



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Triennale in Informatica

TESI DI LAUREA

L'Accessibilità nel Metaverso: una Revisione Sistematica della Letteratura sulle Sfide e Soluzioni per le Persone con Disabilità

RELATORE

Prof. Fabio Palomba

Dott.ssa Giulia Sellitto

Dott. Dario Di Dario

Università degli Studi di Salerno

CANDIDATO

Maria Lucia Fede

Matricola: 0512111995

Questa tesi è stata realizzata nel



*I nonni ti vedono crescere, sapendo che ti lasceranno prima degli altri.
Forse è per questo che ti amano più di tutti.*

Ai miei nonni

Abstract

Il Metaverso, un'evoluzione digitale dell'interazione umana, sta rapidamente guadagnando popolarità come spazio virtuale con infinite possibilità.

Anche se stiamo cercando di far diventare il Metaverso un elemento cruciale nelle nostre vite, paragonabile all'importanza di Internet, c'è una notevole mancanza di informazioni sulla sua accessibilità, specialmente per quanto riguarda la partecipazione e l'accesso delle persone con disabilità. Questo è significativo in quanto il Metaverso è concepito come una piattaforma aperta e, di conseguenza, dovrebbe essere inclusivo.

L'obiettivo di questa tesi è quello di esaminare le disabilità nel contesto del Metaverso, identificando le barriere esistenti e proponendo soluzioni per migliorare l'esperienza degli utenti affetti da disabilità.

Attraverso un'analisi delle tecnologie esistenti, delle piattaforme e delle interfacce utente nel Metaverso, effettuata tramite una Sistematic Literature Review, questa ricerca mette in evidenza le problematiche nell'accessibilità che limitano la partecipazione delle persone disabili. In particolare, si è cercato di capire: (1) se le attuali piattaforme del Metaverso fossero accessibili alle persone con disabilità, (2) le maggiori difficoltà riscontrate dalle persone disabili nell'accesso al Metaverso e (3) quali misure possono essere adottate per promuovere e agevolare la partecipazione delle persone con disabilità al Metaverso.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di incoraggiare sviluppatori e progettisti a impegnarsi nella creazione di un Metaverso più inclusivo e che sia accessibile a tutti, indipendentemente dalle loro abilità o disabilità.

Indice

Elenco delle Figure	iii
Elenco delle Tabelle	iv
1 Introduzione	1
1.1 Contesto	1
1.2 Motivazioni e obiettivi	2
1.3 Risultati ottenuti	2
1.4 Struttura della tesi	3
2 Stato dell'arte	4
2.1 Evoluzione e definizione del termine Metaverso	4
2.2 Tecnologie abilitanti per il Metaverso	5
2.2.1 Realtà Virtuale	6
2.2.2 Realtà Aumentata	6
2.2.3 Internet of Things (IoT)	7
2.2.4 Blockchain	7
2.2.5 Intelligenza artificiale	8
2.3 Tipologie di Metaverso	8
2.3.1 Oculus Meta	9
2.3.2 The Sandbox	10

2.3.3 Decentraland	12
2.3.4 Roblox	13
2.4 Possibili utilizzi del Metaverso	14
2.4.1 Istruzione	14
2.4.2 Lavoro	15
2.4.3 Intrattenimento	16
2.5 Disabilità nel Metaverso	18
3 Metodologia di ricerca	20
3.1 Resarch Question	20
3.1.1 RQ1	21
3.1.2 RQ2	21
3.1.3 RQ3	21
3.2 Formulazione query di ricerca	21
3.3 Sorgenti di ricerca	22
3.4 Definizione dei criteri di inclusione/esclusione	24
3.5 Estrazione dei dati	25
3.6 Analisi e sintesi dei dati	25
4 Risultati	26
4.1 Esecuzione della metodologia di ricerca	26
4.1.1 Applicazione della query di ricerca	26
4.1.2 Applicazione dei criteri di inclusione/esclusione	27
4.1.3 Analisi dei paper inclusi ed estrazione dei dati	27
4.2 RQ1	30
4.3 RQ2	32
4.4 RQ3	35
5 Conclusioni	47
Bibliografia	49

Elenco delle figure

2.1	Horizon Worksroom Fonte: Web	10
2.2	Metaverso the Sandbox Fonte: Web	11
2.3	Sfilata di moda nella piattaforma Decentraland Fonte: Web	12
2.4	Orientamento per le univeristà nel Metaverso Roblox Fonte: Web . .	14
2.5	Metaverso eXp Fonte: Web	15
2.6	Mostra d'arte Meta Effect Fonte: Web	16
2.7	Concerto di Ozzy Osbourne nel Metaverso Fonte: Web	17
4.1	Metaverso Decentraland Fonte: [1]	31
4.2	Utente affetto da disabilità motoria che utilizza la tecnologia VR Fonte: [2]	33
4.3	Canetroller Fonte: [3]	36
4.4	SeeingVR Fonte: [3]	38
4.5	EarVR Fonte: [3]	40

Elenco delle tabelle

3.1	Query di ricerca	23
3.2	Criteri di esclusione	24
3.3	Criteri di inclusione	24
4.1	Risultati ottenuti dalla ricerca sui database	26
4.2	Paper finali	29

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Contesto

Nel mondo sempre più connesso e digitalizzato del XXI secolo, il concetto di Metaverso è emerso come una delle più affascinanti e promettenti frontiere dell'esperienza umana. Il Metaverso, un ambiente virtuale tridimensionale interattivo e condiviso, sta trasformando la percezione della realtà digitale, offrendo possibilità senza precedenti per l'intrattenimento, l'istruzione, il lavoro e la socializzazione. Tuttavia, sorgono interrogativi critici riguardo l'accessibilità e l'inclusione delle persone con disabilità in questo nuovo mondo virtuale.

Le disabilità possono assumere molte forme, che variano dalla disabilità motoria alla disabilità visiva, da quella uditiva a quella cognitiva. Queste differenze possono influenzare profondamente la capacità delle persone di partecipare in modo significativo alle esperienze offerte dal Metaverso. Infatti, l'interazione con gli ambienti virtuali, la comunicazione all'interno del Metaverso e l'accesso ai contenuti possono rappresentare ostacoli significativi per le persone con disabilità [4].

Tuttavia, al contempo, il Metaverso potrebbe rappresentare anche un'opportunità per migliorare la qualità della vita delle persone con disabilità, consentendogli di partecipare a eventi sociali, culturali e lavorativi senza limitazioni.

1.2 Motivazioni e obiettivi

Questa tesi si propone di analizzare il rapporto tra il Metaverso e le disabilità. Attraverso una revisione sistematica della letteratura, si è cercato di capire come il Metaverso possa diventare un luogo più inclusivo per tutte le persone, indipendentemente dalle loro abilità. Inoltre, sono state analizzate le difficoltà che le persone con disabilità affrontano all'interno del Metaverso e le soluzioni che possono essere adottate per superarle.

L'obiettivo fondamentale di questa ricerca è quello di contribuire a una comprensione più approfondita di come il Metaverso possa diventare uno spazio digitale aperto a tutti. In un'epoca in cui la tecnologia sta rapidamente ridefinendo la nostra vita quotidiana, è importante garantire che nessuno venga escluso. Il Metaverso, infatti, potrebbe rappresentare un'opportunità per promuovere l'inclusione digitale e l'uguaglianza per le persone con disabilità.

1.3 Risultati ottenuti

Questa ricerca è stata effettuata per raccogliere, esaminare e riassumere la ricerca preesistente sulla partecipazione delle persone con disabilità nel Metaverso, al fine di acquisire una migliore comprensione della loro esperienza e sviluppare approcci più inclusivi e adeguati. Particolare attenzione è stata prestata alle difficoltà relative all'accessibilità del Metaverso e a possibili soluzioni che possono essere utilizzate per risolvere tali problematiche, tra cui:

- Utilizzare tecnologie VR e AR accessibili alle persone con disabilità nell'implementazione del Metaverso;
- Migliorare le interfacce utente delle attuali piattaforme di metaversi esistenti;

- Permettere agli utenti di rappresentare le proprie disabilità attraverso gli avatar;
- Fornire tecnologie di supporto adeguate per le diverse tipologie di disabilità.

1.4 Struttura della tesi

La tesi è stata strutturata nel seguente modo:

- **Capitolo 2: Stato dell'arte.** In questo capitolo è stato analizzato il concetto di Metaverso, le principali tecnologie utilizzate per la sua implementazione, le diverse tipologie di piattaforme attualmente esistenti e i suoi possibili utilizzi.
- **Capitolo 3: Metodologia di ricerca.** In questo capitolo sono stati descritti i vari passaggi effettuati per la Systematic Literature Review, ossia la definizione delle research question, la formulazione della query di ricerca, i database utilizzati per la ricerca, la definizione dei criteri di inclusione/esclusione e, infine, l'estrazione, l'analisi e la sintesi dei dati.
- **Capitolo 4: Risultati.** In questo capitolo sono stati applicati i passaggi descritti nel capitolo 3. In seguito, sono stati analizzati, sintetizzati e uniti i risultati ottenuti.
- **Capitolo 5: Conclusioni.** In questo capitolo sono state riassunte le conclusioni della ricerca.

CAPITOLO 2

Stato dell'arte

2.1 Evoluzione e definizione del termine Metaverso

Il termine Metaverso viene introdotto per la prima volta nel 1992 da Neal Stephenson nel romanzo fantascientifico Snow Crash [5], il quale segna l'origine del termine e la sua idea sottostante. In questo romanzo il termine Metaverso viene utilizzato per indicare una realtà virtuale condivisa mediante Internet, all'interno della quale le persone possono muoversi e interagire tra di loro tramite avatar personalizzati.

Il primo tentativo di realizzazione del Metaverso è avvenuto nel 2003, con Second Life, un ambiente virtuale creato dalla società Linden Lab, dove gli utenti possono accedervi mediante avatar. In questa piattaforma è possibile creare un proprio spazio, ma anche interagire con altri utenti scambiando immagini, messaggi, suoni oppure organizzare eventi virtuali. Tuttavia, Second Life non è riuscita a raggiungere il successo desiderato a causa delle limitazioni tecnologiche di quegli anni. Dai primi anni 2000 fino ad oggi, la comprensione e l'utilizzo di Internet e dei media sono totalmente cambiati e si sono espansi drasticamente. Più volte, il termine Metaverso è stato oggetto di controversie e si è sempre cercato di ridefinirlo.

La svolta viene raggiunta nel 2021, con l'annuncio di Meta (ex Facebook) dello sviluppo del proprio Metaverso. L'obiettivo di Meta è quello di creare, tramite il Metaverso, uno spazio virtuale per l'intrattenimento, la produttività e la collaborazione. Sebbene l'origine del termine risalga agli anni '90, attualmente non è stata ancora individuata una definizione scientifica uniforme. Le definizioni differiscono fino ad oggi e sono in continua evoluzione. Ad esempio, Kumar et al. [6] definiscono i Metaversi (in questo caso sono indicati al plurale) come spazi virtuali completamente immersivi dove è possibile sperimentare i contenuti generati dagli utenti. La precedente definizione differisce da quella, più recente, di Duan et al. [6]: Il Metaverso (in questo caso è indicato al singolare) segna la successiva generazione di Internet, dove gli utenti possono interagire in uno spazio virtuale gli uni con gli altri e con le applicazioni software tramite gli avatar.

