

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Magistrale in Informatica

**CRoCs-XR: A Cross-Reality
Collaborative Experience for Fashion
X-Commerce via Virtual and
Augmented Reality**

Relatore:

Chiar.mo Prof.
Gustavo Marfia

Presentata da:

Luca Asunis

Correlatore:

Dott. Lorenzo Stacchio

Seconda sessione
Anno Accademico 2022-2023

Abstract

Negli ultimi anni, c'è stata una diffusa adozione delle tecnologie di realtà estesa (**XR**), come Realtà Virtuale (**VR**), Aumentata (**AR**) e Mista (**MR**). Ciò è dovuto principalmente alla **diminuzione dei costi** dei dispositivi, miglioramenti nell'**ergonomia** e l'introduzione di **nuovi hardware** e **software** che ne agevolano l'uso quotidiano. Inoltre, l'idea di **metaverso**, sta ridefinendo modelli di *socialità*, *intrattenimento* e *apprendimento*. Questi due fattori avranno degli impatti nel campo delle strategie di **e-commerce**, dando vita a un nuovo intero ecosistema di commercio basato sull'XR (**x-commerce**). L'**x-commerce** è un termine coniato di recente, ed indica la possibilità di progettare i classici sistemi di e-commerce in mondi virtuali, aumentandone le possibilità tramite paradigmi XR, riuscendo a **colmare alcune lacune** che spesso si riscontrano nell'acquisto online **tradizionale**. Uno degli ostacoli dell'acquisto online è la mancanza di opportunità di provare i prodotti. Questo spesso porta a decisioni di non acquisto o alla necessità di resi. Allo stesso modo, è difficile avere un'esperienza di shopping **realistica** e **sociale**, dato che la maggior parte delle persone non dispone di dispositivi completamente immersivi. In questo studio, ci concentreremo su questa specifica problematica, focalizzandoci sullo sviluppo di un'**esperienza di shopping virtuale**, basata sull'asimmetria di Realtà Virtuale e Aumentata: il soggetto indossante un casco immersivo VR, potrà provare dei vestiti in una **dressing room virtuale** e condividere il suo outfit in **tempo reale** con soggetti usanti AR in un dispositivo **mobile** e **lowcost**. Essi potranno consigliare modifiche all'outfit e votarlo tramite interazioni tipiche dei social network.

Indice

Abstract	i
1 Introduzione	1
1.1 Extended Reality(XR)	1
1.1.1 Realtà Virtuale: VR	2
1.1.2 Realtà Aumentata (AR)	3
1.1.3 Mixed Reality (MR)	3
1.1.4 Virtual Worlds (VWs)	5
1.2 L'eXtended Reality (XR) e le sue applicazioni	5
1.3 E-commerce in eXtended Reality: x-commerce	13
1.3.1 Approccio XR nell'ambito della moda	14
1.4 Ambiente XR collaborativo remoto	17
1.5 Cross-Reality (CR) - Panoramica e applicazioni	19
2 Lavori correlati	23
3 Applicazione e architettura del sistema	27
3.1 Introduzione generale	27
3.2 Architettura del sistema	30
4 Sviluppo e funzionalità	33
4.1 Tecnologie utilizzate	33
4.1.1 Ambiente di sviluppo: Unity	33
4.1.2 Programma ausiliario: Blender	37

4.2	Dispositivi utilizzati	40
4.2.1	HTC Vive Pro	40
4.2.2	Oneplus 8T	42
4.3	Applicazione VR	43
4.3.1	Sincronizzazione del movimento e del cambio dei vestiti in tempo reale con tutti i client connessi	45
4.3.2	Movimento tramite Inverse Kinematics	46
4.3.3	Indossare virtualmente i vestiti appesi	49
4.3.4	Comunicazione con gli utenti connessi	51
4.3.5	Specchio interattivo	53
4.4	Applicazione AR	62
4.4.1	Connessione alla stanza virtuale	63
4.4.2	Scena AR, visualizzazione dell'avatar VR	65
4.4.3	Movimento all'interno della scena	66
4.4.4	Riposizionamento	67
4.4.5	Menù scelta outfit	68
5	Conclusioni e sviluppi futuri	75
5.1	Conclusioni	75
5.2	Sviluppi futuri	76

Elenco delle figure

1.1	XR - eXtended Reality	2
1.2	XR nell'intrattenimento	6
1.3	XR nell'educazione e formazione	7
1.4	XR nella medicina	8
1.5	XR nell'industria e nel design	9
1.6	XR nel commercio	10
1.7	X-Commerce	14
1.8	X-Commerce nella moda	17
1.9	Ambiente XR collaborativo	18
1.10	CR - Cross Reality	22
3.1	Logo	29
3.2	Idea di architettura basata su HCLINT-DT	30
3.3	Architettura	32
4.1	Unity	34
4.2	ARCore	36
4.3	Unity Multiplayer Networking	37
4.4	Blender	40
4.5	Sketchfab	40
4.6	Dispositivo VR: HTC Vive Pro	42
4.7	Dispositivo Android: Oneplus 8T	43
4.8	Componente Network Transform	46
4.9	Gerarchia Inverse Kinematics	48

4.10 Esempio di Inverse Kinematics	48
4.11 Selezione del capo d'abbigliamento tramite controller	50
4.12 Parete della Videochat	53
4.13 Overview specchio	54
4.14 Pulsante per avviare il server	55
4.15 Codice d'accesso alla stanza virtuale	55
4.16 Catalogo - Upperbody	56
4.17 Catalogo - Lowerbody	56
4.18 Catalogo - Scarpe	56
4.19 Catalogo - Cappelli	56
4.20 Catalogo - Occhiali	57
4.21 Catalogo - Orologi	57
4.22 Catalogo - Carta specifica	58
4.23 Menù consigliati	59
4.24 Carta outfit consigliato	60
4.25 Bottone aggiungi vestiti indossati	61
4.26 Menù carrello	62
4.27 Pagina iniziale Android	65
4.28 Scena principale per gli utenti AR	66
4.29 Joystick per il movimento su smartphone	67
4.30 Resetta posizione sulla scena AR	67
4.31 Menù scegli outfit Android	68
4.32 Outfit manichino Android nel dettaglio	70
4.33 Catalogo nel menù dell'applicazione Android	70
4.34 Pulsante "consiglia" outfit nel menù Android	71
4.35 Suggerimento con segnalino direttamente sul capo (Scena VR)	72
4.36 Outfit consigliato nel menu dello specchio (Scena VR)	72
4.37 Pulsante "prova" outfit nel menù Android	73
4.38 Quick look nella carta specifica dell'indumento	74
4.39 Finestra Quick look	74

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Extended Reality(XR)

Le tecnologie immersive sono solitamente associate a diverse tipologie di realtà, tra cui la realtà virtuale (VR), la realtà aumentata (AR), la realtà mista (MR), i mondi virtuali (VWs), la realtà estesa (XR). Il termine **Realtà Estesa** (*XR - eXtended Reality*) sta diventando sempre più diffuso e può essere interpretato come un termine generico per tutte queste tecnologie. La lettera **x** nell'acronimo di realtà estesa, non si limita a indicare solamente **estesa**. Infatti, può essere concepita come una **variabile** per tutte le future tecnologie che verranno integrate sotto questa definizione. [42]. La **Realtà Estesa** rappresenta quindi un concetto ampio per descrivere **qualsiasi** tecnologia che modifica la realtà mediante l'aggiunta di **elementi digitali all'ambiente fisico** o reale, in qualsiasi grado (Figura 1.1). Il concetto di realtà estesa **non** si riferisce quindi, a una **tecnologia specifica**, ma abbraccia **tutte le tecnologie esistenti o future**, che alterano la realtà mediante la fusione del mondo digitale e di quello fisico o creando interamente ambienti virtuali [21]. Avere **tanti** termini diversi per tecnologie che invece sono leggermente differenti tra loro, suggerisce che questa sia un'area **in espansione** all'interno del settore. Forniamo di seguito alcune definizioni per queste tecnologie più specifiche.

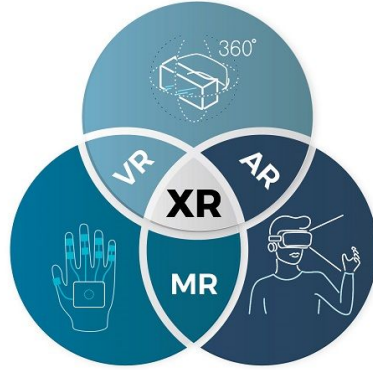


Figura 1.1: XR - eXtended Reality

1.1.1 Realtà Virtuale: VR

La Realtà Virtuale è una tecnologia che mira a influenzare il **comportamento di un organismo** (come un essere umano) attraverso una stimolazione **sensoriale artificiale** in un contesto in cui questo organismo ha una consapevolezza **limitata o scarsa** dell'**interferenza** che si sta verificando. In altre parole, la realtà virtuale cerca di creare un'**esperienza sensoriale coinvolgente** (utilizzando dispositivi come visori e controller per fornire stimoli visivi, uditivi e talvolta tattili) durante la quale, l'organismo, immerso totalmente, **non si rende conto** che l'ambiente in cui si trova è **generato artificialmente** [32]. Questa definizione comprende **quattro** elementi chiave:

1. **Comportamento mirato:** l'organismo sperimenta un'esperienza progettata dal creatore, che può includere attività come volare, camminare, esplorare, guardare un film o socializzare con altri organismi;
2. **Organismo:** l'organismo coinvolto può essere un essere umano o un'altra forma di vita, come un insetto, un pesce, un roditore o una scimmia;

3. **Stimolazione sensoriale artificiale:** grazie all'ingegneria, i sensi dell'organismo vengono influenzati da stimolazione artificiale, sostituendo o potenziando i normali input sensoriali;
4. **Consapevolezza:** durante l'esperienza, l'organismo sembra non rendersi conto dell'interferenza e viene "ingannato" nel percepire la presenza in un mondo virtuale. Questa mancanza di consapevolezza crea un senso di presenza in un mondo alterato o alternativo.

Un'altra definizione di Realtà Virtuale è quella di una **tecnologia che crea un ambiente artificiale**, offrendo agli utenti un'**esperienza immersiva e interattiva**. Si cerca di ricreare sensorialmente un **mondo virtuale** che può essere **esplorato** e **interagito** dagli utenti utilizzando dispositivi come **visori** e controlli di movimento con l'obiettivo di creare un **senso di presenza** e quindi di massima **immersività**.

1.1.2 Realtà Aumentata (AR)

Si definisce Realtà Aumentata (AR) una **visione** diretta o indiretta **in tempo reale** di un ambiente **fisico** del mondo reale che è stato *aumentato* aggiungendovi informazioni virtuali generate dal computer. L'AR **migliora** la **percezione** e l'**interazione** dell'utente con il mondo reale combinando appunto con quest'ultimo oggetti virtuali. Realtà fisica e realtà virtuale quindi **coesistono** nello stesso istante agli occhi dell'utente, **al contrario della Realtà Virtuale (VR)**, dove gli utenti si immergono completamente in un mondo sintetico senza vedere il mondo reale [27].

1.1.3 Mixed Reality (MR)

In base all'articolo di Maximilian Speicher et al. [51] gli esperti hanno avuto maggiori **difficoltà a specificare cosa si intende per Mixed Reality**, con una serie di affermazioni contraddittorie. Sebbene la MR stia guadagnando sempre più popolarità e rilevanza, siamo ancora **lontani** da

una **comprensione condivisa** di ciò che la MR effettivamente costituisce. Molti vedono la MR come un **sinonimo di AR**. Alcuni considerano la MR come un **sottoinsieme della AR** in termini di "mix di oggetti reali e virtuali all'interno di un unico display". Altri, invece, considerano la MR **distinta dall'AR**, nel senso che la MR permette di entrare e manipolare una scena, mentre l'AR non lo fa. Alcuni non tentano nemmeno, o non vogliono, specificare cosa sia la MR. Ad aumentare la confusione c'è il fatto che attori chiave come **Microsoft** stanno spingendo la MR come una **nuova tecnologia**, prima con *HoloLens*, poi espandendosi a una gamma di dispositivi *Windows Mixed Reality*, insieme al *Mixed Reality Toolkit* per costruire applicazioni per questi dispositivi. Rispetto all'AR e alla VR, gli intervistati in questo articolo, hanno addirittura **difficoltà a fornire esempi** specifici di ciò che è o non è Mixed Reality. In base alle conclusioni di questo articolo possiamo giungere al fatto che alla domanda "Cos'è la Mixed Reality?", la risposta è "**dipende**". La MR può essere **molte cose** e la sua comprensione si basa sempre sul **contesto** in cui ci si trova. Dalle interviste svolte nell'articolo, si può ricavare un elenco preliminare di definizioni per la MR, utilizzate esplicitamente o implicitamente dagli esperti:

1. MR secondo il Continuum Realtà-Virtualità. In questo caso, il termine "MR" è usato in base alla definizione di [38] o [39], ovvero occupa una **posizione intermedia tra l'AR e la VR**. La MR è una **combinazione** di elementi del mondo reale e del mondo virtuale, che offre agli utenti la possibilità di **interagire fisicamente con oggetti virtuali nel mondo reale**. Questo si traduce in un'esperienza che **fonde** elementi reali e digitali in modo coerente, consentendo agli utenti di percepire e manipolare oggetti virtuali **come se fossero parte del loro ambiente fisico**;
2. MR come **combinazione di AR e VR**. In questo caso, MR indica la capacità di combinare entrambe le tecnologie (AR e VR) nella **stessa applicazione** o sullo **stesso dispositivo**;

3. MR come **AR "potenziata"**. Si intende la MR come una versione più capace della AR, con, ad esempio, una **comprensione avanzata** dell'ambiente fisico, che potrebbe essere legata a un hardware specifico;
4. MR come **sinonimo di AR**. Secondo questa definizione, MR è semplicemente un termine diverso per AR.

1.1.4 Virtual Worlds (VWs)

Secondo l'articolo [62] i mondi virtuali sono spesso considerati una **sottocategoria della VR**, ma si **differenziano** perché i VW sono intrinsecamente **sociali e collaborativi**. I mondi virtuali possono ospitare più utenti simultanei, mentre le esperienze di VR sono solitamente **individuali**. Inoltre, i mondi virtuali sono **persistenti**, il che significa che esistono anche quando non ci sono utenti attivi, mentre le esperienze di VR tendono ad essere **episodiche**.

1.2 L'eXtended Reality (XR) e le sue applicazioni

Ricapitolando, l'eXtended Reality (XR) è una delle più innovative tecnologie che sta trasformando **radicalmente** la percezione del mondo che ci circonda. Apre le porte a mondi digitali immersivi riducendo al **minimo** le barriere e le interruzioni tra l'utente e la tecnologia. Infatti, con le tecnologie tradizionali (ad esempio l'utilizzo di mouse e tastiere), l'interazione con il mondo digitale può essere **limitata e artificiale**. L'XR mira a **superare queste limitazioni**, consentendo agli utenti di interagire con ambienti e oggetti virtuali in modi più naturali e simili a come si comporterebbero nel **mondo reale**.

L'applicazione della realtà estesa (XR) è utile su una vasta gamma di **settori e discipline**:

- **Intrattenimento:** l'XR sta ridefinendo l'esperienza dei giochi, del cinema e dello spettacolo, della musica, dei musei e anche dei parchi divertimento, offrendo un coinvolgimento senza precedenti e aprendo nuovi orizzonti creativi. Alcuni esempi possono essere quelli dove la MR viene utilizzata per creare esperienze cinematografiche interattive, in cui gli spettatori possono influenzare la trama o le scelte dei personaggi. Oppure, si può usare nell'industria musicale, dove la realtà virtuale ha permesso agli artisti di creare concerti e spettacoli immersivi in ambienti virtuali, portando il pubblico in luoghi fantastici e surreali durante le performance e così via;

Esempi applicativi:

- Videogiochi: [14], [28]
- Cinema e spettacolo: [23]
- Musica: [10], [48]
- Musei e parchi divertimento: [19], [50]



Figura 1.2: XR nell'intrattenimento

- **Educazione e formazione:** è una delle aree più promettenti e innovative. Si sfrutta la potenza dell'XR per creare ambienti di apprendimento interattivi e coinvolgenti, trasformando l'istruzione in un'esperienza memorabile e personalizzata. Gli studenti possono ad esempio

esplorare ambienti virtuali realistici, visitare luoghi storici o affrontare situazioni pratiche in un ambiente virtuale controllato. Inoltre, la MR offre un'esperienza di visualizzazione 3D, rendendo più semplice per gli studenti comprendere concetti complessi e astratti, come ad esempio l'esaminare molecole in 3D nella chimica o osservare organi umani in biologia.

Esempi applicativi: [9], [5], [7];



Figura 1.3: XR nell'educazione e formazione

- **Medicina:** viene utilizzata l'XR per simulare procedure complesse, migliorando la formazione dei medici e aumentando la sicurezza dei pazienti. La terapia basata sull'XR sta dimostrando anche un notevole potenziale per il trattamento di fobie, traumi e disturbi mentali. Con lo sviluppo tecnologico e la continua ricerca, l'XR può diventare un elemento sempre più essenziale nel campo della medicina, offrendo soluzioni sempre più avanzate per le sfide mediche moderne.

Esempi applicativi: [16], [20], [29], [49]



Figura 1.4: XR nella medicina

- **Industria e design:** l'XR consente una progettazione e una prototipazione più veloci ed efficienti, riducendo i costi e migliorando la precisione dei processi. Oltre a questo, può essere utilizzata per la formazione e l'addestramento del personale. Ad esempio si possono creare simulazioni in realtà virtuale che consentono agli operatori di apprendere e praticare in un ambiente sicuro e controllato, riducendo i rischi e aumentando l'efficienza. Ha diversi utilizzi anche in ambito architettonico dove gli architetti possono creare modelli virtuali di edifici e consentire ai clienti di esplorarli in realtà virtuale, aiutandoli a prendere decisioni informate sulla progettazione. Infine, si può citare anche l'ambito del design e dell'arredamento di interni dove si possono creare software che consentono ai clienti di visualizzare mobili, decorazioni e finiture nella loro casa, prima di effettuare un acquisto.

Esempi applicativi: [6], [12], [30].



Figura 1.5: XR nell'industria e nel design

- **Commercio:** le soluzioni XR sono utilizzate anche nel settore della vendita al dettaglio, permettendo agli acquirenti di visualizzare i prodotti in modo realistico prima dell'acquisto. Alcuni esempi si possono trovare nel commercio al dettaglio, dove l'XR viene utilizzata per creare negozi virtuali e showroom digitali. I clienti a questo punto possono esplorare i prodotti in ambienti virtuali realistici, visualizzarne dettagli e caratteristiche e persino provare determinati prodotti virtualmente prima di acquistarli. Può inoltre essere utilizzata all'interno di un negozio, consentendo ai clienti di accedere a informazioni aggiuntive sui prodotti semplicemente puntando il loro dispositivo mobile sugli scaffali o sui prodotti stessi e tanto altro ancora.

Esempi applicativi: [15], [33].



