 135 sono tornati compilati.

Q1. Gender: female, male
Q2. Age: ≤20, 21–30, 31–40, 41–50, > 50
Q3. I am a: practitioner, researcher, student, other
Q4. How long have you worked in the area of UX? (Never, ≤1 year, 1–3 year, 3–5 year, > 5 year). Please describe the topic and related work
Q5. How much of your work/study is related to design? (≤20%, > 20% and ≤40%, > 40% and ≤60%, > 60% and ≤80%, > 80%). Make a comment on your choice

Figura 1.2. Domande preliminari

UXMAS consta di 13 domande suddivise in tre parti principali. La prima parte (Figura 1.2) serve per stabilire un background del soggetto, la seconda(Figura 1.3) tratta la misurabilità della UX, infine la terza serve per stimolare una discussione più approfondita dell'argomento(Figura 1.4). Le domande Q8, Q9 e Q10 hanno lo scopo di analizzare quello che prende il nome di *experiential qualities*, a livello molto semplice possono essere definiti i sentimenti, mentre in un piano più ampio e complesso si considerano come componenti dell'esperienza utente (CUE), che vengono stimolati sia dalle componenti strumentali (usabilità) sia da quelle non strumentali (estetica).

Q6. What is a 'measure'?
Q7. (a) Please rate your agreement with each of the following statements (5-point Likert scale); (b) explain your ratings
- UX measures lead to increase of knowledge
- UX measures are insane
- UX measures are a pain
- UX measures are important for design
- UX measures are important for evaluation

Q8. (a) Name a specific experiential quality (e.g., fun, surprise) that is most relevant to your work; (b) explain the relevance; (c) do you think the named quality can be measured: if 'yes', describe how; if 'no', describe why
Q9. (a) Name an experiential quality that you are (almost) certain is measurable; (b) How can it be measured and when (before/during/after interaction)?; (c) Why are you so (almost) certain about its measurability? What is your reservation, if any?
Q10. (a) Name an experiential quality that you think (almost) impossible to measure; (b) Why do you think so? What is your reservation, if any?

Figura 1.3. Domande principali sulla UX

Studio 1: intervista UXMAS e i suoi risultati

Gli intervistati si collocano tutti tra un'età compresa tra 31 e 50 anni, più un over 50, per quanto riguarda l'occupazione sono stati selezionati tutti ricercatori e un tirocinante. Due di loro hanno lavorato per meno di un anno nel campo della UX, tre in un periodo compreso tra uno e tre anni, cinque in un periodo compreso tra tre e cinque e uno per più di cinque anni.

La domanda Q6, la quale chiedeva cosa significasse per l'intervistato il concetto di "measure", ha fornito una serie di differenti risposte, considerabili come una delle tante sfaccettature del concetto generico di misurazione. Di particolare interesse la domanda Q7 nella quale gli intervistati dovevano rispondere con un numero compreso tra 1 e 5 indicando il loro apprezzamento per ognuna delle cinque frasi scritte:

- *UX measure lead to a increase of knowledge* (media = 4.0, range = 2-5): gli intervistati hanno fornito molti spunti di interesse nel momento in cui gli è stato chiesto di

Q11. Which theoretical arguments (e.g. reductionism) are for or against UX measurement?
Q12. Which methodological arguments (e.g. validity) are for or against UX measurement?
Q13. Which practical arguments (e.g. cost) are for or against UX measurement?

Figura 1.4. Domande per una discussione approfondita

motivare la loro risposta. Secondo qualcuno ci sarebbero metodi migliori per imparare a capire la UX rispetto all'uso delle misurazioni, nonostante vengano ritenute anche dagli stessi di rilevante importanza. È emerso anche una preoccupazione circa la mancanza di addestramento per l'utente per comprendere in toto cosa significa valutare la propria esperienza utente, questa mancanza indebolisce notevolemente tutti gli sforzi compiuti al fine di definire nel modo più completo possibile il concetto di misurazione e della sua applicazione.

- *UX measures are insane* (media = 2.0, range = 1-4): una visione comune tende a definire questa pazzia non al livello della misurazione vera e propria della UX ma in quello che viene detto riguardo a questa, soprattutto quando gli utenti non sono in grado di capire quali siano le richieste oppure rispondono senza cognizione di causa.

- *UX measures are a pain* (media = 3.27, range = 1-5): il dolore a cui si fa riferimento è da considersi psicologico e non fisico. Le motivazioni di questo dolore sono da rimandarsi sia alla fase di preparazione sia a quella di raccolta dei dati, nel primo caso può essere creato dalla definizione di utili e valide metriche che richiede ampie e profonde conoscenze, risultando stressante e faticoso a livello cognitivo. Allo stesso tempo, la fase di raccolta di dati non può protarsi per troppo tempo e questo può essere fonte di dolore psicologico sia per gli utenti sia per coloro che conducono l'esperimento.

- *UX measures are important for design* (media = 4.0, range: 2-5): i partecipanti, in generale, hanno riconosciuto l'importanza dello studio della UX per il design, soprattutto per decidere e giustificare alcuni vincoli o scelte, convincendo gli sviluppatori basandosi sui risultati di questi studi.

- *UX measures are imporant for evaluation* (media = 4.6, range: 2-5): questa risposta ha ottenuto la media più alta, quindi è quella su cui tutti gli intervistati si trovano maggiormente d'accordo, usando solo le intuizioni di coloro che ideano il prodotto si corre il rischio che i loro sentimenti non si addicano a quelli del resto del mondo, non siano affidabili. Alcuni partecipanti hanno sottolineato anche l'importanza del momento in cui queste misurazioni vengono effettuate e quanto tempo occorra per farle.

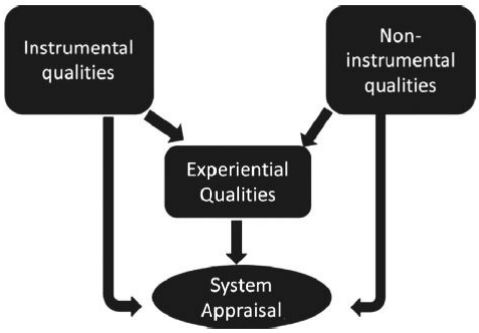

Fig. 1. A simplified CUE model.

Figura 1.5. Modello CUE semplificato

Ai partecipanti è stato chiesto di identificare le qualità esperienziali che sono di personale e professionale rilevanza e la loro relativa misurabilità (domanda 8), quelle che sono quasi certamente misurabili (domanda 9) e quelle che sono assolutamente non misurabili (domanda 10). Adottando e adattando il modello CUE (Figura 1.5) Law, van Schaik e Roto hanno diviso le risposte in tre gruppi: *instrumental qualities* che comprende tutte le caratteristiche che il sistema dispone, *non-instrumental qualities* che comprende tutte le qualità estetiche del prodotto, *short-term affective response* che comprende tutto ciò che viene percepito durante o appena dopo l'interazione con il sistema o con il prodotto, *long-term evaluative response* che comprende gli effetti a lungo termine dovuti all'interazione con il sistema o con il prodotto (Figura 1.6).

Problemi teorici, metodologici e pratici

Le domande 11, 12 e 13 avevano il compito di definire quali fossero i problemi rispettivamente a livello teoretico, metodologico e pratico sulla valutazione della UX. Dalla prima domanda emergono alcuni punti fondamentali che si rivelano essere problemi ricorrenti, riscontrati anche in altri studi, primo su tutti la difficoltà di effettuare una vera e propria misurazione in senso olistico ma allo stesso tempo di analizzare il prodotto in ogni sua singola parte. In secondo luogo è importante tenere a mente che il ricordo dell'utente non è sempre limpido ma può essere influenzato dall'ambiente che lo circonda e dal modo in cui questo ricordo viene evocato. L'ultimo aspetto teoretico riguarda il momento in cui effettuare la misurazione, questo dipende sia dalla natura che dal tipo di task, secondo alcuni intervistati dipende anche dalla lunghezza di questo: in caso di compiti brevi si possono raccogliere i dati appena è completato, mentre per task più lunghi non è assurdo prendere in considerazione l'idea di interrompere per effettuare delle misurazioni. Secondo altri, la misurazione in diverse fasi può essere utile perché va a complementarasi con le altre, poichè un rilevamento unico potrebbe essere fonte di tanti responsi positivi come negativi. Risultano molto utili responsi psico-fisiologici soprattutto quando l'utente deve affrontare compiti che lo mettono a dura prova, ad esempio quando lo scopo dello studio è

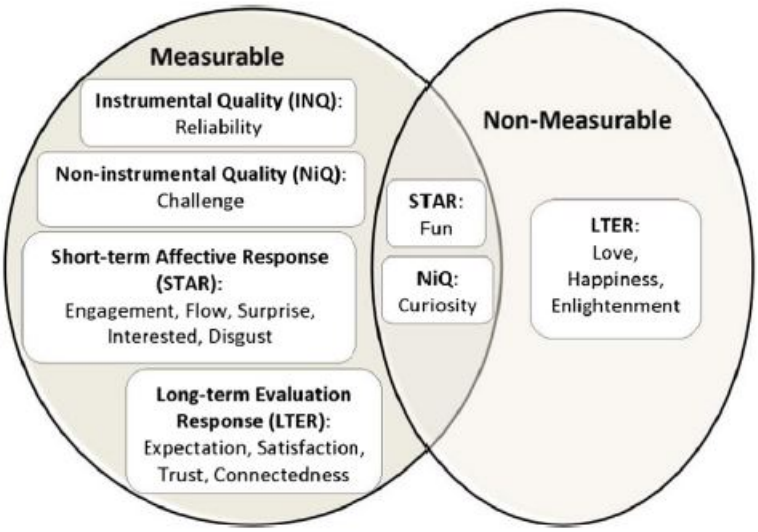

Figura 1.6. Caratteristiche suddivise in misurabili e non misurabili

la progettazione di un videogioco. Dal punto di vista metodologico gli intervistati hanno evidenziato la presenza di tre problemi, il primo è la scelta tra i dati a livello qualitatito o quantitativo tra coloro che lavorano nella parte di design e coloro che si occupano della parte più ingegneristica. Il secondo problema risiede nella difficoltà di trovare un vero e proprio campione di utenti eterogeneo per effettuare i test nel modo più accurato possibile. Il terzo ed ultimo problema metodologico è identificato con la necessità di un vero e proprio prototipo per capire e comprendere al meglio l'esperienza utente, infine, dal lato pratico emerge il problema di cosa fare con i dati raccolti. Uno degli intervistati sottolinea come la critica mossa da alcuni esperti del settore alla valutazione della UX non sia dovuta al modo in cui questa esperienza venga valutata ma al fatto che i dati, una volta raccolti, non abbiano un vero e proprio utilizzo in ambito industriale. La mancanza di un vero e proprio metro di giudizio in questo ambito viene sottolineato come secondo problema, questa mancanza porta i team di design a prendere decisioni basate sulle loro credenze, talvolta anche ignorando i feedback degli utenti. In ultima istanza, gli intervistati sottolineano come utilizzare le informazione raccolte al fine di creare un prodotto in base a questi dati. L'obiettivo è quello di ottenere un risultato utilizzabile dall'utente finale senza problemi, in altre parole come sfruttare tutto ciò che esprime un utente durante la fase di test al fine di inserirlo in un contesto di *strategy management*. La scelta di usare un numero ristretto di persone e allo stesso tempo provenienti dallo stesso luogo per l'intervista ha sollevato più domande di quante siano state le risposte ottenute, di conseguenza Law, van Schaik e Roto hanno deciso di procedere con un questiuonario online allargando il numero di utenti e diversificandone la provenienza.

Studio 2: *paper-based* e UXMAS online

Il test online è stato condotto nel mese di Luglio del 2012 e ha raccolto 135 risposte, dal momento che alcuni intervistati hanno barrato più di un impiego lavorativo il totale delle risposte sale a 170, alcuni partecipanti sia nel test cartaceo sia nel sondaggio online non avevano mai lavorato nel campo della UX. Grazie ad un più alto numero di partecipanti il gruppo totale risulta ampiamente diversificato sia a livello demografico sia a livello d'impiego, come si può notare dalla figura 1.6.

Data source	Gender[a]		Age[a]				Job		
	F	M	≤30	> 30 and ≤40	> 41 and ≤50	> 50	Practitioner	Researcher	Student
Paper (n=35)	19	16	16	15	3	1	21	9	4
Online (n=135)	44	90	21	58	29	25	69	80	16
Total	63	106	37	73	32	26	90	89	20

Tabella 1.6. Modello CUE semplificato

La maggior parte dei dati raccolti sono stati di tipo qualitativo, Law, van Schaik e Roto hanno sviluppato un sistema di codifica per schematizzare ad analizzare le risposte dalla 6 alla 13, usando l'analisi tematica e il modello CUE. Per quanto concerne le prime cinque domande e la domanda 7 l'analisi effettuata è stata di tipo correlativo. Alla domanda che chiedeva una definizione di misura gli intervistati hanno diversificato le loro risposte spaziando tra il "come", il "cosa" e il "perché" ma nessuno ha nominato il "quando". Tutte queste risposte mostrano le diverse sfaccettature della definizione standard di misurazione e suggeriscono una pari importanza tra la misurazione e il design del prodotto. Come si è detto in precedenza Law, van Schaik e Roto hanno usato dei modelli preesistenti per stabilire un intervallo che spazia tra -2 e 2 in cui inserire la media delle risposte degli utenti intervistati. Il valore 0 corrisponde alla neutralità, i negativi tendono progressivamente al disaccordo mentre i positivi all'accordo con la frase proposta. La media delle cinque le domande poste ha ottenuto un punteggio intorno allo 0.97 con una deviazione standard di 0.59. La correlazione tra l'opinione e i partecipanti non è stata statisticamente irrilevante. Seguendo il modello dello studio condotto sugli 11 addetti ai lavori, le domande 8, 9 e 10 chiedevano agli intervistati di elencare quali fossero le EQs misurabili, quasi misurabili e quelle non misurabili. Allo stesso modo sono rimaste invariate le quattro categorie per indentificare le suddette EQs: INQ, NIQ, STAR, LTER. Dopo aver eliminato le risposte incompresibili, sono rimaste 180, 129 e 97 istanze di EQs rispettivamente per le domande 8, 9 e 10. Alcune di queste qualità sono state ripetute più volte, di conseguenza sono state trovate dai partecipanti 123 caratteristiche uniche, di cui 65 menzionate una sola volta. Al fine di ottenere uno studio più chiaro e comprensibile solo le parole con frequenza superiore o uguale a due sono state prese in considerazione, sono state ignorate anche le EQs definite misurabili ma di cui non si è specificato come effettuare tale misurazione. Il risultato finale è mostrato nella figura 1.7.

Come si nota da questi diagrammi di Venn è soprendente notare come ci sia un inaspettato numero di caretteristiche rientranti nella categoria INQ, cioè qualità definibili

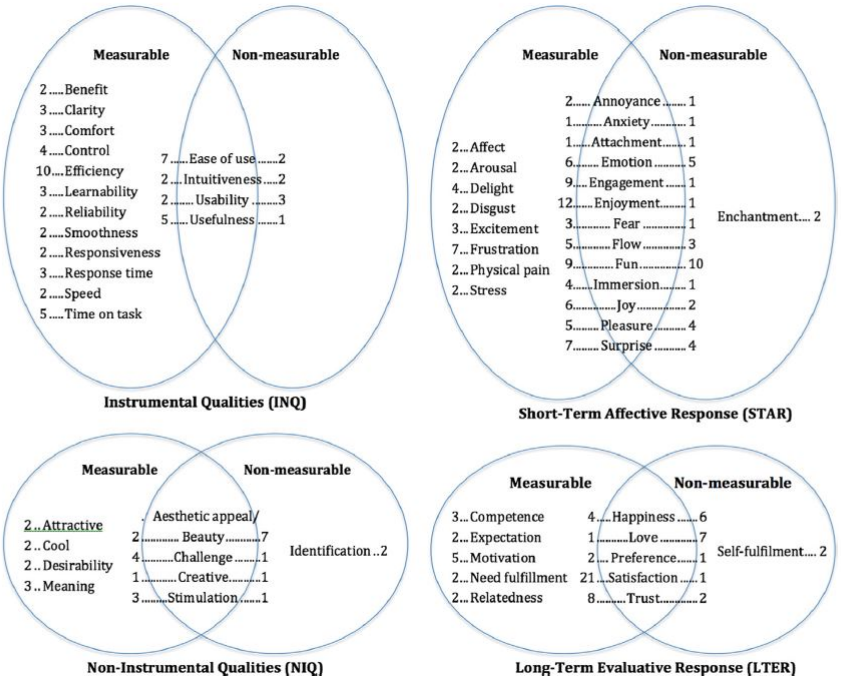

Figura 1.7. Diagrammi di Venn riassuntivi

pragmatiche, questo implica che alcuni degli intervistati tendono ad associare ancora l'esperienza utente al vecchio concetto della HCI, allo stesso tempo implica che non è ancora ben definito un vero e proprio concetto di UX. Allargando il discorso a tutte le categorie è facile notare che i costrutti ritenuti all'unanimità non misurabili sono molto pochi, tre per l'esattezza. *Efficiency* e *frustration*, appartenenti rispettivamente a INQ e a STAR, risultano essere molto menzionati dagli utenti, questo non è sorprendente, anzi, sono concetti molto usati nel campo dello studio dell'esperienza.

Category name with instance	*n*
Feasibility – users' observable behaviour, consciousness of experience or ability to respond: "Challenge defines the difficulty of an operation, which seems to influence only its accomplishment, error rate and time taken." (P10)	36
Availability of validated or commonly used measurement methods/instruments: "Medical studies have a long tradition in studying and assessing physical pain." (P124)	24
Importance: "Because pleasure is, I believe, a core element of UX." (P81)	3
Interpretation: "It is an easy interpretation of human behavior. There are of course cultural differences" (P297)	2

Tabella 1.7. Categorie per motivare la misurazione dei costrutti

Le figure 1.7 e 1.8 illustrano quali siano le categorie definite dagli intervistati in relazione alla possibilità di misurare o non misurare le EQs precedentemente definite

La figura 1.9 mostra quali siano le risposte degli utenti alla domanda di carattere teoretico a favore e contro la misurazione della UX, alcuni intervistati hanno fornito risposte

Category description	n
Subjectivity: "Experience is not measurable in the way distance or weight is. We need to rely on subjective interpretation (either by the observer or the subject)." (P319)	22
Definition: "Very difficult because there is even no common definition of surprise. Can be positive or negative, intense or not, rapidly or slowly occurring. Hard to define a common measure." (P127)	12
Practicality: "It is expensive to do reliably as it requires at least months of longitudinal research. Hard to justify." (P290)	9
Utterance: "I think it is difficult for people to express their general experience of a product. … explaining why they enjoy it is pretty tough…" (P91)	8
Scepticism: "Any measure will be so reductive to be meaningless." (P109)	8
Uniqueness: "This [elation] rarely happens during interaction and as an extreme emotion would be difficult to quantify" (P265)	8
Context: "Also emotional responses will often, we think, be significantly influenced by the usage context (social, physical, etc.)." (P204)	7
Response Bias: "Also, I assume that most people will hesitate to self-report this feeling [cool or hip] out of fear of being judged as feeling smug." (P213)	6
Multidimensionality: "Satisfaction is so complex and multifaceted. It is the sum of many parts … only some of the parts can (or will) be tested." (P121)	6
Multi-causality: "There are so many factors that influence fun" (P10)	5
Quality of measures: " It involves lot of imprecise video/face emotion reasoning techniques" (P87)	4
Organisation: "I do not think that our company has a deep enough understanding of what [desirability] is" (P19)	3
Obtrusiveness: "The fact that you have to observe somebody and let that person know that you observe her influences all emotional measures significantly." (P183)	3
Reference: "The problem is calibrating the scale: what is the highest pleasure score possible?" (P37)	2

Tabella 1.8. Categorie per motivare la non misurabilità di alcuni costrutti

che all'apparenza possono essere catalogate come "pratiche". Nello specifico l'utilità pratica e teoretica e il bisogno di una stima dell'esperienza utente riflettono la percezione di una vera e propria necessità di un sistema di rilevamento per poter finalmente progredire nel campo della UX.

Category name with instance	n
Theoretical arguments for UX measurement	
Research approaches in favour of measurement: "Self-determination theory revised theory, flow theory, two factors theory" (P129)	15
Theoretical utility and necessity of UX measurement: "Increased understanding of the complexity of UX; increased understanding of the relations between the different aspects of UX; increased understanding of the impact of context on UX" (P134)	7
Practical utility and necessity of UX measurement: "Eventually everything gets measured in the bottom line. It is intellectual laziness to wait until that moment. You have to do it earlier, closer to what you can manipulate/improve" (P65)	7
Theoretical arguments against UX measurement	
Research approaches against measurement/theoretical objections: "Against: some people consider UX too phenomenological to be measured, it is an overall feeling that is difficult to break to pieces (the overall experience is more than the pieces)." (P115)	14
Practical objections: "Arguments against: increased complexity, which may cause the establishment of too complex measurement tools." (P134)	5
No theoretical arguments for or against UX measurement	
Conditional stance on UX measurement: "First we need a definition of User Experience, then we can develop measures for Experiences. I cannot see any theoretical argument against defining the term "Use Experience". There are of course many arguments with respect to the chosen measurement method." (P76)	7
Disinterest in UX theory: "I have not considered theoretical arguments either for or against UX measurements." (P309)	4

Tabella 1.9. Categorie di argomenti teorici a favore e contro la misurabiltà

Alla domanda sugli argomenti metodologici 1.10 alcuni partecipanti ritengono che l'esperienza non possa essere soggetta a misurazione mentre altri ritengono che la misurazione stessa sia carente di definizioni per quanto riguarda il concetto di UX, infine altri credono che una mancanza di educazione nel merito della materia sia un vero e proprio ostacolo per lo studio della UX.

In relazione alla figura 1.11 è facile notare che la principale argomentazione pratica a favore dello studio della UX sia l'importanza che ha nel campo del design e del marketing, perché per capire la direzione necessaria in merito allo studio di un prodotto in ambito di design l'unica via è la sua misurazione, al contrario, la principale argomentazione a sfavore è la quantità di risorse necessarie per effettuare questa misurazione di tempo, costo ed esperti. Il tempo per poter preparare i test, i questionari e tutto il necessario risulta lungo e dispendioso, allo stesso tempo sono necessari un discreto numero di esperti per poter valutare i risultati che emergono dai suddetti test.

Category names with instances	n
Methodological arguments for UX measurement	
Practical benefits: "Need to measure in order to study effects on UX." (P134)	15
Good measurement properties: "Statistical validity, reproducibility, methodological clarity." (P124)	12
Methodological arguments against UX measurement	
Limitations of measurement methods: "People may say different things that they think for example for social acceptance reasons. People may not be able to articulate their feelings in a measurable way." (P115)	11
Incompatibility between the nature of measurement and inherent characteristics of experience: "Reliability and subjectivity are barely given through subjectivity of experiences" (P68)	7
Lack of definitional/theoretical frameworks: "What UX needs is a valid operational definition to be able to measure properly." (P140)	4
Practical problems: "Complex measures may be difficult to implement and use in practical UX work." (P134)	3
No methodological arguments for/against UX measurement	
Complementary concepts and methods: "Mixed and qualitative methodologies can support UX studies" (P116)	5
Lack of education: "Most researchers in HCI do not know the most basic techniques to ensure a minimum of quality in their measures!" (P17)	2

Tabella 1.10. Categorie di argomenti metodologici a favore e contro la misurabiltà

Category names with instances	n
Practical arguments for UX measurement	
Relevance to design and marketing: "… if you need to gain understanding of the direction to which your design is going, then you should measure" (P33)	14
Resources required are low: "Cost is fairly minimal both in terms of money as well as time so measurement can be easily combined with user lab" (P152)	6
Positive effects on development costs: "avoiding additional costs after launching a system" (P160)	6
Relevance to research and education on UX: "The main argument in favour of UX is … an educational one. It would certainly make some students (e.g., engineers, etc.) feel safer to deal with some measures of UX instead of with a less tangible reality of an UX." (P128)	5
Practical arguments against UX measurement	
Resources required are high: "Time, cost, and expertise are three practical arguments against UX measurement. Taking any type of measurement … takes a great deal of time to set-up, requires expensive, complicated equipment, and researchers need a high level of expertise to interpret the results." (P81)	18
Lack of standard methods and definition: "Lack of well-defined techniques for measuring UX" (P301)	5
Inherent nature of UX measures: "UX is a conglomeration of factors that may or may be impossible to measure. As such, UX may be impossible to measure as well…" (P25)	4
Corporate culture: "[…] project managers, product managers, etc. value other aspects of system development higher sometimes and therefore try to argue against it" (P182)	4
Scepticism about UX measurement: "good UX is the consequence of good usability engineering and does not need explicit treatment." (P210)	3
Lack of knowledge: "The costs are high because of the lack of knowledge on which parameters to include and which not." (P233)	2

Tabella 1.11. Categorie di argomenti pratici a favore e contro la misurabiltà

Risultati e comparazione dei due studi

Dopo aver analizzato entrambi gli studi è possibile definire una panoramica generale che prenda in considerazione le risposte ottenute. In generale il primo studio denota un certo scetticismo nei confronti della misurazione della UX, sicuramente dovuto al loro background educativo ed alla loro esperienza educativa; mentre il secondo gruppo si è mostrato più favorevole sebbene anche qui siano emerse alcune incertezze. Nel complesso entrambe le interviste hanno evidenziato la necessità di un vero e proprio metodo per conciliare lo studio olistico con la limitatezza di un approccio riduttivo per le singole EQs, allo stesso tempo non è possibile escludere a priori la valutazione qualitativa a favore di quella quantitativa o viceversa in quanto risulta troppo restittivo e potrebbe trarre in errore. L'obiettivo finale è quello di capire le motivazioni per la misurazione della UX e come usare i risultati per influenzare positivamente il design e lo sviluppo. Lo studio dell'esperienza utente, se basata su solide basi teorico-teoretiche e valutata nel modo corretto, deve essere in grado di identificare le risposte emotive, la loro intensità e il contesto scatenante. In conclusione si può dire con una certa dose di sicurezza, basandosi sulle risposte degli intervistati, che la misurazione della UX può giocare un ruolo fondamentale per il collegamento tra la valutazione vera e propria e il ridesign del prodotto basandosi sui feedback

degli utenti, sia che siano quantitative, tipiche della vera e propria misurazione della UX, oppure qualitative.