Attualmente, la definizione più completa è la seguente: il Metaverso (dall'unione delle parole 'meta' (che significa trascendenza) e 'universo') descrive un ambiente online tridimensionale (decentralizzato) che è persistente e coinvolgente, in cui gli utenti, rappresentati da avatar, possono partecipare socialmente ed economicamente in maniera creativa e collaborativa in spazi virtuali disaccoppiati dal mondo fisico reale.

2.2 **Tecnologie abilitanti per il Metaverso**

La costruzione del Metaverso si basa sull'interconnessione di tecnologie di diverso genere, tra queste le più importanti sono:

- Realtà Virtuale
- Realtà aumentata
- Internet of Things (IoT)
- Blockchain
- Intelligenza artificiale

2.2.1 Realtà Virtuale

Con il termine Realtà Virtuale, o VR (Virtual Reality), si indica un ambiente tridimensionale interamente creato a computer, il quale è visualizzabile, esplorabile e manipolabile dagli utenti. L'utilizzo della realtà virtuale (VR) nel Metaverso può ampliare e migliorare l'esperienza degli utenti, infatti:

- Permette agli utenti di incontrarsi virtualmente in spazi condivisi e di interagire tra di loro come se fossero fisicamente presenti, comunicando tramite chat vocale, gesti e movimenti degli avatar. La realtà virtuale offre un senso di presenza e di immersione che può rendere le interazioni sociali più realistiche e coinvolgenti.
- Consente agli utenti di partecipare a esperienze condivise all'interno del Metaverso. Ad esempio, permette di partecipare a concerti virtuali, eventi sportivi simulati, esposizioni artistiche o anche viaggi virtuali.
- Può essere utilizzata per creare ambienti di lavoro virtuali, ciò può favorire la collaborazione a distanza, l'innovazione e la produttività.

2.2.2 Realtà Aumentata

La Realtà Aumentata, o Augmented Reality (AR), indica l'esperienza interattiva che sovrappone elementi digitali al mondo reale attraverso un dispositivo. A differenza della realtà virtuale, dove l'utente viene completamente immerso in un ambiente simulato, la realtà aumentata mantiene la percezione dell'ambiente reale e aggiunge elementi virtuali che si integrano alla visione dell'utente. L'utilizzo della realtà aumentata nel Metaverso:

- Consente un'interazione più coinvolgente, arricchendo le esperienze sociali e permettendo agli utenti di interagire con oggetti digitali in modo più realistico.
- Può essere utilizzata per migliorare la navigazione e l'orientamento all'interno di ambienti complessi del Metaverso.
- Permette di creare esperienze immersive personalizzate, dove gli oggetti digitali possono essere posizionati e manipolati come se si trovassero nello spazio reale.

2.2.3 Internet of Things (IoT)

IoT, acronimo di "Internet of Things" (Internet delle cose), è un concetto tecnologico che si riferisce a una rete di dispositivi fisici e oggetti connessi tra loro attraverso Internet. Questi dispositivi, detti "cose", sono dotati di sensori, software e altre tecnologie che consentono loro di raccogliere dati, scambiare informazioni e interagire sia con l'ambiente circostante sia con altri dispositivi. L'implementazione dell'IoT può collegare facilmente il mondo virtuale ai dispositivi del mondo reale, il che consentirebbe la creazione di simulazioni in tempo reale all'interno del Metaverso.

2.2.4 Blockchain

La blockchain [7] è un registro di contabilità condiviso e immutabile che semplifica il processo di registrazione delle transazioni e traccia gli asset all'interno di una rete commerciale. Gli asset possono essere tangibili (come case, auto, denaro o terreni) o intangibili (come proprietà intellettuale, copyright o marchi). In sintesi, qualsiasi cosa di valore può essere tracciata e scambiata sulla rete blockchain, riducendo i rischi e i costi per tutte le parti coinvolte. Le applicazioni della blockchain nel Metaverso possono essere diverse:

- Può essere utilizzata per creare token che rappresentano asset virtuali all'interno del Metaverso. I token consentono agli utenti di possedere, scambiare e trasferire facilmente gli asset.
- Consente di creare una struttura economica decentralizzata.
- Fornisce un sistema di autenticazione e gestione delle identità digitali. Gli utenti possono avere identità digitali sicure e verificabili che consentono loro di accedere a determinati servizi e interagire con altri utenti in modo affidabile.
- Offre un registro immutabile delle transazioni, garantendo la tracciabilità degli asset virtuali e assicurando la loro sicurezza da frodi o duplicazioni.
- Può essere utilizzata per implementare sistemi di governo decentralizzati, consentendo agli utenti di partecipare alle decisioni riguardanti le regole e le politiche del mondo virtuale.

2.2.5 Intelligenza artificiale

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale (IA) [7] nel Metaverso offre una serie di opportunità e possibilità di migliorare l'esperienza degli utenti:

- Può essere utilizzata per creare avatar virtuali intelligenti, capaci di interagire con gli utenti in modo realistico e naturale. Gli avatar intelligenti possono comprendere le conversazioni e rispondere agli utenti, adattandosi alle preferenze e ai comportamenti di questi ultimi.
- Può generare automaticamente ambienti, oggetti o scenari nel Metaverso, creando così esperienze più variegate e coinvolgenti.
- Può essere utilizzata per monitorare e moderare il comportamento degli utenti nel Metaverso, garantendo un ambiente sicuro e prevenendo comportamenti inappropriati.
- Nell'ambito dei giochi e dell'intrattenimento, l'intelligenza artificiale può essere implementata per creare personaggi non giocanti (NPC) intelligenti, offrendo sfide realistiche e un gameplay più coinvolgente.

2.3 Tipologie di Metaverso

Quando ci si riferisce al concetto di Metaverso, generalmente si fa distinzione tra Metaverso centralizzato e Metaverso decentralizzato. Nel primo caso, i contenuti e i giochi creati dagli utenti rimarranno di proprietà dell'entità centralizzata che gestisce il Metaverso. Al contrario, nel Metaverso decentralizzato, tutti i contenuti e i giochi costruiti dagli utenti saranno di proprietà delle persone stesse.

È importante notare che, nonostante si tenda a utilizzare il termine al singolare, sarebbe più corretto parlare di "Metaversi". Infatti, ad oggi esistono molteplici piattaforme che differiscono l'una dall'altra per caratteristiche e funzionalità. Ciò risulta essere importante sia per gli utenti, poiché possono scegliere il Metaverso più adatto in base alle loro preferenze e interessi, sia per le aziende, che possono trarre vantaggio nel selezionare il Metaverso più appropriato per i propri obiettivi di

business e marketing. I Metaversi più famosi al momento sono quattro: The Sandbox, Decentraland, Oculus di Meta (in passato noto come Facebook) e Roblox.

2.3.1 Oculus Meta

Tra le varie tipologie di Metaversi attualmente esistenti, Oculus di Meta rappresenta il primo mondo virtuale immersivo a disposizione degli utenti [8]. Questo Metaverso può essere esplorato tramite un visore e l'accesso ad esso si effettua tramite l'app Horizon. Dal punto di vista tecnico, Oculus è un universo virtuale centralizzato, ma l'app store interno consente a qualsiasi sviluppatore di distribuire i propri progetti all'interno del Metaverso. Attualmente, esistono molteplici attività che gli utenti possono svolgere, come visitare luoghi virtuali, giocare, partecipare a riunioni di lavoro o incontrare altri utenti provenienti da tutto il mondo.

L'intera offerta di Oculus è molto ampia, ma quando si fa riferimento al concetto di Metaverso ci si riferisce esclusivamente a Horizon. Per sperimentare pienamente tutto ciò che la piattaforma offre, è necessario scaricare una delle tre app dell'universo Horizon: Worlds, Venues e/o Workrooms. In ogni caso, è possibile creare gratuitamente un avatar personalizzato per partecipare alle attività virtuali.

Horizon Worlds

Rilasciata nel 2021, Horizon Worlds è un'app che permette agli utenti di creare ambienti virtuali esplorabili liberamente attraverso i propri avatar. Dall'hub principale gli utenti possono accedere a portali che li conducono verso mondi realizzati dagli stessi utenti grazie a un sistema di creazione integrato nell'app. Tuttavia, ci sono stati alcuni casi di "aggressioni" tra avatar all'interno della piattaforma, motivo per cui Meta ha introdotto i "confini personali", i quali stabiliscono una distanza di sicurezza tra gli avatar per impedire che uno si avvicini troppo all'altro.

Horizon Venues

Horizon Venues è l'applicazione che permette agli utenti di partecipare agli eventi in realtà virtuale, riguardanti musica, sport e intrattenimento. Che si tratti di un con-

certo, una partita o uno spettacolo, questa app consente di prendere parte all'evento virtuale proprio come se si fosse presenti fisicamente. All'interno di Horizon Venues, le dinamiche comportamentali degli avatar e le interazioni seguono le stesse logiche di Horizon Worlds, e riflettono le interazioni della vita reale. Sebbene l'applicazione sia principalmente incentrata sulla partecipazione agli eventi, offre anche opportunità di socializzazione.

Horizon Worksrooms

Horizon Workrooms è un'applicazione dedicata agli incontri di lavoro. Questa piattaforma è simile a una versione virtuale delle videochiamate, come quelle effettuate tramite Zoom o Skype. La differenza fondamentale è che le riunioni si svolgono con gli avatar, consentendo una comunicazione arricchita dalla gestualità e dalle espressioni facciali catturate dai sensori del visore. All'interno di Workrooms, è possibile mostrare presentazioni, scrivere su una lavagna condivisa e prendere appunti durante la sessione virtuale, offrendo un ambiente di lavoro completo e collaborativo.

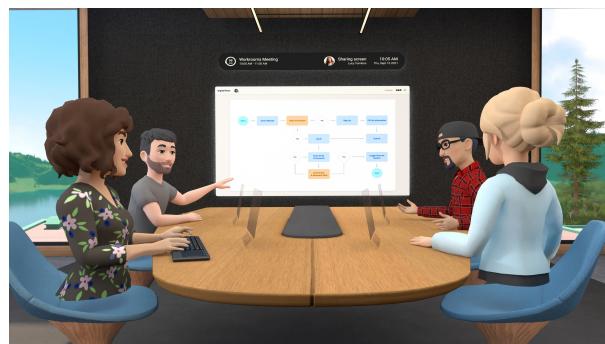


Figura 2.1: Horizon Worksroom

Fonte: Web

2.3.2 The Sandbox

Rilasciato nel 2020, The Sandbox ha origine da un gioco omonimo creato nel 2012 da Pixowl¹. Il progetto del Metaverso è nato dopo l'acquisizione della società da

¹Pixowl è una società di sviluppo di giochi per dispositivi mobili.

parte di Animoca Brands². Basato sulle tecnologie blockchain e NFT, incoraggia gli oltre 2 milioni di utenti a costruire mondi utilizzando la "sabbia digitale". Questo lo rende un Metaverso decentralizzato, in cui l'utente gioca un ruolo fondamentale nella creazione di oggetti e giochi digitali. The Sandbox è un tipo di Metaverso in 2D, il quale richiede solo un computer e una connessione Internet per essere utilizzato. Sebbene l'iscrizione sia aperta a tutti, per accedere alla piattaforma è necessario possedere un wallet³ per le criptovalute [8].