Figura 1.6: XR nel commercio

I **vantaggi** dell'utilizzo di tecnologie di realtà estesa (XR) sono:



1. **Esperienze sempre più immersive:** offre esperienze coinvolgenti e stimolanti che possono aumentare la soddisfazione dell'utente e migliorare la memorizzazione delle informazioni. Con la realtà estesa, gli utenti possono immergersi completamente in ambienti virtuali o interagire con elementi digitali nel mondo reale. Questo coinvolgimento totale permette agli utenti di vivere esperienze più realistiche e coinvolgenti. C'è inoltre la possibilità di personalizzare l'esperienza in base alle preferenze e alle esigenze dell'utente. Questo può aumentare l'interesse e l'efficacia delle esperienze, adattandosi ai diversi stili di apprendimento e di fruizione dell'informazione;
2. **Più innovazione e creatività:** apre la strada a nuove forme di narrazione, intrattenimento e apprendimento, stimolando la creatività e l'innovazione in diversi settori. Per esempio, la narrazione può diventare più coinvolgente ed emozionante. Gli autori possono creare esperienze narrative interattive, dando al pubblico la possibilità di esplorare e influenzare la trama aprendo nuove opportunità creative per i registi, gli scrittori e i creatori di contenuti;

3. **Aumenta l'efficienza e la produttività:** può migliorare l'efficienza e la produttività attraverso la formazione, la prototipazione virtuale e la visualizzazione dei dati. Tutto questo grazie al fatto che l'apprendimento è più coinvolgente e pratico. Si può inoltre effettuare collaborazione in remoto con conseguente risoluzione di problemi molto più veloce, in tempo reale. Si possono sperimentare nuove idee senza correre alcun rischio, dando la possibilità di esplorare diversi campi e diverse soluzioni senza la paura di commettere errori costosi e così via;
4. **Possibilità infinite:** si può utilizzare in infiniti modi, permettendo nuovi usi e servizi in vari settori;

Ci sono però anche degli **svantaggi** che possono derivare da questa tecnologia, quali:



1. **Costi elevati:** l'XR può essere costoso, sia per gli utenti che per le aziende che desiderano integrarla nelle proprie operazioni. Richiede infatti dispositivi e attrezzature specializzate, come visori VR, occhiali AR o sistemi di tracciamento del movimento. Questi dispositivi possono avere un costo significativo soprattutto se si desidera utilizzare dispositivi di alta qualità e prestazioni. Vanno inoltre creati contenuti XR e questo richiede competenze specializzate e tempo di sviluppo. Un ulteriore esempio potrebbe essere quello dei costi aggiuntivi per materiali e risorse. Si pensi alla realizzazione di simulazioni fisiche, potrebbero essere necessari materiali e risorse aggiuntive per creare l'esperienza virtuale. Tuttavia, è importante notare che i costi associati all'XR stanno diminuendo man mano che la tecnologia si diffonde e diventa più accessibile;
2. **Possibili effetti sulla salute:** l'uso prolungato di queste tecnologie può causare affaticamento visivo, solitamente dovuto alla costante messa a fuoco e regolazione degli occhi su oggetti virtuali ravvicinati. Si possono inoltre avvertire vertigini o forte mal di testa specialmen-

te quando l'esperienza virtuale è caratterizzata da movimenti rapidi o complessi;

3. **Può portare dipendenza e isolamento:** c'è il rischio che alcune persone possano sviluppare una dipendenza dalle esperienze XR, isolandosi dalla realtà e dalle interazioni sociali. Questo potrebbe ovviamente influenzare negativamente il benessere psicologico e sociale delle persone.
4. **Possono presentarsi problemi di privacy e sicurezza:** si possono sollevare preoccupazioni riguardo alla privacy dei dati e alla sicurezza delle informazioni personali degli utenti. Queste potrebbero essere legate al fatto che per esempio, molti dispositivi XR, come visori VR o occhiali AR, incorporano telecamere e microfoni per rilevare i movimenti e interazioni dell'utente. Tali funzionalità potrebbero suscitare preoccupazioni riguardo alla registrazione e al monitoraggio involontario delle attività degli utenti. Infine, potrebbero esserci quei problemi comuni a tutte le tecnologie, come la raccolta dei dati non autorizzata, divulgazione di contenuti personali non autorizzata, hacking dei dispositivi utilizzati e così via;
5. **Sono presenti limitazioni tecniche:** nonostante i continui progressi, l'XR può ancora incontrare limitazioni tecniche, come la qualità delle immagini, la latenza e la capacità di calcolo, che possono influire sulle prestazioni complessive dell'esperienza XR. Ad esempio, i visori VR e gli occhiali AR possono avere pixel visibili o problemi di nitidezza, soprattutto quando si tratta di dispositivi di fascia bassa o di esperienze virtuali complesse. Un altro problema può essere quello della durata delle batterie, infatti, molti visori hanno necessità di essere collegati sempre all'alimentazione, portando ad avere cavi indesiderati attorno a sé. Ci possono essere inoltre problemi dovuti alla scarsità di contenuti. Infatti, nonostante la crescita dell'ecosistema XR, la dispo-

nibilità di contenuti di alta qualità può essere ancora limitata in alcune piattaforme o settori specifici.

In breve, possiamo comunque dire che l'XR offre **esperienze coinvolgenti e innovative**, ma è importante considerare sia gli aspetti positivi che i **potenziali rischi** associati all'uso di questa tecnologia. Con un'adeguata attenzione, l'XR può sicuramente **rivoluzionare** il modo in cui interagiamo con il mondo digitale e arricchire la nostra esperienza quotidiana. [25]

1.3 E-commerce in eXtended Reality: x-commerce

Come detto in precedenza, possiamo applicare l'eXtended Reality a **qualsiasi ambito**. Ai fini di comprendere meglio il progetto in questione, è importante parlare della realtà estesa **applicata al mondo dell'e-commerce**. Quest'ultimo nell'ambito dell'XR, viene chiamato **x-commerce** [40]. L'applicazione della realtà estesa al mondo dell'x-commerce offre interessanti opportunità per **migliorare** l'esperienza di acquisto online, **coinvolgere** i clienti e **aumentare le vendite**. Ci possono essere **tante applicazioni utili**. Il primo fra tutti (e anche il più utilizzato) è quello della **prova virtuale dei prodotti**. Amazon stesso, per alcuni articoli, implementa questa funzionalità. Questo consente ai clienti di **provare virtualmente i prodotti prima di acquistarli**. Ad esempio, se si vogliono comprare dei mobili, i clienti possono vedere come questi si adattano ai loro spazi, senza doverli necessariamente avere fisicamente. Ciò aiuta i clienti a prendere decisioni **più informate** e **riduce** il tasso di **resi**. Grazie all'XR c'è anche la possibilità di creare **negozi virtuali**. É infatti possibile creare negozi virtuali interattivi, consentendo ai clienti di esplorare gli scaffali virtuali, vedere i prodotti in modo realistico e interagire con essi come se fossero in un vero negozio fisico. Un'altra applicazione utile potrebbe essere quella della **formazione e assistenza post-vendita**. La realtà estesa può infatti essere utilizzata per fornire formazione interattiva e assistenza ai clienti. Ad esempio, un tutorial di realtà aumentata potrebbe guidare i clienti attraverso il processo

di assemblaggio di un prodotto complesso. Un ulteriore aspetto molto interessante, può essere quello della **personalizzazione dei prodotti** prima dell'acquisto. Tramite realtà estesa potrebbe esserci la possibilità di personalizzare, a piacimento del cliente, il prodotto che sta acquistando tramite menù e gesture **apposite** in base al dispositivo che si sta utilizzando. Tornando a parlare dell'esempio dei mobili, l'XR potrebbe dare la possibilità di adattare il mobile allo spazio in cui vogliamo posizionarlo, il tutto grazie a input dell'utente, ai sensori e alle videocamere dei dispositivi utilizzati.

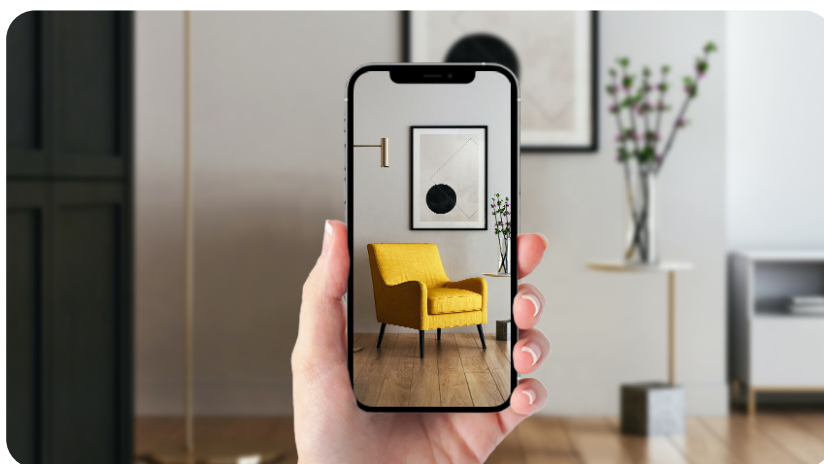


Figura 1.7: X-Commerce

1.3.1 Approccio XR nell'ambito della moda

Il progetto della tesi è inerente all'ambito della **moda**, perciò è importante vedere quali sono le **applicazioni utili** della realtà estesa in questo determinato ambito. Sicuramente l'XR svolge un ruolo fondamentale nell'ambito della moda, offrendo **vantaggi significativi** sia per i **consumatori** che per i **brand**. Di seguito è riportato un elenco di alcuni modi in cui si può utilizzare la **realtà estesa nell'ambito della moda**:

1. **Prova virtuale di abbigliamento**: uno dei principali vantaggi dell'XR nella moda è la possibilità per i clienti di provare **virtualmente** abbigliamento e accessori prima di acquistarli. Con l'AR, i clienti

possono utilizzare il proprio smartphone o tablet per sovrapporre virtualmente i capi di abbigliamento sul **proprio corpo** e visualizzare come si adattano al loro aspetto. Mentre con il VR possono provare il vestito ancora più realisticamente **immergendosi completamente** in un ambiente virtuale. Questo aiuta i clienti a **prendere decisioni** d'acquisto più **informate** e riduce il **rischio di resi** che sono invece molto più probabili in applicazioni classiche di e-commerce;

2. **Creazione di guardaroba virtuale:** l'XR può consentire ai clienti di **creare e gestire** un proprio **guardaroba virtuale** personalizzato. I clienti possono provare **diversi look**, combinando capi di abbigliamento e accessori in un ambiente virtuale, per vedere come si **abbinano tra loro** e se stanno bene addosso a loro stessi. Questo rende più facile **creare outfit completi** rendendo ancora più entusiasmante lo shopping online. Inoltre potrebbe essere utilizzato come **registro** dei capi acquistati e degli outfit creati, rendendo la scelta dei vestiti da indossare ancora **più semplice** nella realtà;
3. **Esperienze di personalizzazione:** grazie all'XR, i brand di moda possono offrire esperienze di **personalizzazione** ai clienti. Ad esempio, utilizzando la realtà virtuale, i clienti potrebbero personalizzare il design di un capo di abbigliamento, scegliendo *colori, elasticità, tessuti e stili* secondo le loro **preferenze**. Questo coinvolgimento attivo nella creazione del prodotto può aumentare la **fedeltà** del cliente e la **soddisfazione** portandolo ad acquistare sempre di più;
4. **Sfilate di moda virtuali:** questa tecnologia consente di organizzare sfilate di moda virtuali, consentendo ai consumatori di **partecipare a eventi di moda da remoto**. Utilizzando la realtà virtuale, i clienti potrebbero assistere a sfilate di moda come se fossero **presenti di persona**, creando un'esperienza **coinvolgente e realistica** senza dover per forza essere nel luogo in cui si svolge l'evento;

5. **Consulenza remota:** una volta che i capi d'abbigliamento arrivano a casa, i clienti potrebbero avere necessità di **ricevere consigli di stile, suggerimenti di abbinamento e informazioni sui prodotti correlati** o semplicemente un **parere** in più per capire se il capo acquistato è adatto alla persona oppure no. Grazie all'XR è possibile effettuare ciò da remoto, offrendo un **servizio** in più che altrimenti non sarebbe possibile;
6. **Brand storytelling:** attraverso esperienze di realtà virtuale o aumentata, i brand possono condividere la loro **visione, ispirazioni** e il **processo creativo** dietro le collezioni, creando un legame emotivo più forte con i clienti;
7. **Showroom virtuali:** questa tecnologia può essere utilizzata per creare **showroom virtuali**, consentendo ai clienti di esplorare le collezioni e **interagire con i prodotti** in un ambiente digitale immersivo. Questo può **ridurre i costi** di esposizione e permettere di raggiungere un pubblico internazionale senza dover organizzare **eventi fisici**. Inoltre, permette la creazione di **showroom a tema, senza limiti di spazio** e con la possibilità di creare ambienti più **suggestivi** possibili.



Figura 1.8: X-Commerce nella moda

1.4 Ambiente XR collaborativo remoto

Un **ambiente XR collaborativo remoto** è un ambiente in cui più utenti possono **interagire** e **collaborare** tra loro utilizzando tecnologie di realtà **virtuale** (VR), realtà **aumentata** (AR) o realtà **mista** (MR). In questo spazio virtuale, i partecipanti possono connettersi da **diverse posizioni fisiche** e lavorare **insieme** in un ambiente digitale **condiviso**, come se fossero presenti nella stessa stanza fisica. Questo tipo di collaborazione porta con sé diverse **caratteristiche interessanti**. Permette ad esempio una **collaborazione tramite diversi dispositivi VR/AR** in remoto. Dunque, team separati da distanze geografiche possono unirsi in un ambiente XR condiviso per collaborare su progetti, discutere idee e lavorare su attività in tempo reale. Questo può essere particolarmente utile per le aziende con team distribuiti, poiché **facilita la comunicazione** e la **collaborazione** eliminando completamente i problemi relativi alla distanza fisica. Un altro vantaggio è quello di **portare ad un livello più alto riunioni e conferenze virtuali**, la *formazione* e l'*istruzione*, la *progettazione* e la *prototipizzazione*, gli *eventi*

e le *fiere* virtuali e così via. Questo perché grazie ad un **unico ambiente collaborativo** sarà tutto più immersivo, si può vedere l'interazione con altre persone in tempo reale, nonostante siano tutte in posti completamente diversi. Senza questo tipo di tecnologia l'utente sarebbe **estranziato totalmente** dal mondo reale. Oltre a maggiore immersività, viene **favorita la collaborazione**, avendo a disposizione (per esempio) lavagne digitali **condivise** o avendo la possibilità di **collaborare in tempo reale** su vari documenti, presentazioni o altre attività. Ovviamente ci sono dei **contro** anche in questo caso, la maggior parte sono in comune con qualsiasi applicazione XR (ad esempio: *costi d'implementazione, accesso e disponibilità della tecnologia, affaticamento visivo* ecc.), mentre negli ambienti collaborativi XR il problema principale è quello della **connessione**. Infatti, la collaborazione in tempo reale tramite l'XR richiede una connessione internet **stabile e ad alta velocità**. In caso di problemi di connessione o di scarsa larghezza di banda, l'esperienza di collaborazione potrebbe essere **compromessa**. Un altro problema importante è quello della **socializzazione limitata**, ovvero, gli ambienti XR collaborativi offrono un ambiente con possibili interazioni virtuali tra diversi utenti, ma questa esperienza può **non** essere comunque **paragonabile** ad interazioni faccia a faccia nella realtà fisica, con conseguente **limitazione delle dinamiche sociali** [37].



Figura 1.9: Ambiente XR collaborativo

1.5 Cross-Reality (CR) - Panoramica e applicazioni

Il termine **Cross-Reality** (*CR*) fa invece riferimento a una tecnologia **emergente** che si focalizza sull'uso **simultaneo** o sulla **transizione tra diversi sistemi** all'interno del **continuum realtà-virtualità** (*RVC - Reality-Virtuality Continuum*) [1]. Questi sistemi includono la **Realtà Virtuale** (VR), la **Virtualità Aumentata** (AV) e la **Realtà Aumentata** (AR) (Figura 1.10). Negli ultimi anni, la CR ha catturato notevole attenzione per il suo **potenziale rivoluzionario in diverse aree** di ricerca e industria. Consente agli utenti di comprendere ed esplorare dati spaziali e informazioni correlate **in forme diverse**. Si prevede che nel prossimo futuro nasceranno altre applicazioni di CR. Queste applicazioni permetteranno agli utenti di **navigare attraverso le diverse fasi del RVC** o di **collaborare** tra queste fasi, sfruttando i vantaggi distinti di ciascuna e mitigando potenziali problemi. Ciò aprirà **nuove possibilità** e consentirà una **maggiore flessibilità** nell'utilizzo delle tecnologie di realtà virtuale e aumentata in modo sinergico. Essendo una tecnologia emergente, la Cross Reality presenta diverse sfide quali:

- **Visualizzazione:** cercare di sfruttare la capacità di creare e mostrare dati astratti o spaziali lungo il continuum realtà-virtualità (RVC), permettendo agli utenti di muoversi senza soluzione di continuità tra realtà e ambiente virtuale;
- **Interazione:** permettere agli utenti di interagire in modo naturale e intuitivo con oggetti e ambienti reali e virtuali, utilizzando gesti, comandi vocali, feedback aptico e altre tecniche avanzate di interazione sfruttando al meglio lo specifico tipo di dispositivo utilizzato;
- **Comportamento ed esperienza degli utenti:** adattare l'applicazione in base al modo in cui gli utenti percepiscono e rispondono ai contenuti visivi in ambienti CR;

- **Progettazione e Sviluppo:** studiare nuovi processi, metodi e strumenti per creare applicazioni e sistemi CR in modo efficace ed efficiente, inclusi test e valutazioni;
- **Collaborazione:** creare ambienti in cui si consenta agli utenti di lavorare insieme in ambienti reali e virtuali, promuovendo la comunicazione, la creatività e il processo decisionale in vari ambiti anche se utilizzano dispositivi differenti.

Nel contesto attuale, la Cross Reality rimane un terreno **poco esplorato**, con una limitata quantità di studi e applicazioni. Questi si concentrano principalmente sulla **transizione tra la realtà virtuale e quella fisica**, oppure sull'analisi delle varie sinergie tra tecnologie quali AR, VR e MR, il tutto con l'obiettivo di migliorare l'esperienza degli utenti. Di seguito mostriamo alcuni esempi concreti:

- **Collaborating Across Realities: Analytical Lenses for Understanding Dyadic Collaboration in Transitional Interfaces** [47]: questo paper parla di un tipo di interfaccia utente chiamata "Transitional Interfaces" che permette alle persone di spostarsi liberamente tra diverse realtà, come la realtà virtuale e la realtà normale, mentre collaborano. Gli autori hanno studiato come le persone usano queste interfacce analizzando come 15 coppie di persone risolvevano insieme complessi problemi di ottimizzazione spaziale. Le persone potevano passare tra tre contesti diversi, ognuno con schermi diversi, modi diversi di interagire e rappresentazioni visive diverse. I ricercatori hanno raccolto dati su come le persone hanno collaborato e hanno identificato modi diversi in cui usavano queste interfacce. Hanno sviluppato quattro modi di analizzare i dati che riguardano la posizione e la distanza, i modelli temporali, come le persone usano le diverse situazioni insieme e come le persone le usano individualmente;
- **ReLive: Bridging In-Situ and Ex-Situ Visual Analytics for Analyzing Mixed Reality User Studies** [31]: ReLive è uno stru-

mento utile ad esplorare e analizzare gli utenti nel contesto della realtà mista. Questo strumento combina due approcci diversi per l'analisi: una visione in realtà virtuale sul posto e una visione tradizionale su desktop. Nella visione in realtà virtuale sul posto, ReLive consente agli utenti di "rivivere" le registrazioni spaziali interattive, ovvero gli utenti possono immergersi nuovamente nell'esperienza di studio originale attraverso dispositivi di realtà virtuale, ottenendo una comprensione più approfondita e interattiva dei dati raccolti durante lo studio. Dall'altra parte, la visione su desktop sincronizzata fornisce un'interfaccia familiare e convenzionale per analizzare i dati aggregati raccolti durante lo studio. Questo approccio è utile per eseguire analisi più tradizionali e per elaborare dati complessi che possono richiedere strumenti di visualizzazione più standard;

- **SecondSight: A Framework for Cross-Device Augmented Reality Interfaces** [46]: SecondSight è un framework che facilita la progettazione, la valutazione e l'esplorazione di interfacce AR che sfruttano la combinazione di un visore HMD e uno smartphone per migliorare l'esperienza dell'utente con la Realtà Aumentata. Questo framework permette infatti di creare rapidamente prototipi di interfacce AR che combinano un visore HMD e uno smartphone, di valutare l'efficacia e l'usabilità dell'interfaccia AR attraverso diverse modalità di interazione e posizionamento del contenuto e consente di simulare il campo visivo degli HMD AR, dando la possibilità agli sviluppatori di valutare come le interfacce appaiono e funzionano nell'ambito della realtà aumentata. Infine, questo framework aiuta a identificare le combinazioni di interazione e posizionamento del contenuto che funzionano meglio, fornendo così raccomandazioni di progettazione per futuri ricercatori nell'ambito delle interfacce AR.

