



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Triennale in Informatica

TESI DI LAUREA

**La Didattica nel Metaverso: Un
Esperimento Controllato sull'Impiego
di Classi Virtuali e Visori VR
nell'Insegnamento Universitario
Online**

RELATORI

Prof. Fabio Palomba

Dott. Dario Di Dario

Università degli Studi di Salerno

CANDIDATO

Benedetto Scala

Matricola: 0512110582

Questa tesi è stata realizzata nel



*Oh, if the sky comes fallin' down, for you
There's nothin' in this world I wouldn't do...*

A mia sorella Carmen

Abstract

In un contesto segnato dalla pandemia di COVID-19, che ha imposto una rapida transizione verso la didattica a distanza, questa tesi esplora l'uso del metaverso nell'educazione universitaria online. L'attenzione è rivolta in particolare all'efficacia dell'insegnamento in ambienti virtuali mediante l'uso di visori rispetto a strumenti della didattica a distanza più consolidati come Teams. L'esperimento ha coinvolto studenti universitari suddivisi in due gruppi: uno immerso in un ambiente virtuale tramite visori per la realtà virtuale (VR) e un gruppo di controllo che ha seguito lezioni a distanza con l'approccio tradizionale. Attraverso test, questionari e osservazioni, abbiamo esaminato vari aspetti dell'apprendimento, tra cui l'engagement, la comprensione e l'affaticamento cognitivo e fisico. I risultati mostrano che la Realtà Virtuale Immersiva (IVR) può potenziare l'engagement degli studenti, grazie alla sua capacità di offrire un'esperienza immersiva che limita le distrazioni. Inoltre, se da un lato l'IVR sembra attenuare l'affaticamento cognitivo, in particolare rispetto a piattaforme come Teams, dall'altro potrebbe incrementare l'affaticamento fisico. Infine nonostante le differenze non siano statisticamente significative, gli studenti che hanno utilizzato l'IVR hanno mostrato una tendenza verso una maggiore efficienza nell'apprendimento rispetto a chi ha adottato metodi tradizionali.

Indice

Elenco delle Figure	iv
Elenco delle Tabelle	v
1 Introduzione	1
1.1 Contesto Applicativo	1
1.2 Motivazioni e obiettivi	2
1.3 Risultati ottenuti	3
1.4 Struttura della tesi	3
2 Background	5
2.1 Il Metaverso	5
2.1.1 Origine del termine	5
2.1.2 Definizione di Metaverso	6
2.1.3 Web 3.0: L’Evoluzione di Internet e la Connessione con il Meta-verso	7
2.1.4 Le tecnologie alla base del metaverso	8
2.1.5 Piattaforme Virtuali Sociali nel Metaverso	12
2.2 Metaverso nella didattica	14
2.2.1 CyberCampus	14
2.2.2 Immersive Virtual Reality per l’educazione	16

3 Studi Correlati	18
3.1 Analisi degli Esperimenti Controllati nell'utilizzo dell'IVR nella didattica	18
3.1.1 Esperimenti Controllati nell'ingegneria del software	19
3.1.2 Limitazioni degli articoli e necessità di ulteriori ricerche . . .	24
4 Metodologia	26
4.1 Domande Di Ricerca	26
4.2 Design dell'esperimento	27
4.2.1 Definizione	29
4.2.2 Contesto	30
4.2.3 Definizione Ipotesi	33
4.2.4 Definizione variabili dipendenti ed indipendenti	36
4.2.5 Tipo Di Design	40
4.3 Metodologia dell'analisi dei risultati	42
4.3.1 Assunzione sulla normalità dei dati	42
4.3.2 Scelta del Test Statistico e Codice di Esempio per l'Analisi dei Dati	43
5 Analisi Dei Risultati	45
5.1 Reclutamento	45
5.2 Pulizia e Regole di scoring per i dati	46
5.3 Test sulla normalità dei dati	47
5.4 Analisi Dei Dati	50
5.4.1 User Engagement	50
5.4.2 Apprendimento	52
5.4.3 Affaticamento Cognitivo e Fisico	53
5.5 Risposte alle Research Question	55
5.5.1 RQ1 : In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l'user engagement nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?	55
5.5.2 RQ2 : In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l' affaticamento (cognitivo e fisico) nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams? . . .	56

5.5.3 RQ3: In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare il grado di apprendimento nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?	57
5.6 Discussioni	58
5.7 Lab Package	60
6 Minacce alla validità	61
6.1 Validità Interna	61
6.2 Validità di Costrutto	63
6.3 Validità Esterna	64
6.4 Validità delle conclusioni	65
7 Conclusioni, Limitazioni e Sviluppi Futuri	67
7.1 Conclusioni	67
7.2 Limitazioni e Sviluppi Futuri	69
Bibliografia	71

Elenco delle figure

4.1	Metodologia Esperimento	28
4.2	Oculus Rift S e i controller touch	31
4.3	Lezione In VrChat	32
4.4	Gestione del tracking in Mocap Fusion	33
4.5	Classe virtuale in VRChat	34
5.1	Q-Q plot e box plot del post test	48
5.2	Q-Q e box plot test della dimensione "prestazione" nel gruppo VR . .	49
5.3	Esempio utilizzo penna 3d in un ambiente virtuale	59

Elenco delle tabelle

4.1	Definizione Goal Esperimento	29
4.2	Ipotesi nulle ed alternative	35
4.3	Domande della User Engagement Scale (UES)	38
4.4	NASA-TLX: Domande su carico cognitivo e fisico	41
4.5	Design dell'esperimento diviso in due gruppi	42
5.1	Dettagli dei partecipanti all'esperimento	46
5.2	Apprendimento: Risultati del pre-test per ciascun partecipante . . .	47
5.3	Apprendimento: Risultati del post-test per ciascun partecipante . . .	47
5.4	Risultati del test sulla normalità dei dati del post-test per i gruppi VR e Teams	48
5.5	Risultati del test sulla normalità delle dimensioni del NASA-TLX . .	49
5.6	Risultati del test sulla normalità delle dimensioni dell'UES-SF	50
5.7	User Engagement: Risultati Statistici; "t" sta per t-test e "W" sta per mann-whitney test	50
5.8	User Engagement: Risultati gruppo V	51
5.9	User Engagement: Risultati gruppo T	51
5.10	User Engagement: Differenza fra gruppo V e T (V-T)	52
5.11	Apprendimento: Statistiche del post-test per i gruppi	52
5.12	Apprendimento: Differenze tra Gruppo V e Gruppo T (V-T)	52

5.13 NASA-TLX: Statistiche tra i gruppi	53
5.14 NASA-TLX: Risultati per il gruppo V	53
5.15 NASA:TLX: Risultati per il gruppo T	54

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Contesto Applicativo

Il settore educativo ha vissuto trasformazioni profonde e veloci, spesso spinte da avanzamenti tecnologici e dalle mutevoli esigenze della società contemporanea. L'istruzione online, un tempo considerata un complemento o un'alternativa all'insegnamento tradizionale, ha assunto un ruolo predominante nel contesto educativo odierno, soprattutto in risposta a sfide globali come la pandemia di COVID-19. Strumenti di comunicazione come Zoom, Teams e Google Meet sono diventati essenziali, facilitando la connessione tra studenti e docenti in ambienti virtuali, superando le barriere geografiche e assicurando la continuità dell'apprendimento [1].

Ma mentre queste piattaforme hanno fornito soluzioni efficaci, il mondo tecnologico non ha smesso di evolversi. Un esempio lampante è l'emergere del "metaverso", un universo virtuale continuo e interattivo. Questa evoluzione ha attirato l'attenzione di giganti tecnologici, come l'azienda precedentemente nota come Facebook, che ha riconosciuto tale potenziale cambiando il suo nome in "Meta" [2]. Tale cambio di nome non è stato solo simbolico, ma ha segnato un impegno nell'orientare la visione dell'azienda verso la creazione e lo sviluppo di ambienti virtuali immersivi.

La corsa verso il metaverso è ulteriormente evidenziata dalla recente introduzione

sul mercato di dispositivi avanzati come il Quest 3¹ e l'Apple Vision Pro². Questi visori, che spesso incorporano tecnologie di mixed reality, offrono esperienze che vanno oltre la semplice realtà virtuale, combinando elementi del mondo reale e digitale in modi innovativi.

Quindi a differenza delle tradizionali piattaforme di comunicazione, che emulano l'ambiente fisico di una classe, il metaverso e le tecnologie associate promettono di trasformare l'apprendimento in un'esperienza tridimensionale, dinamica e socialmente ricca.

Parallelamente, la letteratura accademica e di ricerca si sta avvicinando sempre più a questo contesto, indagando il potenziale delle tecnologie emergenti, come la Realtà Virtuale Immersiva (IVR), componente fondamentale del metaverso, nel modellare l'apprendimento, le metodologie didattiche e le dinamiche sociali tra gli studenti.

1.2 Motivazioni e obiettivi

Rispetto alle affermazioni della sezione precedente, la narrativa contemporanea ha spesso circoscritto la Realtà Virtuale Immersiva a funzioni periferiche, limitandola prevalentemente alla simulazione di scenari particolari, come quelli legati alla manutenzione, ai laboratori scientifici o a tour virtuali [3, 4, 5, 6].

Questa visione ha trascurato l'ampio potenziale dell'IVR come strumento didattico per le lezioni tradizionali, che sono un pilastro dell'istruzione avanzata. Diversamente da questa tendenza, il nostro studio pone al centro l'importanza dell'I-VR per le lezioni convenzionali. Tale approccio mira a evidenziare come l'IVR possa non solo arricchire contesti specializzati, ma anche rivoluzionare metodi didattici consolidati.

Mediante un esperimento controllato vogliamo indagare in che modo l'IVR possa elevare l'esperienza educativa rispetto a piattaforme consolidate come Teams nell'insegnamento online, esaminando e mettendo a confronto l'impatto sull'interazione, l'engagement e la comprensione degli studenti.

¹<https://www.meta.com/it/quest/quest-3/>

²<https://www.apple.com/apple-vision-pro/>

Con la nostra ricerca, abbiamo a fornire spunti e dati che possano contribuire all’evoluzione della comprensione dell’IVR nel campo educativo.

1.3 Risultati ottenuti

Nella nostra indagine si sono esplorati ed analizzati diversi aspetti chiave:

- **Engagement degli Studenti:** L’IVR ha mostrato un potenziale nell’incrementare l’engagement degli studenti, grazie alla sua natura immersiva. Tuttavia, la sua reale efficacia è strettamente legata alla modalità con cui viene integrata nella didattica.
- **Affaticamento e Performance:** Se da un lato l’IVR sembra ridurre l’affaticamento cognitivo rispetto a Teams, dall’altro potrebbe causare un lieve incremento dell’affaticamento fisico. Nonostante ciò, gli studenti hanno percepito una maggiore efficienza nell’apprendimento con l’IVR.
- **Apprendimento Effettivo:** Anche se l’IVR non ha evidenziato vantaggi decisivi in termini di apprendimento rispetto a Teams, gli studenti che l’hanno utilizzato hanno mostrato risultati leggermente migliori e più uniformi.

In sintesi, mentre l’IVR offre promettenti opportunità per l’istruzione, la sua implementazione e i suoi effetti collaterali richiedono ulteriori studi e considerazioni.