Figura 2.2: Metaverso the Sandbox

Fonte: Web

All'interno di questo Metaverso, le transazioni sono una parte quotidiana delle attività, poiché coinvolgono la compravendita di terreni o oggetti digitali. Tali transazioni avvengono tramite il token nativo denominato Sand. Ogni utente, fin dal primo accesso, può scegliere e personalizzare il proprio avatar e può continuare a farlo attraverso l'acquisto di skin⁴ aggiuntive. Il principale obiettivo di The Sandbox è quello di incoraggiare la creazione attiva da parte degli utenti. Tuttavia, è possibile anche limitarsi a esplorare semplicemente il mondo virtuale, partecipando ai giochi e alle diverse esperienze disponibili. All'interno di The Sandbox, gli utenti possono:

- Acquistare LAND, ovvero terreni, che possono essere sia semplici che premium (arricchiti con altri elementi);

²Animoca Brands è un'azienda che sviluppa e distribuisce giochi e applicazioni free-to-play per PC e dispositivi mobili basati sui NFT.

³Portafoglio digitale

⁴personalizzazioni estetiche o visive di un avatar

- Creare ASSET, che comprendono tutti gli elementi realizzabili all'interno del Metaverso. Questi possono essere edifici, oggetti, abiti, opere d'arte e persino esperienze di gioco;
- Vendere o acquistare ASSET: The Sandbox opera con un'economia basata sulla compravendita. Attraverso il Marketplace interno della piattaforma, ogni utente può vendere gli ASSET in suo possesso, sia quelli che ha creato che quelli precedentemente acquistati, e altri utenti possono acquistarli sotto forma di NFT (Token Non Fungibili).

2.3.3 Decentraland

Decentraland è uno dei principali Metaversi presenti sul mercato e vanta una storia più lunga, che si traduce in una community molto numerosa, con oltre 8 milioni di utenti. Come The Sandbox, anche questo mondo virtuale è di tipo decentralizzato. All'interno di questa piattaforma, gli utenti non solo possono creare esperienze e contenuti, ma hanno anche il diritto di voto per partecipare alla gestione del Metaverso, a condizione che siano titolari del token interno chiamato MANA [8]. Per regolare questo processo di voto e governance, viene utilizzato un software chiamato Aragon. Anche Decentraland è un tipo di Metaverso in 2D, accessibile tramite un computer e una connessione Internet. A differenza di The Sandbox, esso può essere utilizzato direttamente tramite un browser, senza dover scaricare alcun software sul proprio computer. Inoltre, per registrarsi non è necessario possedere un wallet per le criptovalute, poiché è possibile accedere come ospite.



Figura 2.3: Sfilata di moda nella piattaforma Decentraland

Fonte: Web

In Decentraland, l'esplorazione di mondi virtuali è una delle principali attività disponibili. Appena si accede a questo Metaverso, si viene trasportati in una piazza chiamata Genesis Plaza, dove vengono mostrate le diverse attività disponibili. Tuttavia, in qualsiasi momento, è possibile consultare la line-up del Metaverso e scegliere dove portare il proprio avatar. Le principali attività che si possono svolgere sono:

- Partecipare ad eventi, come concerti, spettacoli o sfilate di moda, sia gratuiti che a pagamento;
- Visitare mondi virtuali come mostre d'arte, negozi, musei;
- Socializzare e interagire con altri avatar;
- Comprare e vendere terreni, giochi e oggetti sotto forma di NFT tramite il Marketplace interno;

2.3.4 Roblox

Roblox, come Decentraland e The Sandbox, è un tipo di Metaverso in 2D, creato come estensione del gioco omonimo. Sebbene sia una piattaforma centralizzata, è stata una delle prime a introdurre il concetto di decentralizzazione creativa, consentendo agli utenti di creare i propri videogiochi già un anno dopo il suo lancio. Con l'introduzione del "Builders' Club", la versione a pagamento di Roblox ad oggi nota come Roblox Premium, gli utenti di questa piattaforma hanno ottenuto la possibilità di creare skin per personalizzare i propri avatar. La valuta digitale utilizzata all'interno di questo Metaverso è il Robux, necessario per l'acquisto di accessori e abilità aggiuntive per il gaming, oltre a essere alla base del sistema di monetizzazione per i creatori di contenuti [8]. In Roblox, gli utenti possono svolgere principalmente due attività: giocare e creare giochi. Tuttavia, negli ultimi tempi, la piattaforma ha ampliato le sue funzioni e ha ospitato diversi eventi, diventando una piattaforma non solo per l'intrattenimento ma anche per la didattica. Durante la pandemia, Roblox ha introdotto iniziative significative come il Community Found, un progetto volto a promuovere l'apprendimento online per studenti ed educatori. Nonostante questa espansione, Roblox rimane principalmente un ambiente incentrato sul gaming,

attirando molti utenti giovani che sono anche coinvolti nella creazione di mondi virtuali.



Figura 2.4: Orientamento per le univeristà nel Metaverso Roblox

Fonte: Web

2.4 Possibili utilizzi del Metaverso

Il Metaverso sta diventando sempre più versatile e il suo utilizzo si sta sviluppando in diversi settori. Oltre ai giochi, la sua applicazione si sta estendendo al lavoro, alla vita quotidiana e all’istruzione

2.4.1 Istruzione

Il settore educativo e il mondo dell’istruzione hanno subito diversi cambiamenti grazie allo sviluppo e all’utilizzo sempre più intensivo delle nuove tecnologie a supporto della didattica. Negli ultimi anni, il Metaverso ha generato un forte interesse soprattutto in ambito educativo. Nel mondo dell’istruzione, esso si può intendere come un ambiente educativo arricchito dalle tecnologie e, nello specifico, da strumentazioni di realtà aumentata e realtà virtuale. Con il supporto di queste ultime, gli studenti possono “mobilitare” i loro corpi per prendere parte a diverse attività di apprendimento esplorativo e collaborativo, al fine di promuovere processi di socializzazione. Attraverso gli ambienti immersivi, gli studenti hanno la possibilità di avere stimoli multisensoriali e ottenere feedback in tempo reale. Il Metaverso, quindi, può essere utilizzato come una piattaforma per l’istruzione virtuale, consentendo agli studenti di partecipare a esperienze educative immersive e interattive. Ad esempio, si potrebbero esplorare simulazioni realistiche di eventi storici, partecipare a laboratori

scientifici virtuali o collaborare con altri studenti provenienti da diverse parti del mondo [9].

2.4.2 Lavoro

Durante la pandemia COVID-19, il settore lavorativo ha subito una trasformazione radicale grazie all'implementazione diffusa dello smart working. Ad oggi, sono sempre di più le aziende che stanno considerando di mantenere questa modalità di lavoro come soluzione permanente. Il Metaverso potrebbe giocare un ruolo significativo nel migliorare e arricchire l'esperienza dello smart working. Ad esempio, sarebbe possibile creare uffici virtuali in cui i dipendenti possono collaborare da diverse parti del mondo, interagendo e comunicando in tempo reale tramite rappresentazioni digitali di sé stessi. Inoltre, il Metaverso potrebbe essere impiegato per organizzare conferenze e riunioni virtuali, permettendo ai partecipanti partecipare a presentazioni e discutere progetti senza la necessità di spostarsi fisicamente.

Un esempio di piattaforma che offre ambienti virtuali tridimensionali è Virbela, un'azienda tecnologica immersiva che fornisce soluzioni virtuali per lavoro, apprendimento ed eventi a distanza. eXp Realty è stata una dei primi clienti di Virbela e lavora completamente da remoto fin da quando è stata fondata nel 2009.



Figura 2.5: Metaverso eXp

Fonte: Web

Tale società immobiliare opera in un contesto completamente virtuale senza uffici fisici. Infatti, utilizzano un "campus basato sul cloud" per svolgere tutte le attività, incluse l'assunzione di agenti e le riunioni del consiglio.

2.4.3 Intrattenimento

Il metaverso sta guadagnando sempre più rilevanza anche nei settori della moda, dell'arte e della musica, dove si stanno sperimentando e adottando nuove soluzioni per offrire esperienze innovative e coinvolgenti al pubblico.

Arte e cultura

Il settore artistico è stato uno dei primi ad utilizzare il Metaverso per promuovere e diffondere mostre, festival e fiere d'arte. Le mostre d'arte nel Metaverso sono esposizioni virtuali di opere che avvengono all'interno di ambienti digitali tridimensionali. In queste mostre, gli artisti possono esporre le proprie opere d'arte digitali, come sculture, quadri e installazioni. La prima mostra d'arte progettata interamente nel Metaverso è stata Meta Effect, la quale include opere realizzate dagli autori Paolo Bonfiglio, Mark Cooper e Corrado Zeni, oltre a opere create dall'intelligenza artificiale.

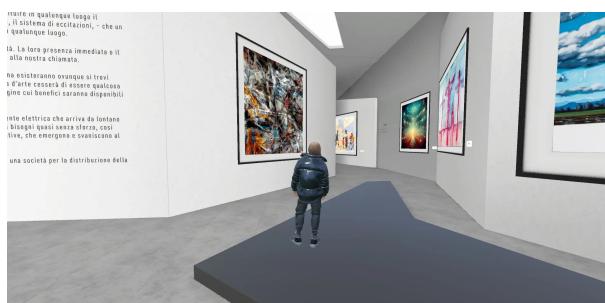


Figura 2.6: Mostra d'arte Meta Effect

Fonte: Web

Diversi progetti hanno dimostrato come il Metaverso possa contribuire a promuovere e valorizzare il settore del turismo e a preservare il patrimonio culturale

mondiale. Ne è un esempio Monaverse, un progetto di Crypto Art⁵ sviluppato da Reasoned Art⁶, il quale mira a valorizzare il patrimonio artistico-culturale in un modo completamente nuovo. L'obiettivo di Monaverse è rendere omaggio ai monumenti più iconici del mondo attraverso la fusione di arte e tecnologia, creando un legame tra le comunità locali e le istituzioni di tutto il mondo.

Concerti

I concerti nel Metaverso sono nati durante la pandemia COVID-19, ma oggi sempre più artisti scelgono di esibirsi virtualmente e portare il loro pubblico nel mondo digitale. I cantanti si esibiscono dal vivo utilizzando la tecnologia motion capture, che permette loro di apparire all'interno di un ambiente virtuale. Tramite questa tecnologia, i movimenti degli artisti sono catturati e riportati ai loro avatar digitali. Gli spettatori, d'altra parte, possono partecipare alla piattaforma senza doversi spostare da casa e vivere un'esperienza coinvolgente grazie all'uso dei visori. I concerti si svolgono su piattaforme specializzate oppure su metaversi decentralizzati come Decentraland, il quale ha ospitato diversi artisti di fama mondiale come Ozzy Osbourne.