Il sistema oggetto di questa tesi, può essere definito come **un'espressione di cross-reality**, poiché integra in tempo reale il mondo virtuale dell'utente che utilizza la Realtà Virtuale (VR) con l'aggiunta della Realtà Aumentata

(AR) da parte degli utenti che impiegano i loro smartphone. Questa strategia è stata adottata con l'obiettivo di:

1. **Ampliare l'accessibilità** dell'applicazione grazie all'uso dei dispositivi smartphone;
2. **Favorire l'interazione sociale** persino quando gli utenti indossano visori di Realtà Virtuale;
3. Offrire una **maggiore flessibilità di utilizzo**, consentendo l'esperienza anche al di fuori delle mura domestiche.

A differenza degli esempi visti in precedenza riguardo la Cross Reality, possiamo notare come l'approccio di questo progetto sia **diverso dal solito** e mostra come la sinergia tra diversi tipi di dispositivo, utilizzati da diverse persone nello stesso momento, possa portare dei **vantaggi a livello di interazione umana**. Questo approccio cerca inoltre di **sfruttare** al meglio le specifiche **caratteristiche** di ciascun dispositivo tenendo anche in considerazione lo specifico **ruolo** che **ogni utente** riveste all'interno dell'applicazione.

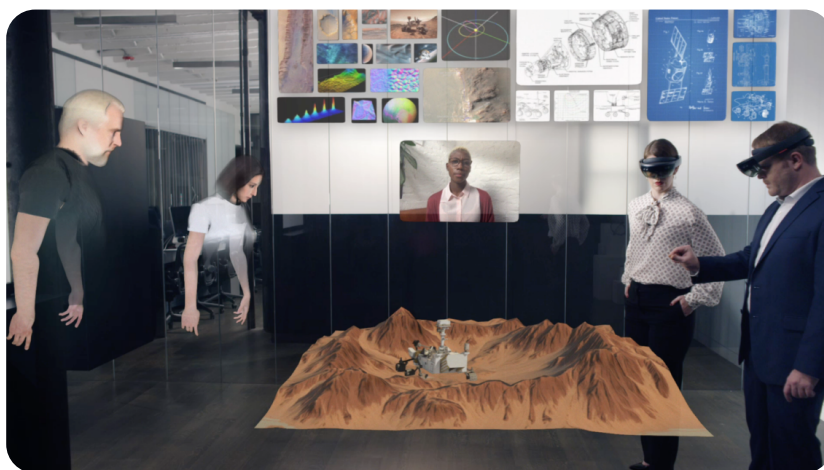


Figura 1.10: CR - Cross Reality

Capitolo 2

Lavori correlati

Come accennato nella sezione 1.5, al giorno d'oggi, **nessuna** applicazione è stata sviluppata con la stessa innovativa combinazione della nostra: un'applicazione ibrida che collega dispositivi di realtà aumentata con un utente immerso in un ambiente di realtà virtuale. Pertanto, andremo ad esaminare alcuni lavori correlati **simili, ma in qualche modo distinti**, cercando di focalizzarci sull'ambito della **moda** e dell'**x-commerce**.

- **HOCTOPUS: Empower Remote Class Teaching with Extended Reality** [7]: HOCTOPUS è un'applicazione Cross-Reality progettata per supportare l'insegnamento remoto in tempo reale. Si tratta di un'esperienza di insegnamento che combina elementi di Realtà Mista (MR) per gli insegnanti e di Realtà Aumentata (AR) per gli studenti. L'obiettivo di HOCTOPUS è quello di consentire agli insegnanti di visualizzare, manipolare e condividere oggetti tridimensionali in tempo reale assieme ai propri alunni, facilitando la comunicazione bidirezionale e le interazioni con loro. HOCTOPUS è finalizzato a fornire uno strumento che possa essere utilizzato come base per migliorare il processo di apprendimento scolastico;
- **CoVAR: a collaborative virtual and augmented reality system for remote collaboration** [45]: CoVAR è un sistema collaborativo remoto che combina Realtà Aumentata (AR), Realtà Virtuale (VR) e

segnali di comunicazione naturali per creare nuovi tipi di collaborazione. L'utente AR può acquisire e condividere il proprio ambiente locale con un utente remoto in VR per collaborare su attività spaziali nello spazio condiviso. CoVAR supporta vari metodi di interazione per arricchire la collaborazione, inclusi i gesti, lo sguardo della testa e lo sguardo degli occhi, e fornisce segnali virtuali per migliorare la consapevolezza di un collaboratore remoto. In questo sistema, gli utenti remoti vengono rappresentati con una testa e mani virtuali, e inoltre si ricostruisce l'ambiente reale dell'utente AR e lo si condivide con un utente VR remoto, in modo che entrambi si sentano come se stessero condividendo lo stesso spazio;

- **metaAR – AR/XR Shopping App using Unity** [43]: Quest'applicazione permette agli utenti di fare shopping virtualmente. Il principale vantaggio è che si possono visualizzare i prodotti in tempo reale e osservare le loro caratteristiche più da vicino. Nell'app metaAR, viene presentato un concetto di utilizzo della Realtà Aumentata (AR) nello shopping, creando uno store di scarpe che consente alle persone di selezionare tra un catalogo di scarpe e di proiettarle nel mondo reale semplicemente muovendo il telefono attorno a loro. In questo modo, possono vedere un modello 3D chiaro e realistico della scarpa specifica di fronte a loro. L'utente può interagire con il modello delle scarpe ruotandole con le dita e può regolarne le dimensioni con un pizzico (pinch) tra indice e pollice. Inoltre è presente una versione simile, ma per la realtà virtuale (VR). Questa offre una panoramica del prodotto e permette all'utente di "tenerlo" realmente in mano. Si possono anche apportare modifiche e vederle in tempo reale;
- **VICO-DR: A Collaborative Virtual Dressing Room for Image Consulting** [34]: VICO-DR ("Virtual Image Consulting Dressing Room") è un'applicazione a collaborazione sincrona per la consulenza di immagine nel campo della moda. Questa applicazione è stata

sviluppata con l'obiettivo di offrire un'esperienza di shopping di moda altamente immersiva e realistica, consentendo ai clienti di provare capi di abbigliamento digitali in modo realistico. È stata progettata per funzionare con la collaborazione tra un consulente di immagine umano e il cliente. Infatti, il cliente può provare abiti digitali realistici, selezionati e consigliati da un consulente di immagine collegato da remoto. VICO-DR utilizza anche un algoritmo di simulazione dei tessuti in tempo reale basato sulla fisica. Questo fa sì che i capi di abbigliamento digitali si comportino in modo simile a quelli reali, aumentando così il senso di realismo per il cliente. L'applicazione funziona in questo modo: il cliente utilizza un sistema di realtà virtuale per interagire con l'ambiente virtuale e provare i capi di abbigliamento digitali. Allo stesso tempo, il consulente di immagine può collegarsi all'applicazione e definire un database di capi di abbigliamento, selezionare diverse combinazioni di abiti e taglie per il cliente da provare, e comunicare con il cliente.

- **The influence of virtual reality in e-commerce [35]:** Questo paper si occupa di uno studio sulla realtà virtuale (VR) e il suo impatto nell'ambito dell'x-commerce. Lo scopo della ricerca è quello di valutare l'efficacia di diversi formati e dispositivi VR all'interno di un negozio virtuale, noto come x-commerce. Il paper propone e testa un modello concettuale per analizzare le relazioni tra tre variabili chiave: senso di presenza (*sense of presence*), richiamo del marchio (*brand recall*) e intenzione di acquisto (*purchase intention*) dei consumatori. Inoltre, esplora anche i fattori che influenzano queste variabili. Da questo studio emerge che l'x-commerce offre vantaggi significativi, rispetto ai negozi fisici, nel generare risposte positive da parte dei consumatori e che la realtà virtuale nei negozi (virtuali) suscita intenzioni di acquisto attraverso due percorsi:

- le emozioni e il senso di presenza;

- l'affetto causato dall'ambiente virtuale e dal richiamo del marchio.

In sintesi, questo studio sottolinea l'importanza della realtà virtuale nell'ambito dell' x-commerce e offre consigli per ottimizzare l'uso di tecnologie VR al fine di migliorare l'esperienza di acquisto dei consumatori e aumentare le prestazioni aziendali.

- **Virtual Dressing Room Application [36]:** Questo paper presenta un'applicazione innovativa che utilizza il sensore Kinect per creare un ambiente di camerino virtuale, consentendo agli utenti di provare i vestiti virtualmente, ottimizzando l'esperienza di prova dei vestiti nei negozi di abbigliamento e semplificando il processo di acquisto sia nei negozi fisici che online.
- **Extended Reality Framework for Remote Collaborative Interactions in Virtual Environments [44]:** Questo paper presenta un approccio per lo sviluppo di applicazioni collaborative di realtà estesa, che supporta sia la Realtà Virtuale (VR) che la Realtà Aumentata (AR). Questo metodo permette agli sviluppatori di concentrarsi sulla comprensione dei meccanismi collaborativi necessari per le rispettive applicazioni. Attraverso l'implementazione di questo framework, è stato realizzato un prototipo VR che grazie ai risultati dei test utente ha dimostrato che gli utenti hanno apprezzato l'esperienza e i meccanismi collaborativi hanno facilitato il loro lavoro di gruppo. Oltre al prototipo VR, è stato creato anche un prototipo di Realtà Aumentata (AR). Grazie a questa soluzione si consente agli utenti di interagire in tempo reale nello stesso ambiente condiviso, sia in VR che in AR. L'implementazione di un prototipo VR e AR ha dimostrato l'efficacia del framework nell'agevolare l'interazione e la collaborazione tra gli utenti in un ambiente condiviso.

Capitolo 3

Applicazione e architettura del sistema

3.1 Introduzione generale

CRoCs-XR (A Cross-Reality Collaborative Experience for Fashion X-Commerce via Virtual and Augmented Reality) è un'**applicazione** che si distingue per la sua capacità di creare un ambiente collaborativo XR unico che sfrutta **sia la Realtà Virtuale (VR) che la Realtà Aumentata (AR)**. Questa combinazione offre agli utenti un'esperienza **coinvolgente e interattiva**, consentendo loro di esplorare e provare diversi capi di abbigliamento all'interno di un **armadio virtuale**, il tutto in un ambiente **socialmente inclusivo**. CRoCs-XR si basa su un concetto innovativo che mira a **rivoluzionare** il settore della moda e dell'x-commerce, consentendo alle persone di **sperimentare** capi di abbigliamento in un ambiente virtuale realistico prima di prendere una decisione di acquisto. L'applicazione si compone di due componenti principali: l'**armadio virtuale** (in Realtà Virtuale) e l'**applicazione mobile** (in Realtà Aumentata).

- **Armadio virtuale in Realtà Virtuale:** al centro dell'applicazione c'è l'armadio virtuale, accessibile tramite un **visore di Realtà Virtuale**. Qui, gli utenti possono immergersi in un ambiente virtuale

realistico, **esplorare una vasta selezione** di capi di abbigliamento virtuali e **provarli** sul loro avatar VR. Avranno la possibilità di muoversi **liberamente** all'interno dello spazio virtuale e di vedersi allo **specchio**, ottenendo una reale sensazione di come i vestiti si **adattino** al loro corpo;

- **Condivisione tramite applicazione di Realtà Aumentata:** per favorire l'**accessibilità** e coinvolgere un **pubblico più ampio**, CRoCs-XR offre un'applicazione Android di Realtà Aumentata. Gli **utenti Android** possono unirsi all'esperienza dell'armadio virtuale attraverso un **codice** fornito dalla persona in VR. Utilizzando il loro **smartphone**, gli utenti potranno **vedere l'avatar VR in tempo reale** e **interagire** con l'ambiente virtuale. Questo approccio consente agli utenti che non possiedono un visore VR di **partecipare** e di poter dare **consigli** alla persona in realtà virtuale, senza dover essere fisicamente presenti nella **stessa stanza**.

Un **elemento distintivo** di CRoCs-XR è la possibilità di **interazione e comunicazione** tra la persona in Realtà Virtuale e gli utenti Android. La persona in VR potrà visualizzare la **camera frontale dell'utente Android** su un apposito muro dell'armadio virtuale, creando un'esperienza ancora più coinvolgente. Inoltre, grazie alla funzione di comunicazione vocale, la persona in VR **potrà comunicare con l'utente Android** tramite il microfono del visore, consentendo scambi di *opinioni, suggerimenti e consigli* sui capi di abbigliamento provati. La nostra applicazione porta con sé diversi **vantaggi**:

1. **Accessibilità:** offre un'esperienza di shopping virtuale più **accessibile**, poiché consente agli utenti di partecipare avendo a disposizione **un solo visore VR**, ma **tanti smartphone Android**. In questo modo, si supera la barriera dell'attrezzatura specifica, rendendo l'esperienza disponibile a un **pubblico più ampio**. Ricordiamo infatti che la maggior parte degli ambienti XR collaborativi sono basati sul fatto

che tutti gli utenti debbano **possedere un visore di realtà virtuale** rendendo il tutto meno accessibile;

2. **Utilizzabile in qualsiasi momento da qualsiasi parte del mondo:** grazie alla possibilità di utilizzare l'applicazione in qualsiasi momento e da qualsiasi parte del mondo, la persona in Realtà Virtuale ha accesso a consigli di moda **immediati**, mentre i consulenti possono fornire assistenza **ovunque si trovino**. Questa flessibilità contribuisce a rendere l'esperienza dell'armadio virtuale più **pratica e coinvolgente**;
3. **Contatto umano e realismo:** è un ambiente sociale in cui gli utenti possono condividere l'esperienza con amici e familiari, favorendo una maggiore **interazione** e un maggiore **coinvolgimento**. Questo perché consente agli utenti di vedere l'avatar VR in **tempo reale** e di comunicare attraverso la **voce** e il **video**, mantenendo una connessione ancora più **reale** con gli altri partecipanti.



Figura 3.1: Logo

3.2 Architettura del sistema

La realizzazione del nostro progetto ha avuto origine dall'analisi dell'architettura che sta alla **base** di tutto il sistema. Il concetto di fondo è quello di **colmare un divario tra il mondo reale e quello digitale**, sfruttando i **gemelli digitali** (*Digital Twins*), che in questo progetto possiamo ritrovare sia nei **capi d'abbigliamento** utilizzati, sia nell'**avatar** stesso dell'utente. Nonostante il digitale e la realtà rappresentino due **universi completamente distinti**, in questo contesto si fondono in modo **quasi intercambiabile**, interagendo in modo continuo. Questo aspetto viene ampiamente trattato in [52] dove si affronta il problema di integrare l'intelligenza collaborativa umana (**HCLINT**) all'interno di un gemello digitale (**DT**) dando vita al framework **HCLINT-DT**.

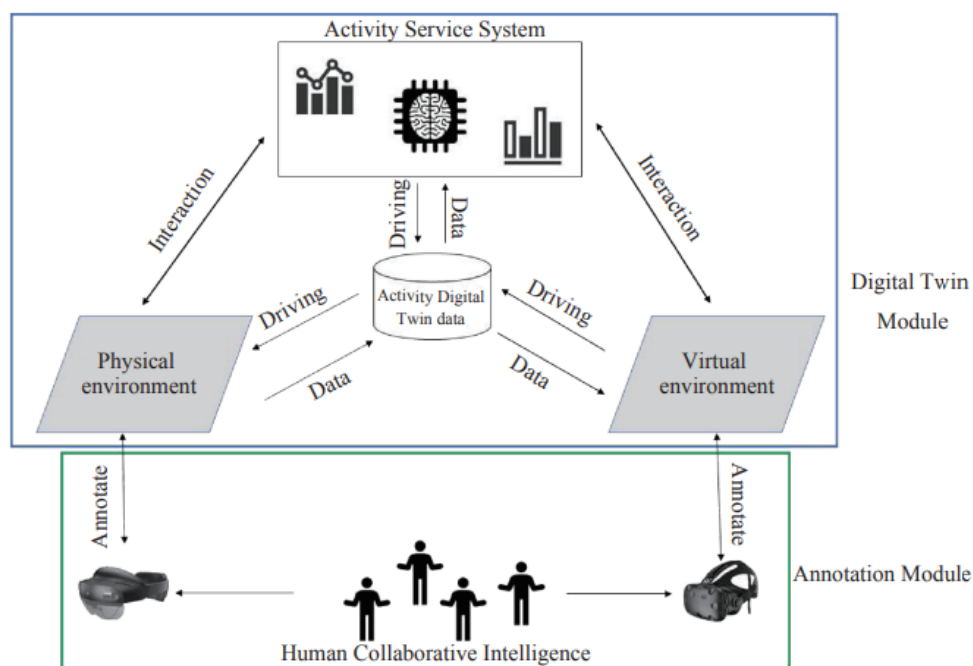


Figura 3.2: Idea di architettura basata su HCLINT-DT

Come descritto nella sezione precedente (3.1), CRoCs-XR fornisce due diverse applicazioni XR, sviluppate con l'Editor e Game Engine Unity (Ver-

sione 2022.3.3f1 - LTS):

- **Applicazione VR:** per gli utenti che desiderano provare i vestiti in prima persona;
- **Applicazione AR:** per gli utenti che vogliono fornire consigli sui vestiti alla persona in VR.