1.3.3 Virtual Reality e virtual environments

La valutazione della realtà virtuale e/o degli ambienti virtuali è sempre stato difficoltosa in quanto i classici metodi di valutazione non si prestano perfettamente allo scopo; gli stessi modelli impiegati per le GUI non si prestano appieno, in quanto non prendono in considerazione aspetti che non gli appartengono, sia per quanto riguarda problemi fisici legati all'ambiente, sia legati all'interazione con gli esaminatori. Per il primo caso un utente che indossa un HDM non è in grado di rendersi veramente conto dell'ambiente che lo circonda, quindi potrebbe non essere in grado di identificare eventuali ostacoli che, a causa del visore, non è in grado di identificare. Il secondo caso è legato al senso di presenza o di immersività che può essere rovinato dalla vicinanza di chi raccoglie i dati, ad esempio toccando o interloquendo con il tester, soprattutto se questa sensazione è oggetto di valutazione; nel caso non lo fosse il problema non sussiste o si pone in maniera ridotta. Nella parte di valutazione legata agli attributi più pragmatici della VR è importante considerare i fattori tempo e accuratezza, facilmente misurabili quantitativamente, ma non si possono escludere altre caratteristiche più soggettive ma molto importanti in termini di performance, quali l'affaticamento, la facilità di apprendimento e di utilizzo, il comfort ecc. Il mondo della realtà virtuale coinvolge l'utente non sono psicologicamente ma anche fisicamente, in quanto è tenuto a compiere azioni e movimenti con il proprio corpo per compiere determinate azioni, per questo motivo il prodotto deve essere in grado di sfruttare le abilità di chi ne fa uso ma allo stesso tempo non deve essere causa di affaticamenti o scomodità e deve anche essere ampiamente studiato per evitare disagi agli utlizzatori. Nella letteratura recente molti ricercatori hanno deciso di estendere le vecchie tecniche in uso per i test nel campo del 2D e delle valutazioni della GUI per la VR. Di seguito alcuni esempi per capire meglio queste tecniche.

Gabbard, Hix e Swan II

User-Centred design and evaluation of virtual environments, questo il titolo della pubblicazione dei tre studiosi sopracitati, in cui propongono un nuovo metodo per valutare un sistema di VE. Solitamente per le valutazioni in questo campo si è sempre cercato di partire da vecchi framework usati per lo studio delle GUI, con scarso successo, dovuto all'incompatibilità tra le due, a causa di alcuni problemi che non venono presi in considerazione nel 2D, ad esempio l'interruzione dell'immersività nel momento in cui chi valuta interagisce con l'utente, oppure la limitata osservabilità delle espressioni facciali dell'utente, molto utili per capire le sue reazioni, da parte di chi conduce il test. Per ovviare a questi problemi Gabbard e colleghi hanno deciso di introdurre un metodo creato apposta per i VE, perfetto per valutare l'usabilità e gli aspetti pragmatici del prodotto. Questo modello si divide in quattro fasi:

- Analisi del task dell'utente
- Valutazione di esperti secondo particolari linee guida

- Valutazione formativo basata sull'utente
- Comparazione sommativa

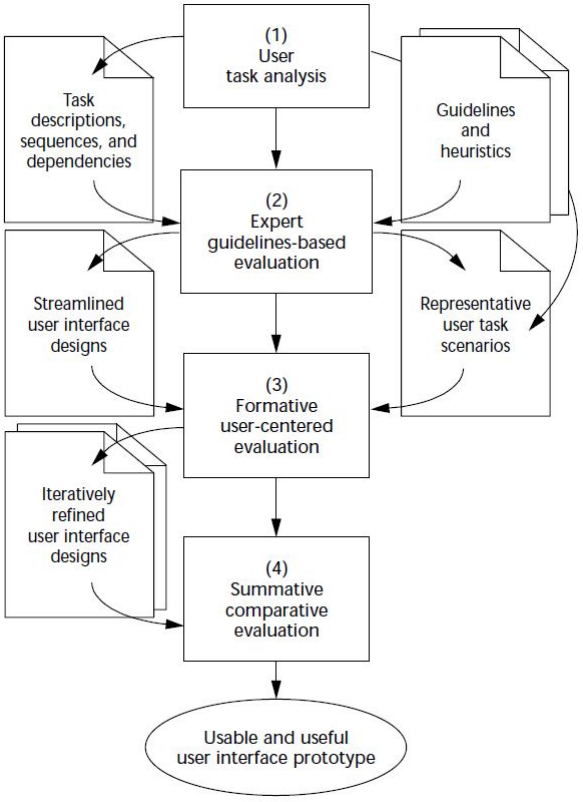

Figura 1.8. Valutazione di un'applicazione di VE

L'analisi del task dell'utente serve a dare una panoramica completa del compito che deve essere svolto, dei metodi e dei sistemi necessari per portarlo a termine. Da questa analisi è possibile ottenere tutte le informazioni che vengono usate durante tutti i passaggi del ciclo produttivo dell'applicazione, inoltre è possibile sia ottenere una completa descrizione dei task da compiere ma anche una precisa analisi su come questi compiti si relazionino tra loro.

La valutazione degli esperti ha il compito di identificare particolari problemi di usabilità comparando l'interazione utente progettata con delle linee guida relative al design prestabilite. Analizzando che cosa rispetta queste regole e cosa no gli esperti stabiliscono quali siano le modifiche da applicare per migliorare il design del prodotto. Questa fase di studio è molto complessa e difficoltosa in quanto sono disponibili pochi insiemi di regole per l'analisi. Tipicamente vengono ingaggiati più di un esperto per effettuare le valutazioni perché è molto improbabile che una persona sola sia in grado di trovare tutti i problemi che possono essere presenti. Il numero ideale di esperti, secondo Nielsen, si aggira tra i tre

e i cinque per la GUI, in modo tale da aver abbastanza persone per trovare tutto quello che non corrisponde agli standard, ma allo stesso tempo troppi elementi riducono l'efficacia dello studio aumentando i costi, per la VE non è ancora chiaro con precisione quale sia il numero migliore, teoricamente leggermente superiore. Ogni esperto è chiamato a dare un propria valutazione sul design del prodotto, senza essere influenzato dagli altri valutatori, solo in seguito i risultati vengono combinati, documentati e tutti gli esperti discutono i punti a favore e quelli a sfavore. Nielsen suggerisce, come fase successiva, un approccio in due passi, nella prima parte gli esaminatori ottengono una visione generale del flusso di interazione, durante la seconda vengono identificati specifici componenti di interazione e i relativi conflitti sia in una visione ristretta nell'ambito del task sia in una più vasta e generalizzata. Questo tipo di approccio è molto importante, soprattutto se svolto in fase di sviluppo iniziale, in modo da gestire rapidamente eventuali problemi di design da correggere il prima possibile. Le linee guida di questi esperti fanno riferimento a modelli usati per le GUI quindi possono risultare troppo generiche o ambigue. Per questo motivo Gabbard e i suoi colleghi hanno sviluppato un primo tentativo di framework da usare per la valutazione. Questo framework è stato suddiviso in quattro parti:

- Utenti e task utenti
- Meccanismi di input
- Modelli virtuali
- Meccanismi di presentazione

Vengono categorizzate 195 regole che coprono molti aspetti della VE riguardanti usabilità, spostamenti nello spazio, manipolazione e selezione di oggetti, obiettivi e altro.

La terza parte del modello, la valutazione formativa, è uno studio empirico volto a quantificare e valutare iterativamente l'interazione dell'utente con il sistema di VE. In riferimento alla figura 1.9 è possibile notare come il primo punto del diagramma di flusso preveda lo sviluppo di compiti specifici da sottoporre all'utente di test, questi task derivano dall'analisi condotta precedentemte, al punto del modello preso in esame (Analisi del task dell'utente), a questo punto gli utenti iniziano il loro tentativo di portare a termine questi test che vengono loro assegnati. Nel frattempo chi si occupa di valutare il loro operato inizia la raccolta dei dati che vengono successivamente analizzati per trovare quali siano i punti in cui le performance dei tester calano e la relativa causa. I dati sono sia qualitativi che quantitavi, i primi vengono raccolti quando si verificano incidenti critici, questi possono incidere sulla prestazione dell'utente sia in modo positivo sia in modo negativo. Solitamente un incidente critico è un problema riscontrato dall'utente che modifica significativamente lo svolgimento del task. Da questo incidente nascono automaticamente dei dati quantitativi che indicano il tempo perso a causa dell'errore oppure il numero di errori commessi dal tester. Tutti questi dati vengono, infine, comparati a delle linee guida appropriate che stabiliscono un metro di giudizio.

L'ultima parte di questo processo per la valutare un sistema di VE consiste nel confrontare i vari design degli strumenti di valutazione per capire quale si addica meglio al compito da svolgere. Gli utenti utilizzano i diversi strumenti, per ognuno vengono raccolti dei dati quantitativi per essere confrontati al fine di trovare il migliore.

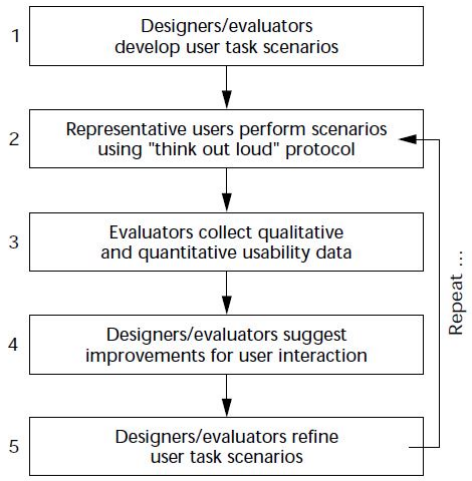

Figura 1.9. Ciclo di valutazione centrata sull'utente

Attraverso studi successivi Gabbard e colleghi hanno scoperto che l'utilizzo di questo schema per la valutazione di un sistema di VE risulta un buon compromesso in termini di costi e risultati, ma allo stesso tempo è anche importante il rapporto che si instaura tra questi passaggi. Ad esempio l'analisi dei task per l'utente è fondamentale per lo studio nell'ambito del design ma allo stesso tempo, è fondamentale per eliminare oppure identificare particolari linee guida da utilizzare nel passo successivo, la valutazione degli esperti. Gli stessi risultati di quest'ultima analisi sono molto utili alla fase seguente perché eliminano molti problemi di usabilità che possono sembrare scontati, allo stesso tempo possono essere utilizzati nelle fasi di valutazione formativa e sommativa come base per lo sviluppo di uno scenario utente. L'uso sequenziale di questi strumenti permette di individuare e correggere problemi in ambito utilizzativo più difficili da riconoscere, infatti la maggior parte degli utenti impiegati per i test non vanno ad analizzare il sistema in profondità ma si limitano a trovare gli errori più visibili e comuni. Questo processo di analisi diventa molto importante per lo sviluppo di un sistema di VE a causa dei costi molto elevati che richiede. Non solo, questo sistema ha la grande particolartià di essere adatto ad ogni tipo di VE a precindere dal software, hardware o altro.

In riferimento alla figura 1.10 è possibile notare le proprietà aggiuntive dei tre tipi di valutazione, le frecce contigue relazionano l'ordine di esecuzione, notando come venga raccomandato di iterare più volte gli stessi passaggi, anche una valutazione più generale è in grado di coprire quasi tutti i tipi di interfacce, tuttavia la valutazione degli esperti non è molto precisa, serve solo a fornire delle indicazioni generiche di quello che può andare storto e non dà indicazioni su come risolverli. Solo dopo, con l'applicazione di una valutazione formativa incentrata sull'usabilità è possibile ottenere risultati più precisi con costi più elevati e allo stesso tempo avere anche dei suggerimenti per la correzione di quello che non va. Infine la valutazione sommativa è quella con il costo maggiore perché sono richieste molte più sezioni da prendere in considerazione rispetto ai passaggi precedenti

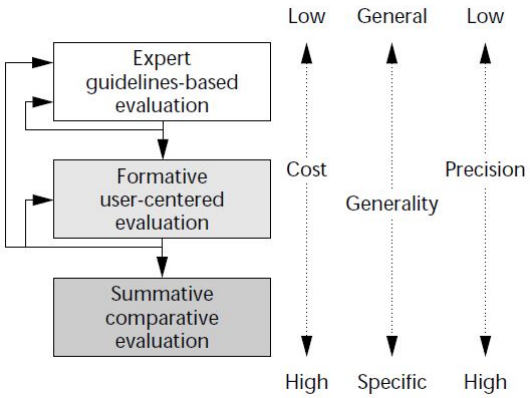

Figura 1.10. Ciclo di valutazione centrata sull'utente

e risponde a domande molto precise, tuttavia il risultato sarà molto accurato. Questo è l'unico metodo che permette di creare un paragone quantitativo tra vari design.

Lo studio pubblicato da Gabbard e colleghi risale alla fine del 1999 quindi l'approccio presentato risulta ancora prevalentemente pragmatico, in quanto gli studi e il conseguente modello di Hassenzahl verranno pubblicati solo qualche anno dopo, solo allora la valutazione della UX inizierà a prendere in considerazione maggiormente gli attributi estetici o edonici.

1.3.4 Ambiente wearable

L'avvento di nuove tecnologie ha portato la diffusione di un nuovo tipo di sistema di HCI, il *wearable*. Questo termine è stato introdotto per la prima volta da Gemperle, Kasabach, Strivoric, Bauer e Martin nel 1998 [5] per indicare l'uso del proprio corpo come sostegno per un determinato prodotto, estendendo la definizione la *dynamic wearability* rappresenta i prodotti indossabili anche quando il corpo è in movimento. Dopo alcuni studi condotti da questi ricercatori è emerso che la comodità, o comfort, deve essere presa in analisi durante la fase di progettazione e sperimentazione. Nel corso degli anni sono stati condotti molti studi per la verifica di questo aspetto in particolare, ma nella maggior parte dei casi, il comfort è stato trattato come una variabile monodimensionale, cioè non in relazione con altri aspetti, cosa che può essere fonte di errore o di imprecisioni. Quando si valuta un aspetto del genere è importante andare ad analizzare ciò che può portare ad una scomodità del prodotto, le cause possono essere diverse: dalla dimensione, al peso, oppure dalla limitatezza dei movimenti. Per questo motivo è opportuno utilizzare un modello di misurazione che prenda in considerazione il comfort usando molteplici dimensioni.

Sviluppo di un modello per misurare il comfort

Per lo sviluppo di un modello utile alla misurazione del comfort di prodotti appartententi al campo del wearable Baber e Knight[6] hanno generato una lista di termini descrittivi

da applicare a questo campo. Per la loro creazione è stato impiegato un brainstorming in tre fasi, nella prima sono state raccolte delle parole usando il termine *wearable* come chiave, nella seconda sono stati generati altri vocaboli partendo da quelli della fase precedente. Infine, tutte le parole trovate sono state distribuite tra i loro colleghi per ottenere una valutazione. I termini indicati non sono riferiti solamente al wearable inteso come dispositivo elettro-meccanico ma in un senso più generale di "inerente all'indossabilità", solo in seguito sono stati scremati i termini di vero interesse. Da questa analisi in più passi sono emersi un totale di 92 elementi, far giudicare ad ogni utente tutti questi parametri singolarmente è stato ritenuto poco utile e scarsamente appropriato. Per questo motivo attraverso uno studio hanno cercato di ridurne il numero e definire un modello generale. Per iniziare il processo di riduzione è stato necessario una divisione in gruppi per i vari termini e per fare questo i ricercatori hanno chiesto aiuto a 8 persone di diversa estrazione sociale e diversi titoli di studio, in modo tale da evitare eventuali pregiudizi comuni causati da una stessa condizione sociale o influenza culturale. Il processo di raggruppamento vero e proprio è stato condotto dando a ciascuno dei partecipante 92 carte, su ognuna era stampata una delle parole, chiedendo di formare delle pile, dove ognuna di queste pile rappresentava un gruppo semantico o di attinenza.

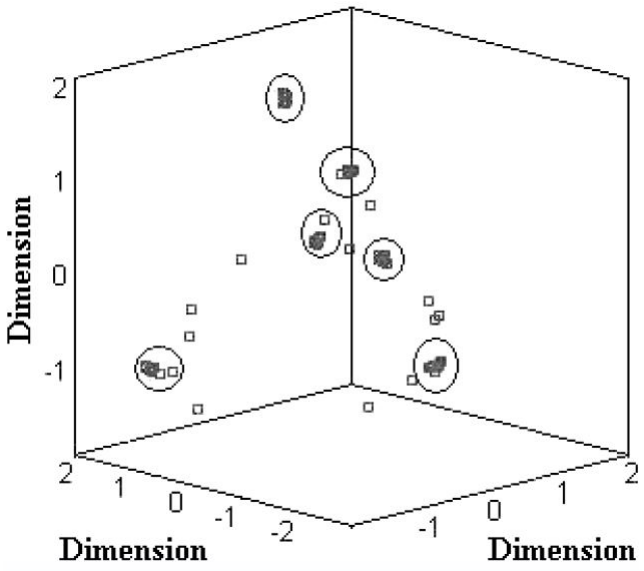

Figura 1.11. Rappresentazione spaziale

Per ottenere una visione d'insieme e di conseguenza riuscire a caratterizzare definitavamente questi descrittori di comfort è stata generata una matrice di similarità contentente il numero in cui ogni descrittore è stato inserito in uno stesso di gruppo di un altro descrittore. Poichè il numero dei partecipanti era di 8, la scala della matrice va da 0 a 8. Attraverso una tecnica chiamata MDS (*multidimensional scaling*) i ricercatori hanno creato una rappresentazione spaziale delle relazioni tra i vari descrittori, il cui risultato può essere visionato nella figura 1.12. Ogni punto rappresenta la posizione di un descrittore

rispetto ad ogni altro, mentre le aree cerchiate rappresentano i gruppi, 6 per esattezza.

Descriptor Groupings					
1	2	3	4	5	6
Annoying	Loose	Bruising	Alignment	Amount	Adaptation
Appearance	Pulling on clothing	Chafing	Awkward	Bumping into	Blood flow
Clowning	Physical sensation	Clamminess	Balance	Counteraction	Blunt hitting
Conscious	Physical work rate	Constricting blood	Change	Impeding activity	Damage
Cool (fashionable)	Pressing	Digging in	Compensation	Impeding movement	Danger
Embarrassing	Pressure	Knocking	Constricting movement	Inhibited movement	Dropping
Intrusive	Pulling on clothing	Pain	Difficult	Jerky	Explosive
Irritating	Slippage	Pins and needles	General fatigue	Muscular fatigue	Fall over
Perception of restricted movement	Swinging	Sharp stabbing	Mental work rate	Obstructing	Flapping
	Touching	Sore	Modified movement	Posture	Friction
Privacy	Velocity	Tickling	Rigid	Restricted movement	Inertia
Relaxation	Vibration	Tight	Slow		Overheating
Tense	Weight	Tingling	Uncoordinated		White coat syndrome
Unrelaxing					Wiring
Worry					Working properly
					Reliability

Tabella 1.12. Divisione in gruppi

Quattro gruppi contengono percezioni fisiche mentre gli altri due psicologiche del comfort. Non tutti i termini sono propriamente adatti al gruppo in cui sono collocati, il vero obiettivo è quello di ottenere una sensazione generale, non deve necessariente essere perfetto, quindi sono accettati descrittori fuori posto. Osservando la figura 1.13 è possibile vedere quali siano le categorie di divisione per i differenti descrittori.

Group	Description
1	Emotions, concerns about appearance and relaxation
2	Physical feel of the device on the body, attachment
3	Physical effect, damage to the body
4	Feeling physically different, upset
5	The device physically affects movement
6	Worry about the device, safety, and reliability

Tabella 1.13. Gruppi di descrittori

Da questo risultato Knight e Baber hanno estratto una vera e propria scala di valutazione per il comfort, per essere precisi ne hanno creata una per ogni gruppo. Queste *Comfort Rating Scales* (CRSs) sono scale da 21 punti, 0 indica il valore minimo, 20 il massimo, il numero è stato scelto abbastanza ampio da poter garantire uno spettro molto ampio di risposte per poter effettuare un'analisi molto precisa sui dati. Gli intervistati hanno il compito di decidere quanto siano d'accordo con le frasi riportate nella sezione "descrizione" della figura 1.14, queste sono state create sulla base dei descrittori presenti in ciascun gruppo.

Title	Description
Emotion	I am worried about how I look when I wear this device. I feel tense or on edge because I am wearing the device.
Attachment	I can feel the device on my body. I can feel the device moving.
Harm	The device is causing me some harm. The device is painful to wear.
Perceived change	Wearing the device makes me feel physically different. I feel strange wearing the device.
Movement	The device affects the way I move. The device inhibits or restricts my movement.
Anxiety	I do not feel secure wearing the device.

Tabella 1.14. Definizioni delle CRSs

1.4 Presenza negli ambienti di VR

Definire la realtà virtuale solo in termini di tecnologie hardware risulta insufficiente, infatti come sostiene Steuer in [7], la VR deve essere concepita come una serie di esperienze che vengono vissute dall'uomo, dall'utente che si trova all'interno di un determinato ambiente virtuale. La domanda risulta evidente: "Quali tipo di esperienza? Cosa definisce questo tipo di esperienza?". Lo stesso Steuer in [7] sostiene che la chiave di lettura della VR sia il concetto di *presenza*. Il concetto di percepire il senso di presenza è da ricondursi alle interazioni tra il mondo esterno i fattori immersivi. In [8] Slater e Steed la definiscono come lo stato mentale in cui l'utente è fisicamente presente nell'ambiente generato dal attraverso il computer.

1.4.1 Gradi di presenza

Prendendo in esame lo studio pubblicato da Witmer e Singer [9], è possibile dire che la presenza nel mondo virtuale è legata allo spostamento di attenzioni dal mondo fisico a quello generato, non necessariamente a livello assoluto. Infatti, l'esperienza umana è suddivisa in gradi di presenza nel mondo reale. Tipicamente l'attenzione è divisa tra il mondo fisico e quello mentale, quest'ultimo composto da ricordi, sogni ad occhi aperti e attività da svolgere; non solo, tipicamente include anche tutte le informazioni assorbite dalla televisione, dai libri oppure da un VE. Sebbene ci sia una determinata soglia di attenzione da dedicare al mondo virtuale per potersi considerare parte di questo determinato ambiente è difficile stabilirne un valore vero e proprio. Ciò che è certo è che più si supera questa determinata soglia maggiore sarà il grado di attenzione e, di conseguenza, il senso di presenza. È importante notare che limitare il senso di presenza soltanto al grado di attenzione è assolutamente riduttivo poichè sono molteplici i fattori da tenere in considerazione, elencati in seguito.

Condizioni necessarie per la presenza

Secondo Fontaine[10] la presenza è da ricondursi al senso di concentrazione, focalizzarsi su qualcosa di determinato. Questo processo di focalizzazione si potrae per tutta la durata del giorno nel corso della vita umana, spostando l'attenzione verso il compito da svolgere in quel determinato momento. Spesso, per i compiti più abituali, non è nemmeno rischiesta l'attenzione ma vengono compiuti con naturalezza, pensando anche ad altro. Quando ciò che si va ad esperire è completamente nuovo le persone tendono ad essere molto più concentrate sul compito da svolgere o sulla situazione che stanno vivendo. Secondo Fontaine [ibidem] quest'elevata attenzione permette un'elevata attenzione dell'ambiente circostante. Lo stesso, in accordo con gli studiosi citati in precedenza, sostiene che un alto livello di concentrazione è necessario per un elevato livello di presenza.

Triesman in [11, 12] propone una visione leggermente diversa del concetto di presenza, parlando di *attenzione selettiva*. Con questo termine si fa riferimento alla tendenza di concentrarsi solamente su ciò che si ritiene importante o interessante per l'individuo, andando ad escludere ciò che non si ritiene rilevante. La visione proposta da Witmer e Singer [9] sostiene l'atto di percepire la presenza negli ambienti di VR come l'abilità di concentrarsi su un determinato set di stimoli andando ad escludere quelli non correlati provenienti dall'ambiente fisico. Eventualmente, è possibile intergrare ciò che proviene dal mondo reale per aumentare la verosimiglianza del mondo virtuale.

Coinvolgimento

Il coinvolgimento o *involvement* è uno stato psicologico che viene percepito come conseguenza della concentrazione su un set coerente di stimoli o attività ed eventi significatimente correlati. Questo dipende dal grado di attenzione che l'individuo lega ai suddetti stimoli, attività ed eventi. In generale, più l'utente è oncentrato, maggiore sarà il grado di coinvolgimento, di conseguenza, maggiore sarà il senso di presenza. Queste sensazioni

possono essere influenzate negativamente da ciò che può accadere intorno all'utente oppure a causa di disagi provocati dagli strumenti della VR (ad esempio il visore scomodo).