Figura 2.7: Concerto di Ozzy Osbourne nel Metaverso

Fonte: Web

⁵La Crypto Art è un movimento artistico a cui partecipano, spesso in forma anonima, in modalità indipendente e senza gerarchie, artisti che realizzano opere digitali su una Blockchain tramite la tecnologia NFT.

⁶Reasoned Art è la prima galleria d'arte italiana di opere digitali certificate con NFT.

Moda

Anche il mondo della moda ha fatto il suo ingresso nel Metaverso tramite la “Metaverse Fashion Week”, un evento ospitato dalla piattaforma Decentraland, in cui vengono presentati abiti e accessori esclusivamente digitali. Si tratta di una vera e propria settimana della moda virtuale, nata dalla consapevolezza che il mercato della moda digitale sta conquistando uno spazio sempre più importante. Infatti, hanno partecipato numerosi brand prestigiosi, tra cui Dolce&Gabbana, Hugo Boss e Tommy Hilfiger. Gli utenti, tramite i propri avatar, possono partecipare agli eventi, ma anche comprare e “indossare” i capi nella versione virtuale. La Metaverse Fashion Week si pone come obiettivo quello di coinvolgere più persone possibili in un ambiente che spesso è riservato a pochi.

2.5 Disabilità nel Metaverso

Sebbene si stia cercando di rendere il Metaverso un elemento fondamentale per le nostre vite, equiparabile all’importanza di Internet, c’è una notevole carenza di documentazione sulla sua accessibilità, in particolare per quanto riguarda la partecipazione e l’accesso delle persone affette da disabilità [10]. Ciò è di particolare rilevanza poiché il Metaverso è concepito come una piattaforma aperta e, di conseguenza, dovrebbe essere inclusivo. Inoltre, dato che lo sviluppo del Metaverso è stato in gran parte influenzato da concetti filosofici e fantascientifici, la trasposizione di questi concetti in prodotti potrebbe aver involontariamente escluso le persone con disabilità.

Secondo un’analisi condotta da Quinlan [11], l’esclusione dai mondi virtuali e dal Metaverso delle persone affette da disabilità si divide in:

- **Esclusione fisica:** La maggior parte dei mondi virtuali e del Metaverso si basa sulla tecnologia della realtà virtuale, che spesso non tiene conto delle esigenze delle persone con disabilità. Grandi aziende come Google, Microsoft e HTC investono ingenti risorse nello sviluppo di tecnologie basate principalmente sulla percezione visiva e tattile, mentre Facebook (ora Meta) sta seguendo

una visione simile. In generale, l'industria della VR privilegia uno "standard corporeo" ideale, trascurando le esigenze di coloro che non corrispondono a tali standard. Questo crea un ambiente diseguale e ostacola l'accesso delle persone con disabilità.

- **Esclusione sociale:** Anche se le tecnologie immersive cercano di diventare parte integrante della vita quotidiana, spesso non riconoscono adeguatamente le esigenze delle persone affette da disabilità, rendendole ancora più invisibili nella società virtuale.

In definitiva, il Metaverso, sebbene prometta di essere una realtà virtuale aperta a tutti, rischia di escludere coloro che non corrispondono a determinati standard fisici. Ciò solleva importanti questioni sull'accessibilità, sull'uguaglianza e sulla rappresentazione delle persone con disabilità in questa nuova realtà virtuale.

CAPITOLO 3

Metodologia di ricerca

L'obiettivo di questo studio empirico consiste nell'individuare quali sono le difficoltà che le persone con disabilità devono affrontare al fine di accedere alle attuali piattaforme del Metaverso e di esplorare le possibili soluzioni per risolvere tali problematiche modo efficace.

Per raggiungere tale scopo è stata effettuata una Systematic Literature Review (SLR), una metodologia di ricerca che consiste nel raccogliere, identificare e analizzare gli studi di ricerca disponibili (ad esempio articoli, atti di conferenze, libri, dissertazioni) attraverso una procedura sistematica.

3.1 Resarch Question

La prima fase della Systematic Literature Review consiste nella formulazione di una o più domande di ricerca specifiche, che svolgono un ruolo cruciale nell'individuazione dei concetti chiave da esaminare. La ricerca è stata guidata dall'analisi di tre Research Question:

3.1.1 RQ1

Q RQ₁. *Le attuali piattaforme del Metaverso sono accessibili alle persone con disabilità?*

L'obiettivo di questa domanda di ricerca è esplorare l'accessibilità delle attuali piattaforme del Metaverso per le persone con disabilità. Si cerca dunque di determinare se le persone con varie forme di disabilità, come disabilità visive, uditive, o motorie, possono effettivamente accedere e interagire con le piattaforme del Metaverso.

3.1.2 RQ2

Q RQ₂. *Quali sono le maggiori difficoltà che le persone con disabilità riscontrano nell'accesso al Metaverso?*

L'obiettivo di questa domanda di ricerca è identificare e comprendere le principali difficoltà che le persone con disabilità affrontano quando cercano di accedere al Metaverso. Si cerca di analizzare in dettaglio le barriere e le problematiche specifiche che possono emergere nel processo di interazione con le piattaforme del Metaverso.

3.1.3 RQ3

Q RQ₃. *Quali misure possono essere adottate per promuovere e agevolare la partecipazione delle persone con disabilità al Metaverso?*

L'obiettivo di questa domanda di ricerca è identificare e analizzare le misure e le strategie che possono essere implementate per promuovere e facilitare la partecipazione delle persone con disabilità nel Metaverso. Si cerca di esplorare le soluzioni e le pratiche che possono essere adottate per superare le barriere e migliorare l'accessibilità e l'inclusione delle persone con disabilità nel Metaverso.

3.2 Formulazione query di ricerca

La seconda fase della Systematic Literature Review consiste nell'identificazione delle keywords che saranno utilizzate per formulare la query di ricerca, al fine di

recuperare tutte le informazioni necessarie. Per la formulazione della query di ricerca, sono state individuate le parole chiave pertinenti ad ogni domanda di ricerca. Per alcune delle parole chiave sono stati individuati i sinonimi. Infine, è stato utilizzato l'operatore booleano OR per unire i sinonimi e l'operatore booleano AND per collegare le parole chiave tra di loro.

La query di ricerca risultante è la seguente:

Q RQ. "Metaverse" AND ("disability" OR "physical disability" OR "disabled people" OR "accessibility" OR "inclusion")

3.3 Sorgenti di ricerca

La query di ricerca, definita nella fase precedente, è stata applicata ai seguenti database:

- Scopus (<https://www.scopus.com/home.uri>);
- ACM Digital Library (<https://dl.acm.org/>);
- IEEE Xplore (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>);

Per ridurre il numero di risultati, la ricerca è stata effettuata su titolo e abstract, anzichè sull'intero testo.

Inoltre, la query di ricerca è stata adattata ad ogni database nel seguente modo:

Tabella 3.1: Query di ricerca

Database	Query
Scopus	[[Abstract: metaverse] AND [[Abstract: disability] OR [Abstract: "physical disability"] OR [Abstract: "disabled people"] OR [Abstract: accessibility] OR [Abstract: inclusion]]] OR [[Title: metaverse] AND [[Title: disability] OR [Title: "physical disability"] OR [Title: "disabled people"] OR [Title: accessibility] OR [Title: inclusion]]]
ACM Digital Library	(ABS (metaverse AND (disability OR physical disability OR disabled people OR accessibility OR inclusion)) OR TITLE (metaverse AND (disability OR physical disability OR disabled people OR accessibility OR inclusion)))
IEEE Xplore	("Document Title": Metaverse AND (disability OR "physical disability" OR "disabled people" OR accessibility OR inclusion) OR "Abstract":Metaverse AND (disability OR "physical disability" OR "disabled people" OR accessibility OR inclusion))

3.4 Definizione dei criteri di inclusione/esclusione

Dopo aver ottenuto dei dati primari da analizzare, è importante procedere con una valutazione per decidere quali documenti passeranno alla fase successiva della revisione. I criteri di selezione sono utilizzati per individuare gli studi primari che offrono informazioni pertinenti alle domande di ricerca.

I criteri di esclusione e inclusione che sono stati adottati sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 3.2: Criteri di esclusione

Criteri di esclusione
Articoli che non sono pertinenti all'argomento
Articoli non recenti (più di 15 anni)
Articoli che non sono scritti in inglese
Articoli che non parlano di disabilità
Articoli che non sono accessibili

Tabella 3.3: Criteri di inclusione

Criteri di inclusione
Articoli che riportano informazioni riguardanti le problematiche delle piattaforme attuali del Metaverso
Articoli che descrivono le problematiche delle persone con disabilità legate all'accesso al Metaverso
Articoli che descrivono soluzioni per migliorare l'inclusione e l'accessibilità per le persone con disabilità nel Metaverso

3.5 Estrazione dei dati

Dopo aver identificato i paper finali che rispettavano i criteri di inclusione/esclusione, per ciascuno di essi sono state riportate le informazioni rilevanti al fine di rispondere alle research question. Queste informazioni includono il titolo, le domande di ricerca alle quali il documento fornisce risposta e i principali punti trattati per soddisfare tali domande di ricerca.

3.6 Analisi e sintesi dei dati

L’obiettivo di questa fase è quello di unire le informazioni raccolte dai diversi articoli con l’obiettivo di rispondere alle domande di ricerca. L’analisi e la sintesi dei dati sono state condotte focalizzandosi esclusivamente sulla parte degli articoli che fornisce risposte alle query di ricerca, la quale è stata evidenziata e inserita.

CAPITOLO 4

Risultati

4.1 Esecuzione della metodologia di ricerca

Dopo aver definito le fasi fondamentali per una Systematic Literature Review, si è proceduto con la sua effettiva realizzazione.

4.1.1 Applicazione della query di ricerca

L'esecuzione della query di ricerca nei tre database selezionati (Scopus, ACM Digital Library, IEEE Xplore) ha portato alla raccolta di un complessivo di 154 risultati.

Tabella 4.1: Risultati ottenuti dalla ricerca sui database

Scopus	ACM Digital Library	IEEE Xplore
92	40	22

Ogni articolo è stato riportato in un foglio di lavoro [12], con le seguenti informazioni rilevanti:

- Titolo;

- Anno di pubblicazione;
- Abstract;
- Link;
- Keywords;
- Tipo di documento;

Inoltre, sono stati riportati anche i criteri di inclusione e i criteri di esclusione.

4.1.2 Applicazione dei criteri di inclusione/esclusione

Sui 154 documenti ottenuti dopo l'inserimento della query di ricerca sui database, sono stati applicati i criteri di inclusione/esclusione:

- 146 articoli sono stati esclusi, poiché violavano almeno uno dei criteri di esclusione o erano articoli duplicati;
- 8 articoli hanno rispettato almeno uno dei criteri di inclusione;

Il foglio di lavoro [12] è stato aggiornato come segue:

- Ogni paper escluso è stato evidenziato in rosso, insieme ai criteri di esclusione violati;
- Ogni paper incluso è stato evidenziato in verde, insieme ai criteri di inclusione rispettati;
- Ogni paper duplicato è stato evidenziato in giallo;

4.1.3 Analisi dei paper inclusi ed estrazione dei dati

Successivamente alla fase di filtraggio, dopo aver applicato i criteri di inclusione/esclusione, gli 8 paper inclusi sono stati raccolti in un foglio di lavoro [12], in cui sono state riportate le seguenti informazioni:

- ID

- Titolo
- RQ1
- RQ2
- RQ3
- Data Extraction

Ad ogni paper è stato associato un ID per indentificarlo ed è stato riportato il titolo.