In questa sezione riportiamo l'**architettura del sistema** insieme a una rapida descrizione di tutti gli strumenti utilizzati per implementare la nostra soluzione (per ottenere maggiori dettagli riguardo questi strumenti, si prega di consultare la Sezione 4.1). L'applicazione VR è stata realizzata per funzionare su **qualsiasi dispositivo VR compatibile con OpenXR**, utilizzando il framework **XR Interaction Toolkit**. Questa scelta mira a fornire agli utenti VR un'esperienza di **immersione totale** all'interno dell'armadio virtuale. L'ambiente virtuale consente agli utenti di scegliere i vestiti **in modo familiare e naturale**, con la possibilità di **vedersi allo specchio** e **valutare** l'aspetto dei capi. D'altro canto, l'applicazione AR è stata sviluppata per **dispositivi mobili**, in particolare quelli basati su *Android*, utilizzando **AR Foundation** e il framework **Google ARCore**. L'obiettivo era creare un'interfaccia **rapida e intuitiva** per gli utenti AR, consentendo loro di fornire consigli sui vari tipi di abbigliamento e di visualizzarli facilmente. L'applicazione AR è stata progettata per essere **altamente portatile**, consentendo agli utenti di connettersi in **qualsiasi momento** lo desiderino. **CRoCs-XR** è stato implementato come un caso particolare dell'**architettura client-server**: i sistemi VR e AR, sono considerati *peers* con ruoli diversi (VR è il *server* e AR è il *client*), e tutti i dati che scorrono tra di loro sono gestiti e consegnati da un *Relay Server* intermedio. I *Relay Server* sono impiegati nelle **esperienze XR multiplayer** che imitano uno schema client-server: un'applicazione funge da *server* e tutte le altre fungono da *client*. Il *Relay Server* funge da **intermediario**, consente le comunicazioni tra il server e i client, consentendo al server di trasmettere informazioni a tutti i client connessi. Ciò corrisponde perfettamente al nostro **caso d'uso di CRoCs-XR**:

il ruolo di *host* è coperto dall'applicazione dell'utente VR, mentre gli utenti AR corrispondono ai *client*. La Figura 3.3 illustra la **struttura** di una tipica **sessione remota** di CRoCs-XR: l'utente in VR **ospita** la sessione remota mentre gli utenti AR si connettono ad essa con la loro applicazione per smartphone, tramite un *Relay Server*. Per la nostra implementazione, abbiamo utilizzato **Unity Relay Service (UniRS)** che fornisce un modo semplice ed efficace per implementare un *Relay Server* e stabilire una connessione **peer-to-peer** sicura tra più parti senza richiedere la creazione di un server personalizzato. Allo stesso tempo, abbiamo utilizzato **Netcode for GameObjects (NGO)** che consente di trasmettere i dati di GameObjects a più utenti contemporaneamente durante le sessioni di rete. NGO può essere utilizzato insieme all'UniRS per **inviare aggiornamenti** riguardanti le proprietà di uno o più oggetti 3D virtuali. In particolare, abbiamo sfruttato le primitive NGO principalmente per **sincronizzare lo stato dell'avatar VR 3D** (manipolato direttamente dall'utente in VR tramite *Head Mounted Display* e *controller*) a tutti i client mobile **connessi**.

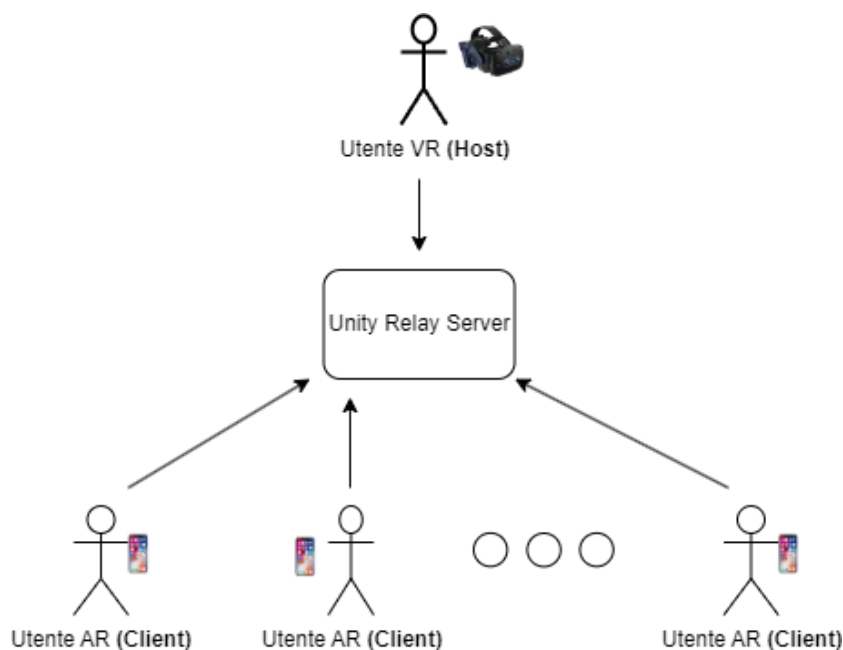


Figura 3.3: Architettura

Capitolo 4

Sviluppo e funzionalità

4.1 Tecnologie utilizzate

In questo capitolo approfondiremo le **fondamenta** del progetto, concentrandoci sugli strumenti utilizzati per lo sviluppo delle applicazioni di realtà virtuale e di realtà aumentata.

4.1.1 Ambiente di sviluppo: Unity

Unity [53] è una **piattaforma di sviluppo software** utilizzata per creare una vasta gamma di giochi e applicazioni interattive. Offre un **game engine**, un ambiente di sviluppo integrato (**IDE**) e una **suite di servizi**, tutti sviluppati da Unity Technologies. Con Unity, gli sviluppatori possono **creare giochi 2D e 3D, esperienze di realtà virtuale** e altre **applicazioni interattive** che possono essere eseguite su diverse piattaforme, come *Windows, Mac, iOS e Android*. Come accennato all'inizio, questa piattaforma offre un **motore fisico** robusto che permette la creazione di ambienti realistici e oggetti interattivi. Inoltre, Unity supporta **diversi linguaggi di programmazione**, inclusi *C, UnityScript* e *Boo*, fornendo agli sviluppatori la **flessibilità** di scegliere il linguaggio che meglio si adatta alle loro esigenze. Un'altra caratteristica chiave di Unity è la sua **interfaccia intuitiva**, che semplifica la creazione e la modifica di oggetti e scene di gioco. Infine

Unity dispone anche di un negozio di **asset** che consente agli sviluppatori di **acquistare o scaricare** modelli, texture e file audio per velocizzare il processo di sviluppo. Unity utilizza un sistema basato su **componenti**, che consente agli sviluppatori di aggiungere facilmente funzionalità ai loro giochi collegando diversi componenti ai loro oggetti di gioco. Con la sua vasta **compatibilità** e la sua **comunità attiva**, Unity è una scelta popolare per gli sviluppatori di giochi, consentendo loro di creare esperienze interattive coinvolgenti su diverse piattaforme.

Vediamo ora più nel dettaglio i **framework principali utilizzati** nello sviluppo del progetto:



Figura 4.1: Unity

XR Interaction Toolkit

Il pacchetto **XR Interaction Toolkit** [58] è un sistema di interazione di **alto livello**, basato su componenti, per la creazione di esperienze VR e AR. Fornisce un framework che rende disponibili le **interazioni con oggetti 3D** e con le **interfacce grafiche** dagli input events di Unity. Il nucleo di questo sistema è costituito da un insieme di componenti di base *Interactor* e *Interactable* e da un *Interaction Manager* che collega questi due tipi di componenti. Include anche componenti aggiuntive per migliorare la grafica e personalizzare le interazioni. Supporta le seguenti funzionalità:

- **Input dei controller VR e AR** compatibili con diverse piattaforme;
- **Interazioni di base** come *selezionare* e *afferrare* gli oggetti;
- **Feedback aptico** attraverso i controller per dare una sensazione realistica;
- **Feedback visivo** per mostrare quali interazioni sono possibili;

- **Interazione** di base **sulle canvas** con i controller XR;
- Un sistema di **telecamere VR** per gestire esperienze VR fisse o *room-scale*.

AR Foundation - AR Core

- **AR Foundation** [57]: è un framework che consente di creare applicazioni di realtà aumentata (AR) **multi-piattaforma** con Unity. Quando si costruisce e si esegue l'applicazione su un dispositivo AR, AR Foundation abilita queste funzionalità utilizzando l'**SDK AR nativo della piattaforma** semplificando lo sviluppo delle applicazioni consentendo agli sviluppatori di **scrivere codice una volta sola** e rendendolo automaticamente **compatibile** con diverse piattaforme, come *iOS* e *Android*. Questo framework fornisce **funzionalità chiave** per le applicazioni AR, come:
 - **Rilevazione e tracciamento** di superfici;
 - **Posizionamento** degli oggetti virtuali nello spazio reale;
 - Interazione con gli elementi AR tramite **gesti** e **input utente**;

Per effettuare tutto ciò, AR Foundation sfrutta le capacità dei dispositivi mobili moderni, come la fotocamera, il sensore di profondità e il giroscopio.

- **AR Core** [56]: il pacchetto AR Foundation contiene interfacce per le funzionalità AR, ma non implementa alcuna funzionalità. Per utilizzare AR Foundation su una piattaforma di destinazione, è necessario un pacchetto di *plug-in provider* separato per quella specifica piattaforma. In questo progetto è necessario il pacchetto per la **piattaforma Android** ovvero **AR Core**. Questo è in sostanza la tecnologia sottostante (specifica per dispositivi Android) che **fornisce le funzionalità**

di realtà aumentata;



Figura 4.2: ARCore

Netcode for GameObjects e Relay

Netcode for GameObjects (Netcode) [60] è una **libreria di rete** costruita per Unity che **semplifica** l'implementazione della logica di rete. Fornisce un'**astrazione di alto livello**, consentendo di trasmettere dati dei GameObject a più giocatori contemporaneamente durante le sessioni di networking. Questa, **facilita la creazione di giochi multiplayer online**, in cui più giocatori possono partecipare e condividere l'esperienza di gioco. **Netcode** consente di connettersi a un host tramite il suo IP e la sua porta. Tuttavia, se l'host non si trova sulla stessa rete dei client, c'è bisogno di alcuni **servizi aggiuntivi** affinché la connessione avvenga con successo. Qui entra in gioco l'utilizzo di un **server Relay**. Il server si trova su Internet con un indirizzo IP pubblico al quale sia i client che l'host possono accedere. Dopo che entrambe le parti si sono associate al Relay, possono **stabilire una connessione** e inviarsi reciprocamente dati tramite il server Relay stesso. Nello specifico, il servizio Relay fornisce connettività attraverso un **server di collegamento universale che agisce come proxy**. Non c'è quindi la necessità di investire in una soluzione di terze parti, mantenere server di gioco dedicati o preoccuparsi delle complessità di rete di un gioco *peer-to-peer*. A livello pratico funziona che **l'host richiede l'assegnazione di un Relay**. Da questo momento in poi viene riservata la capacità di un server Relay che consente ai client di collegarsi ad esso. Dopo aver richiesto un'allocazione, è possibile ottenere un **codice di accesso per quest'ultima**. Il codice di accesso è una stringa casuale che i client dovranno fornire per unirsi al server e all'allocazione corretti [24].



Figura 4.3: Unity Multiplayer Networking

4.1.2 Programma ausiliario: Blender

In questo progetto, oltre a Unity, è stato utilizzato anche **Blender** [4]. Blender è un software open source e gratuito per la **modellazione 3D**, l'**animazione**, il **rendering** e **molto altro** ancora. È ampiamente utilizzato in diverse industrie, come l'animazione, il cinema, i videogiochi, l'architettura, il design e più in generale per la produzione di contenuti digitali. Le sue caratteristiche principali sono:

- **Modellazione 3D:** consente agli utenti di creare oggetti e modelli 3D utilizzando una varietà di strumenti. È possibile creare forme complesse, modificare dettagli e gestire la topologia dei modelli;
- **Animazione:** supporta l'animazione di oggetti, personaggi e ambienti. Gli utenti possono creare keyframe per controllare i movimenti degli oggetti nel tempo, applicare rigging per animare personaggi e realizzare animazioni fluide e realistiche;
- **Simulazione e dinamica:** offre funzionalità per simulare fenomeni fisici come fluidi, fumo, tessuti e particelle. Gli utenti possono creare effetti realistici come l'acqua che scorre, il fuoco che si propaga, abiti che si muovono e molto altro ancora;
- **Rendering:** dispone di un potente motore di rendering interno chiamato Cycles, che consente di generare immagini e animazioni fotorealistiche;
- **Editing video:** include funzionalità per il montaggio video. Gli utenti possono combinare diverse immagini, aggiungere effetti speciali, regolare il colore e la luminosità, creare titoli e transizioni, e così via;

- **Scripting e personalizzazione:** offre un'interfaccia di scripting in Python che consente agli utenti di automatizzare compiti, creare strumenti personalizzati e modificare il comportamento del software per adattarlo alle proprie esigenze.

Infine, grazie alla sua natura **open source**, Blender ha una **comunità attiva di sviluppatori** che continuano a migliorare e aggiornare il software. Ciò significa che gli utenti possono beneficiare di nuove funzionalità, miglioramenti delle prestazioni e correzioni di bug regolarmente.

Utilizzo di Blender per CRoCs-XR

In questo progetto, è stato utilizzato Blender per la **creazione** e la **personalizzazione dei vestiti** in modo da adattarli all'armatura dell'avatar presente in Unity. Una volta completata la fase di sviluppo dell'applicazione, è emersa la **necessità di aggiungere una varietà di indumenti**, tra cui *magliette, pantaloni, calzature, occhiali, cappelli e accessori*, all'interno del guardaroba virtuale. Per effettuare questa operazione, è stato fondamentale **reperire modelli 3D** da risorse online e successivamente importarli in Unity. Tuttavia, è emerso un problema fondamentale: garantire che tali oggetti **seguissero i movimenti dell'avatar**. Per risolvere questo, si è scelto di utilizzare il component *Skinned Mesh Renderer* di Unity [54], per ciascun capo d'abbigliamento. È da notare che in Unity **non è presente** un metodo nativo per creare direttamente il Skinned Mesh Renderer, dunque è stato necessario utilizzare Blender per questa specifica fase. In linea di massima sono stati presi i modelli da **Sketchfab** [17] (tramite il plugin presente su Blender [41]). Successivamente, tali modelli sono stati **adattati** alla struttura scheletrica dell'avatar in Unity, che a sua volta è basato su un modello standard preso da Mixamo [11]. In breve, nella nostra scena Blender abbiamo lo scheletro corrispondente a quello di Unity. Una volta scaricato il modello del capo d'abbigliamento a cui siamo interessati, si effettuano le seguenti azioni:

1. **Creiamo una singola mesh** rappresentante il capo d'abbigliamento che desideriamo aggiungere al nostro avatar;
2. Effettuiamo **spostamenti** e **ridimensionamenti** del vestito in modo che si posizioni correttamente rispetto all'avatar;
3. Eliminiamo eventuali legami di **gerarchia** o **parentela** che questa mesh potrebbe avere all'interno della nostra scena Blender;
4. A questo punto, **colleghiamo il nuovo modello all'avatar**. Questo passo è cruciale, in quanto determina quanto bene il modello si muoverà rispetto allo scheletro. Abbiamo principalmente adottato due metodi per collegare la nuova mesh all'avatar:
 - (a) **Pesi automatici**: talvolta è stato possibile applicare direttamente i pesi automatici, ma purtroppo raramente questi risultavano accurati. In questi casi, ci siamo avvalsi del secondo metodo;
 - (b) **Ereditare pesi dalla "pelle" dell'avatar**: il nostro avatar è un manichino, con la pelle che si muove in sincronia con i movimenti delle ossa dello scheletro. Pertanto, abbiamo ereditato i pesi dalla pelle e li abbiamo applicati al nuovo capo d'abbigliamento in modo tale che quest'ultimo si muova similmente alla pelle.
5. Una volta che la nuova mesh 3D è stata collegata all'avatar base, è essenziale **testare i movimenti** dello scheletro per verificarne l'integrità. Nella maggior parte dei casi, le cose non sono perfette, pertanto selezioniamo il nuovo modello e passiamo alla modalità *Weight Paint*. Qui, apportiamo **aggiustamenti ai pesi** in modo coerente con le parti dello scheletro che ne influenzano il movimento;
6. A questo punto, entriamo nella modalità *Sculpt*, affinando ulteriormente l'adattamento del vestito all'avatar. Cerchiamo di evitare situazioni in cui la pelle dell'avatar **attraversi** il capo d'abbigliamento stesso, facendo uso principalmente degli strumenti *Grab* o *Elastic Deform*;

7. Ora siamo pronti per **esportare il modello** e **importarlo in Unity**;
8. In Unity, troviamo il prefab dello scheletro utilizzato per tutti gli avatar nel nostro progetto. Utilizziamo uno script esterno che ci permette il **trasferimento del component *Skinned Mesh Renderer*** da un scheletro all'altro [18]. Questa procedura risulta **indispensabile** in quanto il modello del capo d'abbigliamento è stato esportato da Blender insieme al suo scheletro, ma in Unity stiamo lavorando con uno **scheletro universale** che non possiamo modificare ogni volta che aggiungiamo un nuovo indumento. Pertanto, effettuiamo il trasferimento del component *Skinned Mesh Renderer* da uno scheletro all'altro.



Figura 4.4: Blender



Figura 4.5: Sketchfab

4.2 Dispositivi utilizzati

Lo sviluppo di questo progetto è stato svolto principalmente presso un'aula del Laboratorio di Realtà virtuale e aumentata dell'università di Bologna (**VARLAB**). In questa sede, sono presenti visori e workstation all'**avanguardia** che hanno agevolato il processo di sviluppo, assicurando un ambiente **efficiente**. Per questo progetto sono stati utilizzati principalmente **due** dispositivi. Come visore per la **realtà virtuale** è stato utilizzato l'**HTC Vive Pro**, mentre come dispositivo Android per la **realtà aumentata** è stato utilizzato il **Oneplus 8T**. Nelle seguenti sezioni, verranno fornite le caratteristiche **dettagliate** dei rispettivi dispositivi.

4.2.1 HTC Vive Pro

Caratteristiche tecniche:

- **Schermo:** Dual AMOLED da 3,5 pollici di diagonale;
- **Risoluzione:** 1440 x 1600 pixel per occhio (2880 x 1600 pixel combinati);
- **Frequenza di aggiornamento:** 90 Hz;
- **Campo visivo:** 110 gradi;
- **Audio:** Cuffie certificate Hi-Res (rimovibili);
- **Supporto cuffie ad alta impedenza;**
- **Microfoni integrati;**
- **Conessioni:** Bluetooth, porta USB-C per periferiche;
- **Sensori:** SteamVR Tracking, sensore di gravità (G-sensor), giroscopio, prossimità, Impostazione Comfort Visivo (IPD);
- **Ergonomia:** Regolazione della distanza delle lenti per il comfort degli occhi;
- **Regolazione dell'Impostazione Comfort Visivo (IPD);**
- **Cuffie regolabili;**
- **Fascia per la testa regolabile.**

Caratteristiche prese dal sito ufficiale: <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro/> [8]



Figura 4.6: Dispositivo VR: HTC Vive Pro

4.2.2 Oneplus 8T

Caratteristiche tecniche:

- **Dimensioni display:** 6,55 pollici (misurati in diagonale da un angolo all'altro);
- **Risoluzione display:** 2400 x 1080 pixel, 402 ppi;
- **Tipo display:** Fluid AMOLED, 120 Hz;
- **Sistema operativo:** OxygenOS basato su Android™ 13;
- **CPU:** Qualcomm® Snapdragon™ 865;
- **GPU:** Adreno 650;

- **RAM:** 8GB LPDDR4X;
- **Memoria:** 128 GB UFS 3.1 2-LANE;
- **Batteria:** 4.500 mAh (2S1P 2.250 mAh, non rimovibile);

Caratteristiche prese dal sito ufficiale: <https://www.oneplus.com/it/8t/specs> [13]



Figura 4.7: Dispositivo Android: OnePlus 8T

4.3 Applicazione VR

Per il caso d'uso specifico dell'utente che si trova nella cabina armadio virtuale e utilizza la realtà virtuale (VR) per provare i vestiti, è fondamentale garantire un'esperienza **immersiva** ed **estremamente realistica**, soprattutto per quanto riguarda i **movimenti del corpo** e l'**interazione** con tutto ciò che gli sta attorno. In particolare, abbiamo fornito le seguenti funzionalità:

- (a) **Sincronizzazione movimenti e cambio vestiti** con tutti i client connessi [4.3.1](#);
- (b) Movimento all'interno dell'armadio virtuale tramite **Inverse Kinematics** [4.3.2](#);
- (c) Possibilità di **indossare virtualmente** i vestiti appesi o posizionati nell'armadio virtuale [4.3.3](#);
- (d) Possibilità di **vedere gli utenti connessi** in un apposito muro della stanza avendo inoltre la capacità di **comunicare con loro** tramite chat vocale [4.3.4](#);
- (e) Possibilità di utilizzare uno **specchio interattivo** [4.3.5](#) grazie alla quale l'utente può:
 - (1) **Avviare il server e leggere il codice di accesso** alla stanza;
 - (2) Consultare il **catalogo** dei vestiti suddiviso per categorie, grazie alla quale può *indossarli, aggiungerli al carrello* o vederne *informazioni aggiuntive*;
 - (3) Consultare la lista degli **outfit consigliati** dagli utenti connessi. In questa lista sarà anche presente, per ogni outfit, la **percentuale di raccomandazione** tra gli utenti votanti;
 - (4) Aggiungere i vestiti indossati direttamente nel **carrello**;
 - (5) Vedere il carrello con i vestiti aggiunti e poterli **provare nuovamente** prima di procedere con l'acquisto.