Immersione

Il concetto di immersione o *immersion* indica uno stato psicologico caratterizzato dalla percezione, da parte di una persona, di essere incluso in un ambiente che gli fornisce stimoli ed esperienza senza interrompersi. Come con il coinvolgimento, un alto livello di immersione produce un alto livello di presenza. I principali fattori che influenzano l'immersione sono l'isolamento dal mondo fisico, la sensazione di essere parte integrante del mondo virtuale e i modi naturali di interazione. Tipicamente un HMD garantisce un elevato grado di immersione, andando ad isolare l'utente dal mondo fisico, questo non viene meno utilizzando strumenti che permettono di avere una visione di entrambi i mondi. Nel momento che l'utilizzatore distoglie lo sguardo dagli schermi o da ciò che proietta il mondo virtuale viene immediatamente meno il senso di immersione, nonostante il coinvolgimento possa restare inalterato. Quando l'interazione viene condotta nel modo più simile possibile alla realtà il grado di immersione aumenta, poichè l'utente interagisce in modo naturale con gli elementi del mondo virtuale.

Presenza

La combinazione di coinvolgimento e immersione dà luogo alla presenza. Molte persone possono provare alti livelli di coinvolgimento non solo con la VR ma anche attraverso i media, ad esempio la televisione perché questo dipende dalla percezione di un flusso di stimoli costante. Lo stesso discorso appena fatto non è applicabile al concetto di immersione, infatti questa è percepibile principalmente attraverso un sistema di VR, sebbene possono esistere dei casi in cui ci siano forti identificazioni con determinati personaggi presente in libri, film ecc. Misurare la presenza richiede che vengano presi in considerazione sia fattori che riguardano l'immersione sia fattori che riguardano il coinvolgimento. Nonostante i fattori possono essere differenti, immersione e coinvolgimenti sono dipendenti tra loro, infatti l'aumento di uno può portare all'aumento dell'altro, così come la loro diminuzione.

1.4.2 Fattori che contribuiscono alla presenza

Riprendendo lo studio riportato in [13] Witmer e Singer in [9] suddividono i fattori che contribuiscono alla presenza in quattro macrocategorie: *control factors*, *sensory factors*, *distracion factors* e *realism factors*.

Control factors

- *Grado di controllo*: in generale, più l'utente è in grado di controllare l'ambiente circostante, maggiore sarà il senso di presenza percepito.
- *Immediatezza di controllo*: le azioni compiute dagli utenti dovrebbero avere conseguenze nel mondo virtuale nel più breve tempo possibile . Ritardi eccessivi rischiano di diminuire il senso di presenza.

- *Anticipazione*: il senso di presenza potrebbe essere amplificato da chi interagisce con il sistema se può essere in grado di capirne in anticipo la risposta.
- *Tipo di controllo*: è possibile notare un aumento del senso di presenza in base a come si interagisce con il sistema, più questi risultano naturali meglio sarà la risposta degli utenti.
- *Possibilità di modificare l'ambiente*: Più un utente è in grado di interagire con l'ambiente circostante, ad esempio aprire porte, spostare oggetti, maggiore sarà la presenza percepita.

Sensory factors

- *Modalità sensoriali*: tipicamente la maggior parte delle informazioni arrivano all'utente tramite i canali visivi, presentare informazioni anche mediante altri sensi contribuisce ad un aumento di presenza.
- *Ricchezza ambientale*: il senso di presenza aumenta quando l'ambiente virtuale è ricco di dettagli perché l'utente è molto più stimolato.
- *Presentazione multimodale*: coinvolgere tutti i sensi umani migliora il senso di presenza, ad esempio implementare la camminata con sistemi cinetici che percepiscono i passi dell'utente.
- *Percezione del senso di movimento*: il senso di presenza viene amplificato se l'utente è in grado di percepire il proprio movimento all'interno dell'ambiente, ad esempio con il movimento relativo di tutto ciò che lo circonda.
- *Ricerca attiva*: l'ambiente dovrebbe aumentare il senso di presenza permettendo all'utente di relazionarci i propri sensi, ad esempio muovere la testa in direzione di eventuali suoni e percepire, quindi, l'audio in 3D.

Distraction factors

- *Isolamento*: gli strumenti che possono isolare l'utente dal mondo fisico, ad esempio un HMD, possono aumentare il senso di presenza.
- *Attenzione selettiva*: la capacità da parte di un utente di concentrarsi solo su determinati stimoli, ignorando tutto il resto, permette di aumentare il senso di presenza percepita.
- *Consapevolezza dell'interfaccia*: ridurre al minimo le interfacce per non intaccare il senso di presenza.

Realism factors

- *Realismo della scena*: la presenza dovrebbe aumentare al crescere del realismo della scena (inteso come texture, risoluzione, FOV ecc.), non richiede contenuti del mondo reale ma si riferisce alla contuinuità di stimoli ricevuti dall'utente.

- *Coerenza delle informazioni con il mondo reale*: più le informazioni del mondo reale sono coerenti con quello virtuale maggiore sarà il senso di presenza.

- *Significato dell'esperienza*: la presenza dovrebbe incrementare quando la situazione esperita diventa più significativa per l'utente. L'aggettivo significativo è da considerarsi correlato ad altri fattori, ad esempio la voglia di imparare, rilevanza del task oppure esperienze precedenti.

- *Ansia o disorientamento da separazione*: quando un utente ritorna dal mondo virtuale a quello reale, può correre il rischio di sentirsi disorientato o in stato di ansia. Questi stati sono tanto maggiori tanto quanto è stato il senso di presenza provato all'interno del mondo virtuale.

1.4.3 Misurare la presenza

Durante il corso degli anni sono stati sviluppati diversi tipi di questionari volti allo studio della presenza negli ambienti virtuali, nel 1992 Witmer e Stinger proposero il *Presence Questionnaire* (PQ) e l'*Immersive Tendencies Questionnaire* (ITQ). L'ITQ è stato sviluppato con lo scopo di misurare la tendenza degli individui ad immergersi o ad essere coinvolti, mentre il PQ serve a stimare il grado con cui un individuo percepisce la presenza nel mondo virtuale e l'influenza dei fattori descritti in precedenza per misurare l'intensità dell'esperienza. Molte della domande poste le PQ derivano direttamente dai fattori descritti in precedenza, lo stesso discorso non è applicabile all'ITQ; entrambi i questionari si basano solo su dati soggettivi raccolti dai singoli individui intervistati. Per entrambi i questionari le domande hanno un range di 7 punti, ognuna di queste presenta agli estremi due affermazioni in opposizione tra loro, in aggiunta, nel mezzo, è presente un'affermazione mediale tra le due precedenti.

In [14] viene riportato un altro tipo di questionario per lo studio della presenza, chiamato *Reality Judgement and Presence Questionnaire* (RJPQ). Lo scopo di questo questionario è quello di andare a valutare non solo il senso di presenza all'interno di un mondo virtuale ma anche un giudizio sulla realtà vera e propria. Il risultato finale conta ben 77 domande le cui risposte spaziano da 0 (assolutamente no) a 10 (assolutamente s) andando ad analizzare i seguenti aspetti: giudizio sulla realtà, presenza, coinvolgimento emotivo, interazione, controllo, attenzione, realismo e, infine, aspettative.

1.5 Navigazione negli ambienti di VR

In[15] la navigazione viene definita come l'unione di *wayfinding*, cioè il processo cognitivo che permette di scegliere quale strada percorrere, e *travel*, ossia il vero e proprio movimento dalla posizione attuale a quella successiva. In [16] identifica e divide la navigazione in tre categorie: *exploration*, quando l'utente esplora l'ambiente senza un vero obiettivo; *search*, in cui il task consiste nello spostarsi da un determinato punto ad un altro; *manuevering*, le cui caratteristiche principali consistono nel spostare il punto di vista in modo tale da raggiungere un particolare luogo al fine di compiere un task di precisione. Per muoversi

all'interno di un ambiente virtuale, quindi mettere in pratica il concetto di *travel*, esistono cinque tecniche principali:

- *Physical movement*: spostamento nell'ambiente attraverso i movimenti del proprio corpo.
- *Manual viewpoint manipulation*: utilizzo delle mani per gli spostamenti.
- *Steering*: determinazione continua della direzione del movimento, ad esempio attraverso la direzione di vista dell'utente.
- *Target-based travel*: l'utente specifica la destinazione e il sistema gestisce il vero e proprio movimento.
- *Route planning*: l'utente specifica il percorso da percorrere e il sistema ne gestisce il movimento

In contrapposizione, come detto in precedenza, il *wayfinding* rappresenta il processo che permette all'utente di acquisire le informazioni provenienti dall'ambiente circostante per costruire una mappa cognitiva dell'ambiente.

In un task in cui è importante comprendere lo spazio in cui si lavora, è preferibile utilizzare un sistema di navigazione basato sul puntare la direzione in cui si vuole procedere[15], per questo motivo sia il VIVE che il CAVE permettono di muoversi all'interno dell'ambiente utilizzando i rispettivi telecomandi, semplicemente allungando il braccio nella direzione desiderata.

1.6 Usabilità

L'usabilità (*Usability*) è una delle caratteristiche principali da tenere in considerazione durante lo sviluppo di un qualsiasi dispositivo di VR. Può essere definita come la facilità di apprendere e utilizzare un determinato sistema di VR, comprendendo anche caratteristiche quantificabili come i tempi, la velocità e la precisione nel risolvere determinati task [17, 18]. Oltre al vero e proprio concetto di usabilità vengono introdotti in [19] altri termini per ampliare il concetto di *usability*: *usability evaluation* indica il processo di valutazione di un dispositivo, un'applicazione, un sistema di interazione in termini di usabilità; *usability engineering* rappresenta l'intero spettro delle attività di sviluppo dell'interazione utente.

1.6.1 Problemi nella valutazione della usabilità

Lo studio dell'usabilità per i sistemi di VR è caratterizzato da una serie di problemi che si possno presentare, si suddivono in tre quattro categorie principali:

- *physical environment*: la più grande differenza di interazione tra un sistema di VR e una qualunque GUI è il modo in cui questa avviene. In quasi tutti i sistemi di VR l'utente è in piedi e interagisce con tutto il corpo, sottoponendolo ad una fatica non solo mentale ma anche fisica. Nei casi in cui il visore non è di tipo *see-through*

è compito di colui o colore che eseguono la valutazione di accertarsi che l'utente non colpisca eventuali muri o inciampi nei cavi presenti nella stanza; allo stesso tempo i muri dei CAVE possono generare rischi di collosioni nel momento in cui l'utente, vedendo proiettati su di essi immagini di ambienti virtuali, non si accorge di quale sia la distanza effetiva dei muri, rischiando di scontrarcisi. Nei casi in cui il task da svolgere richieda all'utente comandi vocali viene meno la possibilità di utilizzare il protocollo *think-aloud*, in cui vengono descritti dall'utente i passaggi che sta svolgendo.

- *evaluator issues*: Il senso di presenza può essere interrotto dall'interazione con il valutatore, sia a livello visivo che uditivo. Per poter percepire le espressione facciali dell'utente, il valutatore è costretto a inserirsi nel suo FOV, riducendone il senso di presenza, stessa cosa quando i due soggetti interagiscono tra loro parlando o toccandosi. Questo problema ha molta rilevanza nel momento in cui lo studio mira a valutare il senso di presenza percepito. Per ridurre al minimo le interferenze, o meglio, impedire che queste si verifichino il software deve essere il più stabile possibile e senza bug, in modo da evitare interruzioni a causa di malfunzionamenti, allo stesso tempo le istruzioni fornite devono essere il più dettagliate possibile e devono essere fornite prima di iniziare il task, per lo stesso motivo appena descritto.

- *user issues*: un grande numero di problemi legati alla valutazione dell'usabilità sono collegati agli utenti, solitamente causati dalla popolazione[3] scelta per i test. Gli utenti rischiano di essere soggetti a cybersickness o altri disturbi legati all'interazione con la VR, per questo motivo è utile prevedere pause soprattutto nel caso in cui la lunghezza dei test possa risultare elevata.

- *issues related to type of usability evaluation*: in questa sezione sono presenti i problemi relativi al tipo di valutazione usata per lo studio della usabilità, ad esempio l'utilizzo di una valutazione basata su delle euristiche, eseguita da esperti del settore può essere molto complessa, a causa di una mancanza di modelli verificati.

1.6.2 Metodi per la valutazione dell'usabilità

Nel corso degli ultimi anni sono stati condotti diversi studi per valutare l'usabilità nel campo della VR, di conseguenza sono stati impiegati diversi metodi, la maggior parte sono un'estensione di quelli usati per applicazioni 2D o per valutare dell GUI.

- *Cognitive Walkthrough*: con questa strategia lo studio viene eseguito attraverso semplici task che l'utente deve risolvere. Questo approccio è comunemente usato per valutare l'usabilità di un sistema per la prima volta o per utenti con poca esperienza.

- *Formative Evaluation*: valutazione empirica che consiste nel far svolgere agli utenti determinati task per identificare problemi di usabilità e, allo stesso tempo, verificare i tempi di apprendimento e le performance generali.

[3]Intesa come differenza di sesso, età, estrazione sociale, ecc.

- *Heuristic or Guidelines-Based Expert Evaluation*: la valutazione dell'usabilità è affidata a degli esperti, i quali, separatamente, valutano il sistema applicando delle determinate euristiche e determinati parametri di valutazione.

- *Post-hoc Questionnaire*: l'utilizzo di una serie di domande permette di ottenere le risposte degli utenti dopo che questi si sono sottoposti ad un test di usabilità. Molto utile per ottenere dati di tipo soggettivo e molto più facili delle interviste.

- *Interview/Demo*: tecnica di raccolta di informazioi basata sul parlare direttamente con l'utente una volta completato il test, molto utili per raccogliere opinioni e reazioni.

- *Summative or Comparative Evaluation*: comparazione statistica tra due o più sistemi, basato sulla *formative evaluation.*

1.6.3 Scale di valutazione per l'usabilità

Lo studio dell'usabilità nel campo della VR, o in generale, nel campo della UX viene effettuato utilizzando diverse scale create nel corso del tempo da diversi ricercatori. Ciascuna di esse ha particolari proprietà ed ognuna si adatta a particolari tipi di situazioni da analizzare. Il SUMI [20] (Software Usability Measurement Inventory) è questionario composto da 50 domande atte ad analizzare la percezione dell'utente in merito di efficienza, emozioni, utilità, controllo e capacità di apprendimento del sistema in esame. Il questionario è altamente affidabile ed è disponibile in 12 lingue, per poterlo utilizzare occorre comprare una licenza, il cui costo si aggira intorno ai 700$. Un altro questionario molto utilizzato per la valutazione dell'usabilità è il PSSUQ (Post-Study Usability Questionnaire), sviluppato dalla IBM[21], composto da 16 domande che hanno il compito di misurare la soddisfazione dell'utente durante l'utilizzo del prodotto o del sistema. Il risultato finale si ottiene andando a calcolare i punteggi medi delle 3 sottoscale presenti, queste sono rivolte a valutare la qualità del sistema, dei feedback e dell'interfaccia. Il PSSUQ è considerato molto affidabile ed è totalmente gratuito (Figura 1.15).

Un'altra scala di valutazione per l'usabilità che viene utilizzata è quella che prende il nome di SUS (System Usability Scale)[22], sviluppato da John Brooke. Il questionario è composto da 10 domande, il risultato finale viene calcolato andando a normalizzare il punteggio ottenuto dalla somma di tutti i punteggi delle domande, in modo tale da ottenere un range da 0 a 100 (Figura 1.16).

Un'altra scala largamente utilizzata è quella di Nielsen, pubblicata nel 1994 da Jakob Nielsen all'interno del libro "Usability Engineering" [23]. Questa scala si compone di cinque domande composte da singole parole alle quali l'utente deve rispondere con un valore numerico che va da 1 a 5. Il valore minimo indica alta complessità, mentre il valore massimo ne indica un'estrema facilità. Nielsen valuta la capacità di imparare ad usare il sistema (*Learnability*), l'efficacia dell'uso del sistema (*Efficiency*), la facilità di ricordarsi il suo funzionamento dopo un periodo di inutilizzo (*Memorability*), la precisione percepita (*Accuracy*) e, infine, il senso di soddisfazione generale (*Overall Satisfaction*).

	The Post-Study Usability Questionnaire Version 3	Strongly agree							Strongly disagree	NA
			1	2	3	4	5	6	7	
1	Overall, I am satisfied with how easy it is to use this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
2	It was simple to use this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
3	I was able to complete the tasks and scenarios quickly using this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
4	I felt comfortable using this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
5	It was easy to learn to use this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
6	I believe I could become productive quickly using this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
7	The system gave error messages that clearly told me how to fix problems.		O	O	O	O	O	O	O	O
8	Whenever I made a mistake using the system, I could recover easily and quickly.		O	O	O	O	O	O	O	O
9	The information (such as online help, on-screen messages and other documentation) provided with this system was clear.		O	O	O	O	O	O	O	O
10	It was easy to find the information I needed.		O	O	O	O	O	O	O	O
11	The information was effective in helping me complete the tasks and scenarios.		O	O	O	O	O	O	O	O
12	The organization of information on the system screens was clear.		O	O	O	O	O	O	O	O
13	The interface* of this system was pleasant.		O	O	O	O	O	O	O	O
14	I liked using the interface of this system.		O	O	O	O	O	O	O	O
15	This system has all the functions and capabilities I expect it to have.		O	O	O	O	O	O	O	O
16	Overall, I am satisfied with this system.		O	O	O	O	O	O	O	O

**The "interface" includes those items that you use to interact with the system. For example, some components of the interface are the keyboard, the mouse, the microphone, and the screens (including their graphics and language).*

Tabella 1.15. Questionario PSSUQ

1.7 Manipolazione

Manipolare un ambiente virtuale è la possibilità di poter interagire con gli oggetti circostanti, modificandone, ad esempio, la forma o la posizione. Si articola in due fasi: quella di selezione e quella di azione vera e propria. Talvolta queste due operazioni vengono eseguite simultaneamente, la selezione dà inizio alla fase di manipolazione. [24] L'interazione può essere realistica, l'utente tratta l'oggetto virtuale come se fosse reale, oppure può non essere analoga al mondo fisico.

Quando si parla di manipolazione di un oggetto è opportuno identificarne tre parametri: cambiamento di posizione, di orientamento e il suo centro di rotazione.

- *Cambiamento di posizione e orientamento*: lo spostamento e/o la rotazione di un oggetto può essere effettuata in tre modi: *hand specified*, *physical controls* e *virtual control*. La prima è considerata la metafora più intuitiva e consente all'utente di spostare o ruotare un oggetto selezionandolo (tipicamente premendo un bottone o con una gesture di presa) e di muoverlo nel mondo virtuale allo stesso modo di

	The System Usability Scale Standard Version		Strongly disagree				Strongly agree
			1	2	3	4	5
1	I think that I would like to use this system.		○	○	○	○	○
2	I found the system unnecessarily complex.		○	○	○	○	○
3	I thought the system was easy to use.		○	○	○	○	○
4	I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.		○	○	○	○	○
5	I found the various functions in the system were well integrated.		○	○	○	○	○
6	I thought there was too much inconsistency in this system.		○	○	○	○	○
7	I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.		○	○	○	○	○
8	I found the system very cumbersome to use.		○	○	○	○	○
9	I felt very confident using the system.		○	○	○	○	○
10	I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.		○	○	○	○	○

Tabella 1.16. Questionario SUS

quello reale. Il controllo fisico permette di cambiare posizione e rotazione attraverso l'utilizzo di joystick o altri dispositivi esterni di input, indipendemente da quale sia la precisione di questi strumenti sarà sempre presente una mancanza di mapping naturale con una conseguente difficoltà nel posizionare gli oggetti in determinate locazioni e/o angolazioni. Infine il controllo virtuale permette di posizionare oggetti virtuali attraverso toolbox virtuali, allo stesso tempo questi oggetti possono essere manipolati interagendo con altri elementi virtuali.

- *Centro di rotazione*: il centro di rotazione è il punto fondamentale da tenere in considerazione nel momento in cui si effettua una manipolazione di un oggetto. La configurazione più comune che si trova è quella in cui uno o più oggetti ruotano avendo come pivot la mano dell'utente, tuttavia in alcuni casi è preferibile avere un centro remoto, per permettere a chi effettua la manipolazione di posizionarsi ad una maggiore distanza in modo tale da avere una prospettiva migliore del compito che deve essere eseguito[25]

1.7.1 Proprietà della manipolazione

Qualsiasi sia il metodo con la quale la manipolazione viene effettuata sono associate ad essa una serie di proprietà:

- *Feedback*: la generazione di un feedback tipicamente non è necessaria quando si usano dispostivi fisici perchè l'utente può sentire quando smette di premere un bottone o

di quanto ha spostato il joystick, mentre è più complesso nelle altre configurazioni. Per ovviare a questo problema è consigliabile utilizzare dei feedback visivi o aptici.

- *Ratcheting*: indica un processo che consiste nel ripetere un determinato input per creare un effetto globale generato dalla somma di tutte le ripetizioni.

- *Constraints*: la completa libertà di azione all'interno del mondo virtuale genera una maggiore difficoltà nello svolgimento dei task. Per questo motivo è oppurtuno inserire del vincoli sulla manipolazione per facilitare l'utente nel completamento di determinati compiti.

- *Distance*: la distanza influenza la possibilità dell'utente di manipolare o meno un oggetto in base alla lontanza da esso.

- *Pointer beam scope*: la forma del raggio uscente dall'estremità del puntatore assume due forme principali: *laserbeam* oppure *spotlight*. Nel primo caso il raggio è estremamente sottile e dritto. Nonostante sia più complessa la selezione di oggetti lontani viene usato nella maggior parte dei casi grazie alla sua semplicità di implementazione. Lo *spotlight*, invece, è un raggio a forma di cono che si allarga mano a mano che si distanzia, questo permette di selezionare più facilmente oggetti in lontanza, ma come si è detto in precedenza, la semplicità di implementazione favorisce la diffusione dell'altra soluzione. Entrambe le soluzioni hanno la possibilità di lavorare con raggi infiniti oppure a lunghezza predeterminata.

- *Hysteresis*: per compensare eventuali tremolii delle mani o un tracking instabile è possibile inserire un ritardo che mantiene l'oggetto selezionato qualche istante dopo la sua deselezione, in modo tale da poter attivare lo stesso eventuali azioni.

- *Frame of reference*: indica il punto di vista attraverso il quale viene osservato il mondo virtuale. Il FoR influenza le nostre relazioni con il mondo virtuale in termini di percezione, manipolazione e spostamenti. Nel primo caso è importante descrivere quale sia il punto di vista dell'utente, il FoR può essere mobile, quindi che si sposta mentre ci si muove nello spazio, oppure statico. Anche la manipolazione è influenzata dal frame di riferimento, per poter effettuare rotazioni o traslazioni è necessario definire un *sistema di coordinate* e un conseguente origine del sistema, si è soliti usare il sistema di riferimento cartesiano. Ogni entità presente nel mondo virtuale dispone di un proprio sistema di riferimento (SdR) e, conseguentemente, un proprio frame di riferimento. È molto probabile che un utente all'interno del mondo virtuale sia formato da più di un SdR, uno per ogni parte del corpo che viene tracciata, non solo ma anche ogni manipolazione che viene effettuata deve essere espressa in relazione a questi sistemi di coordinate. Gli assi di riferimento assumono nomi diversi in base alla trasformazione che deve essere eseguita. Gli assi di traslazione identificano uno spostamento lungo l'asse principale che prende il nome di longitudinale, mentre gli assi di rotazione identificano un movimento rotazionale.

- *Bimanual interface*: le interfacce a due mani non sono particolamente diffuse nell'ambito della VR, sia per motivi storici legati all'utilizzo di un solo dispositivo di

input (es mouse) sia per motivi di riduzione dei costi. spesso un secondo tracker è visto come un extra facilmente eliminabile. Nella maggior parte dei casi in cui le interfacce bimanuali vengono utilizzate si preferisce un design asimmetrico in modo tale che le due mani svolgano compiti differenti.

- *Control location*: indica il posizionamento dei controlli per la manipolazione degli oggetti nell'ambiente virtuale. Alcuni controlli possono comparire solo duranti particolari passaggi del task, oppure possono apparire solo in determinati ambienti del mondo virtuale mentre altri possono essere sempre disponibili o almeno invocabili in ogni momento.

- *Control visibility*: Un'applicazione di VR può essere stata programmata per avere una serie di funzioni disponibili per l'utente. Mostrarle tutte simultaneamente può riempire in modo fastidioso l'interfaccia utente, per questo motivo è opportuno renderle invisibili ma permettere all'utente di richiamarle in ogni momento in cui queste sono necessarie, utilizzando comandi vocali, particolari gesti o simili; allo stesso tempo è importante lasciare sempre in vista qualche piccolo marcatore per impedire che l'utente dimentichi l'esistenza di determinate funzioni.