1.4 Struttura della tesi

I capitoli di questa tesi sono strutturati come segue:

- **Background** In questo capitolo, ci concentriamo sulla definizione e sull’origine del metaverso. Esploriamo le tecnologie fondamentali che sostengono questo nuovo concetto, come il web 3.0, la blockchain e i visori. Concludiamo discutendo delle piattaforme virtuali sociali, che offrono un’anteprima di ciò che il metaverso potrebbe diventare in futuro
- **Related Work** In questo capitolo, esploreremo l’utilizzo degli Esperimenti Controllati per misurare l’efficacia della Realtà Virtuale Immersiva nel contesto

educativo. Studieremo ricerche che indicano sia benefici che limitazioni nell’adozione della tecnologia VR. Discuteremo anche la necessità di ulteriori indagini, in particolare nell’ambito delle lezioni universitarie.

- **Metodologia** In questo capitolo, discuteremo della metodologia impiegata nello studio, delineando il ciclo di vita dell’esperimento con particolare attenzione al suo design e agli strumenti statistici che sono stati poi adottati nell’analisi dei risultati
- **Analisi Dei Risultati** Nel capitolo dedicato all’analisi dei risultati, esamineremo inizialmente i dati attraverso i test statistici definiti nella metodologia. Successivamente, risponderemo alle research question basandoci sui risultati ottenuti, concludendo con alcune riflessioni e considerazioni finali.
- **Minacce alla validità** In questo capitolo, abbiamo esposto le diverse minacce alla validità che potevano emergere dall’esperimento e descritto le strategie adottate per mitigarle.
- **Conclusioni** Nelle conclusioni, verrà fornito un riassunto dell’intero lavoro di tesi, evidenziando le limitazioni riscontrate durante l’esperimento e offrendo riflessioni sugli sviluppi futuri.

CAPITOLO 2

Background

2.1 Il Metaverso

2.1.1 Origine del termine

L'interesse attuale verso il metaverso trae origine, in gran parte, dal romanzo di fantascienza "Ready Player One", che dipinge un futuro distopico in cui l'umanità, allo scopo di sfuggire a povertà e degrado, si rifugia in un universo virtuale, l'OASIS, mediante l'uso di sofisticati dispositivi di realtà virtuale [7].

Tuttavia, la prima apparizione effettiva del termine "metaverso" si deve al romanzo del 1992 di Neal Stephenson, "Snow Crash". Stephenson concettualizza il metaverso come un universo virtuale tridimensionale, accessibile globalmente e nel quale ciascun utente, tramite un avatar¹ personalizzabile, può esplorare liberamente lo spazio virtuale [8].

Da queste opere deriva l'idea del metaverso come un universo virtuale modellato in grafica computerizzata, che trascende i confini della realtà fisica. Infatti il termine

¹Un avatar è una rappresentazione grafica o visuale di un utente in un ambiente digitale o virtuale. Gli avatar possono assumere molte forme, dai semplici icone o immagini statiche utilizzate in forum e chat, fino a figure tridimensionali animate in giochi video o ambienti di realtà virtuale.

"metaverso" è un composito di "meta", derivante dalla "metafisica" di Aristotele e che denota qualcosa al di là o superiore al fisico, e "universo" [9]. Il metaverso è quindi uno spazio che supera la realtà, un mondo virtuale che offre dimensioni e possibilità al di là di quel che si possono sperimentare nel mondo reale.

2.1.2 Definizione di Metaverso

La ricerca di una definizione esaustiva del "metaverso" su Internet inevitabilmente conduce a un complesso labirinto di ideologie, teorie, visioni e concetti sviluppati da ricercatori nel corso degli anni [10]. Tale domanda, benché di natura semplice, può essere paragonata all'atto di chiedere a un individuo vissuto nel XVIII secolo di fornire una definizione di Internet.

La letteratura sul metaverso è in discussione fin dalla fine degli anni 2000. Secondo Schlemmer et al. [11], il metaverso si riferisce a mondi virtuali tridimensionali che consentono alle persone di vivere e costruire le proprie identità attraverso avatar e corpi digitali. Grazie ad un uso realistico di servizi pubblici e privati, il mondo fisico può essere esteso all'interno di uno spazio simulato su Internet. Secondo Díaz et al. [12], il metaverso include spazi virtuali che riproducono esperienze di svago, apprendimento e vita quotidiana, in cui gli individui interagiscono tramite avatar, similmente alla propria vita, cercando di riprodurre l'esperienza partecipativa senza le limitazioni spazio-temporali del mondo fisico.

Reyes [13] ha recentemente proposto una definizione comprensiva di metaverso basata su tre pilastri fondamentali: interattività, corporeità e persistenza.

- L'interattività è un elemento cruciale, che permette agli utenti di comunicare, interagire e collaborare tra di loro, superando i limiti delle piattaforme virtuali preesistenti.
- La corporeità riveste un ruolo importante nel consentire agli utenti di rappresentarsi all'interno del metaverso mediante avatar personalizzati, fornendo un'esperienza coinvolgente e immersiva.
- La persistenza gioca un ruolo significativo nel creare un ambiente virtuale che emula le reali condizioni di vita, garantendo la possibilità di salvare e

ripristinare i contenuti digitali creati o acquisiti dagli utenti all'interno del metaverso.

Oltre a comprendere il concetto di metaverso e le sue caratteristiche distintive, è interessante esplorare come questo si relazioni con l'evoluzione di Internet.

2.1.3 Web 3.0: L'Evoluzione di Internet e la Connessione con il Metaverso

Negli anni, il paesaggio del World Wide Web ha sperimentato una trasformazione sostanziale, mutando da una struttura inizialmente basilare ed essenziale a una rete sofisticata di interazioni ed esperienze. Tale metamorfosi non è stata improvvisa, ma piuttosto il prodotto di un processo evolutivo graduale e continuo. Infatti, il *Web 1.0*, rappresenta la fase pionieristica dello sviluppo di internet, in quali contenuti erano prevalentemente statici e gli utenti —con scarse possibilità di interagire tra loro— accedevano e consumavano passivamente le informazioni disponibili online [14]. Il *Web 2.0*, ha dato vita ad una rilevante trasformazione: la partecipazione attiva degli utenti. Questi ultimi, potevano condividere contenuti digitali e collaborare tra di loro. In questo modo, gli utenti non erano più semplici consumatori passivi, ma diventavano anche creatori di contenuti, con la capacità di pubblicare, commentare e condividere informazioni online [14].

A partire dal 2014 invece, stiamo assistendo all'evoluzione verso il *Web 3.0*, un'era che mira a portare l'interazione e l'esperienza online a un livello completamente nuovo. Il metaverso, un concetto chiave in questo processo, offre un ambiente virtuale in cui gli utenti possono non solo interagire con il contenuto, ma anche vivere un'esperienza immersiva e partecipare attivamente ad una realtà virtuale condivisa [14]. Questa transizione ha aperto la strada a una nuova era dell'internet, segnata da un coinvolgimento degli utenti più profondo e significativo.

Attraverso l'uso di tecnologie avanzate come la realtà virtuale, il metaverso promette di trasformare radicalmente la nostra esperienza di Internet, aprendo nuove opportunità nel campo del commercio, dell'intrattenimento, della formazione e molto altro ancora [2]. L'evoluzione del panorama web, dunque, non è un evento

casuale, ma un processo di crescita e sviluppo che continua a plasmare il modo in cui interagiamo e ci impegniamo con il mondo digitale.

2.1.4 Le tecnologie alla base del metaverso

Tuttavia, l'avanzamento del Web 3.0 non limita le tecnologie alla sola realtà virtuale, bensì si estende su vari fronti: dalle telecomunicazioni —e.g., con l'avvento del 5G e del futuro 6G— a nuovi sistemi software decentralizzati —e.g., come la blockchain.

L'avanzamento incessante della tecnologia apre nuove prospettive e stimolanti sfide. Dalla crescita di una connettività sempre più pervasiva, come precedentemente discussa, all'incremento dell'importanza dei sistemi decentralizzati e alla creazione di esperienze digitali di totale immersività, queste innovative tecnologie stanno profondamente rivoluzionando il nostro approccio al mondo digitale, sia nel presente che nel futuro. In questa analisi, esploreremo alcune delle tecnologie emergenti più promettenti, che si profilano come elementi cruciali nell'evoluzione del metaverso

5G e 6G

Il progresso nel campo delle telecomunicazioni ha avuto un impatto significativo sullo sviluppo del metaverso. Il miglioramento delle reti 5G e l'evoluzione verso la 6G renderebbero possibile l'accesso a esperienze virtuali sempre più avanzate e immersive [15].

La tecnologia 5G offre una serie di vantaggi fondamentali come l'aumento delle velocità di trasmissione dati, la riduzione della latenza, la possibilità di connessioni ubiquitarie, il basso consumo energetico e una maggiore capacità di interconnessione tra dispositivi [16]. Queste caratteristiche sono fondamentali per la realizzazione del metaverso, permettendo un'esperienza d'uso fluida e senza interruzioni.

Oltre al 5G, si sta già pianificando lo sviluppo della prossima generazione di reti, nota come 6G. Le potenzialità del 6G superano quelle del 5G, ed è previsto che questa nuova generazione di reti sarà in grado di connettere non solo persone, ma anche macchine e oggetti, contribuendo ulteriormente alla fusione tra il mondo fisico e quello virtuale [17]. Alcune delle caratteristiche chiave del 6G includono [18]:

- Connattività massiccia tra un elevato numero di dispositivi IoT, anche in scenari di non visibilità diretta.
- Miglioramento della mobilità attraverso l'implementazione di sistemi di trasporto intelligenti ad alta velocità e comunicazioni con latenza ultra-bassa.
- Potenziamento della sicurezza e della privacy grazie all'utilizzo di tecnologie di deep learning e intelligenza artificiale.
- Ampliamento dei servizi multimediali, con un focus su streaming video di alta qualità, trasmissioni in diretta e intrattenimento.
- Copertura più ampia rispetto al 5G, integrando comunicazioni spaziali e marine con quelle terrestri per una copertura estesa e velocità di trasmissione dati superiori.
- Aumento significativo della velocità di trasmissione dati grazie all'incremento della larghezza di banda e del numero di antenne.

Blockchain

Originariamente associata alle criptovalute, nella sua visione 1.0 [19], la blockchain offre molteplici applicazioni in un contesto molto più ampio.

Parlando della sua applicazione al metaverso: la sua natura decentralizzata, può fornire un'infrastruttura affidabile per gestire le transazioni. Consente di registrare e tracciare in modo sicuro e trasparente la proprietà di oggetti digitali, come beni virtuali, token o terreni. Ciò significa che gli utenti possono fare affidamento su registri immutabili e verificabili per garantire la provenienza e l'autenticità degli assets, evitando frodi e contraffazioni. Questo crea nuovi modelli di business e possibilità di interazione economica, tra cui la possibilità di monetizzare attività e creare mercati decentralizzati [20, 21].

La blockchain può anche contribuire a garantire la privacy e la sicurezza delle informazioni. Grazie all'utilizzo di tecniche di crittografia avanzate e alla gestione distribuita dei dati, la blockchain può fornire un ambiente sicuro per la gestione delle identità digitali, proteggendo le informazioni personali degli utenti [20].