Seguendo l'architettura fornita nella Sezione [3.2](#), l'applicazione per l'utente VR sfrutta l'*UniRS* ospitando la sessione di remota a cui si uniranno i client connessi. Vediamo ora tutte queste funzionalità nel dettaglio.

4.3.1 Sincronizzazione del movimento e del cambio dei vestiti in tempo reale con tutti i client connessi

Queste due funzionalità sono condivise in **tempo reale** con tutti i client che sono connessi alla stanza. Nonostante l'obiettivo sia identico, cioè diffondere il cambiamento dal server a ogni client, questa condivisione avviene attraverso **due approcci distinti**:

1. **Network Object e Network Transform** per i movimenti: per il movimento istantaneo dell'avatar in tempo reale, la dinamica è differente. Affinché l'avatar VR si muova **simultaneamente** nelle applicazioni Android AR, facciamo uso di un **componente integrato** nel pacchetto *Netcode*. Questo componente (come rappresentato nella Figura 4.8) agevola la **condivisione automatica** delle *transform* di un oggetto, permettendo che queste vengano **diffuse** a tutti i client collegati alla stessa stanza. Per abilitare questa condivisione, l'oggetto contenente il componente *Network Transform* deve anche possedere il componente *Network Object* e deve essere **registrato nel Network Manager** della scena. Senza tutto questo, la sincronizzazione dei movimenti non potrebbe avvenire;
2. **Client RPC** per il cambio dei vestiti: ogni volta che avviene un cambio di vestiti da parte dell'avatar, il server farà partire una **Client RPC** a tutti i client connessi alla stanza. Una *Remote Procedure Call (RPC)* è un metodo per creare sistemi distribuiti, che essenzialmente **permette a un programma su una macchina di invocare una funzione su un'altra macchina**, senza essere consapevole che questa operazione avviene a distanza [22]. Nella nostra applicazione, una Client RPC è chiamata quando il server decide di eseguire una specifica funzione in ogni client collegato alla stanza. Nel caso del **cambio dei vestiti**, la stessa funzione che avviene nel server viene eseguita anche su ogni client tramite una Client RPC. Possiamo fare ciò perchè le due applicazioni (VR e AR) **condividono la stessa scena**, di conseguenza possiamo

sincronizzare in questo modo l'avatar del server (VR) con gli avatar presenti nelle scene dei client (AR).

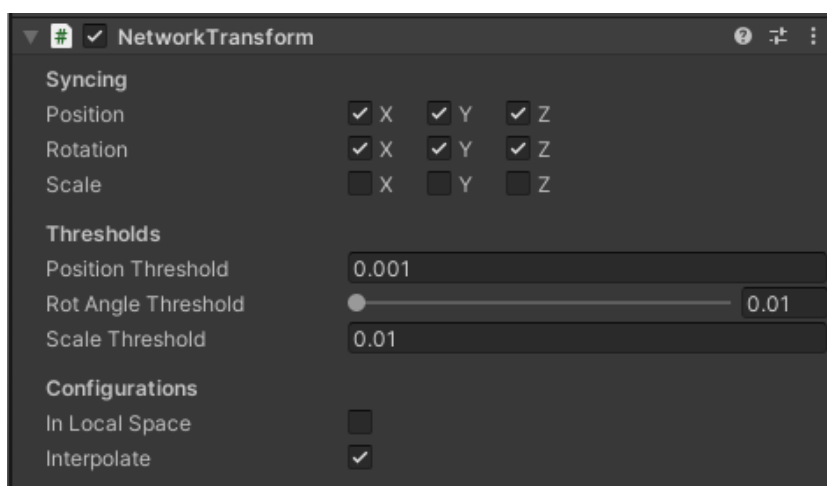


Figura 4.8: Componente Network Transform

4.3.2 Movimento tramite Inverse Kinematics

Abbiamo adottato l'approccio della **cinematica inversa** (Inverse Kinematics) per gestire i **movimenti delle mani e delle gambe** dell'avatar. Nel caso delle mani, questa tecnica è stata particolarmente utile per stabilire le posizioni dei **gomiti**. Attraverso questa metodologia, è stato infatti possibile simulare la posizione dei gomiti in base alla posizione delle mani stesse e quindi dei controller. L'approccio utilizzato per simulare il movimento delle gambe è **analogo**, tuttavia, invece dei gomiti, si modifica la **posizione delle ginocchia**. Per ulteriori dettagli sull'Inverse Kinematics, fare riferimento alla sottosezione successiva. Abbiamo considerato fondamentale utilizzare la cinematica inversa poiché, in un contesto come quello di questa applicazione, è cruciale dotare l'avatar di **arti completi, braccia e gambe**, e soprattutto garantire che il suo movimento sia estremamente **realistico e fedele** a quello umano. Va sottolineato che **non sono comuni** i progetti di realtà virtuale che riescono a integrare un avatar completo nel loro ambiente. Spesso, si

focalizzano solamente sulla parte **superiore del corpo** o, ancor peggio, includono unicamente volto e mani. La nostra scelta di implementare un avatar completo contribuisce a conferire **maggiore autenticità** e **coinvolgimento** all'esperienza. A livello di sviluppo, siamo andati ad ispirarci a questo video [59], che sfrutta il package Unity *Animation Rigging* [55]. Grazie all'aggiunta di un nuovo VR Rig sulla scena, sarà poi possibile implementare la **cinematica inversa**. Questo sarà composto da un `GameObject` per ogni parte del corpo che vogliamo gestire tramite cinematica inversa, nel nostro caso, come possiamo vedere dalla Figura 4.9 avremo un oggetto per:

- Braccio destro;
- Braccio sinistro;
- Gamba destra;
- Gamba sinistra;
- Testa.

Questi oggetti hanno associato un component *Two Bone IK Constraint* che sostanzialmente permette di considerare **come una catena unica le singole parti** che compongono l'intero arto. All'interno di ogni oggetto sono poi presenti un *target* e un *hint*. Il *target* è semplicemente un oggetto vuoto che rappresenta la parte del corpo che andremo a **muovere**, mentre l'*hint* serve per specificare la **direzione** verso cui intendiamo orientare il punto flessibile. Consideriamo ad esempio il contesto del braccio destro: qui, il *target* sarà **allineato con le trasformazioni della mano destra**, mentre l'*hint* sarà **posizionato a livello del gomito**, ma **spostato posteriormente**. Questo posizionamento è intenzionale al fine di garantire che quando il gomito si piega, segua la direzione indicata dall'*hint*. Possiamo vedere tutto questo nell'immagine 4.10 dove si nota che il gomito sinistro è piegato e va verso il basso (**direzione data dal suo hint**), mentre le ginocchia vanno verso avanti quando piegate perché avranno l'*hint* di fronte a

loro. Infine, come scritto nella sezione 4.3.1 tutti i movimenti di *testa*, *mani* e *piedi*, vengono condivisi dal server verso tutti i client connessi alla stanza tramite il componente **Network Transform**.



Figura 4.9: Gerarchia Inverse Kinematics



Figura 4.10: Esempio di Inverse Kinematics

Inverse Kinematics nel dettaglio

Per il movimento dell'avatar è stata utilizzata una tecnica particolare chiamata **Inverse Kinematics**. L'Inverse Kinematics è una **tecnica matematica** utilizzata nell'animazione al computer e nella robotica per calcolare i parametri delle giunture variabili necessari a posizionare l'estremità di una **catena cinematica**, come il braccio di un robot o lo scheletro di un personaggio di animazione, in una posizione e orientamento desiderati rispetto all'inizio della catena. In altre parole, la cinematica inversa consente di **determinare quali angoli e movimenti** devono essere impostati alle giunture per ottenere una **posizione specifica** e un'**orientazione** finale per l'elemento terminale della catena. Questa tecnica è spesso un problema **complesso e impegnativo**. Poiché coinvolge il calcolo di angoli e posizioni che soddisfano determinate condizioni, può richiedere l'uso di **algoritmi complessi** e **metodi di ottimizzazione**. Un altro caso in cui viene utilizzata la cinematica inversa è per ripercorrere i movimenti di un oggetto registrato da altre fonti, come filmati di movimenti umani. Questo può essere utile nell'**animazione**

di personaggi virtuali, dove i movimenti catturati di attori umani possono essere utilizzati per animare in modo realistico i personaggi digitali [61]. Nel nostro progetto, l'Inverse Kinematics è stata utilizzata per **ricostruire il movimento delle braccia e delle gambe** basandosi sulla **posizione finale** delle mani e dei piedi. Questo ci ha permesso di ricostruire in modo **preciso e realistico** le azioni degli avatar, consentendo loro di muoversi in modo **naturale e coerente** con la posizione desiderata delle loro estremità. L'uso di questa tecnica ha dimostrato di essere una buona soluzione per ottenere animazioni **fluide e realistiche, senza l'utilizzo di animazioni vere e proprie**.

4.3.3 Indossare virtualmente i vestiti appesi

Per immergersi in questa esperienza in modo del tutto naturale, abbiamo reso l'utilizzo dell'armadio virtuale **simile a quello della realtà fisica**. Abbiamo implementato una funzionalità che consente all'utente VR di interagire **direttamente** con i vestiti nell'armadio, proprio come farebbe nel mondo reale. Attraverso i controller, l'utente può selezionare i vestiti che desidera indossare, **puntandoli** con esso. Una volta puntato un vestito, verrà evidenziato con un contorno, in modo da indicare chiaramente all'utente che è stato **selezionato** (Figura 4.11). Premendo il pulsante apposito, l'utente potrà **indossare virtualmente il capo** scelto. Grazie a questo, potrà provare i vestiti desiderati scegliendoli e selezionandoli direttamente dall'armadio virtuale. Un aspetto fondamentale da sottolineare è che ogni cambiamento di abbigliamento effettuato dall'utente VR sarà **immediatamente condiviso** con tutti gli altri utenti AR connessi, garantendo un'interazione condivisa. Questo consente di **condividere l'esperienza di shopping virtuale** e di vedere in tempo reale le scelte di abbigliamento dell'utente VR, rendendo **l'esperienza sociale più coinvolgente**.

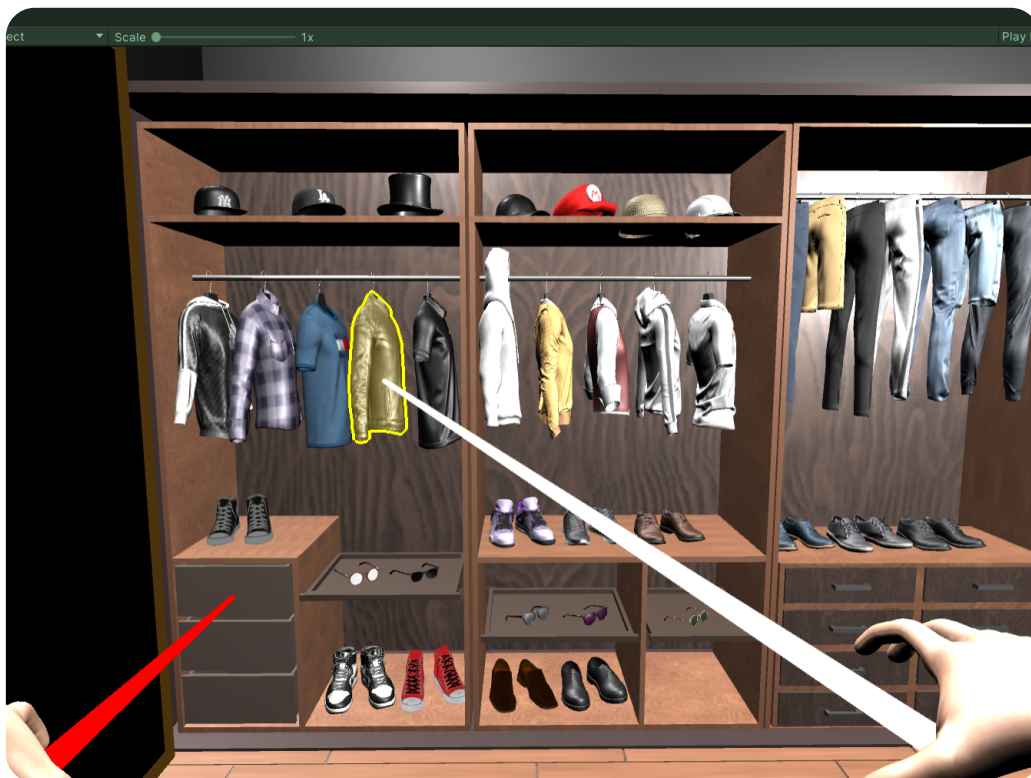


Figura 4.11: Selezione del capo d'abbigliamento tramite controller

Per l'implementazione di questa funzionalità risulta rilevante discutere sia del processo di **creazione dell'outline**, sia della modalità attraverso la quale avviene la **sincronizzazione dei cambi di abbigliamento** tra tutti gli utenti connessi.

Outline

L'effetto di contorno (**Outline**) è stato realizzato grazie all'utilizzo del pacchetto [26]. Questo pacchetto, infatti, mette a disposizione uno script che consente di creare un outline visibile **attorno all'oggetto selezionato**. Ciò che rende particolarmente vantaggioso questo pacchetto è la sua capacità di generare l'effetto intorno ad un *Skinned Mesh Renderer* ed è inoltre **predisposto** per l'impiego all'interno del contesto della **realtà virtuale**. È

importante notare che non tutti i pacchetti di questo tipo presenti nell'asset store vantano la stessa **completezza e funzionalità**.

Cambio dei vestiti in tempo reale a tutti i client

Come scritto nella sezione 4.3.1, ogni cambio di vestiti è **sincronizzato tramite una Client RPC** a tutti i client connessi. Di conseguenza, la stessa funzione che viene eseguita lato server per *attivare* il vestito corretto all'interno della scena VR, verrà **eseguita da tutti i client connessi** nella loro specifica scena.

4.3.4 Comunicazione con gli utenti connessi

All'interno dell'armadio virtuale, viene riservata una **parete** esclusivamente alla **visualizzazione delle camere frontali degli utenti Android** che si uniscono alla stanza. Questa funzionalità permette all'utente in realtà virtuale di interagire in modo ancor più coinvolgente, poiché può visualizzare in tempo reale le facce dei suoi amici connessi. Attraverso questa parete interattiva, si offre l'opportunità di **comprendere le emozioni** dei partecipanti connessi, essendo in grado di osservare le loro espressioni facciali. La comunicazione è **bilaterale**, ma l'utente in realtà aumentata (AR) potrà solamente sentire la **voce** dell'utente in realtà virtuale (VR). La videochat aggiunge un livello di **connessione emotiva** all'esperienza virtuale, permettendo all'utente di restare **ancorato alla realtà**, mantenendo un contatto **autentico** con le persone presenti nell'ambiente virtuale. Questa soluzione arricchisce l'esperienza di **interazione sociale**, creando un ambiente più **empatico**, dove gli utenti possono condividere **emozioni** e comunicare in modo più **intimo**, nonostante si trovino in ambienti separati. Il tutto è stato possibile tramite l'integrazione con l'*Agora Video SDK for Unity* [3] [2]. L'*Agora Video SDK for Unity* è uno strumento che consente di integrare **comunicazioni in tempo reale** all'interno dei giochi, aumentando l'interattività tra i giocatori. Questa SDK offre una serie di funzionalità per migliorare l'esperienza di gioco, tra cui:

- **Compatibilità cross-platform:** Disponibile per MacOS, Windows, Android e iOS, è inoltre interoperabile con SDK nativi, consentendo la connessione con applicazioni native e Web di Agora;
- **Comunicazione audio e video:** Offre comunicazione audio e video a latenza estremamente ridotta, consentendo conversazioni in tempo reale all'interno del gioco;
- **Effetti audio spaziali:** Fornisce effetti audio spaziali per aggiungere una sensazione di realtà e profondità ai suoni del gioco;
- **Cambio voce:** Aggiunge divertimento al gioco abilitando il cambiamento della voce tramite modifiche di tonalità, riverberi ed equalizzatore;
- **Condivisione dello schermo:** Permette la condivisione dello schermo durante lo streaming in diretta.

Tra queste funzionalità noi abbiamo ovviamente utilizzato quella di **Compatibilità cross-platform** e di **Comunicazione audio e video** per creare la nostra videochat.

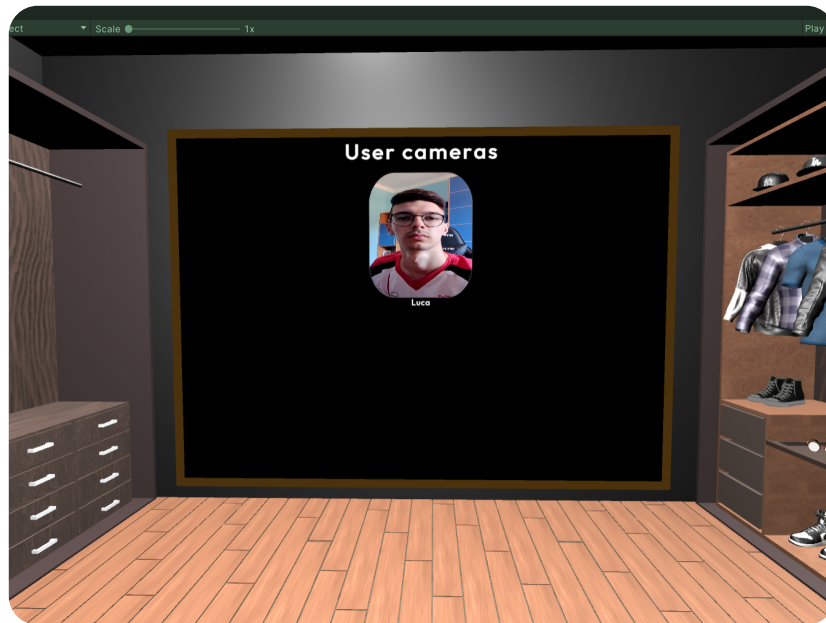


Figura 4.12: Parete della Videochat

4.3.5 Specchio interattivo

Grazie allo specchio posto nell'armadio virtuale sarà possibile eseguire **diverse operazioni**. Nell'immagine seguente è possibile osservare le diverse sezioni che lo compongono. Successivamente, esploreremo con maggior dettaglio ciascuna di queste parti.