- *Movement formula*: per esprimere il movimento nello spazio si può utilizzare una formula in funzione del tempo. La forma generale presenta diversi termini di input, ognuno moltiplicato per un fattore moltiplicativo che prende il nome di *gain*. Ogni gain viene moltiplicato per il tempo elevato ad un determinato esponente, zero per il movimento, uno per la velocità e due per l'accelerazione. Nel caso del movimento in una applicazione di VR il coefficiente di tutti i termini sarà zero, tranne un gain e un esponente del tempo, la velocità.

$$pos_{new} = gain_{velocity} * time^1 + pos_{old} \tag{1.1}$$

Le proprietà appena elencate influenzano la percezione dell'utente quando si relaziona con il mondo virtuale. Nell'ambito della VR il modo in cui si manipola un oggetto non è detto che sia per forza uguale a come lo si fa nel mondo reale, per questo motivo si ha molta più liberta di azione ma allo stesso tempo è bene tenere presente, soprattutto in fase di progettazione, quali siano le proprietà più utili e più adatte sia per il task da svolgere sia per il pubblico a cui l'applicazione è rivolta.[24].

Capitolo 2

Tecnologie per la realtà virtuale

Lo sviluppo della VR ha portato una serie di nuove tecnologie che possono essere utilizzate per lavorare o semplicemente interagire con questi mondi virtuali, attraverso proiettori, interfacce desktop, occhiali, ecc. In questo capitolo vengono trattate le principali tecnologie che vengono impiegate nel campo della realtà virtuale, andandole a suddividere per categorie, elencando pregi e difetti di ognuno.

2.1 Dispositivi per gli ambienti immersivi

2.1.1 HMD

Considerato lo strumento per la VR per eccellenza [26], in questa configurazione l'utente indossa un casco che o un semplice paio di occhiali, con una conseguente diversità nei tipi di display utilizzati. Le immagini proiettate tipicamente sono stereoscopiche, ma non necessariamente. Attraverso l'uso di questa tecnologia, gli occhi dell'utilizzatore sono totalmente coperti impedendo sia visione del mondo reale[1], sia delle proprie mani, spesso identificate nel mondo virtuale con una loro rappresentazione[28]. La maggior parte dei visori è in grado di garantire un FOV che varia dai 170° ai 210°.

HTC Vive

Sviluppato e prodotto dall'HTC in collaborazione con la Valve Corporation, annunciato tra il 2014 e il 2015, è stato messo definitavamente in commercio il 5 Aprile 2016 [29], al momento è possibile acquistarlo tramite la piattaforma Steam o attraverso il sito dedicato. Il visore (Figura 2.1) è costituito da uno schermo OLED con una risoluzione di 2160x1200 e con una frequenza di aggiornamento di 90Hz, garantendo un angolo di visione pari a 110°. All'interno del visore sono installati un accelerometro, un giroscopio ed una videocamera, inoltre vengono forniti anche due rilevatori laser da posizionare all'interno della stanza in cui si intende usare lo strumento. Per il collegamento al pc è necessario collegarsi ad una

[1] In alcuni casi attaverso hardware aggiuntivi i dispositivi HMD hanno aggiunto la possibilitá di lavorare anche in ambienti di AR [27]

porta USB ed ad una HDMI. Sono, inoltre, disponibili API per l'integrazione del VIVE con qualsiasi applicazione[2]. [30]

Pro: alta immersività, possibilità di interazione con tutto il corpo grazie ai sensori laser esterni, camera frontale per poter vedere anche il mondo circostante, interfaccia intuitiva.

Contro: Costo leggermente più alto rispetto ai diretti concorrenti (Circa 900€), cavi ingombranti, pesante per collo e testa[31].

Figura 2.1. HTC VIVE

Oculus Rift

L'Oculus Rift (Figura 2.2) è stato sviluppato dalla Oculus VR, acquistata da Facebook nel Marzo del 2014, è stato rilasciato all'inizio del 2016. Per funzionare deve essere collegato ad un pc abbastanza perfomante, a livello tecnico non differisce particolamente dal VIVE, infatti anche l'OR è dotato di uno schermo OLED a bassa persistenza con una risoluzione di 2160x1200, in modo tale che ogni occhio abbia a disposizione una risoluzione di 1080x1020. Il refresh rate è di 90Hz e l'angolo di visione è di 110°. Al suo interno sono installati un accelerometro, un giroscopio, un magnetometro e un tracking posizionale a 360°. Il visore è dotato di un microfono e di un sistema di Audio 3D integrato. La posizione viene rilevata attraverso un sensore ad infrarossi collegato ad una USB, posizionabile liberamente nella stanza, in modo tale da poter rilevare i movimenti dell'utente. Oltre al visore viene fornita anche una coppia di controller che prende il nome di *Oculus Touch* , questi due dispositivi di interazione sono formati da una levetta analogica, due tasti ed un trigger analogico, infine è presente anche un sistema di input che prende il nome di "hand trigger"[32]. Sono disponibili le API[3] per la programmazione.

Pro: Molto luminoso, distanza delle lenti regolabili, bel design, facile da prepare per l'uso.

[2]https://www.htcdev.com/devcenter/opensense-sdk/htc-vive-steamvr-sdk

[3]https://developer.oculus.com/

Contro: Prezzo abbastanza alto (Circa 600€), molto ingombrante, difficile da regolare per adattarlo alla propria testa, controller non comparabili ai concorrenti, richiede pc molto potenti[33]

Figura 2.2. Oculus Rift

Playstation VR

Sviluppato dalla casa di produzione Sony, a differenza dei due precedenti visori, è stato sviluppato per essere compatibile con la PS4, di conseguenza punta ad un target di utenti differente. Monta uno schermo da 5,7 pollici, con una risoluzione Full HD di 1920x1080 (960x1080 per occhio), la frequenza di aggiornamento oscilla tra i 90Hz e i 120 mentre la latenza massima dichiarata è di 18 millisecondi, tale da non indurre nausea e giramenti di testa, offre un campo visivo di 100° mentre il collegamento viene gestito sempre tramite HDMI e USB. Per rilevare i movimenti sono installati all'interno del visore un accelerometro, un giroscopio e 9 LED per un tracking a 360°. Per collegare il visore alla PS4 è necessario l'utilizzo di un elaboratore esterno da tenere vicino alla console in grado di processare l'audio 3D e gestire una funzione che permette anche a chi non usa il visore di poter visualizzare le immagini sul televisore. È presente inoltre un'altra modalità, la Cinematic Mode, che permette di simulare la visione di uno schermo all'interno di un ambiente virtuale. Il Playstation VR (Figura 2.3) è stato lanciato sul mercato il 13 Ottobre 2016, ad un prezzo molto più aggressivo rispetto agli altri due, intorno ai 400€, richiede però anche la Playstation Camera ed eventualmente anche il controller Move, per una spesa complessiva di 500€[34].

Pro: Relativamente conveniente, bel design, qualità vicina a quella del pc, alta immersività, confortevole anche con gli occhiali da vista, alto supporto per gli sviluppatori.

Contro: Non fornito con tutto l'occorrente, non potente come Vive e Oculus, media qualità dei materiali, sistema di tracciamento a volte non perfetto. [35]

Figura 2.3. Playstation VR

Google Cardboard

Il Google Carboard (Figura 2.4) è la prima piattaforma di realtà virtuale sviluppata da Google, per portare la VR anche ai possessori di smartphone. Dal punto di vista tecnico, la versione più semplice e conveniente è costuita da cartone assemblato a cui si aggiungono un magnete che ha la funzione di tasto per interagire con l'ambiente virtuale, due pezzi di velcro per chiudere l'alloggiamento del proprio smartphone e infine due lenti di 45mm di lunghezza focale. La prima versione del Cardboard era in grado di supportare telefoni di dimensione non superiore a 5.7 pollici, nel 2015 è stato ampliato fino a 6. Sono disponibili API per la programmazione di applicazioni VR compatibili con il Cardboard[4]. In seguito al grande successo di questo visore Google ha deciso di immettere sul mercato il nuovo modello che prende il nome di Daydream[36].

Pro: Basso costo, facile da montare e facilmente reperibile in commercio.

Contro: Pochi contenuti e App non all'altezza, disturbi sensoriali e limitato numero di telefoni compatibili[37].

Samsung Gear VR

Sviluppato dalla Samsung Electronics in collaborazione con la Oculus e prodotto dalla prima. È stato lanciato sul mercato il 27 Novembre del 2015 e, ad oggi sono state già spediti più di 5 milioni di visori[5]. Per funzionare ha bisogno di un telefono che ha lo scopo di fare da schermo, questo deve essere collegato ad una micro USB presente dentro il Gear per poter essere in grado di tracciare le rotazioni dell'utente. Il visore (Figura

[4]https://developers.google.com/vr/

[5]http://www.smartworld.it/wearable/samsung-gear-vr-5-milioni.html

Figura 2.4. Google Cardboard

2.5)è in grado di fornire un visione di campo di 96°. Come per tutti i visori precedenti anche il modello della Samsung fornisce le API per poter integrare il Gear con le proprie applicazioni[6][38].

Pro: Facile la navigazione, confortevole anche con gli occhiali da vista, a basso costo.

Contro: Pochi telefoni compatibili, effetto screen door visibile, manca il tracciamento della posizione[39].

Figura 2.5. Samsung Gear VR

OSVR

Chiamato anche Open Source Virtual Reality (Figura 2.6) è un software sviluppato dalla Razer e dalla Sensics con lo scopo di creare un visore Open Source sia dal punto di vista software che da un punto di vista hardware, anche se per ora non sono ancora stati resi

[6]https://resources.samsungdevelopers.com/Gear_VR

disponibili i componenti elettrici e i file sorgente del firmware. La parte HW consiste di un occhiale di realtà virtuale chiamato *Hacker Development Kit* composto da uno schermo OLED di risoluzione 1200x1080 per occhio, permette di tracciare la posizione della testa attraverso 6DOF, tre rotazionali, tre posizionali. Per funzionare ha bisogno di collegarsi a 2 porte USB, una HDMI e ad un'uscita audio per il sonoro. Il software open source permette agli sviluppatori di integrare il visore con tantissimi sistemi operativi e con tante applicazioni diverse e le API sono già disponibili[7][40].

Pro: poco costoso, open source.

Contro: risoluzione e refresh rate non paragonabili ai concorrenti, poche applicazioni, ancora in fase iniziale di sviluppo, data di uscita ufficiale mancante[41].

Figura 2.6. OSVR

FOVE

Fove (Figura 2.7) è il primo visore per la VR che implementa il tracciamento oculare ed è stato ideato da una startup giapponese. Al momento non è ancora stata stabilita una data di uscita sul mercato ma è già possibile preordinare il visore al prezzo di 599$ direttamente sul sito dei produttori[8]. Il visore monta un display capace di avere una risoluzione di 2560x1440, più alto rispetto agli altri concorrenti, un campo visivo di 100° e 6DOF e un frame rate di 70fps per il display, 120fps per il sensore oculare[42]. La grande innovazione che porta questo visore è il tracciamento oculare, che garantisce una maggiore immersività, ad esempio è possibile selezionare elementi nel menù semplicemente con lo sguardo o interagire con i personaggi dei videogiochi guardandoli direttamente negli occhi. FOVE è stato pensato non solo per il campo videoludico ma anche per il campo medico,

[7] http://developer.osvr.org/

[8] https://www.getfove.com/

ad esempio per simulare un intervento chirurgico, selezionando gli strumenti necessari solo con lo sguardo. Sono disponibili API per la programmazione[9][43].

Pro: assenza di nausea, accurato il tracciamento oculare, ottimo potenziale, costo interessante, SDK interfacciabile con i principali Game Engines.

Contro: scomodo da indossare, mancanza di applicazioni specifiche per il tracciamento oculare.

Figura 2.7. FOVE

STARVR

Lo STARVR (Figura 2.8) è stato progettato dalla InfinityEye, compagnia francese, e sviluppato dalla Starbreeze studio, famosa per i videogiochi Payday e Payday 2. Non ancora possibile ordinarli o prenotarli e il prezzo non è stato ancora definito ma sarà sicuramente più alto degli altri visori, anche rispetto ad altri top di gamma, a causa delle tecnologie impiegate. Il visore è costuito da due schermi LCD con risoluzione in 4K, ovvero 5120x1440, le lenti di Fresnel[10] e la posizione dei due schermi permette di ottenere un campo visivo di 210° in orizzontale e 130° in verticale. Per quanto ci si sforzi non è possibile arrivare con lo sguardo ai bordi degli schermi, garantendo una totale immesione nel mondo virtuale.

Pro: schermi 4K LCD, grande FOV, molto reattivo nel tracciamento posizionale.

Contro: necessita di hardware molto costoso e top di gamma, prezzo di mercato ignoto ma sicuramente molto elevato, le lenti di Fresnel distorcono leggermente le immagini [44].

VR Union Claire 12M e 22M

Questi due modelli di visori sono stati progettati da una compagnia ceca, con sede a Praga. Il modello 12M è fuori produzione ed è stato sostituito dal 22M (Figura 2.9). Quest'ultimo monta due schermi LCD IPS con una risoluzione di 5120x1440, grazie alle lenti di Fresnel di cui dispone è possibile ottenere un FOV di circa 150°. È altamente compatibile le

[9]https://www.getfove.com/developers/

[10]Lenti a spessore ridotto che permettono una ricostruzione ottica di grandi dimensioni.

Figura 2.8. STARVR

applicazioni OSVR, inotre è totalmente integrato con il dispositivo di tracciamento Leap Motion[11]. Non è ancora disponibile una data di uscita, tantomeno un prezzo, sebbene secondo alcune indiscrezioni, dovrebbe aggirarsi intorno ai 400-600. La VR Union ha già rilasciato le API per lo sviluppo software[12].

Pro: prezzo, FOV, risoluzione, nessun effetto screendoor, compatibilità con Leap Motion e OSVR.

Contro: nessuna data di uscita, assenza di controller, artefatti visivi a causa delle presenza delle lenti di Fresnel[45].

Figura 2.9. VR22M

[11]Spiegato in dettaglio nel sottocapitolo 2.1.5

[12]https://api.leapmotion.com/libraries/499

Sulon Q

Questo visore (Figura 2.10) è stato progettato dalla AMD ed il suo grande vantaggio è quello di non necessitare di un PC per farlo funzionare, in quanto monta al suo interno un pc AMD, che viene recapitato con una versione di W10 preinstallata. Per quanto riguarda le specifiche tecniche, Sulon Q dispone di un processore FX-8800P con una Radeon R7 integrata, 8GB di memoria RAM, 256GD SSD, uno schermo OLED con una risoluzione di 2560x1440, audio spazializzato, tecnica di eliminazione del suono, tastiera wireless e mouse già forniti. Al momento attuale non sono ancora stati resi noti né la data di uscita né il prezzo di vendita al pubblico[46]. Sulon Q supporta le API Vulkan[13], DirectX 12 e le proprietarie di AMD LiquidVR[14].

Pro: Ottimi display, combina AR e VR, tracciamento 3D senza controller, wear and play.

Contro: Sicuramente molto costoso, probabilmente molto pesante, framerate non elevati[47].

Figura 2.10. Sulon Q

2.1.2 Guanti

I guanti sono uno dei principali sistemi di interazione per la realtà virtuale, sebbene nella parte sperimentale di questa dissertazione non vengano utilizzati è importante parlarne per poter avere una visione più completa delle tecnologie esistenti al momento.

Manus VR

Sviluppato dalla omonima azienda olandese a partire dal 2014, non è ancora disponibile sul mercato ma è già possibile effettuare il preordine sul sito dei produttori ad un prezzo che si aggira intorno ai 250$. A livello tecnico questo guanto (Figura 2.11) permette di

[13]https://developer.nvidia.com/Vulkan

[14]http://developer.amd.com/tools-and-sdks/graphics-development/liquidvr

tracciare tutti i movimenti delle mani, avendo due sensori per dito, in più è presente un sensore addizionale sul pollice per poter rilevare le rotazioni. Il guanto è anche lavabile perchè alcune parti sono resistenti all'acqua. I sensori sono anche in grado di tracciare il movimento delle braccia fino al gomito, in aggiunta ogni guanto contiene un sistema per farlo vibrare, in modo da fornire un feedback aptico all'utente. Dal momento che i visori richiedono una grande capacità computazionale, gli sviluppatori di Manus hanno cercato di renderlo molto leggero in termini di prestazioni. Le batterie garantiscono un tempo di esecuzione che varia dalle 3 alle 6 ore. Manus è compatibile con Vive, Samsung Gear e OSVR, in più puo essere utilizzato con i principali motori grafici[48]. È disponibile online una repository di GitHub che contiene tutte le librerie di MANUS[15].

Pro: Compatibili con tante tecnologie di VR, batterie longeve, lavabili, facili da testare, lettura dei movimenti dettagliata, wireless.

Contro: Non ancora disponibili[49].

Figura 2.11. MANUS VR

Gloveone

Sviluppato e prodotto dalla Neurodigital Technologies con l'aiuto di un kickstarter, è uno strumento (Figura 2.12) in grado di rilasciare un feedback aptico nell'ambito della realtà virtuale grazie ai 10 attuatori vibrotattili presenti al suo interno, grazie al posizionamento di 6 IMU è anche possibile tracciare la posizione delle dita. Attraverso questi guanti l'utente è in grado di percepire il peso e il materiale degli oggetti che sono stati posizionati

[15]https://github.com/ManusVR

all'interno del mondo virtuale e allo stesso tempo può interagirci. Il dispositivo funziona sia con il Bluetooth 4.0 sia con la USB, nel primo caso la latenza è bassa, nel secondo è quasi nulla. Le batterie che vengono fornite ai polimeri di litio consentono una lunga durata dopo ogni ciclo di carica. Il prezzo di lancio sul mercato dovrebbe essere di circa 300€, non è ancora stata fissata una data di uscita ma gli sviluppatori hanno già rilasciato le api per Gloveone[16][50]

Pro: Compatibile con molte tecnologie di VR, possono essere usati collegati o non collegati, realistico senso di tocco, supporto per gli sviluppatori, ampio raggio di tracciamento.

Contro: Non ancora disponibili, prodotto di nicchia con una community molto ristretta[49].

Figura 2.12. Gloveone

VGM 30 Plus

Prodotto e venduto dai Virtual Motion Labs, in Texas, questo modello di guanti (Figura 2.13) fornisce un feedback aptico all'utente. È composto da una trentina di sensori VGM 30, sviluppati appositamente dalla casa di produzione, in più sono presenti anche cinque attuatori vibro-tattili, uno per ogni dito in modo tale da poter percepire in modo abbastanza realistico l'ambiente virtuale. Gli attuatori sono collocati all'interno del tessuto e consentono di essere programmati singolarmente per modificare la forza derivata dal tocco degli oggetti[51].

Pro: in commercio.

Contro: pochissime informazioni a riguardo.

[16]https://www.neurodigital.es/developer/

Figura 2.13. VMG 30 Plus

Hi5 Glove

Presentati ad inizio Gennaio del 2017 dalla Noitorm, non sono ancora disponibili molte informazioni a riguardo ma sono già stati rivelati alcuni dati tecnici. L'Hi5 (Figura 2.14) sarà fornito di 6 sensori IMU a 9 assi in grado di raccogliere dati sulla posizione delle mani e delle dita in modo molto accurato e trasferirle al pc in tempo reale. È stato inserito anche un rumbler nella parte iniziale del guanto, vicino al polso per fornire feedback apitici all'utente. GLi Hi5 possono essere usati sia a mano singola che doppia e hanno piena compatibilià con l'HTC Vive, verrà anche garantito un supporto per lo sviluppo a Unity e Unreal Engine 4[52].

Pro: compatibile con il Vive.

Contro: appena annunciato.

Figura 2.14. Hi5 Glove

Hands Omni

Questo modello di guanto (Figura 2.15) è stato sviluppato grazie ad una iniziativa della Virtuix, una compagnia di gaming specializzata che si concentra sulla VR. Per garantire una vera sensazione di contatto con gli elementi dell'ambiente virtuale, sono stati inserite in particolari punti strategici del guanto delle piccole camere d'aria che si gonfiano e

si sgonfiano per simulare un senso di tatto e per permettere la distinzione delle diverse caratteristiche degli oggetti presenti in quel determinato ambiente. Attualmente è ancora in fase di sviluppo presso la Rice University[53].

Pro: Fornisce un realistico senso di tocco, libertà di movimento (wireless), molto leggero.

Contro: In fase molto embrionale di sviluppo[54].

Figura 2.15. Hands Omni

Dexmo

Sviluppato dalla Dexta Robotics, Dexmo (Figura 2.16) è catalogabile come un esoscheletro per le mani, infatti la sua particolare struttura permette di legare ogni dito ad un sensore di pressione che modifica la sua pressione in base all'oggetto con cui l'utente sta entrando in contatto nel mondo virtulale, ad esempio la sua consistenza oppure la sua durezza. Per il momento Dexmo è in fase prototipale e non si sa ancora se sarà rilasciato prima o poi sul mercato oppure rimarrà incompleta, per questo motivo anche il prezzo di mercato resta ignoto[55].

Pro: vastissimi campi di applicazione, interazione molto realistica.

Contro: ancora un prototipo.

2.1.3 Tute

Tesla Suit

Attualmente in fase di sviluppo presso i Tesla Studios, una compagnia di tecnologie per la VR con sede nel Regno Unito. Si tratta di una vera e propria tuta (Figura 2.17) in grado di restituire feedback aptici all'utente in tutto il corpo, per rendere molto più realistica l'esperienza all'interno del mondo virtuale. La tuta è composta da una cintura, la quale funziona come centro di comando per tutto le altre parti modulari, queste sono guanti,

Figura 2.16. Dexmo

pantaloni e una maglia. Queste parti possiedono al loro interno tante piccole unità che rilasciano impulsi elettrici che vengono percepiti come feedback aptici. Non sono ancora stati resi noti la data di uscita e nemmeno il prezzo, il sito internet risulta ancora in costruzione[53].

Pro: immersione totale.

Contro: ignoti prezzi e data di uscita.

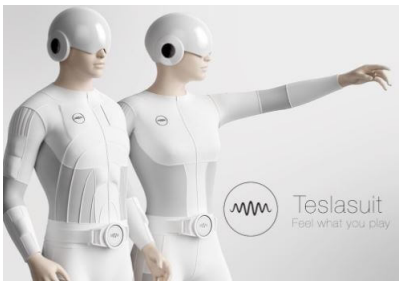

Figura 2.17. Tesla Suit

HardLight

Sviluppata dalla NullSpace e ancora in fase di prototipo, per ora non esistono informazioni sulla data di lancio sul mercato. Hardlight (Figura 2.18) presenta 16 zone aptiche, per restituire i feedback agli utenti, il peso della tuta si aggira intorno al kilo e mezzo, viene alimentata ad una tensione di 9V attraverso delle porte USB, è presente anche una presa audio per feedback sonori. La presenza di tutti questi sensori permette all'utente di programmare quali sensori e come utilizzarli[56].

Pro: leggera, 16 sensori vibro-tattili.

Contro: nessuna informazione su costo e data di uscita.

Figura 2.18. HardLight

HaptX

Sviluppata dalla AxonVr, una compagnia americana, questo modello di tuta (Figura 2.19) è stata progettata in modo tale da permettere all'utente di interagire realmente con il mondo virtuale, attraverso un sistema da loro inventato, l'utente è in grado di percepire il calore degli oggetti con cui si entra in contatto, la forma, la loro conformazione fisica. Nei progetti della casa c'è l'intenzione di progettare un intero sistema che permetta a chi la usa di muoversi nel mondo e allo stesso tempo di ricevere dei feedback di forza nel momento in cui si entra in contatto con elementi del mondo. Il prezzo stimato di vendita dovrebbe aggirarsi intorno ai 5000$ ma probabilmente non uscirà sul mercato prima di due o tre anni. Esiste anche un SDK per creare delle proprie applicazione e integrare la tuta con i principali motori grafici[57].

Pro: esperienza totale.

Contro: data di uscita ignota.

Figura 2.19. HaptX

MVN Awinda e MVN Link

MVN Awinda (Figura 2.20) è stata prodotta dalla Xsens per il motion tracking è formata da una serie di fasce da posizionare in determinate parti del corpo. È fornita di 17 sensori che garantiscono un raggio di azione di 20 metri indoor e 50 outdoor e presentano una latenza di 30 ms, dichiarati dal produttore. La versione Link, invece, è una vera e propria tuta in lycra, disponibile in diverse taglie, il raggio di azione è di 50 metri indoor e 150 metri outdoor con una latenza dichiarata di 20 ms. Le batterie durano rispettivamente 6 e 9 ore e mezza. Per catturare i movimenti degli utenti è stato sviluppato dalla Xsense un software ad hoc, MVN Studio, disponibile anche nella versione Pro, con funzioni aggiuntive. La tuta è già disponibile sul mercato, per quanto riguarda il prezzo occore chiedere un preventivo direttamente all'azienda[58].

Pro: bassa latenza, batterie di buona durata.

Contro: software proprietario.

Figura 2.20. MVN Awinda a destra e Link a sinistra

2.1.4 CAVE

Il primo CAVE vede la luce grazie a Cruz-Neira et al.[59] nel 1992. Secondo la definizione dei suoi inventori, un CAVE si configura come un sistema di VR in cui uno o più utenti sono collocati in una stanza le cui pareti, una o più, hanno la funzione di schermo. Solitamente sono stereoscopici, quindi sono necessari degli occhiali attivi o passivi per poter vedere che cosa è proiettato su di essi. Nelle configurazioni più comuni viene anche tracciata la posizione della testa dell'utente, in modo tale da renderizzare l'ambiente virtuale in

relazione al suo punto di vista. Generalmente il FOV del CAVE risulta più ampio, poichè le pareti laterali, in aggiunta a quella frontale garantiscono un campo visivo di almeno 180°, non garantiti dalla maggior parte dei visori. La struttura stessa del CAVE, basata sull'uso di particolari proiettori per creare l'ambiente, richiede stanze abbastanza buie e un investimento abbastanza cospicuo, rendendolo non accessibile a tutti. Diversamente un visore qualsiasi è possibile trovarlo a prezzi molto competitivi sul mercato.