Infine, la blockchain può agire come ponte per l'interoperabilità tra i diversi cyber-mondi. È possibile creare standard e protocolli comuni che permettono la comunicazione e lo scambio di assets tra essi, consentendo agli utenti di muoversi tra tali universi senza perdere la proprietà dei loro beni digitali [20].

Metaverse Extended Reality: VR, AR, MR

Il termine "metaverse extended reality" [17, 22] si riferisce a un concetto che combina diverse tecnologie immersive, tra cui la realtà virtuale, la realtà aumentata e la realtà mista, per creare un ambiente digitale esteso.

VR La realtà virtuale rappresenta uno dei più entusiasmanti sviluppi tecnologici degli ultimi decenni, offrendo una porta di accesso a mondi digitali e esperienze straordinarie. Considerando le molteplici applicazioni di questi dispositivi, è possibile suddividere la definizione in due ampie macrocategorie: VR immersiva e VR non immersiva. La distinzione è fondamentale e riguarda il grado di coinvolgimento dell'utente nell'ambiente simulato [23].

La Realtà Virtuale Immersiva, o IVR, offre un'esperienza avvolgente e completa. Gli utenti, indossando caschetti VR specializzati, vengono trasportati in mondi digitali dove possono esplorare, interagire e vivere avventure virtuali. Si ha la sensazione di essere completamente separati dal mondo reale, poiché il campo visivo è dominato dalle immagini ricostruite a computer. Il tracking del movimento in real-time e la grafica di ultima generazione contribuiscono a creare una sensazione di "presenza", facendo sì che gli utenti si sentano come se fossero fisicamente all'interno dell'ambiente simulato.

D'altro canto, c'è la VR non immersiva, che offre un'esperienza meno avvolgente e più distaccata. In questa modalità, gli utenti mantengono in ogni momento la consapevolezza del mondo reale circostante, poiché la loro visione non è completamente occupata da immagini virtuali. Questa forma di VR può essere sperimentata tramite dispositivi più accessibili come computer, tablet o smartphone, senza la necessità di costosi visori VR.

Ad oggi, sono disponibili vari caschetti IVR, ognuno con caratteristiche e specifiche diverse. Di seguito, alcuni dei più popolari:

- Oculus Quest 2²: prodotto da Oculus (società di proprietà di Facebook), è uno dei visori VR più venduti. Questo visore all-in-one non richiede un PC o una console esterna per funzionare.
- HTC Vive Pro 2³: si tratta di un visore VR di fascia alta che offre una risoluzione video molto elevata e una grande area di tracciamento, garantendo un'esperienza di realtà virtuale di alta qualità.
- PlayStation VR⁴: progettato per l'utilizzo con le console PlayStation 4 e PlayStation 5, è un'opzione più accessibile rispetto ad alcuni visori di fascia alta, pur offrendo un'esperienza immersiva.
- Valve Index⁵: prodotto da Valve Corporation, è un visore VR premium che offre una risoluzione elevata, un'ampia area di tracciamento e una serie di controller che consentono di interagire con l'ambiente virtuale in modo più preciso.

AR La realtà aumentata è una tecnologia che sovrappone elementi virtuali, come immagini, video, suoni o modelli 3D, al mondo reale, creando un'esperienza ibrida in cui gli oggetti virtuali possono interagire con l'ambiente circostante. A differenza della realtà virtuale, che crea un ambiente completamente digitale, la realtà aumentata sottolinea l'integrazione degli elementi fintizi con quelli del mondo vero.

L'esperienza AR avviene di solito attraverso dispositivi come smartphone, tablet o occhiali intelligenti, che utilizzano la fotocamera e i sensori per riconoscere e tracciare l'ambiente circostante. Gli oggetti virtuali vengono quindi sovrapposti all'immagine reale visualizzata sullo schermo del dispositivo, creando un'esperienza interattiva in cui gli utenti possono vedere e interagire con gli elementi reali e virtuali simultaneamente.

MR La Mixed Reality, conosciuta anche come Realtà Mista, è un tipo di tecnologia che unisce elementi del mondo reale e del mondo virtuale per creare nuovi ambienti

²<https://www.meta.com/it/en/quest/products/quest-2/>

³<https://www.vive.com/us/product/vive-pro2/overview/>

⁴<https://www.playstation.com/it-it/ps-vr2/>

⁵<https://store.steampowered.com/valveindex>

e visualizzazioni dove gli oggetti fisici e digitali coesistono e interagiscono in tempo reale.

È fondamentalmente una combinazione di realtà virtuale, che crea ambienti completamente digitali, e realtà aumentata, che sovrappone informazioni digitali al mondo reale. La mixed reality non solo inserisce oggetti virtuali nel mondo reale, ma permette all’utente di interagire con essi come se fossero reali, creando un’esperienza immersiva molto convincente.

2.1.5 Piattaforme Virtuali Sociali nel Metaverso

Nel contesto delle varie tecnologie precedentemente discusse, risulta fondamentale riconoscere il loro contributo all’introduzione di una serie di piattaforme sociali virtuali. Queste non costituiscono estensioni del nostro ambiente sociale, come potrebbe profilarsi il metaverso del futuro, bensì incarnano progressi tangibili verso la concretizzazione di questo affascinante concetto. Esploreremo alcune delle piattaforme emergenti che si stanno rapidamente avvicinando a questa visione.

Nelle tecnologie discusse precedentemente, è importante notare come abbiano contribuito alla creazione di piattaforme sociali virtuali. Queste non sono solo estensioni del nostro ambiente sociale, ma rappresentano passi concreti verso la realizzazione del concetto di metaverso. Esamineremo alcune di queste piattaforme emergenti che si avvicinano rapidamente a questa visione.

VRChat VRChat⁶ rappresenta un’esperienza unica di realtà virtuale, consentendo l’interazione tra utenti sotto forma di avatar tridimensionali. Questa piattaforma non solo permette di creare mondi virtuali personalizzati e giochi interattivi, ma offre anche la possibilità di partecipare a una varietà di eventi sociali all’interno del suo stesso ambiente. VRChat, pur essendo ottimizzata per l’utilizzo con visori VR, mantiene una notevole accessibilità anche attraverso l’uso di un semplice PC.

Decentraland Decentraland⁷ si distingue come il primo esempio di un ambiente basato su blockchain all’interno del metaverso. Sostenuto dalla blockchain Ethe-

⁶<https://hello.vrchat.com>

⁷<https://decentraland.org>

reum, Decentraland è un ecosistema digitale completo, che fornisce ai suoi utenti la possibilità di creare, esplorare e monetizzare contenuti e applicazioni. Offre inoltre l'opportunità di partecipare a eventi, giocare, scambiare beni e servizi nei suoi mercati virtuali, e interagire con persone provenienti da tutto il mondo.

Roblox Il metaverso di Roblox⁸ si sta rapidamente affermando come un fenomeno globale, con brand e tendenze del mondo reale che creano sinergie con la piattaforma. Con un'utenza in crescita, Roblox continua ad intensificare partnership innovative e significative con grandi marchi come Gucci, Disney, Netflix, e molti altri. Si presenta come un metaverso in stile Lego, dove gli utenti possono accedere ad un'ampia gamma di giochi —più di 20 milioni— realizzati da altri utenti.

The Sandbox The Sandbox⁹ rappresenta un altro esempio di metaverso virtuale, offrendo ai suoi utenti l'opportunità di giocare, costruire, possedere e monetizzare le loro esperienze virtuali. Questo complesso sistema di gioco basato su blockchain è composto da tre prodotti integrati, che insieme forniscono un'esperienza completa per i contenuti generati dagli utenti.

Spatial Infine, Spatial¹⁰ offre una soluzione per la collaborazione in ambienti virtuali. Questa piattaforma, accessibile attraverso realtà virtuale, PC e dispositivi mobili, rende l'accesso ai contenuti più intuitivo e coinvolgente, rappresentando una valida alternativa per chi ricerca un ambiente di lavoro collaborativo innovativo e immersivo.

Dopo questa ampia carrellata di piattaforme virtuali, è importante riflettere sulle applicazioni pratiche e innovative che potremmo in futuro avere. Una delle aree che sta guadagnando particolare attenzione è quella della didattica. Le piattaforme virtuali offrono un'opportunità unica di superare i limiti delle soluzioni di apprendimento tradizionali, specialmente in un mondo che sta diventando sempre più digitalizzato.

⁸<https://www.roblox.com>

⁹<https://www.sandbox.game/en/>

¹⁰<https://www.spatial.io/>

2.2 Metaverso nella didattica

Da un lato, l'affermazione del metaverso è una conseguenza del distanziamento sociale dovuto dalla pandemia COVID-19, che ha costretto studenti e docenti ad utilizzare piattaforme 2D —i.e., Microsoft Teams, Zoom, e tanti altri. Dall'altro, il successo in questo settore deriva dalla possibilità di affrontare e risolvere le limitazioni delle correnti tecnologie 2D garantendo immersività e presenza, rivoluzionando il modo in cui gli studenti apprendono le nozioni.

2.2.1 CyberCampus

Già nel 2006, Ekaterina et al. [24] discutevano il concetto di *cybercampuses*, un innovativo concetto che si riferisce ad ambienti virtuali progettati per replicare le caratteristiche fondamentali di un campus universitario tradizionale, nel dominio digitale. Tali cybercampuses sono stati concepiti per consentire agli studenti di partecipare a lezioni, seminari e altre attività educative in un contesto online, e ancor più importante, immersivo.

Nel loro articolo, gli autori sottolineano due caratteristiche cruciali che danno forma ai cybercampuses:

- Reale/Astratto: Un cybermondo può essere costruito per rappresentare un luogo esistente con un realismo quasi fotografico o può essere modellato in modo più artistico e interpretativo. Inoltre, il luogo o i suoi elementi possono deviare considerevolmente dalla realtà, sfidando le leggi fisiche e assumendo proporzioni o design che possono sembrare fuori dall'ordinario.
- Frontiere del cybermondo: Le frontiere in questi contesti possono essere i confini di una singola stanza o l'orizzonte vasto di un mare digitale. In sostanza, rappresentano i limiti spaziali che circoscrivono l'ambiente virtuale.

Nei cybercampus, la fantasia si fonde armoniosamente con l'esperienza educativa, dando vita a percorsi di apprendimento unici e pieni di emozioni. Immaginiamo, ad esempio, un'aula virtuale dedicata all'arte: in un corso su Van Gogh, gli studenti vengono catapultati in un mondo digitale che ricrea fedelmente l'atmosfera e lo stile

di uno dei suoi dipinti più celebri. Qui, immersi tra i colori vivaci e le pennellate audaci tipiche dell'artista, gli studenti hanno l'opportunità di esplorare il suo processo creativo, scoprendo i significati reconditi dietro ciascuna opera d'arte. Attraverso la magia della realtà virtuale, passato e presente si fondono, permettendo agli studenti di vivere in prima persona l'arte di un maestro senza tempo.