Per le colonne RQ1, RQ2 e RQ3 è stata evidenziata la rispettiva casella nel caso in cui contenessero informazioni pertinenti alle rispettive domande di ricerca.

Per quanto riguarda la colonna “Data Extraction” sono stati riportati i punti chiave dell’articolo, come mostrato nella tabella 4.2, i quali sono stati utilizzati per rispondere alle resarch question.

Ogni paper è stato analizzato attentamente, evidenziando le parti dell’articolo da inserire per rispondere alle resarch question.

Tabella 4.2: Paper finali

ID	Titolo	RQ1	RQ2	RQ3	Data Extraction
P1	Geospatial accessibility and inclusion by combining contextual filters, the metaverse and ambient intelligence [13]				<ul style="list-style-type: none"> • Descrizione delle tecnologie assistive VR che potrebbero essere utilizzate nell'implementazione del Metaverso
P2	Towards an Inclusive and Accessible Metaverse [10]				<ul style="list-style-type: none"> • Come creare un Metaverso che sia inclusivo e accessibile alle persone con disabilità • Problematiche riguardanti le tecnologie VR
P3	Envisioning an Inclusive Metaverse: Student Perspectives on Accessible and Empowering Metaverse-Enabled Learning [14]				<ul style="list-style-type: none"> • Il Metaverso potrebbe migliorare l'accessibilità dell'istruzione per le persone con disabilità
P4	How should metaverse augment humans with disabilities? [1]				<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologie inaccessibili per le persone con disabilità • Gli avatar non si possono personalizzare con protesi o sedie a rotelle
P5	A Critical Examination of Virtual Reality Technology in the Context of the Minority Body [2]				<ul style="list-style-type: none"> • Descrizione dettagliata delle problematiche riscontrate dalle persone affette da disabilità nell'utilizzo delle tecnologie VR
P6	Empirical Evaluation of Metaverse Accessibility for People Who Use Alternative Input/Output Methods [15]				<ul style="list-style-type: none"> • Descrizione delle piattaforme ZEPETO e Roblox • Descrizione dell'inaccessibilità di tali piattaforme per le persone disabili con rispettive motivazioni
P7	Inclusive Immersion: a review of efforts to improve accessibility in virtual reality, augmented reality and the metaverse [3]				<ul style="list-style-type: none"> • Descrizione dettagliata delle tecnologie assistive VR a AR che potrebbero essere utilizzate nell'implementazione del Metaverso
P8	Advancing Education through Metaverse: Components, Applications, Challenges, Case Studies and Open Issues [16]				<ul style="list-style-type: none"> • Il Metaverso potrebbe migliorare l'accessibilità dell'istruzione per le persone con disabilità

4.2 RQ1

Q RQ₁. *Le attuali piattaforme del Metaverso sono accessibili alle persone con disabilità?*

Uno studio condotto da Jeanne CHOI et al. [15] sottolinea in modo significativo le sfide e le carenze nell'accessibilità delle attuali piattaforme del Metaverso, in particolare Roblox e ZEPETO, per le persone con disabilità. Queste carenze possono avere un impatto notevole sulla partecipazione e sull'esperienza delle persone con disabilità nell'ambiente virtuale. Le principali problematiche evidenziate dallo studio sono:

- **Mancanza di descrizioni testuali alternative:** La mancanza di descrizioni testuali alternative per il contenuto e le funzioni all'interno del Metaverso limita l'accesso e la comprensione delle persone con disabilità visive, che spesso dipendono da tecnologie assistive.
- **Mancanza di marcature adeguate:** Le marcature adeguate sono fondamentali per consentire alle tecnologie assistive di funzionare in modo efficace nel Metaverso. Senza queste marcature, le persone con disabilità non possono orientarsi e interagire con il mondo virtuale.
- **Problemi di orientamento e mobilità:** L'assenza di un sistema pratico per l'orientamento e la mobilità all'interno del Metaverso rende estremamente difficile per le persone con disabilità di muoversi autonomamente nell'ambiente virtuale, limitando la loro partecipazione e l'accesso alle opportunità presenti nel Metaverso.
- **Carenze nell'interfaccia utente:** Le carenze nell'interfaccia utente, che non fornisce un feedback adeguato, complicano ulteriormente l'uso del Metaverso per le persone con limitazioni sensoriali o motorie. Questo può ostacolare la comprensione delle funzionalità e delle operazioni disponibili sulle piattaforme.

Un'ulteriore problematica riscontrata dalle persone con disabilità durante l'accesso al Metaverso riguarda la personalizzazione dell'avatar. Quando si effettua l'accesso

al Metaverso, gli utenti possono scegliere l'aspetto del proprio avatar. È possibile personalizzare diverse parti del corpo, come la faccia, il colore dei capelli, i vestiti, gli accessori da indossare, etc. Di conseguenza, gli utenti con disabilità dovrebbero avere la possibilità di decidere se rappresentare o meno la propria disabilità, ad esempio scegliendo di rappresentare il proprio avatar su una sedia a rotelle.

Nel 2022 Jean-Marc Seigneur et al. [1] hanno effettuato un'indagine sulla piattaforma Decentraland per verificare se ciò fosse possibile. Come mostrato nella figura 4.1, non è possibile personalizzare gli avatar con una protesi oppure rappresentarli su una sedia a rotelle.

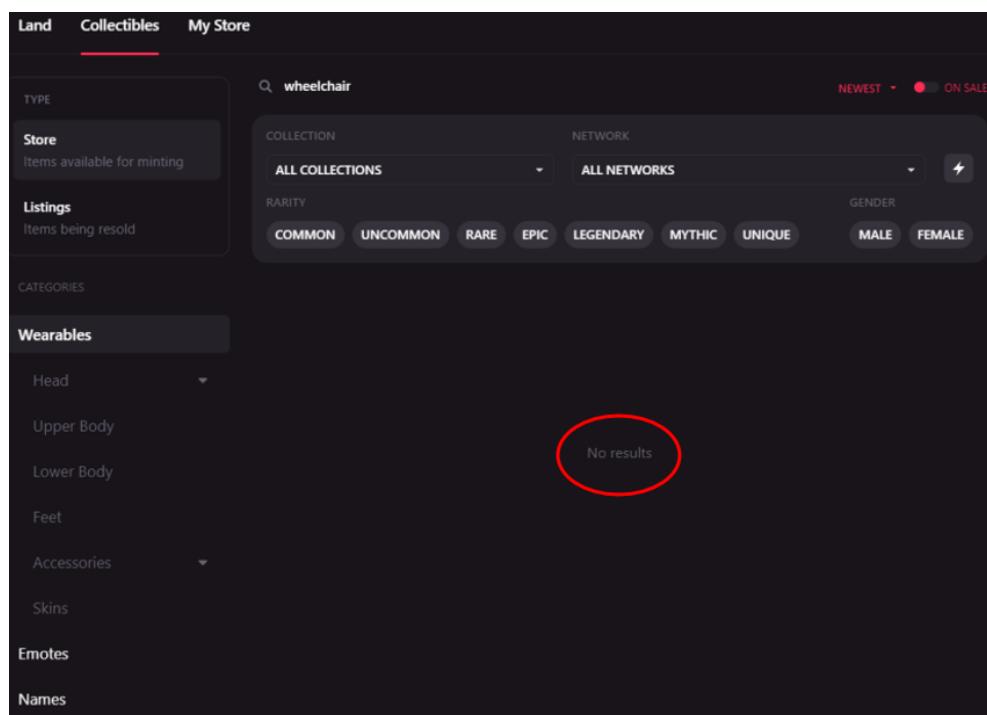


Figura 4.1: Metaverso Decentraland

Fonte: [1]

Ciò mette in evidenza la necessità di un impegno da parte degli sviluppatori di piattaforme del Metaverso e dei creatori di contenuti di affrontare questi problemi e migliorare l'accessibilità in modo da rendere il Metaverso un luogo inclusivo per tutti.

4.3 RQ2

Q RQ₂. *Quali sono le maggiori difficoltà che le persone con disabilità riscontrano nell'accesso al Metaverso?*

Sebbene il concetto di Metaverso vada oltre quello della realtà virtuale, la maggior parte delle piattaforme attualmente esistenti basano la propria tecnologia su quest'ultima. Uno studio effettuato nel 2020 ha evidenziato che le tecnologie VR presentano problemi legati all'accessibilità limitandone spesso l'utilizzo da parte delle persone affette da disabilità [1].

Gli attuali sistemi di realtà virtuale (VR) sono costituiti da una combinazione di dispositivi che lavorano insieme per offrire un'esperienza immersiva [2]. I componenti principali includono:

- Un visore indossabile che fornisce sia output (visualizzazione di informazioni visive e uditive) sia integra sensori aggiuntivi per consentire input (come il tracciamento della posizione tramite sensori di movimento e il tracciamento delle mani attraverso telecamere integrate);
- Due controller portatili per consentire l'input mediante gesti (a meno che il sistema non permetta il tracciamento naturale delle braccia, mani e dita, come nel caso dell'Oculus Quest) e l'input tramite pulsanti;
- Dispositivi di rilevamento della posizione, spesso basati su tecnologie ottiche, che consentono di determinare la posizione e l'orientamento di una persona all'interno di uno spazio riservato all'interazione;

Per interagire con questi dispositivi, le persone devono utilizzare entrambe le braccia e le mani per impugnare i due controller e spesso devono eseguire operazioni precise, come premere piccoli pulsanti. Alcuni di questi controller offrono anche un feedback tattile, come la vibrazione, che viene trasmesso direttamente alle mani. Nei sistemi di localizzazione a mani libere, è necessario che le persone siano in grado di eseguire gesti con le braccia, le mani e le dita. Inoltre, molti visori sono relativamente pesanti, il che può aumentare il carico sulla colonna vertebrale.

Un individuo con una limitazione motoria potrebbe riscontrare delle difficoltà nell’azionare i pulsanti dei controller VR, mentre una persona con una lesione al midollo spinale potrebbe non riuscire a indossare i visori VR attualmente disponibili. Questo indica che le persone affette da disabilità incontrano difficoltà maggiori nell’utilizzo dell’hardware VR rispetto alle persone senza disabilità.

Inoltre, è essenziale considerare l’uso di dispositivi di assistenza nella vita quotidiana delle persone affette disabilità motorie come bastoni, stampelle o sedie a rotelle. Ad esempio, per le persone che usano le stampelle o la sedia a rotelle potrebbe essere difficile o addirittura impossibile riuscire a utilizzare i controller.



Figura 4.2: Utente affetto da disabilità motoria che utilizza la tecnologia VR

Fonte: [2]

Poiché la tecnologia VR richiede un coinvolgimento del corpo, può creare ostacoli nell’accessibilità per coloro che interagiscono con il sistema in modi diversi rispetto alle aspettative predefinite dalla tecnologia stessa.