VisCube M4

Il VisCube M4 (Figura 2.21) è un CAVE low cost ad alta prestazione sviluppato dalla Visbox. È formato da quattro proiettori stereoscopici attivi che proiettano anche sul pavimento. Il sistema di tracciamento ottico è fornito dalla A.R.T. e integra all'interno dell'ambiente quattro telecamere e tracciatori per testa e bacchette usate per l'interazione con l'ambiente. Tutto ciò che viene proiettato nell'ambiente viene generato da una workstation grafica fornita di una scheda grafica NVIDIA Quadro. È anche possibile installare un MiddleVR per permettere al sistema di utilizzare applicazioni create in ambienti Unity[60].

Pro: a basso costo e ad alte prestazioni.

Contro: stanza non molto grande.

Figura 2.21. VisCube M4

IC.Flight

IC.Flight è un'interfaccia CAVE monoparete in dotazione alla ESI Group. È stato progettato per essere inserito all'interno di due flight case in modo tale da facilitarne il trasporto. A livello HW è composto da un proiettore stereoscopico attivo Panasonic PT-CW230, un telo trasportabile, dieci occhiali attivi NVIDIA. Il tracciamento viene fatto con uno smARTtrack inserito direttamente all'interno del flight case.

Pro: facilmente trasportabile.

Contro: tracciamento non sempre preciso.

Figura 2.22. IC.Flight

2.1.5 Altri dispositivi

STEM System

Sviluppato dalla Sixsense Entertainment Inc., questo prodotto (Figura 2.23) è più potente di un o normale paio di guanti per la VR, infatti permette di tracciare anche i movimenti delle gambe e della testa. Grazie al suo sistema di tracking basato sulle onde elettromagnetiche è in grado di garantire un raggio di azione più lungo e una latenza minore. L'intero sistema è composto da alcuni differenti componenti, il primo è la base che rappresenta il riferimento stazionario di tutto lo STEM, poi vengono forniti dei controller per interagire con il mondo virtuale e produce anche feedback aptici per l'utente, infine lo STEM pack contiene le parti necessarie per tracciare la posizione. Sixense ha deciso di creare questo sistema completamente Open Source in modo tale da potersi garantire un buon numero di utenti ed una conseguente folta community di appassionati e sviluppatori, sono già disponibili le API e dallo stesso sito è anche possibile scaricare un plugin per integrare il sistema con Unity[17] È disponibile in preorder al prezzo di 5200$[61].

Pro: tracciamento di tutto il corpo.

Contro: costo molto alto.

[17] http://sixense.com/sixensecoreapi

Figura 2.23. STEM System

Unlimited Hand

Prodotto da una start up giapponese, la H2l, Inc. Questo dispositivo (Figura 2.24) non è un guanto ma un bracciale da posizionare intorno all'avambraccio, ha integrati due sensori: uno in grado di percepire le contrazioni dei muscoli e un altro che rileva i movimenti del braccio, è presente inoltre uno stimolatore elettrico multicanale per gestire i feedback aptici. Il dispositivo può essere acquistato da Amazon giapponese ad un prezzo che si aggira intorno ai 300€. Unlimited Hand è perfettamente compatibile con l'Oculus Rift e con il Vive HTC ai quali si collega tramite USB, la start up ha già rilasciato le API per lo sviluppo di applicazioni personalizzate[18][62].

Pro: leggero e mani completamente libere.

Contro: ignote sensibilità e accuratezza dei sensori.

MYO

Sviluppato dalla Thalmic Labs, questo strumento (Figura 2.25) va inserito intorno all'avambraccio, in modo tale da poter percepire le contrazioni dei muscoli. In questo modo è possbile interagire con un qualsiasi ambiente di HCI usando soltanto una mano, infatti è in grado di percepire due dita che si toccano, la chiusura della mano a pugno e le sue rotazioni. È già disponibile all'acquisto direttamente dal sito della Thalmic o attraverso i principali canali di vendita al prezzo di 199$. Sono disponibili le API per la programmazione[19][63].

Pro: facile da usare, facile da imparare ad usare, divertente.

[18]http://dev.unlimitedhand.com/

[19]https://developer.thalmic.com

Figura 2.24. UnlimitedHand

Contro: design rivedibile, piccolo per alcune braccia (necessità di comprare anelli estensivi venduti separatamente), scomodo nel lungo periodo, da migliorare il riconoscimento dei gesti[64].

Figura 2.25. Myo

Leap Motion

Sviluppato dalla omonima casa di produzione, uscì sul mercato già nel 2013 al costo di 79$. Con questo strumento (Figura 2.26) è possibile tracciare con precisione la posizione delle mani e delle dita all'interno di un mondo di VR. Al momento sta per essere lanciato sul mercato un nuovo modello dal nome Orion, a detta degli sviluppatori più preciso. Sono disponibili le API per la programmazione sul sito della Leap Motion, nell'apposita area dedicata[20][65].

[20]https://developer.leapmotion.com

Pro: poco costoso, preciso, divertente, funziona con tutti i SO, molte app disponibili.
Contro: range limitato, difficile da usare al meglio, sensori non precissimi, nessun gesto standard[66].

Figura 2.26. Leap Motion

VicoVR Controller

Sviluppato dalla 3DiVi e presto disponibile al pubblico a partire dai primi mesi del 2017. VicoVR (Figura 2.27) è un accessorio Bluetooth che fornisce un tracciamento di tutto il corpo senza bisogno di strumenti da indossare. Funziona senza pc, solo con il proprio telefono da inserire nell'apposito visore, anch'esso fornito. Può essere visto sia come una piattaforma di gioco a sé stante sia come un accessorio per un visore di VR, infatti è compatibile con Samsung Gear e Google Cardboard. Il prezzo di lancio è ancora sconosciuto così come una vera e propria data di lancio sul mercato. Non sono ancora state pubblicate delle vere e proprie API ma nella sezione dedicata agli sviluppatori[21] è possibile prenotare un prototipo per lo sviluppo[67].
Pro: tracciamento totale senza cavi, grande compatibilità.
Contro: prezzo ignoto, data di lancio sconosciuta.

Precision Position Tracking (PPT)

Sviluppato dalla Worldviz, azienda americana con sede a Santa Barbara. Questo sistema di tracking (Figura 2.28) permette all'utente di camminare, correre, abbassarsi, girarsi o gesticolare liberamente in un ambiente di realtà virtuale tutto con alta precisione. Permette di essere tracciati all'interno di un quadrato di 50 metri di lato, è facile da predisporre ed è compatibile nativamente Unreal Engine 4 e Unity 3D. Viene fornito anche di un telecomando per permettere all'utente di navigare e manipolare la scena e gli oggetti virtuali, inoltre viene dato in dotazione anche uno strumento da posizionare sopra il visore per seguire lo sguardo dell'utente. È già disponibile sul mercato ma per avere un prezzo di vendita è necessario contattare i responsabili vendite[68].

[21] http://vicovr.com/developers/devhome

Figura 2.27. VicoVR

Pro: tracciamento preciso e senza strumenti troppo ingombranti.
Contro: prezzo ignoto.

Figura 2.28. PPT completo con telecomando e supporto per visore

Ximmerse

Sviluppato dalla Ximmerse a partire dal 2015 grazie ad un crowdfunding. Ximmerse (Figura 2.29) è una telecamera senza fili che, grazie al suo campo visivo di 120°, è in grado di tracciare la posizione di un utente all'interno di un mondo virtuale all'interno di un'area di 3x3 metri. Grazie al suo algoritmo altamente ottimizzato per la mobile VR, è in grado di ottenere una precisione inferiore al millimetro con una latenza massima di 5 millisecondi. Il dispositivo viene fornito di un oggetto da inserire sopra al proprio visore e

di due telecomandi da utilizzare per interagire e manipolare l'ambiente di realtà virtuale. Il sistema è open source ed è già disponibile l'SDK[22][69].

Pro: molto preciso e rapido.

Contro: prezzo ignoto, ancora in preordine.

Figura 2.29. Ximmerse

[22]http://www.ximmerse.com/cat/developers

Capitolo 3

Prova sperimentale

La parte sperimentale della tesi si è incentrata sul confronto tra un ambiente immersivo di tipo CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) IC.Flight e un dispositivo HMD (Head Mounted Display), per la precisione un VIVE HTC.

3.1 Configurazioni

3.1.1 HMD

Il dispostitivo di HMD utilizzato è stato un VIVE prodotto dalla HTC. La stanza predisposta all'utilizzo dello strumento misura 3m x 4m. Lo strumento è stato collegato ad un pc dotato di un processore Intel i7 a 3.30Ghz, 64GB di RAM e scheda video NVIDIA M6000 24GB.

3.1.2 CAVE

Il dispositivo CAVE, invece è stato inserito in una stanza di dimensioni simili. È stato utilizzato IC.Flight al quale sono state collegate due workstation prodotte dalla HP, per la precisione due EliteBook 8770w.

3.2 IC.IDO

IC.IDO è il software proprietario fornito dalla ESI Group che permette all'utente di vedere e manipolare qualsiasi tipo di prodotto senza dover utilizzare un prototipo fisico ma lavorando sulla sua rappresentazione in un ambiente virtuale. In particolare questo software, grazie al potente motore in grado di simulare la fisica in termini di gravità, inerzia ecc., consente di avere una visione realistica del risultato finale senza averlo realmente tra le mani. Il software si presenta con un'interfaccia molto dettagliata suddivisa in pannelli (Figura 3.1)

Il Master Panel contiene tutto ciò che è stato caricato nella sessione corrente, vengono quindi visualizzate le mesh con la loro eventuale struttura ad albero, i gruppi e anche gli eventuali vincoli meccanici presenti. Il Module Panel consente di gestire i vari moduli

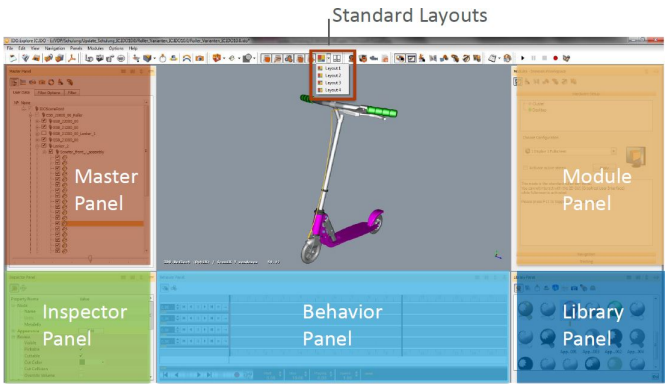

Figura 3.1. La suddivisione in pannelli dell'interfaccia grafica. ©ESI Group, 2016. All right reserved

presenti all'interno del software, in particolare permette di settare l'harware per visualizzare i rendering, gestire la parte sull'ergonomia[1], impostare le leggi fisiche dell'ambiente e tenere traccia di tutto ciò che verrà simulato e infine una sezione che permette di gestire i sistemi di illuminazione e la fase di rendering del prodotto. L'Inspector Panel permette di manipolare l'oggetto selezionato in termini di rotazioni, scalamenti, loop cut ecc. Il Library Panel contiene tutte le librerie che sono disponibili per i diversi tipi di oggetti che sono presenti all'interno della scena, è possibile impostare delle librerie personali così come importarne di esistenti. Di default sono presenti le librerie per gestire i materiale, le texture, le animazioni, l'ambiente, i materiali e le misure[2]. Per finire il Behavior Panel serve per la definizione di eventi e delle animazioni. La navigazione all'interno dell'ambiente può essere effettuata attraverso tre tipi differenti metodi:

- *CAD*: navigazione con l'uso del mouse con sei gradi di libertà.
- *Flight*: rotazione della telecamera definita dal movimento del mouse mentre le frecce permettono di zoomare e muoversi orizzontalmente.
- *Drive*: simile alla funzione flight ma con la rotazione della telecamera disabilitata verso il basso e verso l'alto.

È possibile importare i modelli da tanti sistemi di CAD, infatti IC.IDO supporta oltre 15 formati di file provenienti da diversi software. Di seguito un'analisi un po' più approfondita delle componenti usate maggiormente.

[1]IC.IDO permette di aggiungere alla simulazione dei manichini con diverse caratteristiche antropologiche per studiarne l'ergonomia in modo da capire quali parti del corpo vengono sollecitate durante lo svolgimento di un determinato compito.

[2]IC.IDO permette, attraverso un'apposita funzione di calcolare la distanza tra due oggetti.

3.2.1 IDO.SolidMechanics

La sezione della meccanica, come già anticipato in precedenza, permette di definire tutte le leggi fisiche che possono essere utili all'interno della scena per aumentare la verosimiglianza con il mondo reale. È possibile, infatti definire catene cinematiche, collisioni, determinate proprietà per gli oggetti e anche la gravit 'a. Le leggi possono essere definite globali, ad esempio la presenza di gravità, sia applicate a particolari oggetti, ad esempio vincoli di rotazione. Tutto questo entra in gioco solo nel momento in cui la simulazione viene attivata, altrimenti tutto resta come se non fosse stato impostato nulla. Nel momento in cui viene avviata è possibile notare quali siano le mesh con le quali è possibile interagire. Le simulazioni presenti possono essere di tipo rigido, statico o elastico. Nel primo caso abbiamo mesh dinamiche e rigide che possono collidere oppure avere determinate proprietà definite dall'utente, nel secondo gli oggetti non possono essere spostati e viene automaticamente attivata il controllo sulle collisioni, infine il terzo stato permette di gestire i modelli come fossero elastici. Le collisioni vengono gestite in tre modi:

- *Collision Highlight*: gli oggetti con questa proprietà possono penetrarsi a vicenda, non è possibile prevenirlo ma è possibile vedere gli oggetti che si intersecano.
- *Collision Handling*: gli oggetti non possono compenetrarsi e quando collidono è possibile visualizzare la simulazione degli urti.
- *Object intersections*: identifica e visualizza le itersezioni tra gli oggetti.

Per definire i gradi di libertà di particolari elementi della scena è possibile fare ricorso a quelli che prendono il nome di *joint* o giunti, che permettono traslazioni e/o rotazioni in determinati set di assi. Sono anche disponibili i *pairwise joint*, i quali, definiscono una connessione cinematica tra due oggetti simulabili, creando quindi una catena cinematica. Sono disponibili diversi tipi di joint:

- *Fixed*: posizione fissa e nessun grado di libertà.
- *Hinge*: permettono solo la rotazione intorno all'asse z.
- *Prismatic*: traslazioni lungo l'asse z.
- *Spherical*: rotazione intorno a tutti gli assi.
- *Cylindrical*: traslazione e rotazione intorno all'asse z.

Per gli oggetti singoli possono essere definiti i cosiddetti *single joint* che creano un giunto tra questo e il mondo circostante e tipi sono i medesimi di quelli sopra elencati. Per entrambi i giunti è possibile definire i limiti in termini di range di rotazione o di traslazione, applicabile a tutti i tipi elencati.

3.2.2 IDO.Present

La sezione IDO.Present serve per gestire le animazioni all'interno dell'ambiente virtuale. La lista di tutte le animazioni disponibili possono essere trovate nella sezione *Libray Panel/Animation View*, mentre la parte di gestione è affidata al *Behavior Panel*, il quale permette di registrare i movimenti degli oggetti e traformarli in un'animazione da riprodurre successivamente. Il bottone di record non è l'unico modo per la creazione di animazione, il secondo e ultimo metodo consiste nell'interpolazione di key-frame successivi stabili dall'utente. Per poter attivare le animazioni in modo automatico oppure in seguito ad una determinata azione è possibile creare degli eventi.

3.2.3 IDO.Illuminate

IC.IDO permette nativamente di inserire sorgenti di luce di diverso tipo, a seconda delle proprie necessità, in seguito, grazie alla sezione Illuminate, estensione di IDO.Reflect, è possibile andare a calcolare e visualizzare riflessioni, ombre derivate da luce diretta e indiretta per mezzo di diversi metodi di simulazione: Realtime Ray Tracing, Global Illumination oppure Ambient Occlusion. È possibile, inoltre, applicando la *Precomputed Lighting* precalcolare in modo indipendente dal punto di vista gli effetti dell'illuminazione. Il rendering realtime calcola l'illuminazione secondo uno dei tre modelli disponibili raffinando progressivamente l'immagine, partendo da una molto rumorosa fino ad ottenere una soluzione accettabile, se non viene spostato il viewport, è anche possibile definire il rapporto qualità prestazioni in base alle esigenze. Ogni volta che si interagisce con il sistema viene automaticamente aggiornata l'illuminazione. La luminosità precompilata viene effettuata solo quando la Realtime è disattivata, è possibile scegliere solo tra Global Illumination e Ambient Occlusion, ogni volta che la scena viene modificata è necessario ricalcolare il risultato perchè non si aggiorna.

3.2.4 IDO.Script

IC.IDO è stato progettato in modo tale da consentire agli utenti di creare script in Jython, linguaggio Python per la piattaforma Java. Gli script per IC.IDO permettono di gestire le animazioni in automatico, impostare timer, aggiungere listener alle mesh per reagire in caso di selezioni, spostamenti, cambiamenti di visibilità, ecc. Per aggiungere uno script alla sessione è necessario aprire la console (Figura 3.3), premendo l'apposito bottone (Figura 3.2). Una volta che la console è aperta è possibile caricare gli script nel sistema, una volta caricati possono essere eseguiti premendo la rispettiva check box (Figura 3.4).

L'esempio mostrato qui sotto serve per comprendere meglio come funzionano gli script all'interno del software IC.IDO. Nel momento in cui viene caricato uno script dalla console viene eseguito il codice al di fuori dai metodi. Una volta che viene eseguito il sistema chiama la funzione di attach(), una volta che ha completato quello per cui è stato programmato viene chiamata la funzione di detach() nel momento in cui viene deselezionato. Il rilascio delle risorse viene effettuato dal metodo release() solo nel momento in cui viene fatto l'unload dello script all'interno della console.

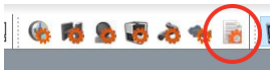

Figura 3.2. Bottone del menù script

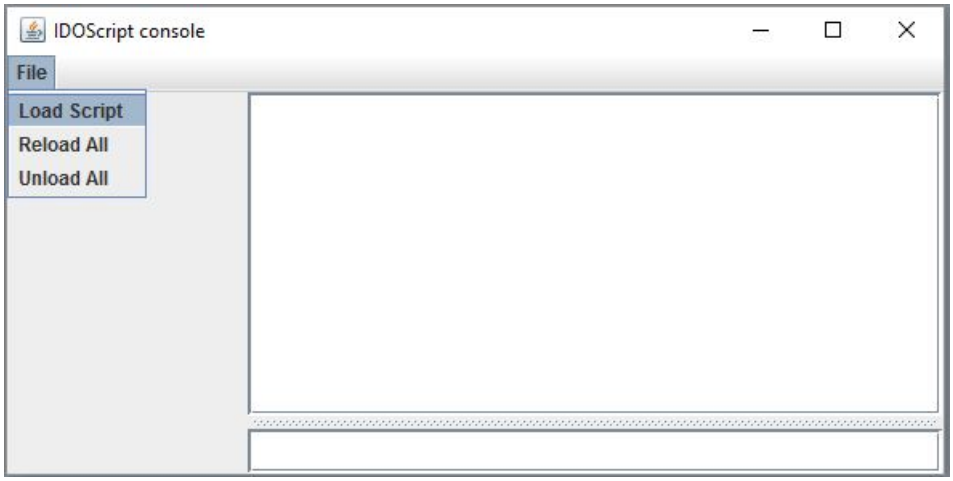

Figura 3.3. Script console

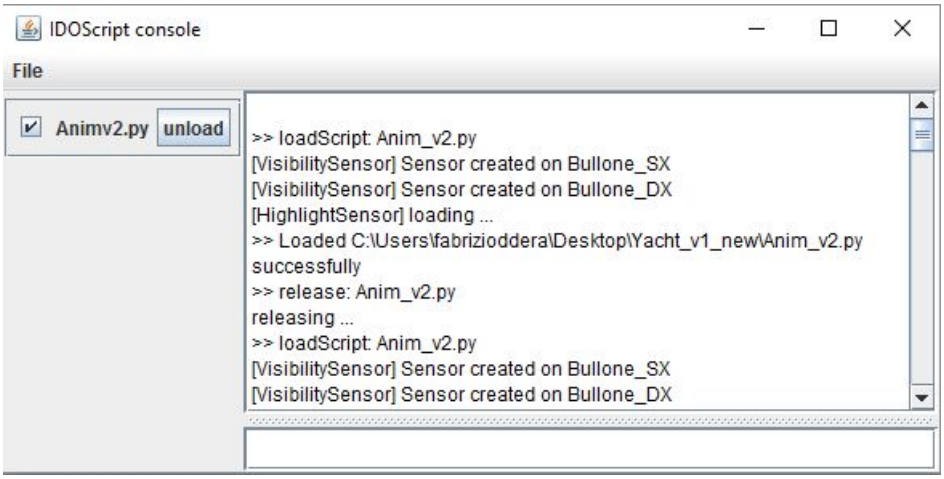

Figura 3.4. Script console con script caricato e in esecuzione

```
from **** import ****

def attach()
   ***

def detach()
   ***
```

```
def release()
   ***

***
***
***
***
```

3.3 Task proposti

Per andare a valutare i due sistemi in termini di navigazione, accuratezza, selezione e manipolazione sono stati proposti agli utenti tre task creati ad hoc. Per poter lavorare in un ambiente industriale è stato utilizzato uno Yacht (Figura 3.5) ormeggiato in un lago. Il modello è particolarmente accurato e disposto su sei ponti, contando anche la sala motori. Le stanze sono quasi tutte vuote ad eccezione della cabina di comando, alcuni mobili sparsi, la piscina all'ultimo ponte e la appena citata sala motori. L'intero ambiente virtuale è stato fornito dalla ESI, sono stati aggiunti solo alcuni dettagli dal sottoscritto.

Figura 3.5. Modello dello Yacht

Durante lo svolgimento di questi task verranno raccolti una serie di dati quantitativi grazie all'aiuto di alcuni script in Jython, scritti con l'ausilio dell'apposita documentazione fornita. I dati raccolti serviranno poi per fare un confronto da integrare con i risultati dei questionari compilati dagli utenti.

3.3.1 Task 1: Navigazione

Il primo task per il confronto tra i due sistemi è stato progettato per lo studio della navigazione che, come evidenziato in precedenza, è un elemento importante da tenere in considerazione quando si utilizza un sistema di realtà virtuale. L'utente viene posizionato, caricando uno scenario già predisposto allo svolgimento del task, all'interno di un ponte dello Yacht. Quando lo scenario sarà pronto verrà chiesto all'utente di raggiungere la sala comandi posizionata sullo stesso ponte di quello di partenza. È importante che al momento iniziale lo sguardo sia rivolto verso il muro mostrato in figura, per obbligare l'utente ad una rotazione di 180° sul proprio asse e mettere ancora più in evidenza la differenza tra i due sistemi. IC.IDO permette all'utente di muoversi all'interno dell'ambiente virtuale utilizzando una funzionalità che prende il nome di *walk*. In questa configurazione sono ammessi solamente movimenti su un singolo piano, scelto da chi supervisiona lo svolgimento dei task prima di attivare la modalità. Non viene richiesto all'utente di selezionare il piano su cui muoversi per non farlo interagire con il menù delle impostazioni poichè non molto intuitivo e il suo utilizzo non rientra nello scopo di questa dissertazione. Il gruppo di figure (Figura 3.6) rappresenta il percorso seguito dagli utenti.

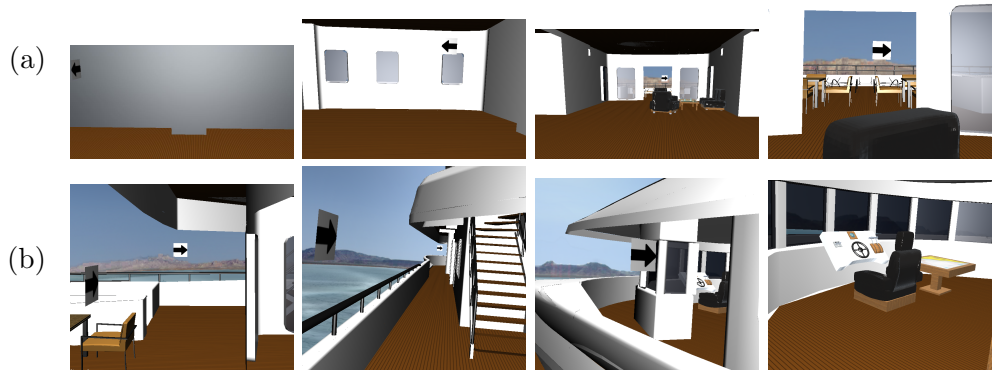

Figura 3.6. Immagini del percorso da seguire

Una volta che l'utente decide di iniziare il task viene lanciato lo script che raccoglie il tempo impiegato e ogni 200ms registra, su file di testo, la posizione dell'utente secondo il sistema di riferimento del mondo virtuale. In particolare questa rappresentazione ha la forma di semisfera e tutti gli oggetti sono collocati al suo interno. L'origine di questo sistema è il centro geometrico di questa semisfera. In [70] viene evidenziato come gli utenti tendano a preferire delle indicazioni posizionate lungo la strada da percorrere. L'utilizzo di una mappa da mostrare all'utente prima dell'inizio del task è stato scartato. Questo per evitare che il risultato del task, sia in termini di tempo che di traiettoria, venga influenzato dallo sforzo mentale dell'utente nel ricordare la strada da percorrere. Per questo stesso motivo sono stati inseriti alcuni cartelli lungo il percorso che indicano la direzione da seguire. Non appena l'utente raggiunge la sala comandi, lo script automaticamente interrompe l'acquisizione dei dati e registra su un altro file di testo il tempo impiegato.