I benefici derivanti da questa dimensione digitale non si limitano semplicemente alla conduzione delle lezioni strutturate. All'interno di questi mondi virtuali, gli studenti hanno l'opportunità unica di esplorare e sperimentare attraverso i propri avatar, come menzionato in precedenza. Questo elemento introduce un aspetto ludico nel processo di apprendimento, facendo entrare in gioco dinamiche di role-play.

Pensiamo, ad esempio, a una lezione di storia: un insegnante appassionato di Napoleone potrebbe decidere di interpretare direttamente il ruolo dell'imperatore francese. Trasformandosi virtualmente in Napoleone, può narrare gli eventi storici in prima persona, catturando l'attenzione degli studenti con un racconto avvincente e coinvolgente. Questo approccio innovativo porta l'apprendimento ad un livello superiore di vivacità e interazione, evocando un forte senso di partecipazione e generando una connessione emotiva con la materia di studio.

Parlando in maniera più concreta, un'implementazione pionieristica del concetto di metaverso all'interno dell'ambito dei cybergampus è stata proposta nel 2021 da Duan et al. [21]. Essi hanno sviluppato un avanzato prototipo noto come "CUHKSZ Metaverse" con l'obiettivo di potenziare l'apprendimento e l'interazione sociale in un contesto accademico.

La piattaforma immersiva permette sia una prospettiva in prima persona che in terza, permettendo agli utenti di navigare un ambiente virtuale condiviso che replica il campus della Chinese University of Hong Kong, Shenzhen (CUHKSZ).

La piattaforma è stata concepita con un approccio cross-platform, permettendo l'accesso attraverso diversi dispositivi come computer e smartphone, ma sono stati preferiti in particolar modo questi ultimi per favorire l'adozione del sistema tra gli studenti, sfruttando il loro potenziale in termini di accessibilità, raccolta dati e interattività.

Il prototipo ha incorporato meccanismi di incentivazione basati sulla localizzazione, motivando gli studenti a frequentare specifiche aree del campus virtuale. Un ele-

mento chiave del successo del CUHKSZ Metaverse è stato l'enfasi sul User-Generated Content (UGC), consentendo agli utenti di creare contenuti personalizzati.

Nell'ottica di creare una comunità virtuale, la piattaforma ha adottato la tecnologia blockchain per una rete trasparente e democratica, con un ecosistema basato su token per incentivare le attività degli utenti.

Mentre il CUHKSZ Metaverse offre una rappresentazione eccellente di come i cybergampus possono essere utilizzati per migliorare l'apprendimento e l'interazione sociale, è importante riconoscere che si tratta solo di un aspetto di un approccio più ampio all'educazione basata sulla realtà virtuale. Ciò ci porta all'analisi di un'altra potenziale applicazione dell'educazione digitale, ovvero l'integrazione e l'utilizzo della realtà virtuale immersiva nella didattica.

2.2.2 Immersive Virtual Reality per l'educazione

Dallo studio precedentemente analizzato emerge naturalmente l'idea di sfruttare i vantaggi dell'IVR nel campo dell'istruzione. Risulta, tuttavia, fondamentale esplorare fino a che punto la sua applicazione può effettivamente tradursi in una migliore comprensione e applicazione pratica dei concetti acquisiti.

Diverse ricerche precedenti hanno confermato che l'IVR esercita un effetto positivo sia sulle performance di apprendimento che sui risultati ad esse correlati. Tra gli studi più influenti, quelli di Makransky, Borre-Gude e Mayer [25], insieme a quelli di Makransky e Petersen [26], hanno fornito dettagliate indicazioni riguardo alla motivazione, ai benefici cognitivi, all'immersione nell'esperienza virtuale, all'interesse, alla fiducia nelle proprie competenze e all'apprendimento di studenti coinvolti in simulazioni scientifiche di laboratorio.

Queste indagini hanno rivelato esiti rilevanti in merito agli ambienti scientifici IVR. Le conclusioni suggeriscono che questi ambienti possono influenzare l'apprendimento in modi sia positivi che negativi, a seconda di una serie di fattori e contesti.

Alla luce di queste considerazioni, emerge come imprescindibile un'accurata valutazione dell'efficacia dell'IVR in confronto ad altre metodologie didattiche, quali le lezioni tradizionali e l'insegnamento online. Tale confronto consente non solo

di identificare le aree di forza e di miglioramento dell'IVR, ma anche di delineare strategie di implementazione più consapevoli e personalizzate alle diverse esigenze didattiche.

CAPITOLO 3

Studi Correlati

In questo capitolo, esploreremo l'utilizzo degli Esperimenti Controllati per misurare l'efficacia della Realtà Virtuale Immersiva nel contesto educativo. Questa metodologia ci consente di pesare i vantaggi e gli svantaggi dell'IVR, evidenziando il suo impatto sul rendimento studentesco.

Studieremo ricerche che indicano sia benefici che limitazioni nell'adozione della tecnologia VR.

Discuteremo anche la necessità di ulteriori indagini, in particolare nell'ambito delle lezioni universitarie.

In sintesi, il capitolo fornirà un quadro generale dell'impiego dell'IVR in educazione, evidenziando le future sfide e opportunità.

3.1 Analisi degli Esperimenti Controllati nell'utilizzo dell'IVR nella didattica

Gli esperimenti controllati sono studi scientifici condotti in modo sistematico e rigoroso per testare ipotesi o verificare relazioni causali tra variabili, e si configurano

come un valido strumento per analizzare i vantaggi e gli svantaggi dell’applicazione dell’IVR nella didattica.

3.1.1 Esperimenti Controllati nell’ingegneria del software

Nell’ingegneria del software, gli esperimenti controllati hanno da tempo rappresentato una pietra miliare [27]. Questo metodo è ampiamente utilizzato per analizzare, testare e perfezionare nuove tecniche di programmazione, metodi di sviluppo software, strumenti e metodologie. Questa pratica consente ai professionisti del settore di confrontare diverse soluzioni, valutare le loro prestazioni in una varietà di contesti e condizioni, e infine scegliere quelle più promettenti e funzionali.

Un ulteriore aspetto che rende particolarmente utile l’applicazione degli esperimenti controllati è la loro capacità di esaminare in modo accurato le relazioni di causa-effetto. In altre parole, permettono di determinare se un cambiamento in una variabile (ad esempio, l’introduzione dell’IVR in un contesto educativo, rispetto all’utilizzo di metodi tradizionali di insegnamento) produce un effetto su un’altra variabile (come il miglioramento delle prestazioni degli studenti). Questa è una componente chiave nella comprensione di come e perché un certo intervento o tecnologia ha successo o fallisce, fornendo informazioni preziose che possono guidare decisioni future e miglioramenti.

Sjoeberg et al. [27] danno, infatti, la seguente definizione di esperimento controllato nell’ingegneria del software:

Esperimenti Controllati

Controlled experiment in software engineering (operational definition): A randomized experiment^a or a quasi-experiment^b in which individuals or teams (the experimental units) conduct one or more software engineering tasks for the sake of comparing different populations, processes, methods, techniques, languages, or tools (the treatments).

^aUn Randomized Experiment (Esperimento Randomizzato) è un tipo di studio in cui i partecipanti sono assegnati in modo casuale a vari gruppi sperimentali

^bUn Quasi-Experiment (Quasi-esperimento) è uno studio che assomiglia a un esperimento randomizzato, ma senza l’assegnazione casuale dei partecipanti ai gruppi

Nei paragrafi successivi, prenderemo in considerazione alcuni esempi di esperimenti controllati tratti dalla letteratura scientifica, focalizzati sull’efficacia dell’IVR in ambito didattico. Questi studi sono stati accuratamente progettati per indagare specifici aspetti delle prestazioni dell’IVR, come l’incremento delle competenze degli studenti, il coinvolgimento durante l’apprendimento e la qualità complessiva dell’esperienza educativa.

Strutture Dati Nella Realtà Virtuale Uno studio condotto da Akbulut et al. [5] offre un esempio notevole dell’impiego della Realtà Virtuale nel settore educativo. In questa ricerca, gli autori hanno ideato un sistema VR, denominato VR-ENITE, volto a potenziare l’insegnamento delle strutture dati all’interno di un corso di Ingegneria Informatica.

I partecipanti allo studio sono stati ripartiti in due gruppi: il primo ha seguito un percorso di insegnamento tradizionale arricchito dall’uso del sistema VR, mentre il secondo ha proseguito con il metodo didattico convenzionale. Il sistema VR-ENITE ha abilitato una connessione multi-peer tra il tablet dell’insegnante e gli headset VR degli studenti, rendendo l’accesso ai contenuti didattici più intuitivo e coinvolgente.

Per valutare l’efficacia dell’integrazione della VR nell’apprendimento, è stato somministrato un esame a risposta multipla focalizzato su vari algoritmi di ordinamento, tra cui bubble sort, selection sort e insertion sort. Dall’analisi delle risposte è emerso che, in media, gli studenti che hanno utilizzato il sistema VR-ENITE hanno conseguito risultati statisticamente significativi rispetto a quelli che hanno seguito il metodo didattico tradizionale.

In aggiunta alla migliore performance, gli studenti che hanno impiegato il sistema VR hanno dimostrato un coinvolgimento più attivo nel corso delle lezioni, trovando il tema trattato più interessante rispetto ai colleghi che hanno adottato l’approccio didattico tradizionale.

Tuttavia, è importante notare che il sistema VR-ENITE si basava sull’utilizzo di smartphone che fungevano da caschetti, invece di veri e propri visori per la realtà virtuale. Questa scelta potrebbe aver introdotto alcune limitazioni nell’esperienza di apprendimento offerta agli studenti. Gli smartphone, sebbene abbiano dimostrato

di essere strumenti versatili, accessibili e low-cost, non forniscono la stessa qualità e immersività di un caschetto VR dedicato.

Apprendimento dell’Anatomia del Cuore con Realtà Virtuale Proseguiamo l’analisi focalizzandoci sullo studio di Zinchenko et al. [4]

Lo studio ha coinvolto la partecipazione di tre gruppi di studenti, selezionati casualmente, i quali hanno approfondito l’anatomia del cuore umano attraverso tre diversi metodi pedagogici: un approccio tradizionale basato su risorse cartacee, un modello 3D interattivo presentato su un monitor di computer e infine un modello di cuore umano visualizzato attraverso IVR.

Al termine delle sessioni didattiche, gli studenti hanno svolto un test di anatomia del cuore umano, composto da 28 domande a risposta aperta. Dai risultati è emerso un aumento significativo del numero di risposte corrette per il gruppo che ha utilizzato l’IVR, sia in confronto alla propria performance iniziale, sia rispetto agli altri gruppi. Si è notato, in particolare, che i partecipanti con minore conoscenza pregressa nel gruppo IVR hanno mostrato il maggiore miglioramento dopo l’esperienza di apprendimento con IVR.

Gli autori hanno inoltre valutato l’efficacia dei diversi formati di presentazione del materiale didattico. Le evidenze raccolte suggeriscono che l’impiego di IVR conduce a un significativo miglioramento delle competenze acquisite rispetto agli altri due metodi. In modo specifico, l’incremento delle risposte corrette nel gruppo IVR era più marcato tra coloro che presentavano un livello di conoscenza iniziale più basso.