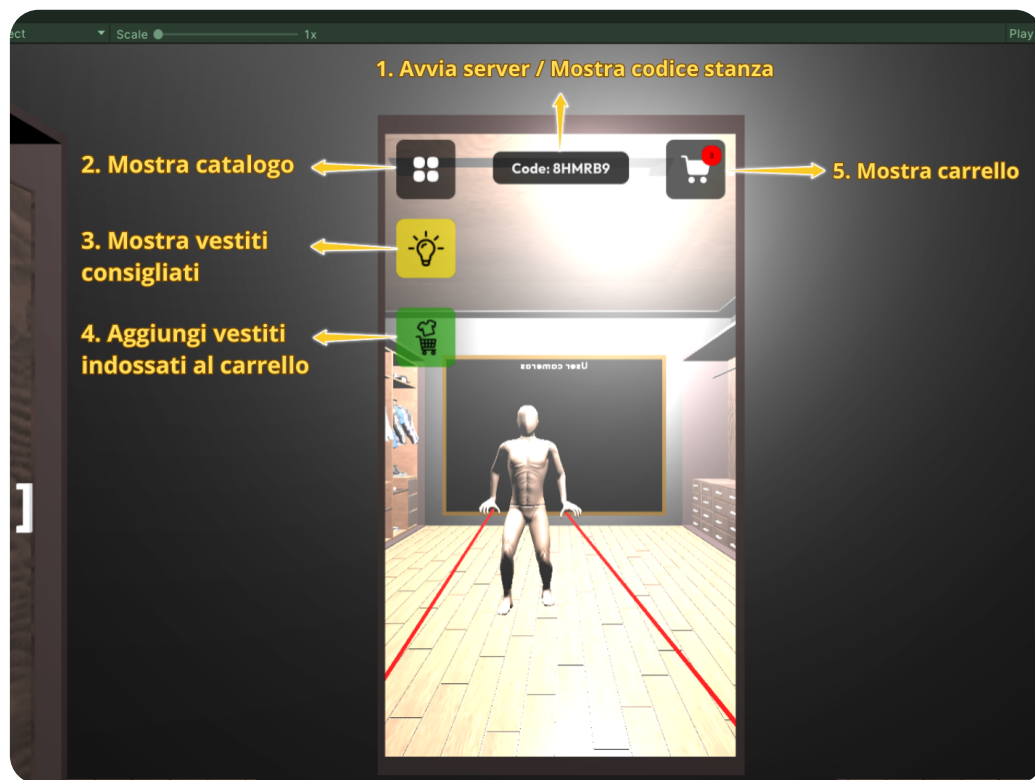


Figura 4.13: Overview specchio

(1) Creazione del server

Nella parte superiore dello specchio, è collocato un apposito pulsante per la **creazione del server**, che consente di generare un **codice di accesso univoco** per la stanza virtuale. Una volta premuto il pulsante per avviare il server (Figura 4.14), esso si trasformerà automaticamente nel codice vero e proprio (Figura 4.15), pronto per essere **condiviso** con gli amici al fine di consentire loro di connettersi alla stessa stanza virtuale.

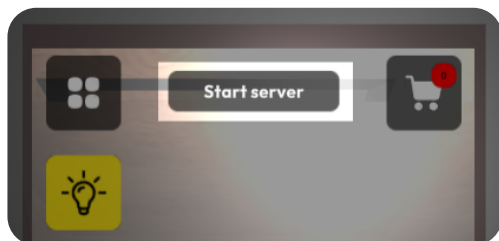


Figura 4.14: Pulsante per avviare il server

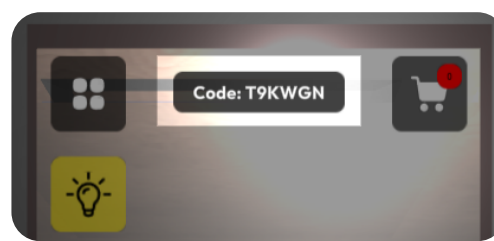


Figura 4.15: Codice d'accesso alla stanza virtuale

All'interno della scena di Unity, è presente un **Network Manager** dedicato alla creazione e gestione di un server *Relay* e a consentire la connessione dei client tramite l'inserimento del codice d'accesso appropriato. Una volta premuto il pulsante per avviare il server (Figura 4.14), la funzione *CreateRelay()* viene richiamata. Questa funzione contiene il codice necessario per **creare il server e restituire il relativo codice di accesso**. L'implementazione iniziale di questa funzione è stata presa direttamente dalla **documentazione di Unity Relay** [24], per poi essere adattata alle specifiche esigenze del nostro progetto.

(2) Catalogo

Nel **catalogo** è presente una vasta selezione di capi d'abbigliamento, accuratamente disposta in una griglia divisa per categorie. Questa organizzazione consente agli utenti di scoprire facilmente tutti gli indumenti contenuti nell'armadio virtuale, rendendo l'esperienza di scelta e ricerca **più veloce**. Nel nostro progetto, al momento, sono state inserite **sei diverse categorie**:

- **Upperbody** - Indumenti per la parte superiore del corpo (Figura 4.16);
- **Lowerbody** - Indumenti per la parte inferiore del corpo (Figura 4.17);
- **Scarpe** (Figura 4.18);
- **Cappelli** (Figura 4.19);

- Occhiali (Figura 4.20);
- Orologi (Figura 4.21).

Per garantire un'esperienza di shopping sempre più completa sarà poi necessario **espandere queste categorie e aggiungere sempre più prodotti.**

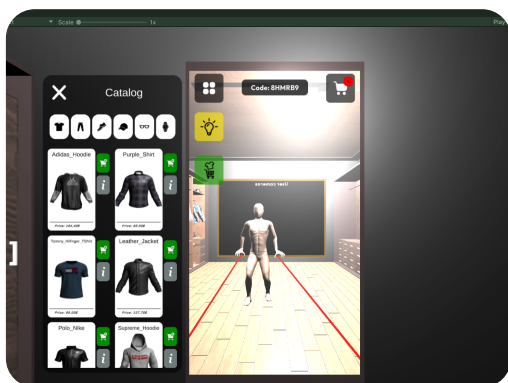


Figura 4.16: Catalogo - Upperbody

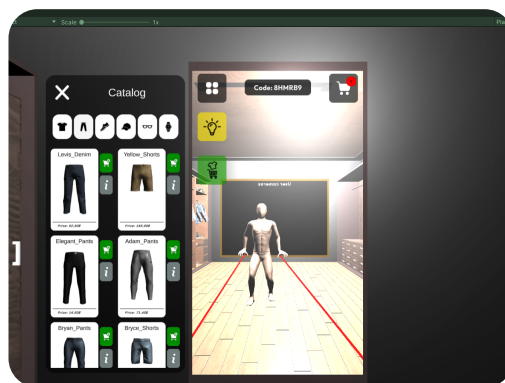


Figura 4.17: Catalogo - Lowerbody

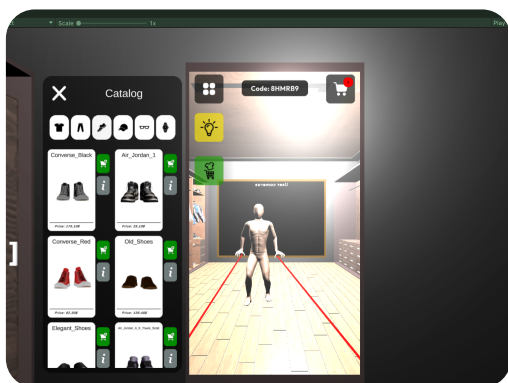


Figura 4.18: Catalogo - Scarpe

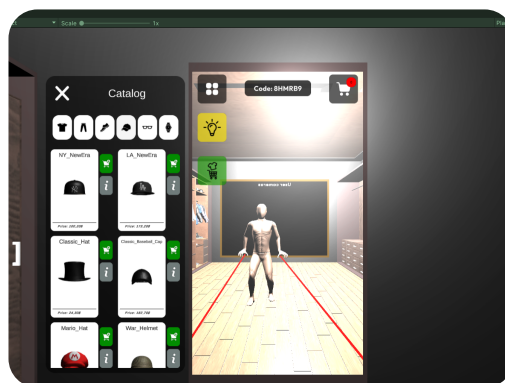


Figura 4.19: Catalogo - Cappelli

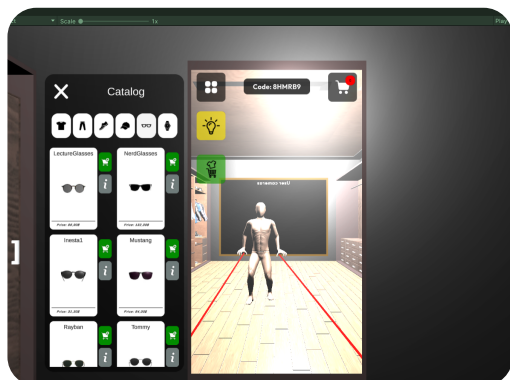


Figura 4.20: Catalogo - Occhiali

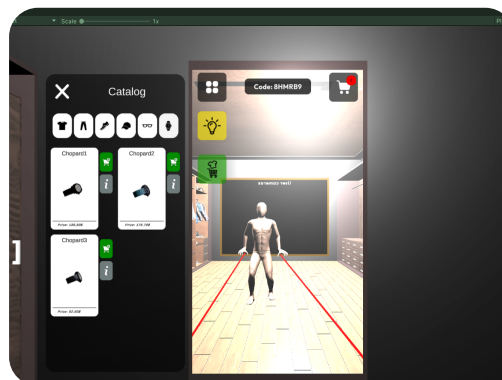


Figura 4.21: Catalogo - Orologi

Grazie agli elementi (carte) inclusi in questo catalogo, l'utente ha a disposizione diverse opzioni per interagire con i capi d'abbigliamento. Ogni carta del catalogo offre la possibilità di **provare** direttamente i capi, **aggiungerli al carrello** per un acquisto futuro o **visualizzare informazioni** dettagliate su ciascuno di essi. Nella Figura 4.22 possiamo vedere che ogni carta del catalogo è composta da:

1. **Nome** dell'indumento;
2. **Immagine** rappresentativa;
3. **Prezzo**;
4. Bottone per aggiungerlo al **carrello**;
5. Bottone per **informazioni** aggiuntive.



Figura 4.22: Catalogo - Carta specifica

(3) Outfit consigliati

Una volta premuto questo pulsante, si aprirà a sinistra dello specchio la lista degli outfit consigliati dagli utenti:

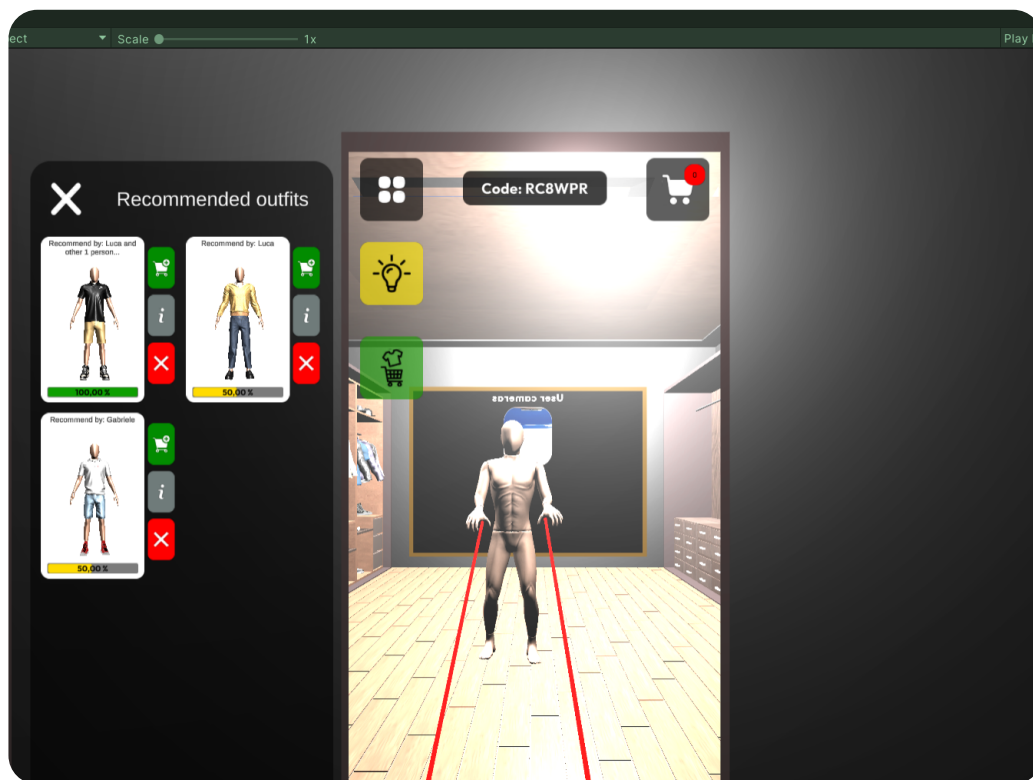


Figura 4.23: Menù consigliati

Come possiamo vedere dalla figura 4.24, la carta di ogni outfit sarà costituita da:

1. **Nome** del primo utente che ha consigliato l'outfit e numero di utenti che hanno consigliato l'outfit successivamente;
2. **Immagine** dell'outfit;
3. **Percentuale** degli utenti che hanno consigliato lo specifico outfit;
4. Bottone per aggiungere l'outfit completo al **carrello**;
5. Bottone per visualizzare la **lista completa degli utenti** che hanno consigliato quel determinato outfit;
6. Bottone per **rimuovere l'outfit** da quelli consigliati.

Ogni carta può essere premuta e una volta effettuata questa operazione, l'utente VR, **indosserà** l'outfit consigliato rappresentato in essa, dando la possibilità alla persona in realtà virtuale di vedere come gli sta **addosso**. Inoltre, è rilevante precisare che la percentuale di raccomandazione è calcolata in base agli utenti *votanti*, ovvero tutti quegli utenti connessi che hanno consigliato **almeno un outfit**. Se l'utente VR rimuove l'unico outfit che un determinato client stava consigliando, allora tutte le percentuali verranno ricalcolate. La tonalità del colore utilizzata nella barra della percentuale, mira a guidare l'utente VR nella scelta degli outfit suggeriti. Quando è verde, indica che l'abbigliamento è stato **raccomandato da molti**, mentre il rosso indica un **numero limitato di raccomandazioni**. Vengono presentate gradazioni intermedie di colore in base alla percentuale di consenso.

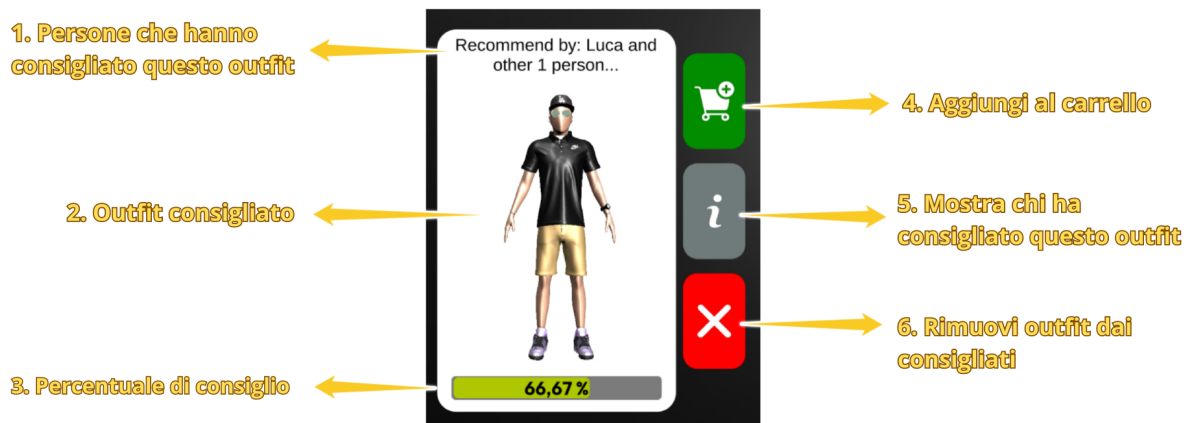


Figura 4.24: Carta outfit consigliato

(4) Aggiungi al carrello i vestiti indossati

All'interno dello specchio, è stato collocato un rapido bottone dedicato all'**aggiunta immediata dei vestiti indossati dall'utente VR al carrello**. Grazie a questa funzionalità, è possibile aggiungere velocemente gli indumenti indossati al carrello con un semplice click. Una volta premuto il pulsante, i prezzi dei capi selezionati vengono **automaticamente recuperati dal back-end** del sistema e infine vengono **aggiunti al carrello**.

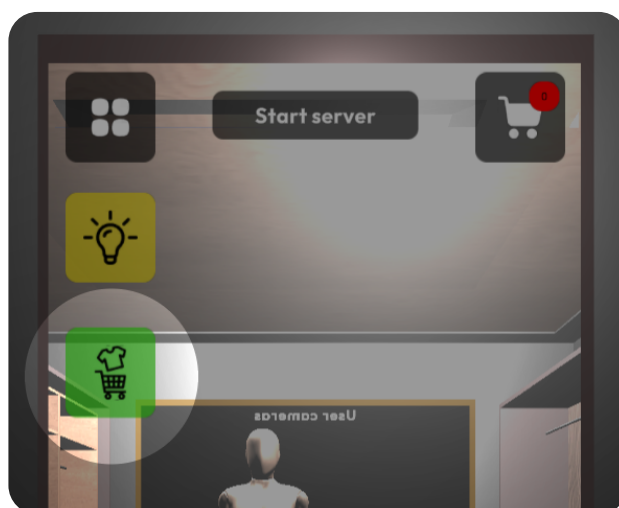


Figura 4.25: Bottone aggiungi vestiti indossati

(5) Carrello

L'applicazione VR offre all'utente la possibilità di **aggiungere i capi preferiti all'interno di un carrello virtuale**. Possiamo notare che nell'icona presente sullo specchio virtuale è presente un numero che indica la **quantità** dei vestiti presenti all'interno. Cliccando sull'icona, si apre un pannello alla destra dello specchio, dedicato al carrello. Nella parte superiore di questo menù, è visibile il **totale** aggiornato del carrello, che mostra appunto l'importo complessivo dei prodotti aggiunti. Subito sotto, viene presentata la **griglia dei capi** presenti all'interno di esso. Attraverso questa visualizzazione, l'utente può vedere rapidamente un riepilogo degli articoli aggiunti fino a

quel momento. Grazie a un semplice click su ciascun capo, può nuovamente **indossarli** virtualmente per una migliore valutazione o, in alternativa, può **rimuoverli** dal carrello quando necessario.