I dati quantitativi raccolti e salvati su un file txt vengono utilizzati da uno script in Matlab. Il risultato è il plot[3] (Figura 3.7) della traiettoria percorsa e della direzione di movimento scelta. Oltre al grafico viene anche visualizzata la distanza percorsa in metri[4].

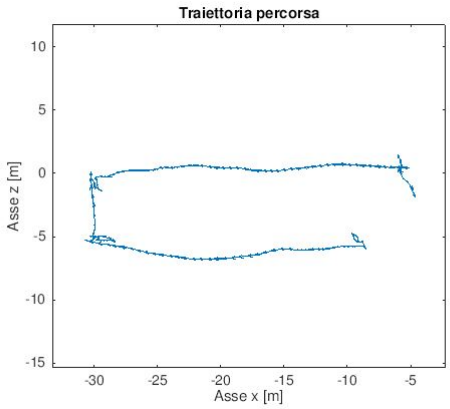

Figura 3.7. Esempio di traiettoria disegnata con Matlab (percorsa dal sottoscritto)

3.3.2 Task 2: Accuratezza

Il secondo task si svolge nella sala comandi dello Yacht (Figura 3.8). Per prima cosa viene lanciato uno script per registrare i tempi e la precisione ottenuta. In secondo luogo viene attivata la funzione di IC.IDO della meccanica solida. In questa modalità gli oggetti diventano simulabili[5]. La mano virtuale destra dell'utente entra in modalità *work*, e comincia ad interagire con gli oggetti simulati. L'interazione utente-oggetto non è direttamente legata alla mano ma si basa sulla tecnica del *ray casting*. In questa modalità dalla mano parte un raggio di lunghezza regolabile che permette di interagire con l'ambiente. Una volta che un oggetto viene selezionato è sufficiente spostare e ruotare il telecomando del sistema per fargli compiere gli stessi movimenti. L'obiettivo di questo task è quello di valutare l'accuratezza dei due sistemi messi a confronto. Per prima cosa viene chiesto all'utente di ruotare il timone della plancia di comando in modo tale che il cubo rosso sia sovrapposto a quello verde. Il primo è imparentato al timone così da poter ruotare sincronizzati. Per permettere al timone di compiere questo movimento gli è stato assegnato un asse di rotazione perpendicolare e fissato nel proprio centro di massa. Il secondo oggetto che viene chiesto di spostare è un tavolo, posizionato accanto alla plancia di comando. Al tavolo è stato assegnato un giunto prismatico che gli consente una traslazione lungo un

[3]Gli assi sono x e z perchè in IC.IDO l'asse y è rivolto verso l'alto

[4]I metri virtuali sono gli stessi di quelli reali in termini di distanze

[5]Con il termine simulabile si intende un oggetto al quale sono state applicate determinate impostazioni, ad esempio massa, inerzia ed eventuali vincoli di rotazione e traslazione

solo asse. Viene chiesto all'utente di sovrapporre la base ad un parallelepipedo verde della stessa dimensione, posizionato poco più a lato.

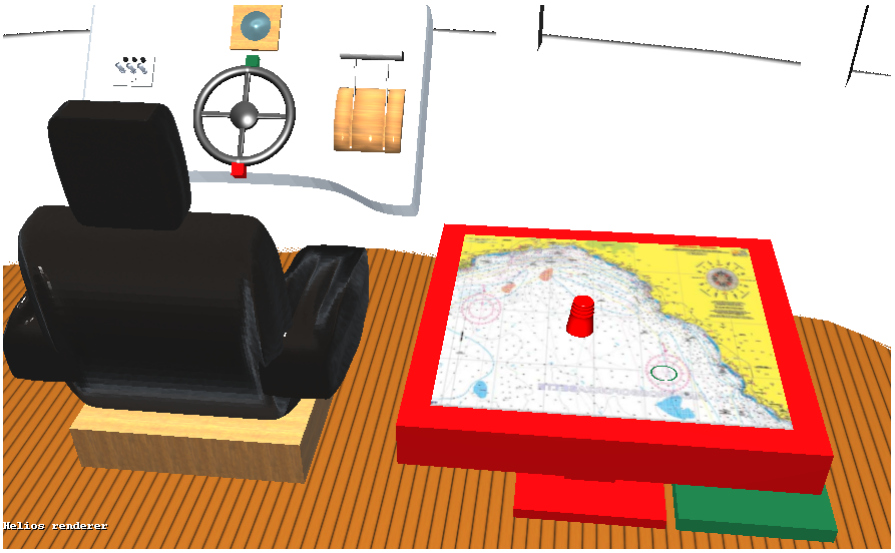

Figura 3.8. Cabina di comando

L'ultimo oggetto con il quale l'utente è chiamato ad interagire è un bicchiere, al quale non è stato associato nessun particolare asse, quindi i gradi di libertà che possiede sono sei, tre di rotazione e tre di traslazione. L'obiettivo è quello di spostare il bicchiere e posizionarlo nel cerchio verde con la bocca rivolta verso l'alto. Una volta che i tre elementi sono stati posizionati nel modo corretto (Figura 3.9) uno script ne registra le posizioni e calcola l'errore nel piazzamento.

(a)

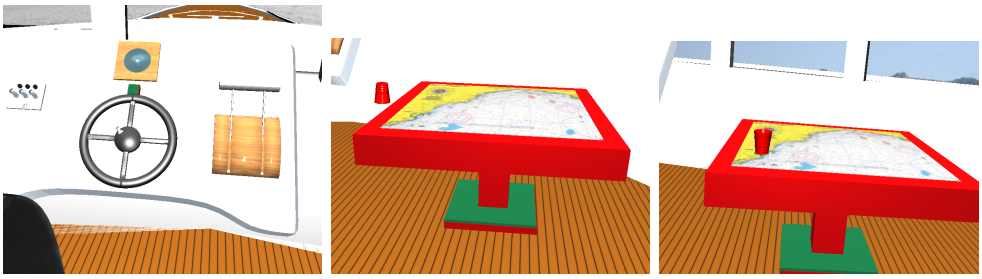

Figura 3.9. I tre oggetti posizionati nella propria destinazione

Lo script è scritto in modo tale da registrare il tempo di macchina nel momento in cui viene caricato. Viene eseguito nel momento in cui l'utente decide di interrompere i task perché ritiene di aver posizionato le mesh nel modo più accurato possibile. In fase di esecuzione viene registrato il nuovo tempo di macchina e sottratto al vecchio per calcolare la durata di esecuzione del task. Una volta ottenuto il risultato viene stampato in un file

di testo. Per l'accuratezza degli oggetti il sistema registra le coordinate di ogni mesh nel punto in cui è stata posizionata e ne calcola la distanza dal rispettivo obiettivo. I dati raccolti vengono stampati nello stesso file di testo.

3.3.3 Task 3: selezione e manipolazione

Il terzo ed ultimo task proposto agli utenti prevede la ricostruzione di un tubo della sala comandi dello Yacht[6]. Lo scopo del test è quello di andare a capire come si comportano i due sistemi quando sono richieste operazioni di rotazione e spostamento di oggetti all'interno del mondo virtuale. Viene richiesto di ricomporre un tubo della sala motori (la Figura 3.10 mostra tutti i passaggi) che è stato precedentemente distrutto in cinque parti e sparso per l'ambiente. Per permettere all'utente di capire quali siano i pezzi da inserire, ma soprattutto, l'ordine con il quale interagirci è stata aggiunta una foto del tubo completo, evidenziando con colori diversi i vari componenti. Gli stessi colori sono stati applicati ai pezzi sparsi per l'ambiente virtuale per faciliarne il riconoscimento. Durante l'esecuzione del task viene lanciato uno script in Jython che registra il tempo che passa dal momento in cui l'utente inizia a manipolare i pezzi del tubo fino a quando non viene inserito l'ultimo nella sua giusta locazione. Una volta che il tempo viene registrato, viene salvato su file di testo.

Lo script per il task di manipolazione registra il tempo di macchina in cui viene caricato. Quando l'ultimo pezzo viene inserito il tempo viene fermato, salvato su file di testo e le risorse vengono rilasciate.

3.4 Raccolta dei dati

Durante l'esecuzione dei task sono stati raccolti sia dati qualitativi che quantitativi. I dati quantitativi sono stati ottenuti utilizzando gli script in Jython, mentre quelli qualitativi sono dati raccolti con l'ausilio di un questionario specifico (Appendice sezione C) creato utilizzando domande presenti in lavori passati. Così facendo, una volta che l'utente ha completato i task assegnati, gli sono state proposte queste domande nelle quali vengono chieste le proprie impressioni, i pregi e i difetti del sistema utilizzato e anche eventuali disturbi mentali o fisici provocati dall'utilizzo del sistema. Il questionario è il risultato di una composizione di questionari utilizzati in lavori precedenti da altri ricercatori. È stato suddiviso in 9 sezioni divise tra loro ma legate da argomenti comuni.

3.4.1 Usabilità di Nielsen

Pubblicato nel 1994 da Jakob Nielsen all'interno del libro "Usability Engineering" [23]. Questo questionario si compone di cinque domande composte da singole parole alle quali l'utente deve rispondere con un numero che va da 1 a 5. Il valore minimo indica che quella caratteristica è molto complessa, mentre il valore massimo ne indica un'estrema facilità.

[6]La sala comandi visualizzata durante il task è una versione estremamente minimale di quella originale a causa del manifestarsi di pesanti cali di frame durante la fase di selezione e manipolazione degli oggetti

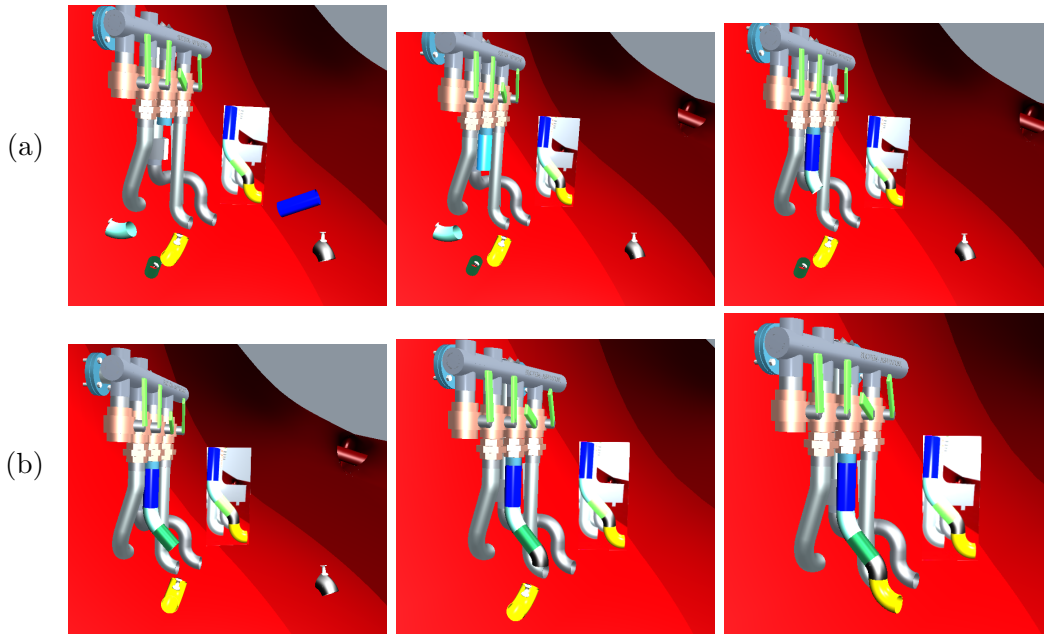

Figura 3.10. Processo di montaggio del tubo

Più precisamente si vuole valutare la capacità di imparare ad usare il sistema (*Learnability*), l'efficacia dell'uso del sistema (*Efficiency*), la facilità di ricordarsi il suo funzionamento dopo un periodo di inutilizzo (*Memorability*), la precisione percepita (*Accuracy*) e, infine, il senso di soddisfazione generale (*Overall Satisfaction*).

3.4.2 Presence Questionnaire

Il PQ è stato sviluppato nel 1994 da Witmer e Dinger [71], composto da 24 domande, divise in tre sezioni. La prima sezione è quella principale e chiede all'utente la sua opinione in merito alla presenza, alla sua capacità di interagire con l'ambiente, di muoversi, di esaminare oggetti. La seconda parte è stata tralasciata perchè riguarda l'audio della scena, totalmente assente nei task proposti, stessa sorte per le domande riguardanti i feedback aptici.

3.4.3 VRUSE

VRUSE è uno strumento per la valutazione dell'usabilità in un ambiente virtuale. Sviluppato nel 1997 da Kalawsky[72], è composto da 100 domande suddivise in 10 categorie. Per questo lavoro di tesi è stata presa in considerazione la sezione numero 2, quella riguardante gli *User Input*. In questa parte vengono poste all'utente domande sull'interazione con i dispositivi di input e la sua capacità di rapportarsi con l'ambiente virtuale.

3.4.4 Navigazione

Le domande inerenti alla navigazione sono state prese da un questionario prelevato da uno studio condotto da Kitson et al. [73]. In questo studio sono stati messi a confronto una serie di sistemi di movimento per la VR. Le domande sono state pensate per poter mettere in risalto le varie differenze tra i sistemi. Vengono valutate le capacità di controllare il sistema, di compiere rotazioni, guardare e camminare in simultanea, la velocità, la sensibilità e la capacità di tornare indietro.

3.4.5 Simulator Sickness Questionnaire

Il Simulator Sickness Questionnaire o SSQ è un questionario sviluppato nel 1993 per verificare l'eventuale insorgenza di sintomi dovuti all'utilizzo di un qualunque sistema di simulazione [74]. Per poter effettuare un'analisi dei sintomi percepiti dall'utente bisogna compilare il questionario prima di svolgere la prova in modo da poter avere dei valori di riferimento. Successivamente, una volta che i task sono stati completati ripetere le domande in modo da poter valutare eventuali discrepanze. Nel caso di più sistemi con i quali interagire, quindi nel caso in cui questo questionario vada ripetututo, è necessaria una pausa di almeno 15 minuti tra le due esecuzioni dei task.

Capitolo 4

Risultati

4.1 Risultati quantitativi

Tutti i dati quantitativi ottenuti durante lo svolgimento dei task derivano dagli script in IC.IDO. Ai test hanno partecipato un totale di 30 persone (21 uomini e 9 donne), suddivise in due gruppi da 15. Un gruppo ha testato il sistema VIVE, l'altro il sistema CAVE. Ad eccezione di un utente con conoscenze avanzate nel settore, tutti gli altri avevano competenze nulle o basilari di questi sistemi. I primi dati ottenuti riguardano la navigazione. Gli utenti avevano il compito di partire da una stanza dello yacht e raggiungere, seguendo i cartelli disseminati per il mondo virtuale, la sala comandi. Andando ad osservare e a disegnare le traiettorie con Matlab è possibile notare una sostanziale differenza tra i due sistemi. Mediamente, la traiettoria percorsa dagli utenti utilizzando il VIVE è stata lineare (Figura 4.1[1]), grazie alla possibilità di cambiare il punto di vista ruotando semplicemente su sé stessi. Utilizzando il CAVE monoparete, invece, gli utenti, in prossimità di curve, sono stati costretti ad utilizzare il proprio controller per trascinare il punto di vista. Le traiettorie risultanti con Matlab, quindi, si presentano frastagliate con evidenti tratti percorsi avanti, indietro e di lato per poter compiere una rotazione di almeno 90°. Il punto più evidente di questa tecnica è l'inizio del task, dove è stata richiesta una rotazione di 180° (Figura 4.2).

Questa notevole differenza di strada percorsa da i diversi utenti si riflette anche sulle distanze totali e sui tempi impiegati. Mediando i valori ottenuti risultano 57,50m per gli utenti VIVE mentre salgono a 74,48m per il CAVE (Figura 4.3). In termini di tempo il primo sistema ha richiesto in media 67s contro i 117s del secondo. Come detto in precedenza la maggior parte della differenza dei dati è dovuta alla difficoltà riscontrata da quasi tutti gli utenti CAVE nel ruotare il proprio punto di vista per proseguire il cammino.

Il secondo task, quello di accuratezza, chiedeva agli utenti di sistemare tre oggetti all'interno della scena in modo tale che combaciassero il più possibile con il proprio obiettivo. Una volta completato il task sono stati raccolti i tempi impiegati e la distanza tra l'oggetto

[1]Tutti gli asterischi presenti nei grafici successivi indicano la validità statistica del risultato. I test di significatività sono stati condotti utilizzando t-test a 2 code eteroschedastici con soglia a 0.05

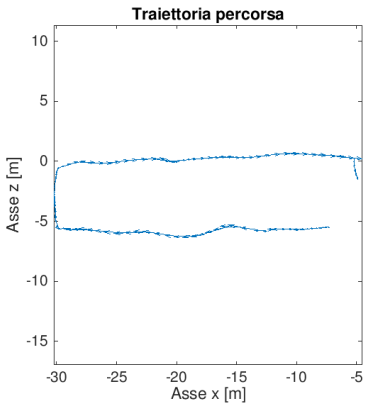

Figura 4.1. Traiettoria percorsa con il VIVE

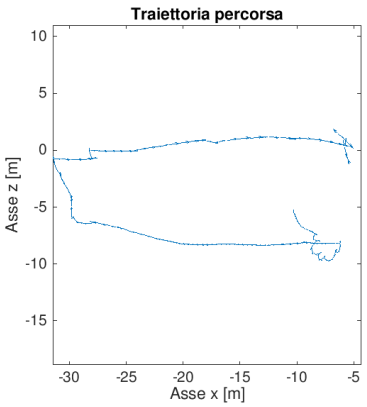

Figura 4.2. Traiettoria percorsa con il CAVE

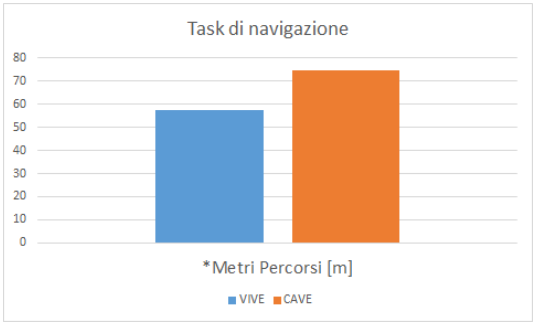

Figura 4.3. Distanze medie percorse

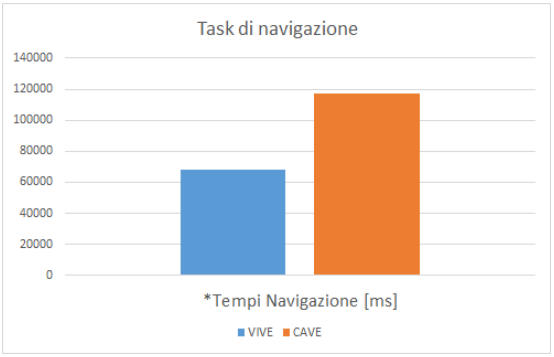

Figura 4.4. Tempi medi impiegati

e la sua destinazione. La media dei risultati ha evidenziato che gli spostamenti lungo un solo asse, sia esso prismatico sia rotoidale, sono più accurati con il CAVE. Questo, infatti è dovuto al fatto che SMARTRACK possiede un'accuratezza maggiore. È in grado di rilevare differenze di misurazione sotto al millimetro contro i circa 2mm del VIVE. Infatti la differenza di distanza del cubo collegato al timone è di solamente 1.9mm contro i 3.6mm del VIVE. Stesso discorso vale per il tavolo, 2.6mm contro 5.1mm. Discorso esattamente contrario per il bicchiere, 8mm per il VIVE, 36mm per il CAVE (Figura 4.5). Questo risultato è da imputarsi alla diversità di risoluzione del compito. Il bicchiere, al contrario degli altri due elementi, non presenta alcun giunto ma richiede all'utente una rotazione manuale di 180° per poterlo mettere in piedi e, successivamente, inserirlo all'interno del cerchio. Dal momento che la selezione e manipolazione sono molto più complesse con il CAVE anche l'accuratezza nello spostamento del bicchiere ne ha risentito. In media i tempi risultano molto simili, per questo motivo non hanno alcune valenza statistica (Figura 4.6).

L'ultimo task chiedeva agli utenti di ricomporre un tubo smontato seguendo l'immagine di riferimento. La scena si è svolta all'interno della sala comandi dello Yacht. La

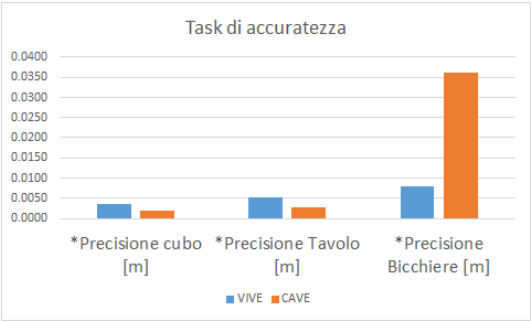

Figura 4.5. Scostamento medio tra posizione scelta e destinazione

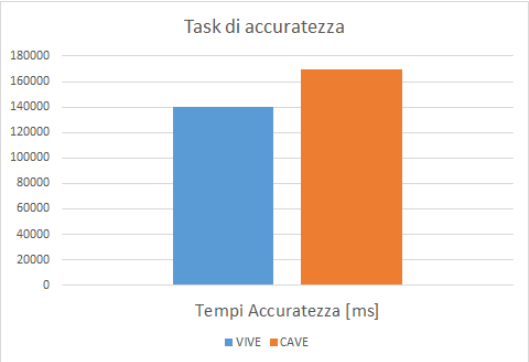

Figura 4.6. Tempi medi impiegati

differenza sostanziale tra i due sistemi, quindi anche la conseguente differenza dei risultati, è da imputarsi all'area di tracciamento dei due sistemi. Il VIVE utilizza due sensori chiamati *Lighthouse*. Questi possono essere collegati in qualsiasi punto della stanza a patto che si trovino su una delle due diagonali dell'area di lavoro rettangolare ottenuta in fase di configurazione del sistema. Il tracciamento dell'utente avviene all'interno di quest'area che deve essere almeno di 2mx2m circa. Questo permette di muoversi liberamente sia in fase di navigazione sia in fase di selezione, manipolazione e spostamento di oggetti. Questo permette di ricreare il tubo in modo rapido ruotando e spostando i pezzi con la stessa naturalezza del mondo reale. Il CAVE, invece, utilizza un tracciatore SMARTRACK inserito all'intero del flight case di IC.Flight. Dal momento che viene posizionato sul pavimento l'area in cui l'utente viene rilevato si riduce ad un tronco di piramide di altezza 1.5m creato da SMARTRACK (Figura 4.7). L'area più piccola di questo tronco è grande 1m x 0.6m mentre quella più grande 2m x 1.6m . Per questo motivo, nel caso di interazioni complesse, non è possibile compiere l'azione in un colpo solo ma attraverso ripetuti movimenti del controller.

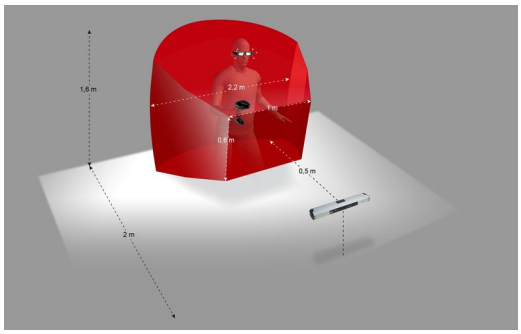

Figura 4.7. Area tracciamento SMARTRACK

Dai risultati ottenuti (Figura 4.8) si può notare che il tempo impiegato per completare il task con il CAVE è più di tre volte superiore a quello del VIVE.

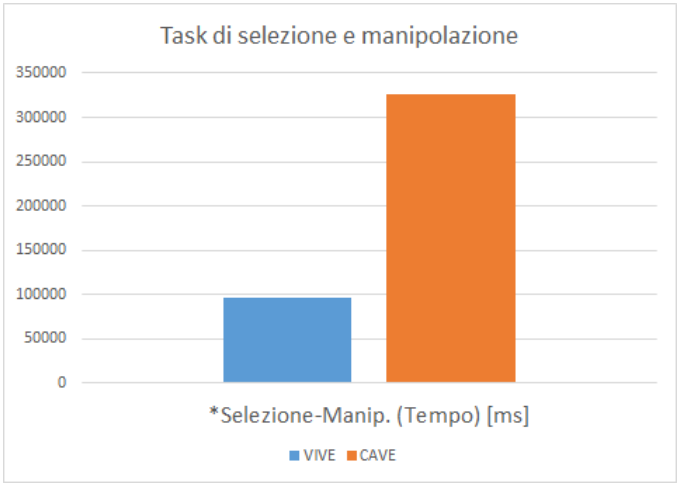

Figura 4.8. Tempi medi impiegati

4.2 Risultati qualitativi

Dopo aver analizzato i dati oggettivi si può passare all'analisi dei questionari. Il test di usabilità di Nielsen (Figura 4.9) ha dimostrato come il VIVE sia stato mediamente molto più facile da imparare e ha ottenuto una soddisfazione generale maggiore. Gli utenti si sono sentiti molto più efficienti usando il VIVE rispetto al CAVE. Discorso diverso per le domande relative alle facilità di ricordare l'utilizzo dei sistemi dopo un certo lasso di tempo e quella relativa alla robustezza del sistema. In entrambi i casi ha prevalso il VIVE ma non abbastanza per avere una rilevanza statistica.