La ricerca evidenzia quindi come l’IVR possa facilitare un apprendimento più efficiente in confronto sia ai metodi tradizionali, sia all’utilizzo di un modello 3D su schermo. Secondo gli autori, tale vantaggio potrebbe essere attribuito alla rappresentazione olistica e dinamica offerta dall’IVR, che permette agli studenti di cogliere immediatamente le relazioni tra le varie caratteristiche anatomiche e di memorizzare l’intero sistema in maniera intuitiva.

Nonostante gli incoraggianti risultati, Zinchenko et al. sottolineano alcune limitazioni del loro studio. Ad esempio, l’appeal della novità dell’IVR potrebbe aver influenzato la motivazione degli studenti, contribuendo così al maggiore successo rilevato nei test dopo l’utilizzo di tale tecnologia.

Confronto tra Microsoft Teams e Mozilla Hubs per Lezioni Online L'esperimento condotto nell'articolo di Hagler et al. [28] rappresenta un'altro contributo significativo al campo dell'educazione digitale e all'uso delle tecnologie immersive, nelle lezioni online. L'obiettivo principale dell'esperimento era valutare l'efficacia di due diverse modalità di partecipazione alle lezioni online: l'uso di Microsoft Teams, una piattaforma di videoconferenza standard, e Mozilla Hubs, una social VR platform.

Una delle principali conclusioni dell'esperimento è stata la rilevazione di una maggiore "sensazione di presenza" tra i partecipanti quando utilizzavano Mozilla Hubs, rispetto a Microsoft Teams. Questo risultato è significativo in quanto indica che le piattaforme VR sociali possono offrire un ambiente di apprendimento online più coinvolgente rispetto alle piattaforme standard di videoconferenza. Tuttavia, è importante notare che i partecipanti hanno riscontrato alcune difficoltà legate all'usabilità delle piattaforme VR, il che suggerisce che vi è spazio per miglioramenti in questo settore.

Tre le limitazioni dell'esperimento c'è stata la mancanza di dispositivi VR tra gli studenti, il che ha reso necessario l'uso di Mozilla Hubs in 2D anziché in modalità immersiva. Questo ha inevitabilmente influenzato l'esperienza e le valutazioni dell'usabilità della piattaforma.

Un'altra rilevante limitazione di questo studio che vale la pena menzionare è che non si è considerato la possibilità che gli studenti che hanno utilizzato Mozilla Hubs potessero dimostrare un grado di apprendimento superiore rispetto agli studenti che hanno utilizzato il sistema tradizionale con Microsoft Teams. L'esperimento si è concentrato principalmente sulla valutazione della "sensazione di presenza" e dell'usabilità tra le diverse modalità.

Simulazione della Manutenzione Aerea nella realtà virtuale Il recente articolo "Virtual Reality Metaverse System Supplementing Remote Education Methods: Based on Aircraft Maintenance Simulation" [3] pubblicato sulla rivista Applied Sciences nel 2022 da Hyeyonju Lee, Donghyun Woo e Sunjin Yu, presenta un sistema innovativo che unisce le tecnologie della realtà virtuale per migliorare la formazione a distanza nel settore della manutenzione aeronautica, superando le carenze dei metodi di formazione remota tradizionali.

Gli autori hanno creato una simulazione sofisticata per l'addestramento in manutenzione aerea. Hanno poi effettuato un esperimento per comparare l'efficacia formativa della loro soluzione rispetto a quella dei metodi convenzionali basati su video. Per valutare il successo educativo, sono stati utilizzati test specifici per misurare sia l'acquisizione che la ritenzione delle competenze. Inoltre, il grado di "presenza" percepita dai partecipanti nel mondo virtuale¹ è stato esplorato attraverso un questionario dedicato.

I risultati hanno dimostrato che i partecipanti che hanno utilizzato il sistema in questione hanno ottenuto punteggi significativamente più elevati nei test di competenza rispetto a quelli formati attraverso metodi video-based. Le risposte al questionario sulla "presenza" hanno confermato un elevato senso di immersione spaziale, suggerendo che il sistema è altamente utilizzabile e efficace.

Gli autori sostengono che la loro soluzione tecnologica offre vantaggi significativi come strumento educativo, particolarmente nel campo della formazione specialistica come la manutenzione aeronautica. Pur essendo focalizzati su un'applicazione specifica, hanno identificato il potenziale per una più ampia integrazione della formazione tecnica.

Tour Virtuale dell'Osservatorio ALMA attraverso VRChat Infine, facciamo riferimento a un esperimento che ha implementato l'uso di VRChat [6]. Questa ricerca ha comportato un tour virtuale dell'Osservatorio ALMA, con i partecipanti che interagivano con l'ambiente e la guida attraverso diverse interfacce: Display montati sulla testa, l'opzione desktop di VRChat e la trasmissione live su YouTube. L'intento era di valutare l'esperienza vissuta dagli utenti, il grado di coinvolgimento e la capacità di comprensione dei concetti scientifici proposti.

L'esperienza ha ricevuto feedback positivi dai partecipanti, molti dei quali hanno sottolineato l'immersione e la sensazione di realtà offerta dall'ambiente CG. Infatti anche se solo due persone (inclusa la guida) avevano effettivamente visitato l'Osservatorio ALMA, entrambi hanno riferito che l'esperienza VR era molto simile a una visita in loco. I partecipanti hanno usato parole come "sensazione realistica" e

¹Il concetto di "presenza" in realtà virtuale fa riferimento alla sensazione soggettiva di trovarsi effettivamente in un ambiente digitale, nonostante la propria collocazione fisica possa essere diversa.

"davanti a me", suggerendo che l'esperienza con il caschetto VR ha offerto un buon senso di immersione.

L'articolo sottolinea anche l'importanza dell'interazione tra i partecipanti e la guida. I partecipanti hanno apprezzato la vicinanza virtuale con la guida, facilitata dal fatto che tutti erano rappresentati da avatar amichevoli. Questo ha permesso di creare un'atmosfera in cui era più semplice fare domande.

3.1.2 Limitazioni degli articoli e necessità di ulteriori ricerche

Il presente studio di tesi si propone di contribuire allo stato dell'arte dell'apprendimento nella IVR affrontando alcune delle limitazioni che sono state riscontrate in letteratura e negli articoli scientifici precedentemente citati. Ad esempio, sebbene alcuni studi, come quello di Hagler et al. [28], abbiano indagato l'utilizzo di piattaforme sociali quali Mozilla Hubs, questi ricerche non hanno impiegato visori di Realtà Virtuale Immersiva. Questa omissione rappresenta una lacuna significativa nella nostra comprensione delle reali potenzialità della IVR nel contesto didattico.

Sotto questo punto di vista, una piattaforma che si distingue per il suo potenziale nel campo dell'istruzione virtuale è VRChat. Questo strumento presenta una serie di caratteristiche uniche che lo rendono particolarmente interessante. Tra queste, la possibilità di interagire e comunicare in tempo reale con altri utenti offre un terreno fertile per l'implementazione di una varietà di metodologie pedagogiche innovative. Inoltre, una delle sue peculiarità più notevoli è il grado di libertà unico che offre nella creazione degli ambienti virtuali, poiché i mondi all'interno di VRChat sono basati su Unity 3D. Questo aspetto apre la porta a un'ampia gamma di applicazioni educative personalizzabili, dal momento è possibile costruire o modificare mondi virtuali per soddisfare specifici obiettivi didattici.

Tuttavia, è importante notare che, nonostante il notevole potenziale, la letteratura scientifica esistente è carente di studi che esplorino in modo specifico e dettagliato l'uso di VRChat come strumento educativo. Pertanto, il nostro esperimento si pone l'obiettivo di condurre un'analisi comparativa per valutare l'efficacia delle lezioni frontali in due ambienti distinti: l'ambiente del "metaverso", utilizzando la piatta-

forma VRChat, con un ambiente di comunicazione più tradizionale –e.g. microsoft teams, zoom –.

Inoltre si intende introdurre anche un innovativo approccio che prevede la registrazione dei movimenti dell'insegnante su un avatar personalizzato. Questa combinazione di tecnologie e metodologie è pressoché inedita nel panorama degli studi accademici.

Anche dal punto di vista pedagogico, l'ambizione del nostro studio è quella di superare le restrizioni imposte dalla ricerca esistente, che ha frequentemente relegato l'IVR a ruoli secondari, utilizzandola prevalentemente come uno strumento per la simulazione di scenari specifici o per la valutazione dell'efficacia dell'apprendimento. Questi studi hanno spesso trascurato di esplorare le potenzialità dell'IVR come mezzo per la consegna di lezioni frontali, una delle modalità didattiche più consolidate e diffuse nell'ambito dell'istruzione superiore.

In contrasto con tale orientamento, il nostro esperimento pone un forte accento sull'utilizzo della IVR specificamente per le lezioni frontali. Ciò rappresenta un cambio di paradigma, in quanto miriamo a dimostrare che la Realtà Virtuale Immersiva può essere efficace non solo in contesti specializzati o per applicazioni di nicchia, ma anche nell'ambito di prassi didattiche ampiamente adottate. La scelta di questo focus è motivata dalla volontà di fornire una comprensione più completa e sfaccettata delle molteplici applicazioni formative che la IVR può offrire.

Vogliamo, quindi, investigare se e come la IVR può migliorare la qualità dell'istruzione in un contesto di lezione frontale, valutando ad esempio l'impatto sulla partecipazione degli studenti, sull'ingaggio emotivo e cognitivo, o anche sulla facilità con cui vengono assorbiti e applicati i concetti chiave.

Con l'esecuzione di questo esperimento rigoroso e multidimensionale, aspiriamo a fornire nuovi dati empirici e spunti teorici che possono contribuire in modo significativo al crescente corpus di ricerca sulla Realtà Virtuale Immersiva.

CAPITOLO 4

Metodologia

L’obiettivo principale di questo capitolo è descrivere la metodologia adottata per condurre un esperimento controllato volto a comparare due differenti modalità di lezioni frontali. La condizione sperimentale ha coinvolto l’utilizzo di visori per realtà virtuale che hanno permesso agli studenti di immergersi in un ambiente di apprendimento tridimensionale e interattivo. La condizione di controllo, d’altra parte, ha fatto affidamento sull’utilizzo della piattaforma Microsoft Teams, offrendo una modalità più convenzionale di interazione.

4.1 Domande Di Ricerca

Ad oggi, strumenti come Teams e altre piattaforme di videoconferenza rappresentano il fulcro dell’istruzione a distanza. Nonostante la loro praticità e la loro onnipresenza, presentano comunque importanti limitazioni, soprattutto per quanto riguarda la capacità di mantenere studenti e docenti coinvolti. Da qui nasce l’interesse nel sondare l’IVR, non solo come alternativa, ma come possibile evoluzione dei metodi tradizionali di istruzione remota. Questo ci porta alla formulazione della prima domanda di ricerca:

Q RQ₁. *In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l'**user engagement** nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?*

Ma l'engagement degli studenti è solo una parte della storia. È altrettanto cruciale valutare l'efficacia di queste nuove tecnologie nel facilitare la comprensione del materiale didattico. Un ambiente di apprendimento che è sia coinvolgente che efficace potrebbe rappresentare un significativo passo avanti nel mondo dell'educazione.