È essenziale sottolineare che, come molte altre tecnologie che coinvolgono tutto il corpo, la realtà virtuale stabilisce chiaramente le azioni che si aspetta che le persone eseguano (come premere pulsanti o effettuare gesti), spesso richiedendo azioni particolarmente specifiche che la tecnologia può rilevare (come nel caso di fotocamere basate su sensori) come, ad esempio, il puntamento nell’aria e la locomozione.

- Il puntamento nell'aria è uno dei movimenti più frequenti nella realtà virtuale ed è utilizzato per indicare una posizione all'interno dell'ambiente virtuale. Solitamente, viene richiesto agli utenti di estendere il braccio e mantenerlo in aria; a seconda dell'implementazione, il gesto del puntamento nell'aria può anche essere limitato a un solo braccio. In termini di ampiezza di movimento, spesso le applicazioni richiedono l'utilizzo di tutti i possibili gradi di libertà e si aspettano input che coinvolgano movimenti verso l'alto insieme a rotazioni della parte superiore del corpo.

Ad esempio, se un gioco di tiro in prima persona utilizza il gesto di puntare in aria per mirare a nemici che possono apparire davanti, dietro o sopra il giocatore, i sistemi richiedono reazioni veloci insieme alla capacità di puntare con precisione e stabilità, e penalizzano i movimenti irregolari. Di conseguenza, se un giocatore in un gioco di tiro in prima persona non riuscisse a mirare con precisione o abbastanza rapidamente, non riuscirebbe a colpire il nemico;

- La locomozione fa riferimento alle varie tecniche utilizzate per permettere alle persone di spostarsi all'interno di un ambiente virtuale, comprese quelle che implicano il coinvolgimento di tutto il corpo, insieme a tecniche che si basano principalmente sull'input del controller. In questo contesto, le modalità di interazione si concentrano su tre approcci principali: camminare fisicamente all'interno dell'area di gioco o mantenere una posizione fissa (che richiede alle persone di alzarsi e spostarsi fisicamente), utilizzare il teletrasporto (una variante di puntamento in aria che permette di spostarsi rapidamente nello spazio virtuale e viene eseguita ripetutamente durante l'interazione), oppure impiegare pulsanti e/o joystick per un'interazione motoria più precisa;

Analizzando queste due modalità di interazione, è necessario considerare una serie di potenziali barriere nell'accessibilità per le persone affette da disabilità. Ad esempio, se è necessario utilizzare un braccio specifico per puntare a mezz'aria, ciò può risultare difficile per le persone che preferiscono utilizzare il braccio più forte, potenzialmente diverso.

Se le azioni devono essere eseguite con una combinazione di rapidità e precisione, ciò può presentare difficoltà per le persone affette da tremore. Inoltre, se il puntaamento richiede il coinvolgimento del movimento del tronco (come girarsi), ciò può limitare l'accessibilità per le persone con lesioni al midollo spinale.

In modo analogo, l'uso della camminata per la locomozione potrebbe risultare inadatto per persone con una modalità di deambulazione differente. Inoltre, chiunque utilizzi un dispositivo di assistenza per gli spostamenti potrebbe incontrare difficoltà nell'approccio di locomozione utilizzato dalla tecnologia VR.

Infine, l'uso del teletrasporto può richiedere un ampio coinvolgimento delle braccia e, in alcuni casi, può richiedere di stare in piedi. In tali situazioni, l'input sedentario basato su controller potrebbe essere una soluzione più accessibile per alcune persone, anche se potrebbe avere effetti negativi sull'esperienza virtuale complessiva. Dunque, l'accesso alle attuali piattaforme esistenti del Metaverso risulta difficoltoso per le persone affette da disabilità proprio a causa delle difficoltà riscontrate nell'utilizzo di queste tecnologie.

4.4 RQ3

Q RQ₃. *Quali misure possono essere adottate per promuovere e agevolare la partecipazione delle persone con disabilità al Metaverso?*

Per agevolare e promuovere l'inclusione delle persone con disabilità nel Metaverso, è essenziale concentrarsi sul miglioramento dell'accessibilità delle tecnologie utilizzate. [13, 10]. Una ricerca condotta da John Dudley et al. [3]. ha analizzato diverse tecnologie accessibili alle persone con disabilità che potrebbero essere impiegate nell'implementazione del Metaverso.

Tecnologie VR per le disabilità visive

Nell'ambiente virtuale, gli spazi e gli oggetti non possiedono alcune delle caratteristiche fisiche e acustiche fondamentali che potrebbero essere utili per le persone non

vedenti e ipovedenti nel percepire l’ambiente circostante e interagire con esso. Una possibile soluzione per risolvere questa problematica consiste nel ricreare alcune di queste caratteristiche, ad esempio offrendo risposte tattili quando si interagisce con gli oggetti o con gli ambienti virtuali.

Nel 2002, Roberts et al. [3] hanno introdotto un primo approccio progettuale per un guanto tattile, con possibili applicazioni nell’ambito dell’accessibilità nella realtà virtuale. Tale idea iniziale è diventata tecnicamente realizzabile, e si è dimostrato che i guanti tattili sono uno strumento efficace per migliorare la percezione degli oggetti nella realtà virtuale da parte di utenti non vedenti e ipovedenti.

Per migliorare la percezione dello spazio nella realtà virtuale, vari studi hanno esaminato l’idea di emulare l’esperienza dell’utilizzo di un bastone bianco. Ad esempio, Canetroller (sviluppato da Zhao et al. [3] nel 2018) è stato creato per aiutare gli utenti con disabilità visive a navigare negli ambienti virtuali.



Figura 4.3: Canetroller

Fonte: [3]

Una ricerca condotta su nove partecipanti affetti da disabilità visive ha testato l’efficacia di Canetroller sia in un ambiente virtuale indoor che outdoor. Tutti i partecipanti sono stati in grado di esplorare e mappare da soli l’ambiente grazie al feedback tattile e acustico del dispositivo, e tutti hanno identificato correttamente gli oggetti virtuali presenti nella scena. La navigazione nell’ambiente virtuale outdoor è stata efficace per la maggior parte dei partecipanti, anche se un sottogruppo ha riscontrato delle problematiche trovandola confusionaria.

Inoltre, Kim [3] ha introdotto un sistema basato su un bastone da utilizzare nella realtà virtuale, il quale offre funzionalità aggiuntive che simulano l'esperienza di incontrare blocchi Braille durante la camminata.

In modo simile, il Virtual-EyeCane (sviluppato da Maidenbaum et al. [3] nel 2013) utilizza sensori e feedback acustici per assistere gli individui con difficoltà visive nella percezione della distanza dagli oggetti virtuali e nell'orientamento all'interno di ambienti virtuali. Quando il bastone si avvicina a un oggetto nell'ambiente virtuale, esso emette segnali acustici crescenti, i quali segnalano la vicinanza dell'ostacolo.

Invece, in un lavoro condotto da Kreimeier et al. [3] nel 2020, sono stati esaminati vari metodi e dispositivi per gestire il movimento in ambienti virtuali con utenti non vedenti e ipovedenti. Tra i metodi esaminati rientravano il movimento controllato attraverso indicatori di tracciamento fissati all'utente, l'impiego di tapis roulant e l'utilizzo del joystick presente su un controller. Kreimeier et al. [3] hanno riscontrato che, secondo le valutazioni dei partecipanti, la locomozione basata sull'uso del joystick era considerata la più sicura e garantiva le migliori prestazioni.

Per gli utenti ipovedenti, potrebbe essere vantaggioso migliorare la percezione dei contenuti nella realtà virtuale fornendo una serie di strumenti che consentano loro di sfruttare eventuali capacità visive residue che potrebbero avere.

SeeingVR (sviluppato da Zhao et al. [3] nel 2019) implementa diverse funzionalità progettate per migliorare la percezione dei contenuti nella realtà virtuale per gli utenti con disabilità visive. Questo strumento comprende 14 tools, tra cui lente di ingrandimento, lente bifocale, lente di luminosità, lente di contrasto, miglioramento dei bordi, rimappatura periferica, aumento del testo, sintesi vocale, misurazione della profondità, riconoscimento degli oggetti, evidenziazione, linee guida, ricolorazione e applicazioni assistive.

Questi strumenti permettono di ingrandire l'immagine, regolare la luminosità e il contrasto dei contenuti, delineare ed evidenziare gli oggetti, invertire i colori dell'ambiente, fornire informazioni vocali e sottotitoli, calcolare la profondità degli

oggetti, indirizzare l'attenzione degli utenti verso elementi importanti tramite linee guida e mostrare gli oggetti che si trovano al di fuori del campo visivo dell'utente.

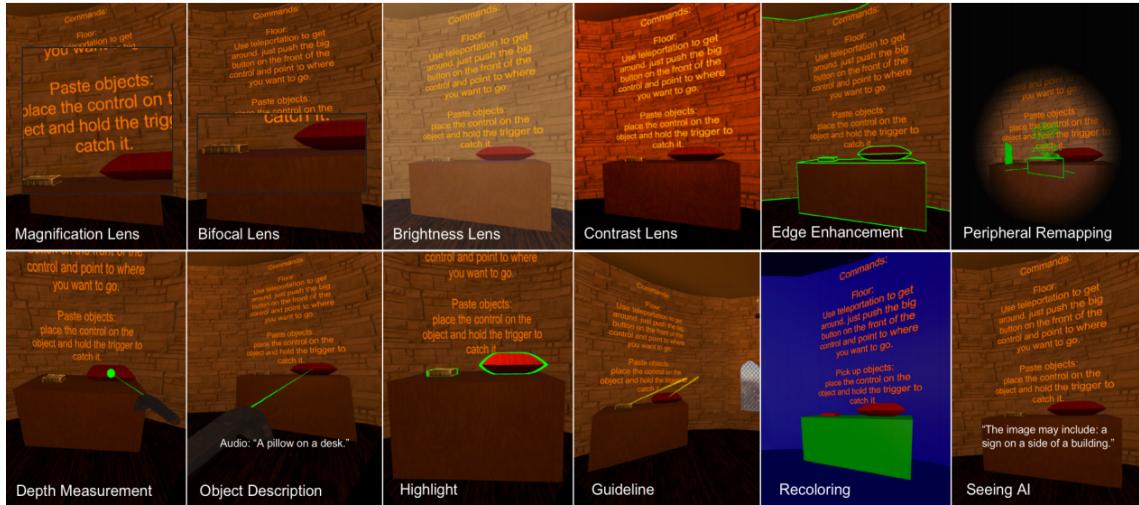


Figura 4.4: SeeingVR

Fonte: [3]

Se si utilizza SeeingVR insieme a Seeing AI (sviluppato da Microsoft nel 2020) e a VizWiz (creato da Bigham et al. [3] nel 2010), il sistema ha la capacità di riconoscere e descrivere verbalmente una scena virtuale agli utenti, qualora ne facciano richiesta.