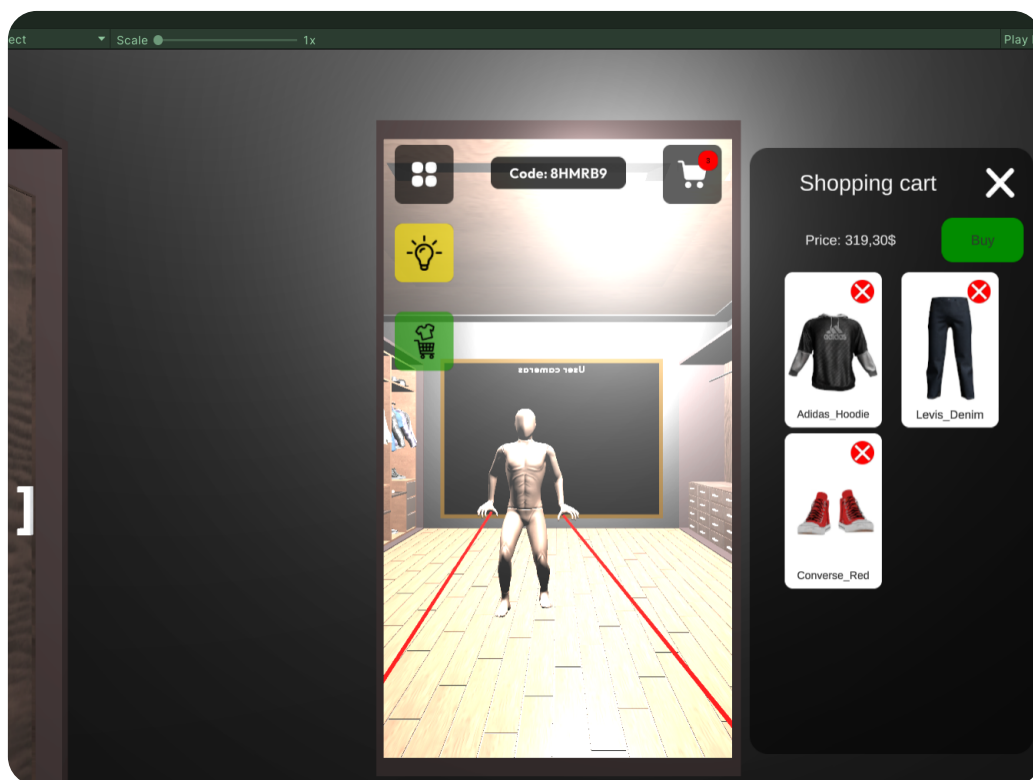


Figura 4.26: Menù carrello

4.4 Applicazione AR

A differenza dell'applicazione per l'utente VR, quella AR è stata progettata per gli smartphone (in particolare per quelli basati su Android). Questa applicazione fornisce le seguenti funzionalità:

- (a) **Login**, connessione alla stanza virtuale;
- (b) **Scena AR** di visualizzazione in tempo reale dell'avatar VR;
- (c) **Movimento all'interno della stanza** tramite joystick su schermo;

- (d) **Riposizionamento** alla zona iniziale;
- (e) Menù per **scelta outfit**:
 - (1) **Vedi e ruota** outfit;
 - (2) **Sfoggia** catalogo;
 - (3) **Consiglia** outfit;
 - (4) **Prova** outfit;
 - (5) **Quick look** di un indumento.

4.4.1 Connessione alla stanza virtuale

All'interno della schermata iniziale dedicata agli utenti Android, l'applicazione offre una modalità di **connessione** alla stanza mediante l'**inserimento dei dati personali**. Qui, gli utenti possono immettere il proprio *nome* e il *codice di accesso* associato alla stanza virtuale di interesse, facilitando una rapida connessione ad essa. Per garantire una corretta esecuzione del processo, sono stati implementati meccanismi di gestione degli errori. Questi meccanismi assicurano che l'utente completi tutti i campi richiesti prima di procedere. Pertanto, non avrà la possibilità di avanzare alla connessione se non ha inserito correttamente tutte le informazioni richieste, ovvero il suo nome e il codice corretto per la stanza. Il **nome dell'utente** sarà principalmente utilizzato per **visualizzarlo sotto la personale videocamera** presente nella parete virtuale all'interno della scena VR e, ancor più significativamente, per **identificare chi ha suggerito un determinato abbigliamento** all'interno della sezione degli outfit raccomandati. Il **codice di accesso**, invece, è indispensabile per effettuare la connessione alla corretta stanza virtuale. Quando l'utente clicca su *Join*, il processo che avviene è **simile a quando si crea un server**, ma questa volta si tratta di **unirsi** a un server specifico piuttosto che crearne uno nuovo. Anche in questo caso, il codice di base è stato preso dalla **documentazione ufficiale di Relay** e poi adattato alle

necessità del nostro progetto. Al momento della connessione del client, vengono **disattivati tutti i componenti** che potrebbero interferire con quelli richiesti per il funzionamento su Android, come ad esempio la videocamera presente nell'avatar VR. Un'altra operazione di notevole importanza, al momento della connessione di un nuovo utente alla stanza, è l'**inizializzazione degli indumenti** dell'avatar VR. Questa procedura riveste particolare rilevanza, poiché se un utente in realtà virtuale **cambia abbigliamento** e invia una Client RPC per propagare questo cambiamento, un utente che si **connette successivamente non riceverà quest'ultimo**. Pertanto, è stata implementata una soluzione che, al momento della connessione di un nuovo client, quest'ultimo invia una *Server RPC*, ovvero il contrario di una Client RPC, **il client fa eseguire una funzione sul server**, con la quale **richiede l'inizializzazione**. In sintesi, questa operazione individua gli abiti attualmente indossati dall'avatar VR e, grazie ad una specifica Client RPC li attiva anche nella scena del nuovo utente appena connesso, garantendo così la sincronizzazione dell'abbigliamento tra gli utenti.

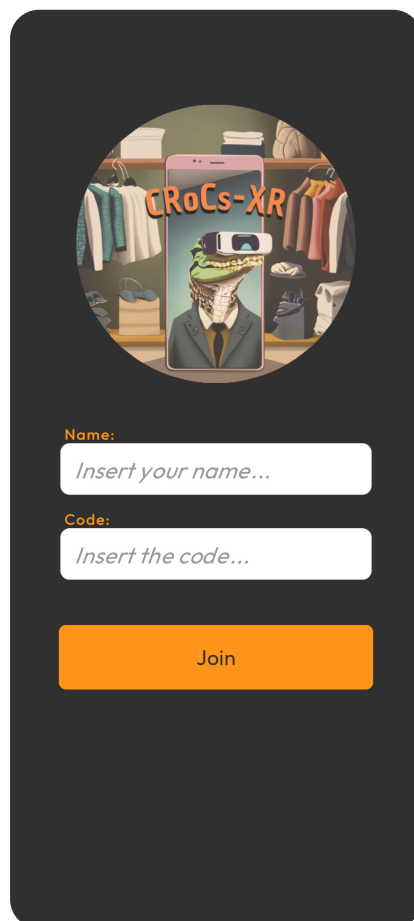


Figura 4.27: Pagina iniziale Android

4.4.2 Scena AR, visualizzazione dell'avatar VR

Una volta effettuato il **login**, all'utente si aprirà la scena AR della stanza virtuale a cui si è collegato. Attraverso questa scena, l'utente potrà **interagire con il mondo virtuale**. Qui, sarà in grado di: vedere in **tempo reale** l'avatar VR, **dialogare** con lui e con tutti gli altri partecipanti tramite chat vocale, svolgere numerose **operazioni relative al catalogo** di abbigliamento. Per ulteriori dettagli sulle operazioni disponibili, si può fare riferimento alla sotto-sezione [4.4.5](#). Tutti i movimenti e le azioni compiute dall'avatar VR saranno **replicati in tempo reale** anche sulla scena AR di ogni client

Android connesso. Ciò significa che ogni gesto delle braccia, dei piedi e ogni cambiamento di abbigliamento dell'avatar VR saranno perfettamente sincronizzati, garantendo un'esperienza **condivisa** tra tutti i partecipanti.



Figura 4.28: Scena principale per gli utenti AR

4.4.3 Movimento all'interno della scena

L'applicazione Android offre una soluzione di **navigazione** attraverso l'utilizzo di un **joystick virtuale** sullo schermo. Questo joystick consente all'utente AR di muoversi all'interno della stanza virtuale, dando la possibilità di **avvicinarsi all'avatar VR** e osservarne tutti i dettagli in modo ravvi-

cinato. Grazie a questa funzionalità, l'utente AR può **esplorare** l'ambiente virtuale da prospettive diverse coinvolgendolo ancora di più.

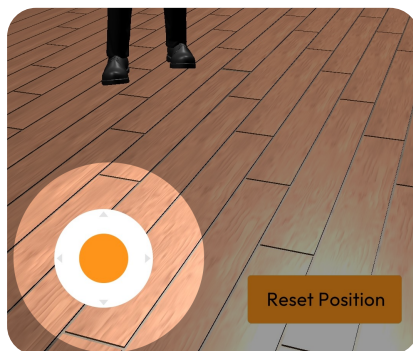


Figura 4.29: Joystick per il movimento su smartphone

4.4.4 Riposizionamento

In qualsiasi momento, l'utente ha a disposizione un meccanismo per **ritornare** istantaneamente **alla zona iniziale della stanza**. Questa funzionalità è stata implementata appositamente per garantire la massima **comodità** all'utente Android, permettendogli di evitare procedure complesse o scomode per tornare alla posizione di partenza.

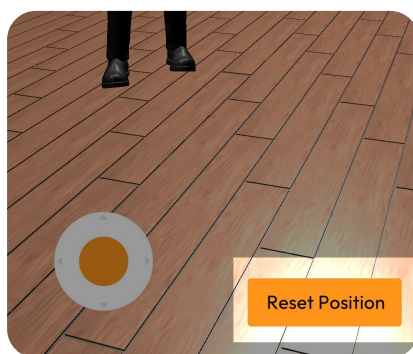


Figura 4.30: Resetta posizione sulla scena AR

4.4.5 Menù scelta outfit

Come accennato nel punto (e), l'applicazione offre un menù specificamente dedicato alla **gestione del catalogo di abbigliamento**. Questa funzionalità consente all'utente di esplorare la **selezione dei capi** disponibili e di interagire direttamente con l'avatar VR connesso. In questo menù dedicato, l'utente può scegliere i propri capi **preferiti** e creare **outfit personalizzati**, esprimendo il proprio stile e personalità. Inoltre, ha la possibilità di **consigliare outfit**, o **farli provare virtualmente** all'avatar VR tramite gli appositi pulsanti (rispettivamente Sezione (3), (4)).

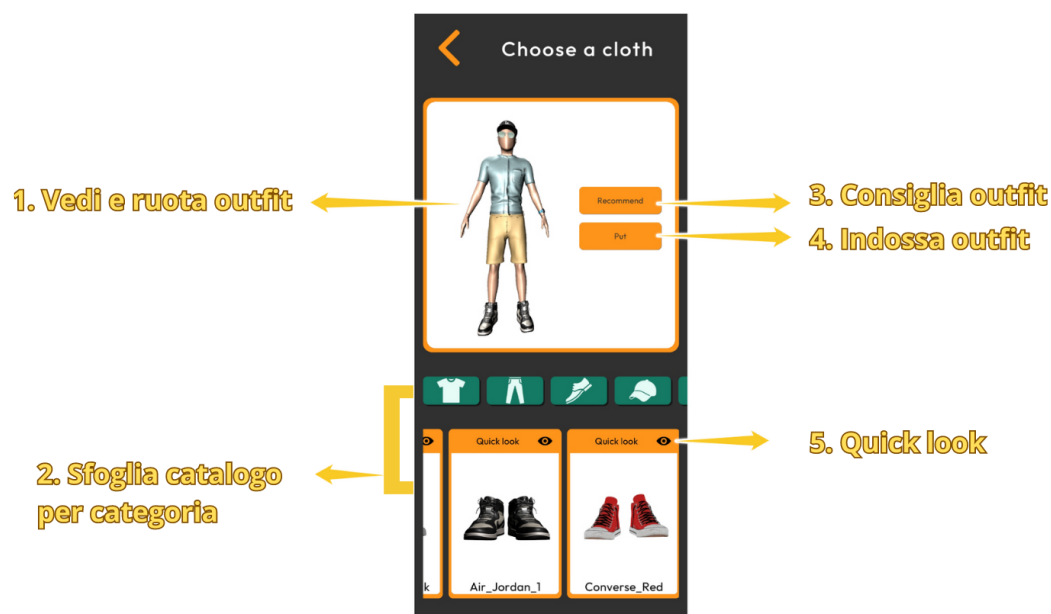


Figura 4.31: Menù scegli outfit Android

(1) Vedi e ruota outfit

Gli utenti Android hanno la possibilità di **esprimere la propria creatività** attraverso la creazione di outfit personalizzati da **consigliare** o far

direttamente **indossare** all'avatar VR. Al fine di effettuare ciò, è necessario che gli utenti abbiano a disposizione un'**anteprima visuale dell'intero outfit**. Questa anteprima è posta all'interno del menu di scelta dell'outfit, come illustrato nel punto 1 della figura 4.31. L'anteprima è costituita da una rappresentazione grafica di un **manichino virtuale, identico all'avatar VR**, il quale verrà dotato dei capi di abbigliamento selezionati all'interno dell'applicazione (Figura 4.32). L'utente ha la possibilità di interagire con il manichino virtualmente, consentendo di effettuare **rotazioni** sia in senso orario che antiorario mediante un'operazione di trascinamento del dito su di esso. L'opportunità di creare outfit personalizzati per l'avatar VR si presenta come una opportunità per **esprimere il proprio stile** e poter guidare l'avatar VR nella sua scelta. Questo processo offre agli utenti la possibilità di **sperimentare svariate combinazioni di indumenti, accessori e calzature**. L'implementazione dell'anteprima visiva del manichino virtuale risulta **essenziale** per permette agli utenti di valutare l'impatto estetico e l'armonia complessiva dei capi scelti. Invece, la manipolazione interattiva del manichino, mediante l'utilizzo di gesti tattili per le rotazioni, fornisce la capacità di valutare l'outfit da **diverse prospettive**.

(2) Sfoglia catalogo

La sezione inferiore del menu per la selezione degli outfit è dedicata al **catalogo degli indumenti**, opportunamente **suddivisi in categorie** (Figura 4.33). Al fine di agevolare la navigazione all'interno del catalogo, sono stati inseriti **due slider**: il primo consente di sfogliare le diverse **categorie**, mentre il secondo permette di esaminare gli **indumenti specifici** della categoria selezionata. Ciascun elemento (carta) del catalogo è costituito da tre parti distinte:

1. **Quick look**: tale funzione verrà esaminata con maggior dettaglio in una sezione successiva. In breve, essa consente all'utente di ottenere una visualizzazione dettagliata dell'indumento in questione;

2. **Immagine dell'indumento:** una volta cliccato, questo elemento permette all'utente di sperimentare l'effettiva vestizione dell'indumento sul manichino presente nella parte superiore della schermata;
3. **Nome del capo d'abbigliamento:** ciascuna scheda del catalogo riporta in forma testuale il nome del capo d'abbigliamento corrispondente, facilitando l'identificazione degli indumenti di interesse.



Figura 4.32: Outfit manichino Android nel dettaglio

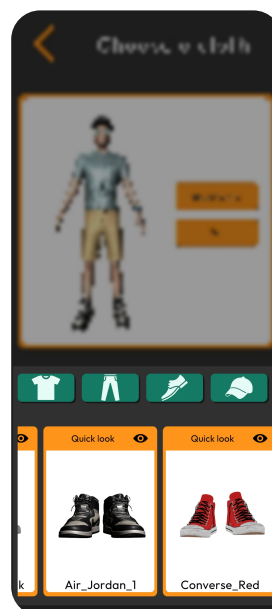


Figura 4.33: Catalogo nel menù dell'applicazione Android

(3) Consiglia outfit

Nel menù per la scelta dell'outfit, a destra del manichino che mostra l'anteprima di esso, si trova il bottone per **consigliare** un outfit all'utente in realtà virtuale (Figura 4.34).

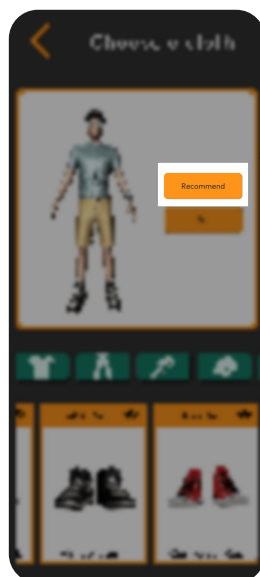


Figura 4.34: Pulsante "consiglia" outfit nel menù Android

Una volta scelto l'outfit da consigliare, si preme il bottone in questione e tramite una semplice Server RPC, verrà inviato questo consiglio all'avatar in VR. Questi consigli verranno **visualizzati in due modi diversi sulla scena** in realtà virtuale:

- Tramite un **indicatore** posto sopra ogni indumento che compone l'outfit, visualizzabile direttamente sopra i capi d'abbigliamento che si trovano virtualmente nell'armadio (Figura 4.35). Tale indicazione visiva agevola l'utente VR nell'identificazione degli outfit suggeriti, consentendo di riconoscerli con immediatezza all'interno dell'ambiente virtuale;
- Attraverso un **menù apposito nello specchio** dove vengono elencati tutti gli outfit consigliati dagli utenti connessi alla stanza virtuale ed il loro indice di raccomandazione (Figura 4.36). Tale approccio rende il tutto più **organizzato e accessibile**, permettendo all'utente VR di avere una visione d'insieme degli outfit suggeriti sino a quel momento, semplificando così la scelta e l'eventuale acquisto di un determinato outfit consigliato.

L'utilizzo di due modalità distinte per suggerire un outfit all'utente VR offre diversi **vantaggi**, poiché **agevola** la comunicazione tra gli utenti AR e l'utente VR. Questo approccio evita la necessità di trasmettere verbalmente informazioni riguardanti gli indumenti da indossare o quelli che potrebbero adattarsi meglio all'utente VR.



Figura 4.35: Suggerimento con segnalino direttamente sul capo (Scena VR)



Figura 4.36: Outfit consigliato nel menu dello specchio (Scena VR)

(4) Prova outfit

Immediatamente al di sotto del pulsante per suggerire un outfit all'utente VR, troveremo un ulteriore pulsante che, invece, consente di **far indossare l'outfit** direttamente all'avatar VR. Mediante questa funzione, viene mandata una Server RPC con l'abbigliamento scelto. Questo verrà **automaticamente** indossato dall'avatar e tale **modifica** sarà **propagata** a tutti gli utenti connessi alla piattaforma.

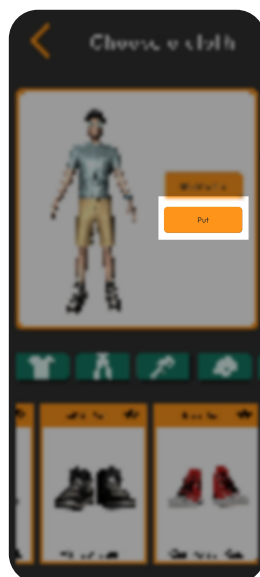


Figura 4.37: Pulsante "prova" outfit nel menù Android

(5) Quick look

Come accennato nelle sezioni precedenti, questa funzionalità permette di vedere **più nel dettaglio** un determinato capo d'abbigliamento. Infatti, una volta premuto l'apposito bottone sulla carta del catalogo (Figura 4.38), si aprirà una finestra aggiuntiva che permetterà all'utente Android di **vedere più da vicino** l'elemento selezionato dal catalogo e di poterlo **ruotare a 360 gradi** semplicemente passando il dito su di esso. In questa nuova finestra saranno presenti il **nome** dell'indumento, lo **spazio per poterlo ruotare** a 360 gradi e un'**icona che permette la chiusura** di questa finestra 4.39. Questa caratteristica si rivela molto utile, specialmente considerando che l'utilizzo in genere avviene su smartphone Android, ovvero un **dispositivo con schermo generalmente di dimensioni contenute**, salvo l'eccezione rappresentata dai tablet. La funzionalità in questione si rivela dunque necessaria, offrendo la possibilità di esaminare con maggiore attenzione e da prospettive diverse ciascun indumento di nostro interesse, permettendoci di creare outfit migliori e in modo più semplice.