Sulla base di ciò, passiamo ora alla presentazione della seconda domanda di ricerca:

Q RQ₂. *In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare il **grado di apprendimento** nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?*

Infine, è fondamentale esaminare gli effetti collaterali potenziali, come l'affaticamento cognitivo e fisico. L'uso prolungato di dispositivi di realtà virtuale è stato associato a fenomeni come il "motion sickness" e le "eye seizure," che potrebbero compromettere la salute e il benessere degli studenti [29]. Allo stesso tempo, le piattaforme di comunicazione più tradizionali sono diventate la norma per l'istruzione a distanza, ma anche queste non sono esenti da problemi come la "Zoom fatigue"¹ [30]. In seguito a queste considerazioni, arriviamo alla formulazione della terza e ultima domanda di ricerca:

Q RQ₃. *In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l'**affaticamento(cognitivo e fisico)** nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?*

Un confronto diretto tra questi diversi strumenti potrebbe fornire intuizioni preziose su quale modalità di apprendimento possa essere più efficace e meno affaticante.

4.2 Design dell'esperimento

Nella presente sezione, si troverà una dettagliata descrizione della pianificazione e della progettazione dell'esperimento condotto. La metodologia che abbiamo adottato è stata ispirata e guidata dal modello specifico per la conduzione di sperimentazioni

¹La "Zoom fatigue" è un termine che descrive la sensazione di stanchezza, affaticamento o esaurimento mentale che si può sperimentare dopo aver partecipato a riunioni virtuali, spesso tramite la piattaforma Zoom o simili

all'interno del campo dell'ingegneria del software, così come è descritta da C. Wohlin et al. [31] (figura 4.1).

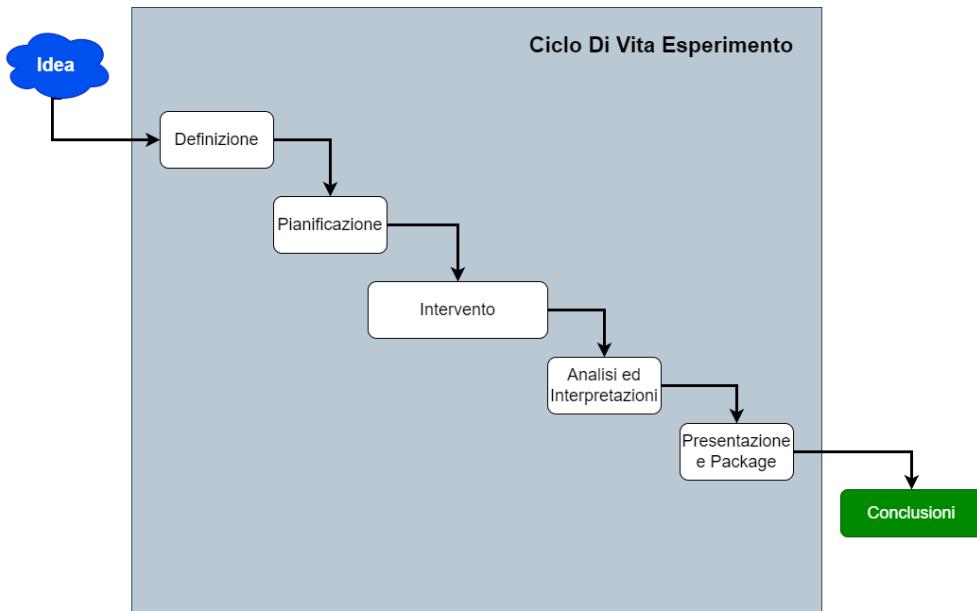


Figura 4.1: Metodologia Esperimento

I passi che si seguiranno possono essere riassunti in:

- **Idea**: Questa è la fase iniziale in cui si identifica un fenomeno o una questione di interesse. Può essere ispirato da osservazioni precedenti, letture o discussioni.
- **Definizione**: In questa fase, si formula un'ipotesi chiara e testabile basata sull'idea iniziale. L'ipotesi è una previsione informata che può essere verificata sperimentalmente.
- **Pianificazione**: Qui, si progetta l'esperimento. Si decide come testare l'ipotesi, quali variabili misurare, come controllare le variabili estranee e quali strumenti o attrezzature utilizzare.
- **Intervento**: Questa è la fase di esecuzione dell'esperimento. Si raccolgono dati seguendo il piano stabilito, assicurandosi di mantenere condizioni controllate e di registrare accuratamente i risultati.
- **Analisi ed Interpretazione**: Dopo aver raccolto i dati, si analizzano per determinare se sostengono o confutano l'ipotesi. Questo potrebbe includere l'uso di statistiche, grafici e altre tecniche di analisi dei dati.

- **Presentazione e Package:** I risultati dell'analisi vengono poi presentati in un formato comprensibile, spesso sotto forma di un articolo scientifico, una presentazione o un poster.
- **Conclusioni:** Basandosi sui risultati e sull'analisi, si traggono conclusioni sull'ipotesi. Si riflette anche sulle implicazioni dei risultati, sulle possibili limitazioni dell'esperimento e sulle future direzioni di ricerca

4.2.1 Definizione

Utilizzando il modello noto come Goal Question Metric (GQM) [32], che rappresenta un approccio strutturato per stabilire obiettivi specifici, è possibile delineare e articolare chiaramente l'obiettivo in questione, come descritto nella tabella 4.1.

Object Of Study	Visori per realtà virtuale o piattaforme online di videoconferenza (teams)
Purpose	Confrontare le differenze tra l'utilizzo dell'uno o dell'altra piattaforma Grado di apprendimento,
Quality Focus	Grado di engagement con la lezione, Grado di affaticamento cognitivo e fisico
Perspective	Ricercatore
Context	Esperimento con studenti e docenti del corso di laurea in informatica. I docenti tengono la lezione agli studenti nell'ambiente virtuale o su teams.

Tabella 4.1: Definizione Goal Esperimento

È quindi possibile articolare l'obiettivo dell'esperimento nel seguente modo:

◎ **Goal.** Obiettivo dell'esperimento controllato è confrontare l'utilizzo di software per la realtà virtuale usando caschetti VR con le piattaforme online di videoconferenza come Teams. L'attenzione è focalizzata sul grado di apprendimento, coinvolgimento ed affaticamento fisco-cognitivo degli studenti. La prospettiva è quella del ricercatore e il contesto coinvolge studenti e docenti del corso di laurea in informatica, con i docenti che tengono lezioni agli studenti sia nell'ambiente virtuale che su Teams.

4.2.2 Contesto

I partecipanti all'esperimento sono studenti iscritti al corso di laurea triennale in Informatica, e le loro competenze variano a seconda dell'anno di studio:

- **Primo Anno:** Gli studenti in questo stadio del loro percorso accademico si concentrano su fondamenti come la programmazione base, l'architettura degli elaboratori, la logica informatica e le strutture dati.
- **Secondo Anno:** In questo anno, gli studenti avanzano verso argomenti più complessi come la programmazione a oggetti, la gestione dei database, i sistemi operativi, lo sviluppo web e l'analisi e progettazione di algoritmi.
- **Terzo Anno:** Nel loro anno finale, gli studenti si immergono in argomenti specializzati come l'ingegneria del software, la programmazione distribuita e la teoria della computazione.

Data la possibile varietà di background ed esperienze pregresse tra i partecipanti, un pre-test è stato somministrato a tutti i soggetti prima dell'inizio dell'esperimento. Questo è servito a due scopi fondamentali: in primo luogo, per sondare il livello di conoscenza iniziale sull'argomento in questione (quantum computing); in secondo luogo, per fornire un punto di riferimento che ha consentito di misurare il grado di apprendimento attraverso un confronto con i risultati del post-test.

In aggiunta, il questionario di partecipazione, che è stato distribuito a coloro che hanno espresso interesse a far parte dell'esperimento, ha avuto un ruolo cruciale nella selezione dei candidati. Il questionario includeva una clausola specifica per esplorare l'esperienza pregressa con i visori VR. Questa clausola è stata inserita con l'intento di mitigare l'effetto della appeal tecnologico, che altrimenti avrebbe potuto compromettere i risultati relativi all'efficacia pedagogica (intesa come miglioramento del grado di apprendimento) dell'IVR nelle lezioni frontali.

Gli oggetti sperimentali manipolati nell'esperimento sono stati due. Il primo è consistito in un visore per la realtà virtuale (Oculus Rift S figura 4.2), abbinato alla piattaforma sociale VRChat, nella quale è stata creata una simulazione di una classe virtuale, realizzata utilizzando l'SDK di VRChat e Udon, un linguaggio di programmazione basato su C#.



Figura 4.2: Oculus Rift S e i controller touch

Per la lezione è stato deciso di procedere con una pre-registrazione del docente, utilizzando Mocap Fusion² (figura 4.4) per catturare e trasportare i movimenti dell'insegnante su un "digital twin" all'interno di VRChat. Inoltre, c'era la necessità di garantire che ogni partecipante all'esperimento avesse accesso alla stessa lezione, riducendo così eventuali bias. L'avatar 3d del docente ha interagito anche con una lavagna virtuale, su cui sono state proiettate delle slides, al fine di arricchire e supportare la lezione. Si può osservare la classe virtuale creata nella figura 4.5 e la lezione nella figura 4.3.

Il secondo oggetto sperimentale è rappresentato dalla piattaforma di videoconferenza Teams. Il rationale dietro la scelta di questo software è scaturito da una ricerca sui tool disponibili sul mercato. Come sottolineato da un'analisi approfondita redatta da Ravinder Singh and Soumya Awasthi [1], Microsoft Teams si distingue come una delle piattaforme più affidabili e ampiamente utilizzate nel suo settore.

Il software ha visto un incremento esponenziale dell'uso, con un aumento del 1000% nelle videoconferenze registrate nel mese di marzo 2020 (grazie, ovviamente

²Mocap Fusion [VR] è uno strumento VR che permette agli artisti e animatori di immergersi in uno spazio virtuale per creare e salvare animazioni di motion capture. Questo può essere fatto usando dispositivi VR tradizionali e permette anche di produrre contenuti in tempo reale. <https://www.mocapfusion.com/>



Figura 4.3: Lezione In VrChat

al COVID-19) e un record di 2,7 miliardi di minuti di riunioni accumulate in una singola giornata. Oltre a questo, Teams è stato adottato da ben 183.000 istituzioni educative distribuite in 175 paesi, evidenziando la sua flessibilità e applicabilità in una varietà di contesti educativi [1].

Teams non è solo un leader nel campo della comunicazione digitale, è anche una piattaforma costruita su una base solida e sicura —i.e., Office 365 una piattaforma cloud di livello aziendale. Questo le conferisce funzionalità di sicurezza e conformità avanzate, come l'autenticazione a due fattori e la crittografia end-to-end dei dati. Inoltre, un articolo online recente ha rivelato che durante la pandemia circa 90.000 docenti in Italia hanno ampliato le loro competenze tecnologiche partecipando a webinar dedicati agli strumenti di Office 365 Education [33]. Sorprendentemente, oltre il 70% delle università italiane ha adottato Microsoft Teams come piattaforma di comunicazione principale [33].

Questi dati consolidano ulteriormente la posizione di Microsoft Teams come lo strumento ideale per essere confrontato con la Realtà Virtuale Immersiva nel contesto educativo.