Nel lavoro di Hoppe et al. [3] del 2020, è stata suggerita la possibilità di attivare rapidamente le diverse opzioni di miglioramento visivo mediante l'uso dei pulsanti del controller. Questa soluzione è stata proposta in quanto in diverse situazioni potrebbero essere necessari strumenti differenti, e l'accesso frequente a complessi menu di accessibilità è considerato altamente scomodo.

Wu et al. [3] nel 2021 presentano una serie di linee guida di progettazione relative all'uso della realtà virtuale per agevolare attività di lettura accessibili, come leggere un giornale. Queste linee guida comprendono la capacità di personalizzare l'aspetto del testo e del layout, l'utilizzo di contrasti intelligenti e la creazione di interazioni semplici per la navigazione e il controllo.

Nel 2020 Powell et al. [3] hanno constatato che gli utenti con ipovisione possono utilizzare l'attuale hardware VR disponibile in commercio senza necessitare di modifiche significative all'hardware o al software, ma semplicemente regolando l'intensità della luminosità.

Questo indica che potrebbe non essere sempre necessario implementare funzioni o dispositivi personalizzati al fine di migliorare l'accessibilità.

Attraverso un'attenta combinazione di segnali acustici e tattili, è possibile offrire una forma di percezione spaziale che supporti gli utenti non vedenti nell'esecuzione di specifiche attività negli ambienti virtuali.

Nel 2019 Wedof et al. [3] hanno sviluppato un gioco VR chiamato Virtual Showdown, destinato ai giovani ipovedenti. Virtual Showdown rappresenta una versione migliorata di un gioco già accessibile, in cui i giocatori si sfidano lanciandosi la palla l'uno contro l'altro su un tavolo, simile al gioco dell'hockey da tavolo. Virtual Showdown offre supporto ai giocatori attraverso l'uso di indicazioni vocali, vibrazioni e suggerimenti relativi alla traiettoria della palla.

DualPanto (sviluppato da Schneider et al. [3] nel 2018), invece, adotta un approccio diverso per agevolare l'interazione degli utenti non vedenti in mondi virtuali destinati ai giochi. Nel gioco, vengono impiegate due maniglie con feedback tattile per permettere al giocatore di capire la sua posizione attuale e la posizione dell'oggetto da raggiungere. I giocatori possono spostare il proprio personaggio utilizzando una delle maniglie. Questo permette, ad esempio, agli utenti non vedenti di percepire la posizione della palla e spostare il proprio personaggio verso di essa durante una partita di calcio virtuale.

Tecnologie VR per le disabilità uditive

Jain et al. [3] nel 2021 forniscono un sistema di classificazione dei suoni nella realtà virtuale, concepito per rappresentare una varietà di suoni per utenti non udenti o con deficit uditivi. Questa classificazione permette di organizzare i suoni in base a due principali aspetti:

- sorgente sonora (come ad esempio il discorso localizzato, il discorso non localizzato e i suoni di interazione);

- l’obiettivo del suono (che include suoni per comunicare informazioni critiche e per evocare uno stato emotivo specifico).

Questa classificazione stabilisce un "linguaggio" standard per i suoni in VR, facilitando l’associazione con canali di feedback alternativi, come quelli basati sulla percezione tattile o visiva. Jain et al. [3] (nel loro lavoro del 2021) utilizzano questa classificazione e la chiarezza che essa offre nel contesto del processo di progettazione per creare e valutare diverse corrispondenze tra suoni e feedback visivi/tattili.

Jain et al. hanno anche condotto un’analisi con gli sviluppatori per valutare la semplicità con cui tali prototipi possono essere incorporati nelle loro applicazioni. EarVR (sviluppato da Mirzaei et al. [3] nel 2020) è un sistema progettato per assistere le persone con difficoltà uditive nell’individuare la direzione del suono. Il sistema individua i suoni tridimensionali per gli utenti e li traduce in vibrazioni che indicano la direzione della sorgente sonora. I motori di vibrazione sono posizionati all’interno dell’orecchio dell’utente, e la frequenza delle vibrazioni varia tra l’orecchio sinistro e quello destro per indicare la provenienza del suono da diverse direzioni.



Figura 4.5: EarVR

Fonte: [3]

La differenza tra le due orecchie permette agli utenti di riconoscere con precisione la direzione del suono. Mirzaei et al. [3] hanno dimostrato che questo sistema consente alle persone con deficit uditivi di completare con successo semplici attività negli ambienti virtuali basate sul suono, come la localizzazione di oggetti che emettono suoni.

Il contenuto verbale può essere reso accessibile anche agli utenti non udenti o con deficit uditivi mediante l'uso del linguaggio dei segni. Ad esempio, Paudyal et al. [3] (nel loro lavoro del 2019) propongono un approccio per arricchire le lezioni online presentate in VR mediante l'impiego di interpreti del linguaggio dei segni, al fine di rendere il contenuto accessibile a utenti con disabilità uditive.

Tecnologie VR per le disabilità motorie

Nella realtà virtuale, le azioni dell'utente spesso implicano il movimento della mano e del polso quando si tengono i controller. Tuttavia, la posizione di presa può limitare il movimento delle dita e, di conseguenza, limitare ulteriormente la destrezza delle mani.

Cook et al. [3] (nel loro studio del 2019) conducono una valutazione dei controller per la realtà virtuale, prendendo in considerazione l'accessibilità, concentrandosi in particolare sugli anziani. Cook et al. suggeriscono la "necessità di una revisione completa nella progettazione dei controller, orientandola verso un'interazione più ergonomica e basata sulla destrezza".

Per gli utenti affetti da disabilità motorie, potrebbe risultare vantaggioso sostenere interazioni più naturali, simili a quelle nella vita reale. Sebbene ci siano stati avan-
imenti recenti nei guanti VR e nelle funzionalità di tracciamento delle mani, alcuni
guanti possono essere ingombranti e richiedono maggiori abilità motorie rispetto
all'uso di un controller.

Li et al. [3] (nel loro studio del 2020) hanno sviluppato un controller simile a una pen-
na destinato alle persone con disabilità motorie, consentendo l'input principalmente
attraverso il movimento del polso.

Altri utenti, invece, potrebbero presentare condizioni di disabilità che limitano la
loro capacità di utilizzare le mani o le braccia. Di conseguenza, potrebbero essere
esclusi dalla maggior parte delle esperienze di realtà virtuale che richiedono l'impie-
go di controller o movimenti delle braccia sia per interagire con i contenuti che per
navigare nell'ambiente.

Tuttavia, ci sono approcci alla navigazione VR, come il trasporto automatico attra-

verso l’ambiente virtuale tramite un veicolo, che potrebbero includere gli utenti che incontrano tali difficoltà.

Una strategia alternativa è quella di consentire l’interazione attraverso modalità diverse, come l’uso dello sguardo o dei comandi vocali. Questo approccio potrebbe risultare vantaggioso per gli utenti che hanno limitazioni motorie, poiché permette l’utilizzo di schemi di controllo o modalità di interazione che non richiedono una corrispondenza diretta tra i movimenti fisici e quelli virtuali, che sono una caratteristica tipica delle esperienze di realtà virtuale.

Minakata et al. [3] hanno condotto una valutazione sui vari metodi di puntamento, inclusi l’uso del mouse, il puntamento con lo sguardo, il puntamento con la testa e il puntamento con il piede, utilizzando un display montato sulla testa (HMD). Inoltre, una parte dello studio è stata dedicata all’analisi di questi metodi con la partecipazione di otto individui affetti da disabilità motorie. Dopo l’uso del mouse, il puntamento con la testa si è dimostrato essere il metodo più efficace.

Nel 2021, Franz et al. [3] introducono NearMi, un framework finalizzato alla progettazione di tecniche accessibili che agevolano gli utenti con limitazioni motorie nell’individuare e osservare i punti di interesse (POI). Nel 2019, Wang et al. [3] presentano un dispositivo indossabile concepito per essere utilizzato in combinazione con visori per la realtà virtuale o aumentata, il quale integra biosensori non invasivi per rilevare i movimenti oculari e le espressioni facciali, consentendo così modalità di interazioni alternative.

Nel 2020, Gerling et al. [3] hanno condotto un sondaggio coinvolgendo 25 utenti su sedie a rotelle al fine di esaminare le ragioni a favore e contro l’utilizzo della realtà virtuale. Sulla base dei risultati ottenuti dall’indagine, Gerling e colleghi hanno tratto tre importanti implicazioni per la progettazione:

- la necessità di fornire opzioni flessibili di controllo basate sul movimento, ma anche di consentire input sedentari come alternativa;
- considerare la presenza della sedia a rotelle durante la progettazione delle interazioni;

- evitare di rappresentare obbligatoriamente la disabilità nell’ambiente virtuale.

Tecnologie AR per le disabilità visive

Per le persone ipovedenti o non vedenti, l’esperienza della realtà aumentata deve essere necessariamente resa accessibile attraverso modalità non visive. Coughlan e Miele [3] (2017) hanno esaminato l’applicazione dell’AR come strumento di assistenza per individui con disabilità visive.

Per le persone non vedenti, il miglioramento dell’ambiente di solito avviene attraverso l’utilizzo di feedback acustici. Coughlan e Miele illustrano due applicazioni create con l’obiettivo di aiutare gli utenti non vedenti nella navigazione e nella comprensione degli oggetti fisici, attraverso feedback acustici contestuali.

L’aptica offre un altro mezzo utilizzabile per trasmettere informazioni agli utenti affetti da disabilità visive sugli elementi virtuali e fisici nelle loro vicinanze. Ad esempio, Bertram et al. [3] presentano un modo per fornire informazioni spaziali attraverso un display tattile integrato in un casco. Il feedback aptico costituisce un’ulteriore soluzione per trasmettere informazioni agli utenti riguardo agli oggetti sia virtuali che fisici nelle loro vicinanze.

Alcuni studi hanno analizzato l’uso di mappe tattili che incorporano immagini e feedback audio come strumento per agevolare la percezione spaziale e migliorare la navigazione delle persone con disabilità visive.

Ahmetovic et al. [3] hanno sviluppato un’applicazione AR volta a migliorare l’esperienza delle persone con disabilità visive nei musei. Nel sistema da loro creato, le descrizioni delle opere d’arte sono state arricchite mediante l’aggiunta di contorni visivi che tracciavano la regione dell’opera descritta.

I feedback ricevuti dagli utenti hanno indicato che i contorni visivi non erano sempre chiaramente percepibili, il che ha portato Ahmetovic e colleghi a considerare che "la personalizzazione in base alle esigenze degli utenti potrebbero contribuire a migliorare la visibilità".

Approcci più sofisticati per migliorare l’accessibilità della realtà aumentata (AR) si

concentrano sull'uso di metadati o sulla capacità di identificare dinamicamente i contenuti di interesse per l'utente.

Anche se affetti da disabilità visive, molti utenti possono comunque percepire e sfruttare alcuni segnali visivi. Lang e Machulla [3] (2021) hanno condotto una valutazione di diversi miglioramenti visivi presentati tramite realtà aumentata, come linee guida fisse e in movimento, con l'obiettivo di assistere gli utenti con ipovisione nell'uso di interfacce touchscreen. Questi miglioramenti sono stati appositamente sviluppati per sfruttare la visione residua di utenti non vedenti. Questo stesso approccio potrebbe essere utilizzato per aiutare gli utenti ipovedenti a interagire con le interfacce virtuali.