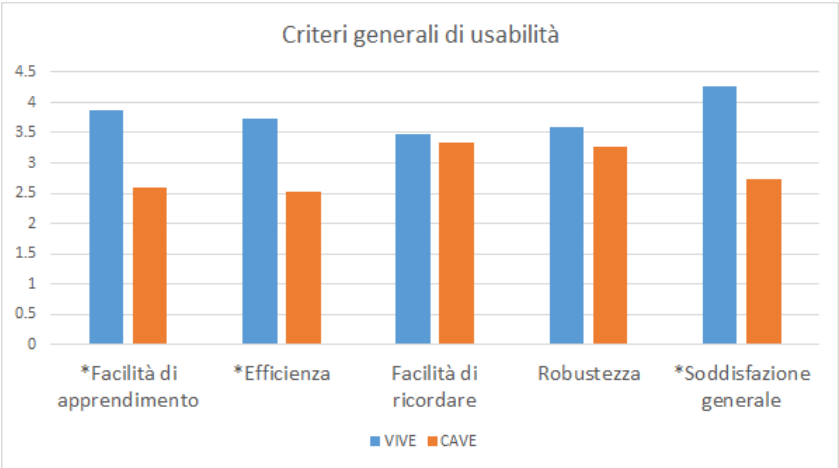

Figura 4.9. Risposte relative alla parte di Nielsen

La seconda parte è composta dalle domande prese dal Presence Questionnaire. Questo

questionario è stato ideato per indagare il senso di presenza che viene percepito dall'utente durante la sua esperienza, il suo coinvolgimento, la sua capacità di muoversi, di interagire con lo scenario e di osservare gli oggetti. Nella prima serie di istogrammi relativi al PQ (Figura 4.10) sono di particolare interesse e rilevanza statistica le domande riguardanti la stimolazione data dal sistema, la qualità del campo di vista, il controllo degli eventi e la naturalezza delle interazione. In queste quattro domande gli utenti hanno preferito il VIVE. Durante la compilazione del questionario è stato sottolineato come l'utilizzo del casco renda l'idea di essere all'interno del mondo virtuale e tutto ciò che viene fatto assomigli molto al mondo reale.

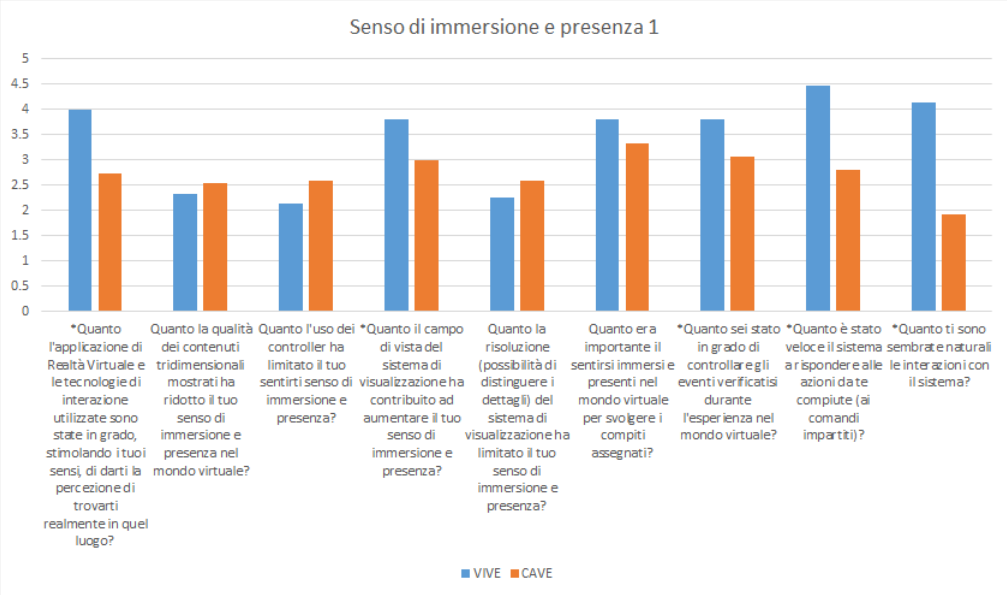

Figura 4.10. Risposte relative alla prima parte del Presence Questionnaire

La seconda sezione del Presence Questionnaire (Figura 4.11) contiene domande relative alla percezione di naturalezza e di realismo dell'ambiente virtuale. Gli utenti hanno preferito il VIVE in tutte le domande e tutte, ad eccezione della percezione di non sapere dove trovarsi nel mondo virtuale, sono risultate statisticamente rilevanti. In particolare le domande che hanno una maggiore differenza in termini di valore medio sono la naturalezza del controllo del movimento e la possibilità di esplorare il mondo virtuale usando la vista. Queste due risposte derivano sempre dallo stesso discorso fatto in precedenza. Il sistema di trascinare il mondo per modificare il punto di vista del CAVE risulta molto meno realistico di quello implementato dal VIVE che consente all'utente di guardasi intorno in qualsiasi direzione.

La terza sezione del PQ (Figura 4.10) contiene un insieme di domande rivolte al coinvolgimento dell'utente con l'esperienza, la sua relazione con i dispositivi di interazione e sulla sua capacità di concentrarsi durante lo svolgimento del compito nonostante la qualità dello schermo. Gli intervistati hanno evidenziato come il VIVE sia in grado di permettere

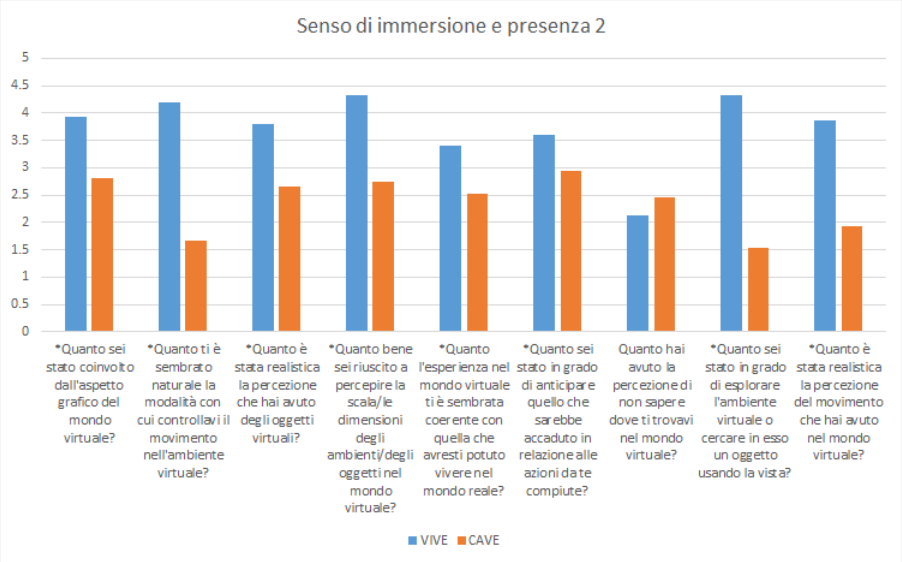

Figura 4.11. Risposte relative alla seconda parte del Presence Questionnaire

un'osservazione migliore degli oggetti del mondo virtuale, poichè è molto più semplice effettuare anche solo semplici spostamenti, mentre il CAVE risulta troppo macchinoso. Allo stesso tempo i controller del CAVE si sono dimostrati più difficili da usare per completare i task, soprattutto per colpa del sistema di tracciamento che rende il tutto più complesso. La maggior parte di coloro che ha risposto a questi questionari si sente molto abile nel muoversi all'interno del mondo virtuale dopo questa esperienza quando si tratta di un sistema VIVE, mentre sono più insicuri rispetto al CAVE.

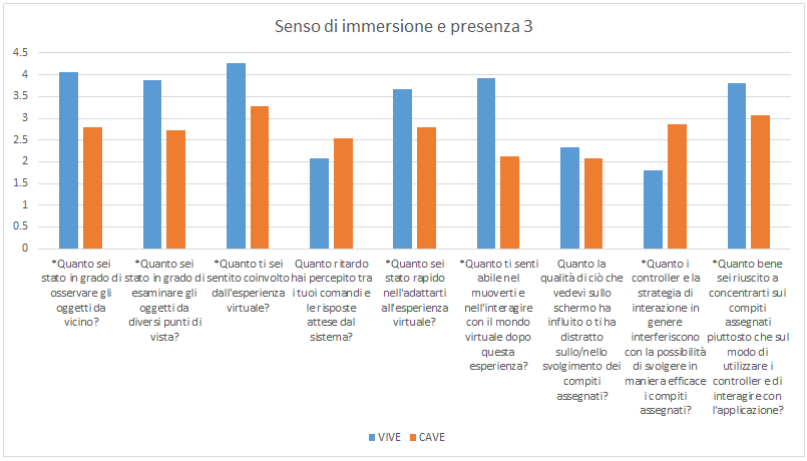

Figura 4.12. Risposte relative alla terza parte del Presence Questionnaire

La parte relativa ai controller (Figura 4.13) è stata inserita per poter confrontare i

due sistemi di input. Sia il CAVE che il VIVE utilizzano un telecomando abbastanza simile, nonostante questo gli utenti hanno preferito su larga scala quello del VIVE e lo hanno anche ritenuto perfetto per interagire con il mondo virtuale. Non statisticamente significative sono state le risposte sulla sensibilità dei comandi che hanno registrato una media uguale. Generalmente chi ha provato il CAVE avrebbe preferito uno strumento diverso per interagire con il sistema, mentre gli utilizzatori del VIVE si sono ritenuti soddisfatti. Questo diversità può essere dovuta alla difficoltà di interazione con il sistema CAVE che, lavorando su una piccola porzione di spazio, tende a perdere il tracciamento anche con piccoli spostamenti al di fuori dell'area di lavoro.

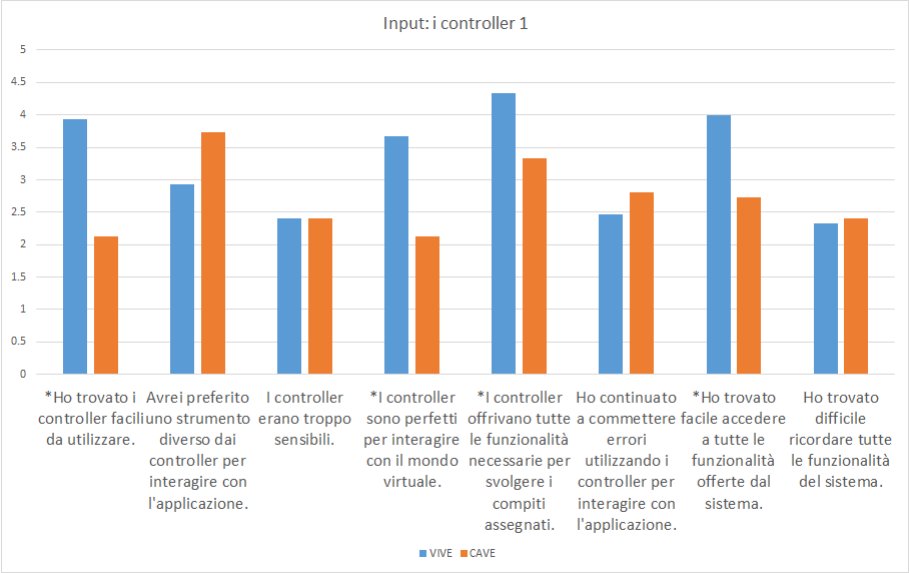

Figura 4.13. Risposte relative alla prima parte dei controller

La seconda parte relativa ai controller (Figura 4.14) contiene risposte quasi tutte significative. Gli utenti VIVE hanno trovato molto facile l'utilizzo del sistema, gestire tutto quello che avevano intorno, manipolare gli oggetti e navigare. Il CAVE, invece si è dimostrato difficile per gli utenti, questi, infatti, non sempre erano in grado di fare quello che desideravano nel mondo virtuale. Complessivamente i controller VIVE sono risultati molto apprezzati per interagire con il sistema.

Le sezione che riguarda gli spostamenti nel mondo virtuale (Figura 4.15) è uno dei punti cruciali della tesi perchè riguarda il concetto di navigazione. Tutte le risposte di questa sezione sono risultate statisticamente significative e tutte queste hanno evidenziato come il VIVE sia molto adatto a controllare gli spostamenti, ruotare il punto di vista, gestire la velocità. La domanda più importante, però, è quella sulla soddisfazioni generale. Gli utenti VIVE sono rimasti molto soddisfatti mentre gli utenti CAVE hanno riportato una notevole difficoltà nel ruotare il proprio punto di vista. Gli utenti VIVE, invecem hanno trovato molto interessante la possibilità di guardare il mondo a 360°.

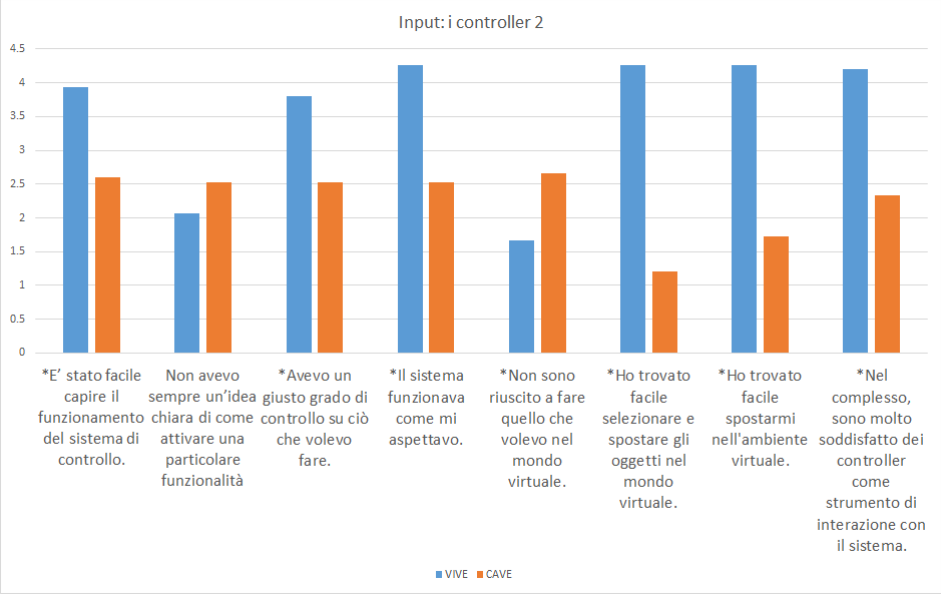

Figura 4.14. Risposte relative alla seconda parte dei controller

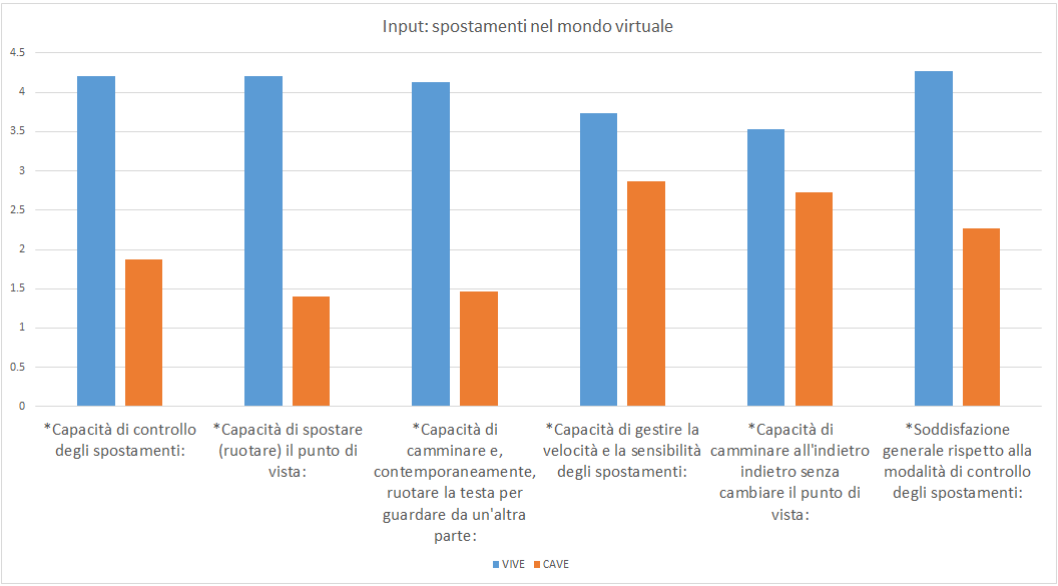

Figura 4.15. Risposte relative alla parte sulla navigazione

Un'altra sezione del questionario molto importante è quella riguardante la manipolazione degli oggetti (Figura 4.16). Le domande vertono sia sullo sforzo necessario per eseguire i compiti sia sulla facilità e soddisfazione dell'interazione con gli oggetti. Come

preventivato, per lo stesso motivo legato al tracciamento, gli utenti hanno preferito notevolmente utilizzare l'interfaccia VIVE. Gli stessi controller sono risultati più confortevoli da utilizzare perché permettevano all'utente di riposare le braccia senza essere obbligati a tenerle dentro l'area di tracciamento per non perdere il rilevamento.

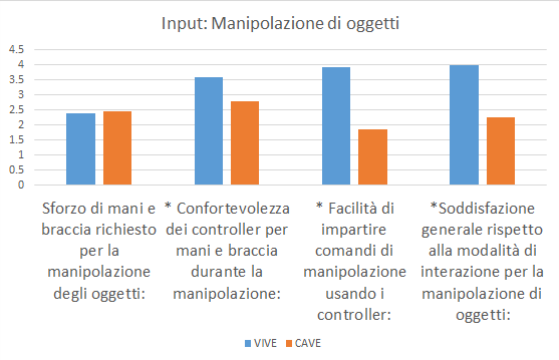

Figura 4.16. Risposte relative alla parte di manipolazione

La sezione di output (Figura 4.17) visivo è stata aggiunta per la valutazione dei due sistemi di visione, lo schermo proiettato e il visore. Le uniche due risposte significative hanno evidenziato come il VIVE abbia un migliore campo di vista e una migliore risoluzione. Gli utenti hanno manifestato una scarsa propensione verso lo schermo proiettato in quanto monoparete, quindi una notevole limitazione nel guardarsi intorno.

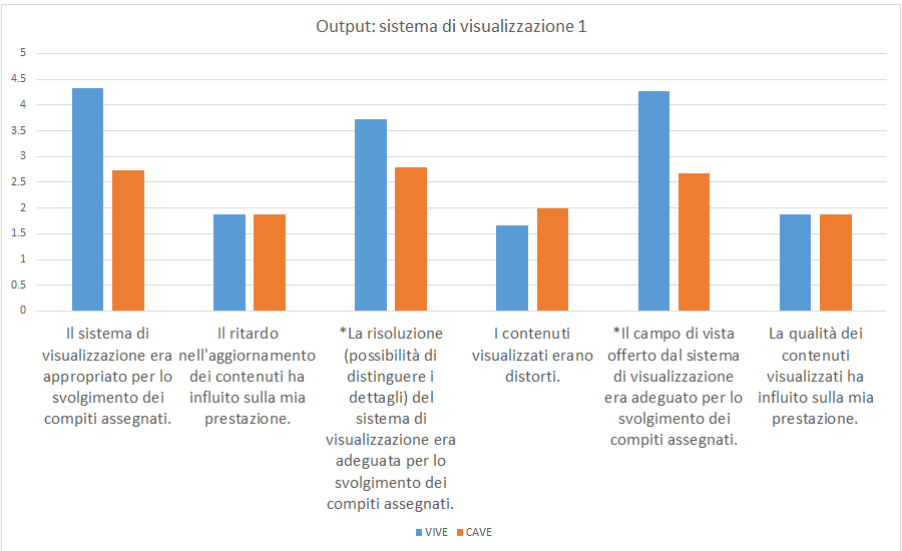

Figura 4.17. Risposte relative alla prima parte di output

Nella seconda parte del questionario sull'output visivo (Figura 4.18) è facile notare quanto sia evidente lo scarto in termini di punteggio tra i due sistemi per quanto riguarda

l'aggiornamento dell'immagine muovendo la testa e la soddisfazione generale. Il sistema CAVE aggiorna il punto di vista solo quando l'utente inclina la testa verso destra o verso sinistra, grazie alla possibilità di tracciare gli occhiali. Qualsiasi altro movimento non viene rilevato, di conseguenza molte volte il punto di vista viene modificato utilizzando il controller.

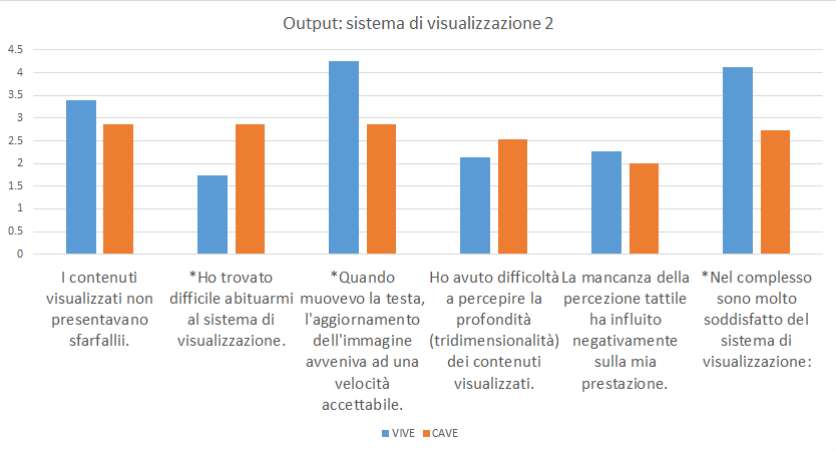

Figura 4.18. Risposte relative alla seconda parte di output

La parte sulla cybersickness (Figura 4.19), invece, non ha evidenziato nulla di particolare. Solo alcune persone hanno manifestato leggeri sintoni normalmente associati alle esperienze di VR. Il VIVE ha fatto registrare alcuni casi di leggero malessere, capogiro ad occhi aperti, nausea o mal di testa. Il CAVE, invece, ha fatto emergere alcuni casi di occhi affaticati, semplicemente giustificati dall'uso degli occhiali per la stereoscopia che, con il tempo, possono causare fastidio.

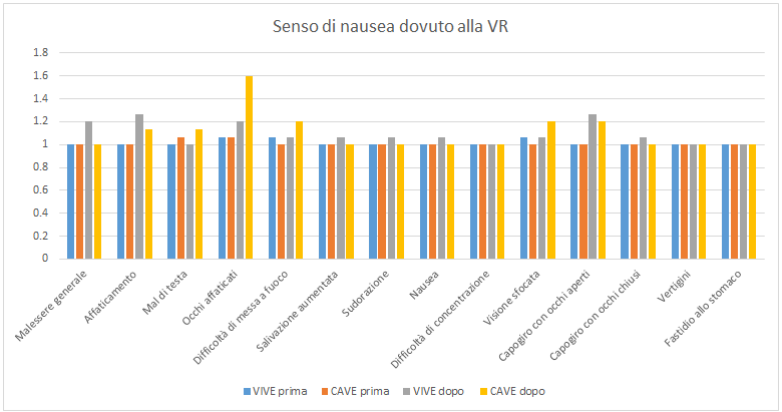

Figura 4.19. Risposte relative alla parte di cybersickness prima e dopo la prova

Capitolo 5

Conclusioni e possibili sviluppi futuri

5.1 Conclusioni

Gli obiettivi di questo lavoro di tesi sono stati raggiunti. I test hanno prodotto risultati quantitativi significativi e la stessa cosa si può dire per i questionari. Gli utenti hanno risposto in maniera positiva e partecipativa ai task contribuendo in maniera determinante al successo di questo confronto.

5.2 Sviluppi futuri

La vastità del campo della UX permette sicuramente di proporre nuovi metodi per effettuare confronti simili. Ad esempio potrebbe essere utile introdurre nuovi tipi di controller per poter rendere l'esperienza più realistica a livello di interazione, come un paio di guanti per la VR. Allo stesso tempo per il sistema CAVE potrebbe essere interessante utilizzare un sistema di visione meno impegnativo per la vista degli utenti.