A differenza dell'approccio in realtà virtuale, la lezione su Teams è stata presentata attraverso un normale video pre-registrato e arricchito da slide. Ciò ha offerto un'esperienza di apprendimento più tradizionale, alla quale gli studenti sono



Figura 4.4: Gestione del tracking in Mocap Fusion

generalmente più abituati.

In sintesi, la preregistrazione delle lezioni è servita a realizzare il nostro obiettivo principale: emulare un ambiente di lezione frontale, dove l'interazione è tradizionalmente minimizzata. Gli studenti, in questa impostazione, si concentrano prevalentemente su appunti e solitamente pongono domande solo al termine della sessione. La preregistrazione, quindi, garantisce non solo una coerenza e una uniformità tra tutti i partecipanti, ma anche un quadro di valutazione imparziale e preciso delle diverse metodologie didattiche in questione.

4.2.3 Definizione Ipotesi

Nell'ambito degli esperimenti controllati, è fondamentale stabilire le ipotesi nulle [34]. Queste rappresentano una parte essenziale della progettazione sperimentale e servono come punto di riferimento contro cui vengono testate le ipotesi alternative. Le ipotesi nulle assumono che non vi sia alcun effetto o differenza significativa nell'esperimento, e qualsiasi variazione osservata è attribuibile soltanto al caso o ad altri fattori non controllati. La verifica o la reiezione delle ipotesi nulle permette agli scienziati di determinare se i risultati ottenuti sono statisticamente significativi

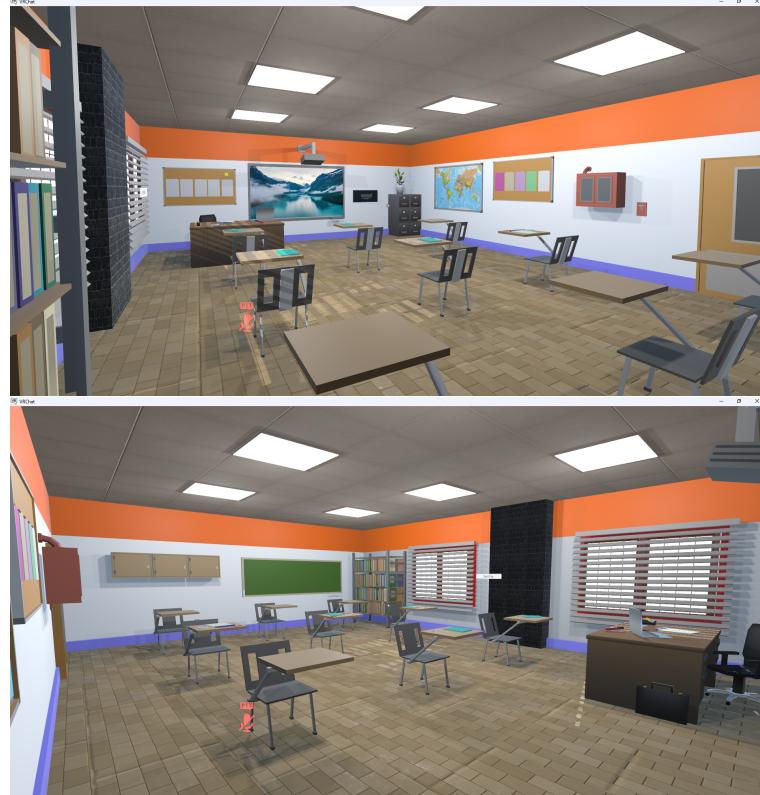


Figura 4.5: Classe virtuale in VRChat

o se sono semplicemente il risultato di fluttuazioni casuali. Pertanto, la definizione accurata delle ipotesi nulle è un passo cruciale per assicurare la validità e l'integrità dell'intero processo sperimentale.

Nell'esperimento condotto, le ipotesi nulle e alternative (tabella 4.2) sono state direttamente formulate a partire dalle domande di ricerca. Ad esempio, esaminiamo la prima RQ: *In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l'engagement nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?*

Da questa domanda di ricerca, sono emerse le seguenti ipotesi.

- H_0 : Non ci sono differenze statisticamente significative nel grado di **user engagement** con la lezione tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams
- Ha : Esistono differenze statisticamente significative nel grado di **user engagement** con la lezione tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams?

Si evidenzia subito un legame diretto tra la RQ1 e le ipotesi formulate.

Questo stesso processo è stato replicato altre due volte per le rimanenti domande di ricerca.

Tabella 4.2: Ipotesi nulle ed alternative

Ipotesi	Descrizione
$H0_1$	Non ci sono differenze statisticamente significative nel grado di user engagement con la lezione tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams
Ha_1	Esistono differenze statisticamente significative nel grado di user engagement con la lezione tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams
$H0_2$	Non ci sono differenze statisticamente significative nel grado di apprendimento tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams
Ha_2	Esistono differenze statisticamente significative nel grado di apprendimento tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams
$H0_3$	Non ci sono differenze statisticamente significative nel grado di affaticamento fisico e cognitivo tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams
Ha_3	Esistono differenze statisticamente significative nel grado di affaticamento fisico e cognitivo tra gli studenti che utilizzano i visori per la realtà virtuale e quelli che utilizzano piattaforme online di teleconferenza come Teams

Nota: $H0$ si riferisce alle ipotesi nulle, mentre Ha si riferisce alle ipotesi alternative

4.2.4 Definizione variabili dipendenti ed indipendenti

Nella seguente sezione verranno delineate le variabili dipendenti e indipendenti individuate per l'esperimento.

Variabili Indipendenti

Le variabili indipendenti in un esperimento sono quelle che vengono manipolate o controllate dal ricercatore per osservare gli effetti su altre variabili, tipicamente le variabili dipendenti sono la causa presunta che viene testata per vedere se si produce un effetto specifico.

Nel contesto del nostro esperimento, è stata selezionata una singola variabile indipendente, denominata 'modalità di apprendimento', che ha potuto assumere due valori distinti, rappresentanti i due differenti metodi di insegnamento:

- **NO_VR**: Questo valore rappresenta l'utilizzo del metodo di apprendimento tradizionale, in cui non si fa uso di visori di realtà virtuale, ma si adopera Microsoft Teams.
- **SI_VR**: Questo valore indica l'utilizzo di visori di realtà virtuale, permettendo l'apprendimento all'interno di un ambiente didattico specificamente creato su VRChat.

Variabili Dipendenti

Le variabili dipendenti rappresentano l'elemento che in un esperimento o studio si intende prevedere o quantificare. Sono le variabili che si ritiene possano essere influenzate o determinate dalle variabili indipendenti, rendendo quindi queste ultime fondamentali per comprendere le relazioni causali all'interno dell'indagine.

Le variabili dipendenti che sono state definite nell'esperimento sono tre e corrispondono alle ipotesi (tabella 4.2) che sono state definite in precedenza:

- **Grado Di Apprendimento**: Valutazione della conoscenza acquisita dagli studenti attraverso test o quiz, verrà indicata con *gAppr*.

- **Grado Di Engagement:** Valutazione dell'interesse, coinvolgimento e partecipazione attiva degli studenti durante la lezione tramite sondaggi o questionari ad hoc, verrà indicata con *gEng*.
- **Grado Di Affaticamento Cognitivo e Fisico:** Misurazione del livello di fatica e stanchezza mentale e fisica riferito dagli studenti tramite scale di valutazione soggettiva o domande strutturate, verrà indicata con *gAff*

Metodologia e scala di valutazione *gAppr* Nella valutazione della variabile *gAppr*, che rappresenta il grado di apprendimento, si utilizza un approccio metodologico quantitativo. Entrambi il pre-test³ e il post-test⁴ sono strutturati con un set di 15 domande mirate a valutare le competenze o le conoscenze in esame. Il grado di apprendimento viene successivamente calcolato mediante un'analisi differenziale dei punteggi ottenuti nei pre-test e post-test.

Questa metodologia offre un mezzo diretto e quantificabile per misurare il livello di progresso e l'assimilazione di nuove competenze o conoscenze da parte degli studenti nel contesto dell'intervento didattico.

Metodologia e scala di valutazione *gEng* Per la misurazione della variabile *gEng*, è stata utilizzata la User Engagement Scale (UES) [35]. Questo strumento è stato sviluppato specificamente per quantificare l'UE (User Engagement) ed è stato applicato in diverse aree digitali. La versione originale della UES includeva 31 elementi suddivisi in sei dimensioni dell'interazione: attrattiva estetica, attenzione focalizzata, novità, usabilità percepita, coinvolgimento percepito e resistenza. La versione adottata in questo contesto è una variante ristretta composta da 12 item⁵, proposta da O'Brien et al. [35], come illustrato nella tabella 4.3. La scelta di utilizzare la versione ristretta è stata guidata da diverse ragioni. Primo, offre una maggiore praticità e rapidità nella somministrazione, riducendo il tempo necessario per completare il questionario e

³pre-test: <https://github.com/benedettoscala/MetaverseTeachingExperimentation/blob/main/QuestionnaireAndQuestions/Compiled/pretest.pdf>

⁴post-test: <https://github.com/benedettoscala/MetaverseTeachingExperimentation/blob/main/QuestionnaireAndQuestions/Compiled/posttest.pdf>

⁵UES-SF: <https://github.com/benedettoscala/MetaverseTeachingExperimentation/blob/main/QuestionnaireAndQuestions/Compiled/EngagementVR.pdf>

minimizzando la fatica per i partecipanti. Secondo, la versione ristretta mantiene l'essenzialità e la validità dei principali costrutti misurati, garantendo al contempo una maggiore focalizzazione sui punti chiave dell'indagine [35].

Sigla	Domanda
Attenzione Focalizzata	
FA-S.1	Mi sono perso/a in questa esperienza.
FA-S.2	Il tempo trascorso seguendo la lezione è semplicemente volato via.
FA-S.3	Ero assorbito/a da questa esperienza.
Usabilità Percepita	
PU-S.1	Mi sono sentito/a frustrato/a durante l'utilizzo dell'applicazione.
PU-S.2	Ho trovato confusa l'Applicazione nell'uso.
PU-S.3	Utilizzare questa Applicazione è stato faticoso.
Attrattiva Estetica	
AE-S.1	Questa Applicazione era attraente.
AE-S.2	Questa Applicazione aveva un design esteticamente gradevole.
AE-S.3	Questa Applicazione ha stimolato i miei sensi.
Esperienza Interattiva	
RW-S.1	L'utilizzo di questa applicazione è stato utile.
RW-S.2	La mia esperienza è stata gratificante.
RW-S.3	Mi sono sentito/a interessato/a in questa esperienza.

Tabella 4.3: Domande della User Engagement Scale (UES)

Le sigle prima di ogni domanda stanno per:

- **FA:** Attenzione focalizzata, la sensazione di essere assorbiti nell'interazione e di perdere la percezione del tempo (3 elementi).
- **PU:** Usabilità percepita, l'affetto negativo sperimentato a seguito dell'interazione e il grado di controllo e sforzo impiegato (3 elementi).
- **AE:** Attrattiva estetica, l'attrattività e l'appeal visivo dell'interfaccia (3 elementi).
- **RW (Esperienza Interattiva) si compone di:** (3 elementi)
 - **EN:** Resistenza, il successo complessivo dell'interazione e la volontà degli utenti di raccomandare un'applicazione ad altri o di interagire con essa in futuro.