La realtà aumentata può anche essere impiegata per segnalare agli utenti la presenza di potenziali pericoli e per aumentare la loro percezione dello spazio circostante. Nella loro ricerca, Zhao et al. [3] hanno concentrato la loro attenzione sulla progettazione di soluzioni che forniscano segnali aggiuntivi agli utenti con ipovisione al fine di agevolare la navigazione sulle scale. Utilizzando il dispositivo Microsoft HoloLens nei test, Zhao et al. hanno identificato una combinazione efficace di segnali visivi e acustici che ha contribuito a far sentire agli utenti più sicuri e protetti durante la navigazione rispetto a quando non erano presenti tali segnali.

Il Metaverso applicato al campo dell'istruzione

Il Metaverso potrebbe rivoluzionare anche il campo dell'istruzione fornendo modi nuovi e innovativi di apprendere e interagire [16, 14]. Tuttavia, è importante garantire che esso sia accessibile a tutti gli studenti, indipendentemente dalle loro capacità o disabilità. Reza Hadi Mogavi et al hanno condotto un'indagine su come si potrebbe migliorare l'accessibilità dell'apprendimento per gli studenti affetti da disabilità. Essi affermano che per garantire un Metaverso inclusivo per questi studenti, è necessario considerare diversi aspetti, tra cui:

- Riconoscere l'inclusione dei disabili come una priorità assoluta, promuovendo la comprensione e l'adattamento delle disabilità.

- Offrire opportunità di apprendimento autodiretto e personalizzato nel Metaverso, consentendo agli studenti con disabilità di essere creatori e contributori attivi.
- Creare un Metaverso coinvolgente, attivo e socialmente connesso per promuovere la partecipazione attiva degli studenti e facilitare l'interazione senza barriere.
- Prioritizzare la sicurezza a vari livelli, inclusi l'ambiente fisico, l'attrezzatura, l'ambiente virtuale e le applicazioni virtuali, per prevenire molestie e abusi basati sulle disabilità attraverso regole chiare, sistemi di reporting affidabili e una cultura inclusiva.

Inoltre, è necessario considerare le varie tipologie di disabilità che gli studenti potrebbero presentare, insieme alle tecnologie di supporto specifiche di cui potrebbero necessitare, ad esempio gli studenti non vedenti o ipovedenti potrebbero aver bisogno di mezzi alternativi per accedere ai contenuti visivi all'interno del Metaverso, come software di sintesi vocale o lettori di schermo in grado di descrivere immagini e altri elementi visivi.

Anche gli studenti non udenti potrebbero necessitare di mezzi alternativi per accedere ai contenuti uditivi, come sottotitoli o trascrizioni di contenuti audio all'interno del Metaverso. Inoltre, il Metaverso potrebbe richiedere agli studenti di navigare attraverso ambienti virtuali utilizzando una tastiera, un mouse o un altro dispositivo di input fisico. Gli studenti con disabilità fisiche potrebbero aver bisogno di dispositivi di input alternativi, come software di riconoscimento vocale o controller adattivi, per interagire in modo efficace con il Metaverso.

La realizzazione di un'educazione inclusiva e accessibile nel Metaverso richiede una consapevolezza e una comprensione delle esigenze degli studenti con disabilità. Questo aspetto è cruciale poiché spesso i progettisti e gli sviluppatori trascurano le necessità delle persone affette da disabilità nel processo di creazione dei loro prodotti, concentrandosi esclusivamente sul pubblico non disabile.

La progettazione dovrebbe essere universale e favorire la collaborazione tra diver-

se parti interessate. Inoltre, le soluzioni di accessibilità devono essere valutate e migliorate in modo continuo.

CAPITOLO 5

Conclusioni

L’obiettivo di tale ricerca è stato quello di analizzare, tramite una Sistematic Literature Review, le difficoltà che le persone affette da disabilità riscontrano nell’accesso al Metaverso. Contestualmente, si è cercato di delineare un quadro delle potenziali soluzioni tecnologiche che potrebbero essere adottate per superare tali problematiche.

Le barriere digitali, l’accessibilità limitata e l’ineguaglianza nell’uso delle tecnologie sono sfide significative che richiedono attenzione urgente. Infatti, da tale ricerca è emerso che le principali difficoltà incontrate dalle persone con disabilità nell’ambiente del Metaverso sono legate all’utilizzo delle tecnologie immersive. Queste difficoltà riguardano sia l’hardware, come i visori e i controller, che di solito non sono progettati tenendo conto delle esigenze delle persone disabili, sia le carenze nelle interfacce utente, che spesso non forniscono un feedback adeguato. Un’ulteriore problematica riscontrata riguarda la personalizzazione dell’avatar, poiché le persone disabili non hanno la possibilità di rappresentare accuratamente la propria disabilità. Ad esempio, non possono creare avatar con protesi o su sedie a rotelle.

Questi fattori combinati costituiscono una barriera significativa che limita l’accesso e l’esperienza delle persone con disabilità nel Metaverso.

Tuttavia, si potrebbe migliorare notevolmente la situazione attraverso l'adozione di diverse tecnologie e soluzioni mirate per ciascun tipo di disabilità, promuovendo così un Metaverso più inclusivo e accessibile.

Per quanto riguarda le disabilità visive, sono state sviluppate tecnologie come guanti tattili, bastoni virtuali e sistemi di ingrandimento per migliorare la percezione dell'ambiente virtuale. Alcune di queste soluzioni, come il Canetroller e il Virtual-EyeCane, hanno dimostrato di essere efficaci nell'aiutare le persone non vedenti o ipovedenti nella navigazione degli ambienti virtuali.

Per le disabilità uditive, sono state proposte soluzioni come la trasformazione dei suoni in vibrazioni per indicare la direzione del suono e l'uso della realtà aumentata per fornire sottotitoli in tempo reale. Questi approcci consentono alle persone con difficoltà uditive di percepire e interagire con l'ambiente virtuale in modo più efficace. Nel caso delle disabilità motorie, sono stati sviluppati controller e modalità di interazione alternative, come l'uso dello sguardo o dei comandi vocali, per consentire a coloro con limitazioni motorie di partecipare alle esperienze di realtà virtuale.

In conclusione, i risultati di questa ricerca hanno evidenziato l'importanza di migliorare l'accessibilità all'interno del Metaverso per assicurare un'esperienza inclusiva per le persone con disabilità. Le problematiche sono evidenti, ma ci sono anche molte opportunità per migliorare l'accessibilità e promuovere l'inclusione all'interno Metaverso. Attraverso un impegno concreto, una progettazione attenta e un focus sull'accessibilità, è possibile superare le difficoltà attuali e sviluppare un Metaverso che sia veramente aperto a tutti, indipendentemente dalle loro abilità o disabilità.

Bibliografia

- [1] J.-M. Seigneur and M.-A. Choukou, "How should metaverse augment humans with disabilities?" in *13th Augmented Human International Conference*, ser. AH2022. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3532525.3532534> (Citato alle pagine iii, 29, 31 e 32)
- [2] K. Gerling and K. Spiel, "A critical examination of virtual reality technology in the context of the minority body," in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3411764.3445196> (Citato alle pagine iii, 29, 32 e 33)
- [3] Y. L. G. V. K. P. O. Dudley, John, "Inclusive immersion: a review of efforts to improve accessibility in virtual reality, augmented reality and the metaverse," *Virtual Reality*, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00850-8> (Citato alle pagine iii, 29, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44)
- [4] P. N. Petar Radanliev, David De Roure and I. Sluganovic, "Accessibility and inclusiveness of new information and communication technologies for disabled users and content creators in the metaverse," *Disability and*

- Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 0, no. 0, pp. 1–15, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/17483107.2023.2241882> (Citato a pagina 1)
- [5] N. Stephenson, *Snow crash*, 1992. (Citato a pagina 4)
- [6] G. D. Ritterbusch and M. R. Teichmann, “Defining the metaverse: A systematic literature review,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 12 368–12 377, 2023. (Citato a pagina 5)
- [7] Q. Yang, Y. Zhao, H. Huang, Z. Xiong, J. Kang, and Z. Zheng, “Fusing blockchain and ai with metaverse: A survey,” *IEEE Open Journal of the Computer Society*, vol. 3, pp. 122–136, 2022. (Citato alle pagine 7 e 8)
- [8] Alterside, “Tipi di metaverso, differenze e caratteristiche,” *ALTERSIDE*, Jul. 2022. [Online]. Available: <https://www.alterside.com/tipi-di-metaverso-differenze-e-caratteristiche/> (Citato alle pagine 9, 11, 12 e 13)
- [9] M. Rossi, M. Ciletti, A. Scarinci, and G. A. Toto, “Apprendere attraverso il metaverso e la realtà immersiva: nuove prospettive inclusive,” vol. 4, p. 165–177, giu. 2023. [Online]. Available: <https://iulresearch.iuline.it/index.php/IUL-RES/article/view/419> (Citato a pagina 15)
- [10] C. Parker, S. Yoo, Y. Lee, J. Fredericks, A. Dey, Y. Cho, and M. Billinghamurst, “Towards an inclusive and accessible metaverse,” ser. CHI EA ’23. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3544549.3573811> (Citato alle pagine 18, 29 e 35)
- [11] M. Quinlan, “Disconnected from reality: Do the core concepts of the metaverse exclude disabled individuals?” 2023. (Citato a pagina 18)
- [12] F. M. Lucia, “Fogli di lavoro,” 2023. [Online]. Available: https://unisalerno-my.sharepoint.com/:x/g/personal/m_fede1_studenti_unisa_it/EVai3tbYa7RGgapB_EakQuABNYzMKhOlecb_ebQePXKLAQ?e=tnXRqs (Citato alle pagine 26 e 27)

- [13] Y. Kanza, B. Krishnamurthy, and D. Srivastava, "Geospatial accessibility and inclusion by combining contextual filters, the metaverse and ambient intelligence," in *Proceedings of the 30th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, ser. SIGSPATIAL '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3557915.3561032> (Citato alle pagine 29 e 35)
- [14] R. Hadi Mogavi, J. Hoffman, C. Deng, Y. Du, E.-U. Haq, and P. Hui, "Envisioning an inclusive metaverse: Student perspectives on accessible and empowering metaverse-enabled learning," in *Proceedings of the Tenth ACM Conference on Learning @ Scale*, ser. L@S '23. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023, p. 346–353. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3573051.3596185> (Citato alle pagine 29 e 44)
- [15] H. W. K. Jeanne Choi, "Empirical evaluation of metaverse accessibility for people who use alternative input/output methods." [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37638938/> (Citato alle pagine 29 e 30)
- [16] S. D. Meena, G. S. S. Mithesh, R. Panyam, M. S. Chowdary, V. S. Sadhu, and J. Sheela, "Advancing education through metaverse: Components, applications, challenges, case studies and open issues," in *2023 International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, 2023, pp. 880–889. (Citato alle pagine 29 e 44)

Questa tesi ha contribuito a piantare un albero in Camerun tramite il progetto Treedom.

<https://www.treedom.net/it/user/sesalab/event/sesa-random-forest>