Appendice A

Script in Jython utilizzati

A.1 Navigazione

```
# version 0.1
#
# showing / hiding text information "On Time" on "Explore" for interval of 1
    second


from java.util import Timer;
from java.util import TimerTask;
from de.icido.VDPExtension import TextCarrier;
from de.icido.VDPExtension import SceneObjectController;
from VDP.IDOAppBase.appLayer.selection import JC_IDOSelectionListHelper
from VDP.IDOAppBase.explore import JC_IDOExploreApp
from VDP.IDOKernel.kernel.listener import Global
from VDP.IDOKernel.kernel.reflection import JC_IDOReflectionToolsKernel
from VDP.IDOKernel.kernel.reflection import JI_IDOGenericListener;
from VDP.IDOKernel.scene.sceneTree import JC_IDOSceneObjectManager
from de.icido.VDPExtension import AnimationListController;
from de.icido.sensorController import SceneObjectPropertyChangedListener
from de.icido.VDPExtension import State;
from de.icido.VDPExtension import ImageCarrier;
from VDP.IDOKernel.kernel.system import JC_IDORendererManager;
from VDPTypes import MatrixF44;
import time

class TimeSensorContainer:

   def __init__(self, name):
      self.newTimeSensor(name)

   def newTimeSensor(self, name):
      self.mTimeSensor = TimeSensor(name)
```

```
class TimeSensor(TimerTask):

   def __init__(self, name):
      print "[TimeSensor] timer created on " + name
      self.name = name
      self.mTimer = Timer()
      self.period = 200

   def attach(self):
      self.mTimer = Timer()
      self.mTimer.schedule(self, 0, self.period)

   def detach(self):
      print "Detach..."
      self.cancel()
      self.mTimer.purge()
      self.mTimer = None


   def run(self):
      mCamera =
          JC_IDORendererManager.getSingleton().getActiveRenderer().getRenderTarget().getViewport(
          0 ).getIDOViewport().getCamera();
      m = mCamera.getTransform();
      x = m.elements[0][3]
      z = m.elements[2][3]
      if(x > -5.532876 and z > 1.215711):
         mill_end = int(round(time.time() * 1000))
         my_file = open('D:\Software\IDO\Examples\IDOScript\Navigazione.txt','a')
         tot = mill_end - millis
         print str(tot)
         my_file.write(str(tot) + "\n")
         my_file.flush()
         my_file.close()
         self.cancel()
         self.mTimer.purge()
         self.mTimer = None
      else :
         my_file = open('D:\Software\IDO\Examples\IDOScript\Navigazione.txt','a')
         my_file.write('%f ' % m.elements[0][3])
         my_file.write('%f \n' % m.elements[2][3])
         my_file.flush()
         my_file.close()


print "[TimeSensor] loading ..."
mEventName = "'a event'"
mContainer = TimeSensorContainer(mEventName)
millis = int(round(time.time() * 1000))
print millis
```

```
def attach():
   print "[TimeSensor] attaching ..."
   mContainer.mTimeSensor.attach();

def detach():
   print "[TimeSensor] detaching ..."
   mContainer.mTimeSensor.detach()

def release():
   print "[TimeSensor] releasing ..."
```

A.2 Accuratezza

```
from de.icido.VDPExtension import SceneObjectController;
from math import sqrt
import time


millis = int(round(time.time() * 1000))

def attach():
   millis_end = int(round(time.time() * 1000))
   tavolo = SceneObjectController("Tavolo")
   b_tav = SceneObjectController("Base Tavolo")
   vett1 = tavolo.getPositionWS()
   vett2 = b_tav.getPositionWS()
   cubo_s = SceneObjectController("Cubo_Sorg")
   cubo_d = SceneObjectController("Cubo_Dest")
   c_s = cubo_s.getPositionWS()
   c_d = cubo_d.getPositionWS()
   dist = sqrt ((c_s[0][0] - c_d[0][0])**2 + (c_s[0][1] - c_d[0][1])**2 +
       (c_s[0][2] - c_d[0][2])**2)
   bicchiere = SceneObjectController("BiccAcc")
   base_b = SceneObjectController("Base_B")
   dist_bc = bicchiere.getPositionWS()
   dist_ba = base_b.getPositionWS()
   prec_b = sqrt((dist_bc[0][2] - dist_ba[0][2])**2 + (dist_bc[0][0] -
       dist_ba[0][0])**2)
   my_file = open('D:\Software\IDO\Examples\IDOScript\Accuratezza.txt','w')
   my_file.write("Precisione cubi: %f\n" % dist)
   my_file.write("Precisione tavolo: %f \n" % abs((vett1[0][2] - vett2[0][2])))
   my_file.write("Precisione bicchiere: %f\n" % prec_b)
   tot = millis_end - millis
   my_file.write(str(tot))
   my_file.flush()
   my_file.close()
```

```
   print "Dati aggiornati"
```

A.3 Selezione e manipolazione

```
# for main
from de.icido.VDPExtension import TextCarrier

# for SnappingSensor
from VDP.IDOKernel.kernel.snappingManager import JC_IDOSnappingManager
from VDP.IDOKernel.kernel.snappingManager import JI_IDOSnappingListener

# common includes
from VDP.IDOKernel.scene.sceneTree import JC_IDOSceneObjectManager

import time


class SnappingSensor(JI_IDOSnappingListener):
   def __init__(self, name):
      self.mName = name



   def hasSnapped(self, resId):
      obj = JC_IDOSceneObjectManager.getSingleton().getSceneObjectByID(
          resId.getInt(0) )


      if (obj.getName() == self.mName):
         print "Terminato"
         millis_new = int(round(time.time() * 1000))
         tot = millis_new - millis
         my_file =
             open('D:\Software\IDO\Examples\IDOScript\Manipolazione.txt','a')
         my_file.write("Snap oggetto " + obj.getName() + " " + str(tot) + "\n")
         my_file.flush()
         my_file.close()
      else:
         millis_new = int(round(time.time() * 1000))
         tot = millis_new - millis
         my_file =
             open('D:\Software\IDO\Examples\IDOScript\Manipolazione.txt','a')
         my_file.write("Snap oggetto " + obj.getName() + " " + str(tot) + "\n")
         my_file.flush()
         my_file.close()
```

```
print "[Snapping] loading ..."

millis = int(round(time.time() * 1000))
print str(millis)

gSnapEvent = SnappingSensor("Ultimo")

def attach():
   print "[Snapping] attaching ..."



   JC_IDOSnappingManager.getSingleton().addListener(gSnapEvent)

def detach():
   print "[Snapping] detaching ..."



   JC_IDOSnappingManager.getSingleton().removeListener(gSnapEvent)

def release():
   print "[Snapping] releasing ..."
```

Appendice B

Script Matlab

B.1 Disegno traiettorie e calcolo distanza percorsa

```
P = dlmread('Navigazione.txt'); %File di testo con le posizioni
X = P(:,1);
Y = P(:,2);

quiver(X,-Y,gradient(X),gradient(-Y)); %Il vettore Y viene preso con il segno
    meno perch il grafico deve essere ribaltato
title('Traiettoria percorsa')
xlabel('Asse x [m]')
ylabel('Asse z [m]')
axis equal

L = sum(sqrt(diff(X).^2 + diff(Y).^2))
```

Appendice C

Questionario

C.0.1 Domande preliminari

Età:
Sesso:
Esperienza con strumenti per la grafica 3D (progettazione, modellazione, animazione, ecc.): (Nessuna, Base, Intermedia, Avanzata)
Esperienza con dispositivi indossabili per la Realtà Virtuale (es. HTC Vive, Oculus Rift, ecc.): (Nessuna, Base, Intermedia, Avanzata)
Esperienza con soluzioni di Realtà Virtuale proiettata (CAVE): (Nessuna, Base, Intermedia, Avanzata)

C.0.2 Criteri generali di usabilità (1 minimo - 5 massimo)

Facilità di apprendimento
Efficienza
Facilità di ricordare
Robustezza
Soddisfazione generale

C.0.3 Senso di nausea dovuto alla Realtà virtuale prima (1 minimo - 5 massimo)

Malessere generale
Affaticamento
Mal di testa
Occhi affaticati
Difficoltà di messa a fuoco
Salivazione aumentata
Sudorazione
Nausea

Difficoltà di concentrazione
Visione sfocata
Capogiro con occhi aperti
Capogiro con occhi chiusi
Vertigini
Fastidio allo stomaco

C.0.4 Senso di immersione e presenza (1 per nulla - 5 completamente)

Quanto l'applicazione di Realtà Virtuale e le tecnologie di interazione utilizzate sono state in grado, stimolando i tuoi sensi, di darti la percezione di trovarti realmente in quel luogo (di sentirti "immerso" e "presente" in un luogo diverso da quello in cui ti trovi fisicamente)?
Quanto la qualità dei contenuti tridimensionali mostrati ha ridotto il tuo senso di immersione e presenza nel mondo virtuale?
Quanto l'uso dei controller ha limitato il tuo sentirti senso di immersione e presenza?
Quanto il campo di vista del sistema di visualizzazione ha contribuito ad aumentare il tuo senso di immersione e presenza?
Quanto la risoluzione (possibilità di distinguere i dettagli) del sistema di visualizzazione ha limitato il tuo senso di immersione e presenza?
Quanto era importante il sentirsi immersi e presenti nel mondo virtuale per svolgere i compiti assegnati?
Quanto sei stato in grado di controllare gli eventi verificatisi durante l'esperienza nel mondo virtuale?
Quanto è stato veloce il sistema a rispondere alle azioni da te compiute (ai comandi impartiti)?
Quanto ti sono sembrate naturali le interazioni con il sistema?
Quanto sei stato coinvolto dall'aspetto grafico del mondo virtuale?
Quanto ti è sembrato naturale la modalità con cui controllavi il movimento nell'ambiente virtuale?
Quanto è stata realistica la percezione che hai avuto degli oggetti virtuali?
Quanto bene sei riuscito a percepire la scala/le dimensioni degli ambienti/degli oggetti nel mondo virtuale?
Quanto l'esperienza nel mondo virtuale ti è sembrata coerente con quella che avresti potuto vivere nel mondo reale?
Quanto sei stato in grado di anticipare quello che sarebbe accaduto in relazione alle azioni da te compiute?.
Quanto hai avuto la percezione di non sapere dove ti trovavi nel mondo virtuale?
Quanto sei stato in grado di esplorare l'ambiente virtuale o cercare in esso un oggetto usando la vista?
Quanto è stata realistica la percezione del movimento che hai avuto nel mondo virtuale?
Quanto sei stato in grado di osservare gli oggetti da vicino?
Quanto sei stato in grado di esaminare gli oggetti da diversi punti di vista?

Quanto ti sei sentito coinvolto dall'esperienza virtuale?
Quanto ritardo hai percepito tra i tuoi comandi e le risposte attese dal sistema?
Quanto sei stato rapido nell'adattarti all'esperienza virtuale?
Quanto ti senti abile nel muoverti e nell'interagire con il mondo virtuale dopo questa esperienza?
Quanto la qualità di ciò che vedevi sullo schermo ha influito o ti ha distratto sullo/nello svolgimento dei compiti assegnati?
Quanto i controller e la strategia di interazione in genere interferiscono con la possibilità di svolgere in maniera efficace i compiti assegnati?
Quanto bene sei riuscito a concentrarti sui compiti assegnati piuttosto che sul modo di utilizzare i controller e di interagire con l'applicazione?

C.0.5 Input: i controller (1 per nulla - 5 completamente d'accordo)

Ho trovato i controller facili da utilizzare.
Avrei preferito uno strumento diverso dai controller per interagire con l'applicazione.
I controller erano troppo sensibili.
I controller sono perfetti per interagire con il mondo virtuale.
I controller offrivano tutte le funzionalità necessarie per svolgere i compiti assegnati.
Ho continuato a commettere errori utilizzando i controller per interagire con l'applicazione.
Ho trovato facile accedere a tutte le funzionalità offerte dal sistema.
Ho trovato difficile ricordare tutte le funzionalità del sistema.
E stato facile capire il funzionamento del sistema di controllo.
Non avevo sempre unidea chiara di come attivare una particolare funzionalità
Avevo un giusto grado di controllo su ciò che volevo fare.
Il sistema funzionava come mi aspettavo.
Non sono riuscito a fare quello che volevo nel mondo virtuale.
Ho trovato facile selezionare e spostare gli oggetti nel mondo virtuale.
Ho trovato facile spostarmi nell'ambiente virtuale.
Nel complesso, sono molto soddisfatto dei controller come strumento di interazione con il sistema.

C.0.6 Input: spostamenti nel mondo virtuale (1 molto bassa - 5 molto alta)

Capacità di controllo degli spostamenti:
Capacità di spostare (ruotare) il punto di vista:
Capacità di camminare e, contemporaneamente, ruotare la testa per guardare da un'altra parte:
Capacità di gestire la velocità e la sensibilità degli spostamenti:
Capacità di camminare all'indietro indietro senza cambiare il punto di vista:

Soddisfazione generale rispetto alla modalità di controllo degli spostamenti:

C.0.7 Input: manipolazione di oggetti (1 molto basso - 5 molto alto)

Sforzo di mani e braccia richiesto per la manipolazione degli oggetti:
Confortevolezza dei controller per mani e braccia durante la manipolazione:
Facilità di impartire comandi di manipolazione usando i controller:
Soddisfazione generale rispetto alla modalità di interazione per la manipolazione di oggetti:

C.0.8 Output: sistema di visualizzazione (schermo, occhiali) (1 per nulla d'accordo - 5 completamente d'accordo)

Il sistema di visualizzazione era appropriato per lo svolgimento dei compiti assegnati.
Il ritardo nell'aggiornamento dei contenuti ha influito sulla mia prestazione.
La risoluzione (possibilità di distinguere i dettagli) del sistema di visualizzazione era adeguata per lo svolgimento dei compiti assegnati.
I contenuti visualizzati erano distorti.
Il campo di vista offerto dal sistema di visualizzazione era adeguato per lo svolgimento dei compiti assegnati.
La qualità dei contenuti visualizzati ha influito sulla mia prestazione.
I contenuti visualizzati non presentavano sfarfallii.
Ho trovato difficile abituarmi al sistema di visualizzazione.
Quando muovevo la testa, l'aggiornamento dell'immagine avveniva ad una velocità accettabile.
Ho avuto difficoltà a percepire la profondità (tridimensionalità) dei contenuti visualizzati.
La mancanza della percezione tattile ha influito negativamente sulla mia prestazione.
Nel complesso sono molto soddisfatto del sistema di visualizzazione:

C.0.9 Senso di nausea dovuto alla Realtà virtuale dopo (1 minimo - 5 massimo)

Malessere generale
Affaticamento
Mal di testa
Occhi affaticati
Difficoltà di messa a fuoco
Salivazione aumentata
Sudorazione
Nausea
Difficoltà di concentrazione
Visione sfocata
Capogiro con occhi aperti

Capogiro con occhi chiusi
Vertigini
Fastidio allo stomaco

Bibliografia

[1] H. H. Goldstine. The computer: from pascal to von neumann. *Princeton University Press*, 1972.

[2] M. L. Berman W. K. English, D. C. Engelbart. Display-selection techniques for text manipulation. *IEEE Trans. On Human Factors in Electronics*, 1967.

[3] D. J. Guest M. E. Sime, T. R. G. Green. Psychological evaluation of two conditional construction used in computer languages. *Int. Journal of Man-Machines Studies*, 1973.

[4] M. Hassenzahl. *The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and product*. 2003.

[5] F. Gemperle, C. Kasabach, J. Stivoric, M. Bauer, and R. Martin. Design for wearability. In *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215)*, pages 116–122, Oct 1998.

[6] Baber Knight. A tool to assess the comfort of wearable computers. *Human Factor*, 2005.

[7] Jonathan Steuer. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, 42(4):73–93, 1992.

[8] Mel Slater and Anthony Steed. A virtual presence counter. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 9(5):413–434, 2000.

[9] Bob G Witmer and Michael J Singer. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 7(3):225–240, 1998.

[10] Gary Fontaine. The experience of a sense of presence in intercultural and international encounters. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(4):482–490, 1992.

[11] Anne M Treisman and Jenefer G Riley. Is selective attention selective perception or selective response? a further test. *Journal of Experimental Psychology*, 79(1p1):27, 1969.

[12] Anne M Treisman. Verbal cues, language, and meaning in selective attention. *The American journal of psychology*, 77(2):206–219, 1964.

[13] Bob G Witmer and Michael F Singer. Measuring presence in virtual environments. Technical report, ARMY RESEARCH INST FOR THE BEHAVIORAL AND SOCIAL SCIENCES ALEXANDRIA VA, 1994.

[14] Rosa María Baños, Cristina Botella, Azucena Garcia-Palacios, H Villa, Concepción Perpiñá, and Mariano Alcaniz. Presence and reality judgment in virtual environments: a unitary construct? *CyberPsychology & Behavior*, 3(3):327–335, 2000.

[15] Doug A. Bowman, Elizabeth T. Davis, Larry F. Hodges, and Albert N. Badre. Maintaining spatial orientation during travel in an immersive virtual environment. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 8(6):618–631, December 1999.

[16] Doug A. Bowman, Ernst Kruijff, Joseph J. LaViola, and Ivan Poupyrev. An introduction to 3-d user interface design. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 10(1):96–108, February 2001.

[17] Deborah Hix and H. Rex Hartson. *Developing User Interfaces: Ensuring Usability Through Product &Amp; Process*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1993.

[18] Ben Shneiderman. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 3rd edition, 1997.

[19] Doug A. Bowman, Joseph L. Gabbard, and Deborah Hix. A survey of usability evaluation in virtual environments: Classification and comparison of methods. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 11(4):404–424, August 2002.

[20] Kirakowski. SUMI. http://sumi.uxp.ie/about/sumipapp.html, 2016.

[21] IBM. SUMI. ucd.yolasite.com/resources/The

[22] Usability.gov. System Usability Scale (SUS). https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html, 1992.

[23] Jakob Nielsen. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1993.

[24] William R. Sherman and Alan B. Craig. *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2002.

[25] Mark R. Mine. Virtual environment interaction techniques. Technical report, Chapel Hill, NC, USA, 1995.

[26] Doug A. Bowman, Ameya Datey, Young Sam Ryu, Umer Farooq, and Omar Vasnaik. Empirical comparison of human behavior and performance with different display devices for virtual environments. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(26):2134–2138, 2002.

[27] Ronald Azuma and Gary Bishop. Improving static and dynamic registration in an optical see-through hmd. In *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '94, pages 197–204, New York, NY, USA, 1994. ACM.

[28] Bill Buxton and George W. Fitzmaurice. Hmds, caves & chameleon: A human-centric analysis of interaction in virtual space. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 32(4):69–74, November 1998.

[29] Wikipedia. HTC Vive. https://en.wikipedia.org/wiki/HTC_Vive, 2016.

[30] Valerio Porcu. HTC Vive: disponibilità, prezzo, caratteristiche. https://www.tomshw.it/htc-vive-disponibilita-prezzo-caratteristiche-74652, 2016.

[31] Kevin Carbotte. The HTC Vive Review. http://www.tomshardware.com/reviews/htc-vive-virtual-reality-hmd,4519-9.html, 2016.

[32] Manolo De Agostini. Oculus Rift: prezzo, disponibilità, caratteristiche tecniche. https://www.tomshw.it/oculus-rift-prezzo-disponibilita-caratteristiche-tecniche-74615, 2016.

[33] John Yoon. Oculus Rift: Pros and Cons. http://vrnia.com/2016/03/29/oculus-rift-pros-and-cons, 2016.

[34] Roberto Caccia. PlayStation VR: prezzo, disponibilità e specifiche tecniche. https://www.tomshw.it/playstation-vr-prezzo-disponibilita-e-specifiche-tecniche-75512, 2016.

[35] TechSpot. PlayStation VR. http://www.techspot.com/products/audio-video/playstation-vr.152662, 2016.

[36] Wikipedia. Google Cardboard. https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Cardboard, 2016.

[37] Technavio. THE PROS AND CONS OF GOOGLE CARDBOARD. http://www.techspot.com/products/audio-video/playstation-vr.152662, 2015.

[38] Wikipedia. Samsung Gear VR. https://en.wikipedia.org/wiki/Samsung_Gear_VR, 2016.

[39] Divya Gandotra. Samsung Gear VR Review, Pros and Cons Details. http://www.reviewgadgets.net/samsung-gear-vr-review-pros-and-cons-details/, 2016.

[40] Wikipedia. Open Source Virtual Reality. https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Source_Virtual_Reality, 2016.

[41] Reddit. Pros and Cons of OSVR. https://www.reddit.com/r/OSVR/comments/48rpmt/pros_and_cons_of_osvr/, 2016.

[42] Inc. FOVE. FOVE. https://www.getfove.com, 2016.

[43] TIGERVR. FOVE: nella realtà virtuale gli occhi non servono solo per guardare. http://www.vrrebels.com/it/fove-nella-realta-virtuale-gli-occhi-non-servono-solo-per-guardare, 2016.

[44] TIGERVR. StarVR: quando le dimensioni contano, nella realtà virtuale. http://www.vrrebels.com/it/starvr-quando-le-dimensioni-contano-nella-realta-virtuale, 2016.

[45] TIGERVR. VR Union Claire: da Praga con 4K di furore. http://www.vrrebels.com/it/vr-union-claire-4k-oculus-rift, 2016.

[46] Nic Healey. Sulon Q 'PC-free' VR and AR headset sounds too good to be true. https://www.cnet.com/products/sulon-q/preview, 2016.

[47] Slant. Sulon Q vs HTC Vive. https://www.slant.co/versus/15372/5893/ sulon-q_vs_-htc-vive, 2016.

[48] Manus VR. Manus VR. https://manus-vr.com/, 2016.

[49] Slant. Manus vs Gloveone. https://www.slant.co/versus/15348/15349/ manus_vs_-gloveone, 2016.

[50] Neurodigital. Gloveone. https://www.neurodigital.es/gloveone/, 2016.

[51] LLC Virtual Motion Labs. VMG 30 Plus. http://www.virtualmotionlabs.com/vr-gloves/vmg-30-plus/, 2016.

[52] Noitom Ltd. Hi5. http://hi5vrglove.com/, 2017.

[53] John Marco Oscillada. List of Haptic Controllers under Development for Virtual Reality. http://www.virtualrealitytimes.com/2015/03/13/list-of-haptic-controllers-virtual-reality/, 2015.

[54] Slant. Gloveone vs Hands Omni. https://www.slant.co/versus/15349/15350/ gloveone_vs_hands-omni, 2016.

[55] Dexta Robotics. Dexmo. http://www.dextarobotics.com/, 2016.

[56] Inc. NullSpace VR. HardLight. http://www.hardlightvr.com, 2016.

[57] Scott Hayden. AxonVR is Making a Haptic Exoskeleton Suit to Bring Your Body and Mind into VR. http://www.roadtovr.com/axonvr-making-haptic-exoskeleton-suit-bring-body-mind-vr, 2016.

[58] Xsense. Xsense. https://www.xsens.com/products/xsens-mvn/, 2016.

[59] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, Robert V. Kenyon, and John C. Hart. The cave: Audio visual experience automatic virtual environment. *Commun. ACM*, 35(6):64–72, June 1992.

[60] VisBox. VisBox Models. http://www.visbox.com/VisCube-models.pdf, 2016.

[61] Sixsense Entertainment Inc. STEM System. http://sixense.com/wireless, 2015.

[62] Inc. H2L. UnlimitedHand. http://unlimitedhand.com/en, 2016.

[63] Thalmic Labs. MYO. https://www.myo.com/, 2015.

[64] Charlie Osborne. Myo Gesture Control Armband: Hands free control for your devices. http://www.zdnet.com/product/the-myo-gesture-control-armband/, 2016.

[65] Leap Motion. Leap Motion. https://www.leapmotion.com, 2013.

[66] TechSpot. Leap Motion controller. http://www.techspot.com/products/remotes/leap-motion-controller/, 2016.

[67] 3DiVi. VicoVR. http://vicovr.com, 2016.

[68] WorldViz. WorldViz. https://www.worldviz.com/virtual-reality-motion-tracking, 2015.

[69] Ximmerse. Ximmerse. http://www.ximmerse.com/, 2015.

[70] A. Pereira, G. A. Lee, E. Almeida, and M. Billinghurst. A study in virtual navigation cues for forklift operators. In *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pages 95–99, June 2016.

[71] Bob G. Witmer and Michael J. Singer. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 7(3):225–240, June 1998.

[72] Roy S. Kalawsky. Vrusea computerised diagnostic tool: for usability evaluation of virtual/synthetic environment systems. *Applied Ergonomics*, 30(1):11 – 25, 1999.

[73] A. Kitson, A. M. Hashemian, E. R. Stepanova, E. Kruijff, and B. E. Riecke. Comparing leaning-based motion cueing interfaces for virtual reality locomotion. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pages 73–82, March 2017.

[74] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, and Michael G. Lilienthal. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3):203–220, 1993.

Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura di questa tesi. Ringrazio anzitutto il Professor Lamberti, relatore, e i Professori Bottino e Paravati, corelatori, per i loro insegnamenti, il loro infinito aiuto, la professionalità e la pazienza avuta.

Ringrazio la ESI Italia per avermi dato la possibilità di collaborare con loro e per avermi fornito tutto il materiale necessario. In particolar modo Luca per la sua disponibilità e Andrea per tutto l'aiuto fornito durante i miei periodi in sede.

Ringrazio tutti coloro che si sono sottoposti ai test e ai questionari, senza di voi questa tesi non esisterebbe.

Sarò infinitamente grato alla mia famiglia, che ha sempre creduto in me e che, nonostante i grandi sacrifici, mi ha permesso di frequenatare questa Università.

Vorrei ringraziare la mia fidanzata Martina e la sua famiglia per il grande supporto che mi hanno dato in questi ultimi mesi.

Ringrazio ancora tutti coloro che hanno condiviso con me questo percorso, i miei compagni di Università, per i progetti di gruppo, per le notti passate a studiare e per il tempo trascorso insieme.

Vorrei, infine, ringraziare i miei coinquilini e i miei amici che mi sono sempre stati vicini.