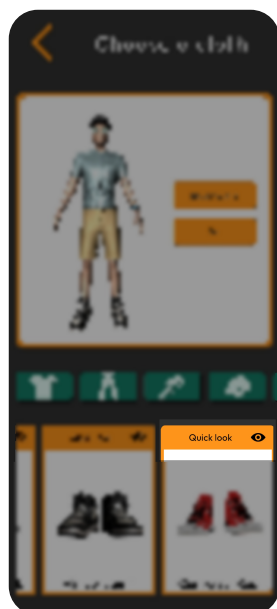


Figura 4.38: Quick look nella carta specifica dell'indumento



Figura 4.39: Finestra Quick look

Capitolo 5

Conclusioni e sviluppi futuri

5.1 Conclusioni

In questo elaborato, è stato introdotto **CRoCs-XR**, una **piattaforma di Cross Reality** che permette la **collaborazione** tra un ambiente di **realtà virtuale** e **aumentata** per definire un nuovo modo di fare shopping virtuale in **maniera collaborativa**. Questa piattaforma offre ai consumatori un approccio diverso per sperimentare nuovi abiti, consentendo loro di **beneficiare dell'opinione di amici o parenti**. In particolare, l'applicazione di Realtà Virtuale permette al cliente di **indossare virtualmente** gli abiti all'interno di un armadio virtuale, dove può **vedere** e **sentire** amici o familiari connessi nello stesso ambiente. Qui, è inoltre in grado di **ricevere suggerimenti** relativi all'abbigliamento e aggiungere i capi desiderati ad un **carrello virtuale**. Contemporaneamente, l'applicazione di Realtà Aumentata, sviluppata per dispositivi Android, consente agli utenti di connettersi al **medesimo spazio virtuale** del cliente in Realtà Virtuale, offrendo la possibilità di **esplorare il catalogo** di abbigliamento. Ciò permette di consigliare capi o persino far indossare virtualmente al cliente VR, gli abiti preferiti.

5.2 Sviluppi futuri

Per quanto sia **abbastanza completa**, questa applicazione potrebbe godere di diversi interessanti sviluppi futuri che la renderebbero **migliore** sotto svariati aspetti. Vediamone un elenco di seguito:

- **Personalizzazione avatar:** gli utenti potrebbero avere la possibilità di creare il proprio avatar personalizzato nei minimi dettagli. Potranno selezionare tra diverse opzioni per gli occhi, come forma, colore e dimensioni, così come per il naso, la barba, i capelli e la bocca. Questo livello di personalizzazione permette agli utenti di esprimere la propria individualità e di creare un avatar che li rappresenti al meglio;
- **Avatar più realistico:** per rendere l'esperienza dell'avatar più coinvolgente e realistica, si potrebbero implementare animazioni più fluide e naturali, con movimenti che rispecchiano quelli del mondo reale, oppure migliorare la già presente Inverse Kinematics. Inoltre, sarebbe interessante se l'avatar potesse essere in grado di mostrare espressioni facciali dinamiche, come sorrisi, sbuffi, sorprese e altri, per migliorare l'interazione e l'espressività dell'utente. Tutti questi miglioramenti, come anche quello precedente, andrebbero a rendere l'esperienza di tutti gli utenti (non solo quelli VR) più coinvolgente e realistica;
- **Personalizzazione dei vestiti:** si potrebbe avere una sezione dedicata, nella quale gli utenti possono modificare i vari vestiti secondo le proprie preferenze. Possono, per esempio, aggiungere o togliere bottoni, selezionare colori diversi, scegliere tessuti specifici o regolare l'elasticità dei capi. Questa caratteristica consentirebbe agli utenti di creare outfit unici e adattarli a varie occasioni o stili personali, aumentando ancor di più la probabilità di acquisto;
- **Gesti delle mani indipendenti dai controller:** attraverso l'utilizzo di tecnologie di rilevamento delle mani, l'avatar potrebbe essere controllato senza necessità di controller tradizionali. Gli utenti potrebbero

avere la possibilità di interagire direttamente con l'armadio virtuale usando le proprie mani e dita, offrendo un'esperienza più intuitiva e naturale rispetto all'uso dei controller;

- **Specchio più realistico:** si potrebbe lavorare di più per migliorare la resa del riflesso nella realtà virtuale, rendendo lo specchio più realistico e dettagliato, migliorandone la profondità e la prospettiva;
- **Shooting fotografico:** in un'ottica di creare un'esperienza ancora più coinvolgente e interattiva, l'applicazione potrebbe integrare una funzionalità che consente agli utenti di organizzare uno shooting fotografico all'interno del mondo virtuale. Questo permetterebbe loro di creare e immortalare scatti personalizzati dei loro avatar con addosso i vestiti selezionati, in ambienti virtuali che potrebbero essere diversi dalla cabina armadio in cui si trovano. Questa funzionalità potrebbe dare vita a ulteriori sviluppi, come l'aggiunta di condivisione delle foto scattate e dunque di interazione sociale tra gli utenti che utilizzano la piattaforma oppure la possibilità di salvare le foto scattate in album appositi e poterle rivedere in un secondo momento;
- **Aggiunta della fisica ai vestiti:** oltre alla simulazione visiva dei vestiti, è importante affrontare la fisica di essi nel mondo digitale. I vestiti reali si muovono, si piegano e si adattano al corpo in modi complessi e naturali. Rappresentare queste interazioni in modo credibile richiede modelli fisici accurati e algoritmi sofisticati per gestire la fisica della simulazione, per questo non è un miglioramento semplice da fare. Implementare la fisica nei vestiti però, permetterebbe loro di reagire in modo più realistico ai movimenti dell'avatar e dell'ambiente circostante. Ad esempio, i capi di abbigliamento si muoverebbero in maniera più naturale quando l'avatar cammina, corre o interagisce con oggetti virtuali, aumentando l'immersione e la sensazione di presenza nell'applicazione oltre che a una maggiore fedeltà della vestibilità;

- **Integrazione del portafoglio personale digitale (digital wallet):** questa caratteristica consentirebbe agli utenti di sincronizzare il proprio portafoglio digitale con l'applicazione, semplificando l'acquisto di indumenti virtuali. In questo modo, oltre che acquistarne una copia fisica, i vestiti acquistati verrebbero anche aggiunti all'inventario dell'avatar, pronti per essere indossati e utilizzati in un eventuale metaverso.
- **Collaborazione con aziende di moda per collezioni brandizzate:** attraverso partnership con marchi di moda, gli utenti avrebbero la possibilità di accedere a collezioni di vestiti virtuali brandizzate. Questo consentirebbe agli appassionati della moda di indossare abiti ispirati a designer, marchi famosi o personaggi celebri, ampliando le possibilità di personalizzazione dell'avatar e aggiungendo valore al mondo virtuale offerto dall'applicazione. Si potrebbero infatti creare collezioni esclusive e limitate, eventi, sfilate virtuali e così via.

Bibliografia

- [1] 1st Joint Workshop on Cross Reality to be held in conjunction with the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2023). <https://cross-realities.org/>.
- [2] Agora. <https://www.agora.io/en/>.
- [3] Agora Video SDK for Unity. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/video/agora-video-sdk-for-unity-134502>.
- [4] Blender. <https://www.blender.org/>.
- [5] ClassVR. <https://www.classvr.com/it/>.
- [6] Gravity sketch. <https://www.gravitysketch.com/>.
- [7] HOCTOPUS: Empower Remote Class Teaching with Extended Reality. <https://varlab-unibo.github.io/HOCTOPUS/>.
- [8] HTC Vive Pro caratteristiche. <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro/>.
- [9] Labster simulations. <https://www.labster.com/simulations>.
- [10] Lyra VR. <https://www.lyravr.com/>.
- [11] Mixamo. <https://www.mixamo.com/>.
- [12] Oculus Quest - Realistic apartment customiser Unreal 4. https://www.youtube.com/watch?v=9wmHp1wZjKc&ab_channel=BeynonStringerVR.

-
- [13] OnePlus8T caratteristiche. <https://www.oneplus.com/it/8t/specs>.
- [14] Pokemon GO. <https://pokemongolive.com/?hl=it>.
- [15] ShelfZone® VR shopping experience by inVRsion. https://www.youtube.com/watch?v=-2UT2KcnJiE&t=27s&ab_channel=INVRSION.
- [16] SimXVR. <https://www.simxvr.com/>.
- [17] Sketchfab. <https://sketchfab.com/>.
- [18] Skinned Mesh Renderer Transfer Unity. <https://forum.unity.com/threads/how-to-move-a-skinned-mesh-renderer-over-to-another-model.921854/>.
- [19] The VR Museum of Fine Art. https://store.steampowered.com/app/515020/The_VR_Museum_of_Fine_Art/.
- [20] Virtual Medicine. <https://www.medicinevirtual.com/>.
- [21] What is Extended Reality (XR)? [https://www.interaction-design.org/literature/topics/extended-reality-xr#:~:text=Extended%20reality%20\(XR\)%20is%20an,and%20virtual%20reality%20\(VR\)](https://www.interaction-design.org/literature/topics/extended-reality-xr#:~:text=Extended%20reality%20(XR)%20is%20an,and%20virtual%20reality%20(VR)).
- [22] What is Remote Procedure Call? https://www.w3.org/History/1992/nfs_dxcern_mirror/rpc/doc/Introduction/WhatIs.html.
- [23] Yosemite VR. <https://www.virtuallyosemite.org/>.
- [24] Larah Armstrong. Relay - Unity Multiplayer Networking, Jan 25 - 2023. <https://docs-multiplayer.unity3d.com/netcode/current/relay/>.
- [25] Rachel Breia. What Is Extended Reality - XR Explained. <https://sensoriumxr.com/articles/what-is-extended-reality>.

-
- [26] cakeslice. Outline Effect, Oct 9, 2020. <https://assetstore.unity.com/packages/vfx/shaders/fullscreen-camera-effects/outline-effect-78608#description>.
- [27] Julie Carmigniani and Borko Furht. *Augmented Reality: An Overview*, pages 3–46. 07 2011. https://www.researchgate.net/publication/227164365_Augmented_Reality_An_Overview.
- [28] Stacchio Lorenzo Marfia Gustavo Di Maria, Giuseppe. Unity-vrlines: Towards a modular extended reality unity flight simulator. In *International Conference on Entertainment Computing*. Springer, 2023. https://www.youtube.com/watch?v=YtbWemils_s&ab_channel=Unibo-VirtualandAugmentedRealityLab.
- [29] Martin Eckert, Julia Volmerg, and Christoph Friedrich. Augmented reality in medicine: Systematic and bibliographic review. 7:e10967, 05 2018. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31025950/>.
- [30] S. Goose, Sandra Sudarsky, Xiang Zhang, and Nassir Navab. Speech-enabled augmented reality supporting mobile industrial maintenance. *Pervasive Computing, IEEE*, 2:65–70, 02 2003. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1186727>.
- [31] Sebastian Hubenschmid, Jonathan Wieland, Daniel Immanuel Fink, Andrea Batch, Johannes Zagermann, Niklas Elmqvist, and Harald Reiterer. Relive: Bridging in-situ and ex-situ visual analytics for analyzing mixed reality user studies. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517550>.
- [32] Steven M. LaValle. *VIRTUAL REALITY*. Cambridge University Press, 2019. <http://lavalle.pl/vr/>.

- [33] Yuzhu Lu and Shana Smith. Augmented reality e-commerce assistant system: Trying while shopping. In Julie A. Jacko, editor, *Human-Computer Interaction. Interaction Platforms and Techniques*, pages 643–652, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer Berlin Heidelberg. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-73107-8_72.
- [34] Gilda Manfredi, Gabriele Gilio, Vincenzo Baldi, Hiba Youssef, and Ugo Erra. Vico-dr: A collaborative virtual dressing room for image consulting. *Journal of Imaging*, 9(4), 2023. <https://www.mdpi.com/2313-433X/9/4/76>.
- [35] Jesus Martínez-Navarro, Enrique Bigné, Jaime Guixeres, Mariano Alcañiz, and Carmen Torrecilla. The influence of virtual reality in e-commerce. *Journal of Business Research*, 100:475–482, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296318305332>.
- [36] Aladdin Masri and Muhannad Al-Jabi. Virtual dressing room application. In *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, pages 694–698, 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8717410>.
- [37] Paul Milgram and Fumio Kishino. Extended Reality and the Future of Remote Work and Collaboration. <https://ts2.space/en/extended-reality-and-the-future-of-remote-work-and-collaboration/>.
- [38] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Information Systems*, vol. E77-D, no. 12:1321–1329, 12 1994. https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays.
- [39] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*,

- 2351, 01 1994. https://www.researchgate.net/publication/228537162_Augmented_reality_A_class_of_displays_on_the_reality-virtuality_continuum.
- [40] Elena Morotti, Lorenzo Stacchio, Lorenzo Donatiello, Marco Rocchetti, Jari Tarabelli, and Gustavo Marfia. Exploiting fashion x-commerce through the empowerment of voice in the fashion virtual reality arena integrating voice assistant and virtual reality technologies for fashion communication. *Virtual Reality*, 26, 11 2021. https://www.researchgate.net/publication/356069113_Exploiting_fashion_x-commerce_through_the_empowerment_of_voice_in_the_fashion_virtual_reality_arena_Integrating_voice_assistant_and_virtual_reality_technologies_for_fashion_communication.
- [41] PadreZippo. Blender plugin: Sketchfab. <https://github.com/sketchfab/blender-plugin>.
- [42] Fabrizio Palmas and Gudrun Klinker. Defining extended reality training: A long-term definition for all industries. In *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 322–324, 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9155942>.
- [43] Saraswati Patil, Gaurav Gaikwad, Samiksha Hiran, Abhishek Ikhar, and Hrushabh Jadhav. metaar – ar/xr shopping app using unity. In *2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*, pages 1–11, 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10080651>.
- [44] Vasco Pereira, Teresa Matos, Rui Rodrigues, Rui Nóbrega, and João Jacob. Extended reality framework for remote collaborative interactions in virtual environments. pages 17–24, 11 2019. https://www.researchgate.net/publication/338603323_Extended_Reality_Framework_for_Remote_Collaborative_Interactions_in_Virtual_Environments.

- [45] Thammathip Piumsomboon, Youngho Lee, Gun Lee, and Mark Billinghurst. Covar: a collaborative virtual and augmented reality system for remote collaboration. pages 1–2, 11 2017. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3132818.3132822>.
- [46] Carolin Reichherzer, Jack Fraser, Damien Constantine Rompapas, and Mark Billinghurst. Secondsight: A framework for cross-device augmented reality interfaces. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3411763.3451839>.
- [47] Jan-Henrik Schröder, Daniel Schacht, Niklas Peper, Anita Marie Hamurculu, and Hans-Christian Jetter. Collaborating across realities: Analytical lenses for understanding dyadic collaboration in transitional interfaces. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580879>.
- [48] Claudia Scorolli, Eduardo Naddei Grasso, Lorenzo Stacchio, Vincenzo Armandi, Giovanni Matteucci, and Gustavo Marfia. Would you rather come to a tango concert in theater or in vr? aesthetic emotions social presence in musical experiences, either live, 2d or 3d. *Computers in Human Behavior*, 149:107910, 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563223002613>.
- [49] Neal E. Seymour. Vr to or: A review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance. *World Journal of Surgery*, 32(2):182–188, Feb 2008. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9307-9>.
- [50] Maria Shehade and Theopisti Stylianou-Lambert. Virtual reality in museums: Exploring the experiences of museum professionals. *Applied*

- Sciences*, 10:4031, 06 2020. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/4031>.
- [51] Maximilian Speicher, Brian Hall, and Michael Nebeling. What is mixed reality? 05 2019. https://www.researchgate.net/publication/332269415_What_is_Mixed_Reality.
- [52] Lorenzo Stacchio, Alessia Angeli, and Gustavo Marfia. Empowering digital twins with extended reality collaborations. *Virtual Reality Intelligent Hardware*, 4:487–505, 12 2022. https://www.researchgate.net/publication/366482843_Empowering_digital_twins_with_eXtended_reality_collaborations.
- [53] Unity Technologies. Unity. <https://unity.com/>.
- [54] Unity Technologies. Skinned Mesh Renderer, Apr 08 - 2023. <https://docs.unity3d.com/Manual/class-SkinnedMeshRenderer.html>.
- [55] Unity Technologies. Animation Rigging, Aug 24 - 2020. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.0/manual/index.html>.
- [56] Unity Technologies. AR Core, May 22 - 2023. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arcore@5.0/manual/index.html>.
- [57] Unity Technologies. AR Foundation, May 22 - 2023. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@5.0/manual/index.html>.
- [58] Unity Technologies. XR Interaction Toolkit, October 27 - 2021. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@1.0/manual/index.html>.
- [59] Valem Tutorials. Complete VR Body Setup - Arms and Legs IK with Hand Animation, May 28 - 2023. https://www.youtube.com/watch?v=v47lmqfrQ9s&ab_channel=ValemTutorials.

- [60] Sara [Unity]. About Netcode for GameObjects, Jun 13 - 2023. <https://docs-multiplayer.unity3d.com/netcode/current/about/>.
- [61] Wikipedia. Inverse Kinematics. https://en.wikipedia.org/wiki/Inverse_kinematics.
- [62] Cindy Ziker, Barbara Truman, and Heather Dodds. *Cross Reality (XR): Challenges and Opportunities Across the Spectrum*, pages 55–77. 03 2021. https://www.researchgate.net/publication/349971767_Cross_Reality_XR_Challenges_and_Opportunities_Across_the_Spectrum.

Ringraziamenti

Desidero sinceramente ringraziare tutti coloro che mi hanno sostenuto lungo questo percorso di studio e ricerca. Il ringraziamento più importante va a tutta la mia famiglia, in particolare ai miei genitori, mio fratello Gabriele e la mia ragazza Michela. È difficile esprimere a parole la gratitudine che provo nei vostri confronti. Questo percorso di studio a Bologna ha richiesto sforzi notevoli da parte mia, soprattutto a causa della distanza che ci separava. Nonostante la lontananza fisica, avete dimostrato un sostegno costante e incondizionato, e per questo vi sono infinitamente grato. Ringrazio il mio collega, coinquilino e amico Andrea. La tua compagnia, i momenti spensierati che abbiamo condiviso durante il nostro periodo a Bologna sono stati secondo me un rimedio allo stress degli studi. Senza di te, tutto questo, sarebbe stato senz'altro più difficile da affrontare. Un ringraziamento speciale va al professor Gustavo Marfia, che ha accettato di guidarmi in questo progetto di ricerca e al dottorando Lorenzo Stacchio, che mi ha affiancato durante tutto il processo di sviluppo. La sua disponibilità, competenza e i suoi suggerimenti sono stati un prezioso contributo a questo percorso. Grazie di cuore.

Luca