- **NO:** Novità, curiosità e interesse nell'attività interattiva.
- **FI:** Coinvolgimento percepito, il senso di essere "coinvolti" e divertirsi.

La scala di valutazione è una scala Likert da 1 (Completamente in disaccordo) a 5 (Completamente d'accordo).

Scoring I punteggi per le quattro sottoscale si ottengono facendo la media delle risposte alle relative domande. Ad esempio, "Attrattiva Estetica" sarebbe calcolata sommando AE-S1, AE-S2 e AE-S3 e dividendo per tre.

Un punteggio complessivo di coinvolgimento è calcolato sommando tutti gli elementi insieme e dividendo per dodici.

Metodologia e scala di valutazione gAff Per la misurazione della variabile *gAff* è stato utilizzato il NASA-TLX⁶. Progettato dalla NASA, il NASA-TLX consiste in una scala multidimensionale che valuta il carico di lavoro lungo sei dimensioni distinte:

- **Richiesta Mentale:** La quantità di pensiero, concentrazione, calcolo e decisione necessaria per svolgere il compito.
- **Richiesta Fisica:** La quantità di sforzo fisico richiesta.
- **Richiesta Temporale:** La pressione del tempo associata all'esecuzione del compito.
- **Prestazione:** Quanto bene l'individuo ritiene di aver eseguito il compito.
- **Sforzo:** Quanto sforzo ha richiesto all'individuo per ottenere il livello di prestazione.
- **Frustrazione:** Il livello di irritazione, stress e fastidio sperimentato durante l'esecuzione del compito.

Ogni dimensione viene valutata su una scala da 1 (basso carico di lavoro) a 100 (massimo carico di lavoro), e gli utenti possono utilizzare una barra di scorrimento

⁶NASA-TLX: <https://github.com/benedettoscala/MetaverseTeachingExperimentation/blob/main/QuestionnaireAndQuestions/Compiled/NASATLX.pdf>

o un segno sulla linea per indicare il loro livello di carico di lavoro per ciascuna dimensione. Un punteggio alto è considerato in ogni dimensione della scala negativo. Successivamente, le valutazioni possono essere sommate o analizzate separatamente, a seconda delle esigenze della ricerca.

Il NASA-TLX è stato utilizzato in una vasta gamma di contesti, da quelli legati all'aviazione e alla guida di veicoli fino all'interazione con computer e dispositivi medici [36, 37, 38]. È apprezzato per la sua flessibilità e per la capacità di fornire una valutazione completa della carica di lavoro, offrendo insight su come un sistema o un compito possa essere ottimizzato per ridurre il carico cognitivo o fisico sull'utente.

Il questionario NASA-TLX, presentato nella tabella 4.4, è stato leggermente modificato per essere adattato all'esperimento in questione.

Scoring: Nella analisi dei risultati sono state valutate tutte le dimensioni singolarmente nei confronti tra il gruppo sperimentale e quello di controllo. È stato inoltre effettuato il medesimo test sul punteggio complessivo generale per ogni partecipante, basato sulla somma delle categorie diviso per il loro numero.

4.2.5 Tipo Di Design

Nel nostro studio, abbiamo adottato un approccio quasi-sperimentale per esaminare l'efficacia di una lezione in realtà virtuale. Per garantire la validità dei risultati, era essenziale isolare i gruppi di partecipanti in base a dettagli specifici. Pertanto, abbiamo suddiviso i partecipanti in base a tre criteri chiave: la loro conoscenza pregressa dell'argomento trattato nella lezione, se avessero precedentemente partecipato a un corso in realtà virtuale e se avessero mai utilizzato un visore per la realtà virtuale.

Questa suddivisione mirava a evitare variabili confondenti che avrebbero potuto influenzare i risultati. In particolare, eravamo preoccupati per la "minaccia alla novità", un fenomeno in cui i partecipanti potrebbero reagire non tanto al contenuto della lezione, ma piuttosto all'esperienza inedita di utilizzare un visore di realtà virtuale. Se, ad esempio, un partecipante non avesse mai utilizzato un visore prima d'ora, la sua reazione potrebbe essere stata influenzata più dalla novità dell'esperienza che dal contenuto educativo presentato.

Categoria	Domanda
Richiesta Mentale	Quanta attività mentale e percettiva ritieni sia stata richiesta durante la lezione? Valuta la tua percezione su una scala da 0 (molto semplice da seguire, contenuti molto semplici) a 100 (molto impegnativa da seguire, contenuti molto complessi).
Richiesta Fisica	Considerando il dispositivo che hai utilizzato, quanto è stata impegnativa fisicamente l'esperienza di seguire la lezione? Valuta la tua percezione su una scala da 0 (molto rilassante, nessun disagio fisico) a 100 (molto faticosa o estenuante, disagio fisico significativo).
Richiesta Temporiale	Come hai percepito il ritmo della lezione? Era lento o veloce? Sei riuscito/a a seguire l'esposizione dei concetti? Valuta la tua percezione su una scala da 0 (nessuna pressione, ritmo molto lento) a 100 (pressione molto alta, ritmo molto veloce).
Prestazione	Valuta il tuo grado di soddisfazione riguardo alle tue prestazioni nell'ascoltare e comprendere la lezione. Quanto hai compreso dei temi trattati? Valuta su una scala da 0 (comprensione completa, molto soddisfatto/a) a 100 (nessuna comprensione, molto insoddisfatto/a).
Sforzo	Quanto ti sei dovuto/a impegnare per mantenere un elevato livello di attenzione e comprensione durante la lezione? Valuta l'energia mentale spesa per assimilare i contenuti presentati su una scala da 0 (nessuno sforzo, molto facile) a 100 (massimo sforzo, molto difficile).
Frustrazione	Nella tua esperienza durante la lezione, come è variato il tuo livello di irritazione, stress e fastidio rispetto a quello di contentezza, relax e soddisfazione? Valuta le tue sensazioni su una scala da 0 (massima contentezza, relax e soddisfazione) a 100 (massima irritazione, stress e fastidio).

Tabella 4.4: NASA-TLX: Domande su carico cognitivo e fisico

Isolando i gruppi in questo modo, abbiamo cercato di garantire che qualsiasi differenza nelle risposte fosse attribuibile all'intervento didattico e non a fattori esterni o inaspettati.

Quindi abbiamo suddiviso i partecipanti in due gruppi distinti, come illustrato nella tabella 4.5. Nel Gruppo V, i partecipanti hanno sperimentato l'ambiente didattico virtuale con un visore, corrispondente alla variabile indipendente SI_VR; nel Gruppo T, hanno interagito senza il visore, associato alla variabile indipendente NO_VR.

Gruppo	Descrizione	Variabile Indipendente
V	Sperimenta l’ambiente didattico virtuale e la lezione con un visore	SI_VR
T	Interagisce con teams alla lezione	NO_VR

Tabella 4.5: Design dell’esperimento diviso in due gruppi

4.3 Metodologia dell’analisi dei risultati

In questa sezione, verrà descritta in dettaglio la metodologia adottata per l’analisi dei risultati. Questa descrizione includerà una discussione sulla verifica delle assunzioni necessarie per l’applicazione dei test statistici, sulle procedure seguite per l’esecuzione dei test e sulle modalità di interpretazione dei risultati. L’obiettivo è di fornire una comprensione chiara e completa del processo di analisi dei risultati, permettendo ai lettori di comprendere in modo accurato come sono state raggiunte le conclusioni presentate.

4.3.1 Assunzione sulla normalità dei dati

Un’assunzione chiave di molti test statistici, tra cui il test t di Student, è che i dati siano normalmente distribuiti. La distribuzione normale, anche conosciuta come distribuzione gaussiana, è una distribuzione di probabilità simmetrica che descrive molti fenomeni naturali e sociali. Quando i dati sono normalmente distribuiti, possiamo fare affermazioni precise e potenti sui dati utilizzando test statistici.

Se i dati non sono normalmente distribuiti, l’uso di test statistici che assumono la normalità può portare a risultati fuorvianti. Ad esempio, potremmo rifiutare erroneamente un’ipotesi nulla o non riuscire a rifiutare un’ipotesi nulla quando dovremmo. Pertanto, è importante verificare l’assunzione di normalità prima di procedere con questi test.

Per verificare l’assunzione di normalità, si è utilizzato una combinazione di metodi grafici e test statistici. In particolare, abbiamo utilizzato il grafico Q-Q (quantile-quantile) e il test di Shapiro-Wilk.

Il grafico Q-Q è un grafico che confronta i quantili⁷ dei nostri dati con i quantili di una distribuzione normale. Se i dati sono normalmente distribuiti, i punti nel grafico Q-Q dovrebbero approssimativamente seguire una linea retta.

Il test di Shapiro-Wilk è un test statistico che può essere utilizzato per verificare l’assunzione di normalità. L’ipotesi nulla per il test di Shapiro-Wilk è che i dati siano normalmente distribuiti. Pertanto, un valore p inferiore a 0.05 dal test di Shapiro-Wilk indicherebbe una violazione dell’assunzione di normalità.

Ecco un esempio del codice R che si è utilizzato per verificare la normalità della distribuzione dei dati:

```

1 # Dati di esempio
2 dati <- c(15, 18, 14, 16, 17, 15, 14, 16, 18, 15)
3
4 # Test di Shapiro-Wilk
5 risultato_shapiro <- shapiro.test(dati)
6 print(risultato_shapiro)
7
8 # Grafico Q-Q
9 qqnorm(dati)
10 qqline(dati)
11
```

4.3.2 Scelta del Test Statistico e Codice di Esempio per l’Analisi dei Dati

Si è previsto, quindi, di affrontare due possibili scenari relativi alla distribuzione dei dati raccolti. Il primo scenario riguardava il caso in cui i dati non avessero seguito una distribuzione normale. In questo caso, l’uso di test statistici che presuppongono la normalità dei dati, come il test t di Student, sarebbe potuto non essere appropriato. Pertanto, si è optato per l’utilizzo del test di Mann-Whitney, un test non parame-

⁷I quantili sono punti presi a intervalli regolari da una distribuzione di probabilità. In altre parole, dividono una distribuzione di probabilità in regioni di uguale probabilità

trico che non richiede l’assunzione di normalità e che è in grado di confrontare efficacemente le medie di due gruppi indipendenti.

Viceversa il secondo scenario riguardava il caso in cui i dati avessero seguito una distribuzione normale. Questa è l’assunzione ideale per molti test statistici e permette l’uso del test t di student.

Verrà presentato un esempio sul codice R per calcolare il grado di apprendimento in cui si utilizzerà il test t di student e il test di Mann-whitney (nel caso di distribuzione di dati non normalizzati).

```

1 # Esempio di dati del pre-test e del post-test per i due gruppi
2 pre_test_VR <- c(10, 13, 9, 11, 12, 10, 9, 11, 13, 10)
3 post_test_VR <- c(15, 18, 14, 16, 17, 15, 14, 16, 18, 15)
4 pre_test_Teams <- c(10, 11, 10, 11, 9, 10, 11, 10, 11, 10)
5 post_test_Teams <- c(10, 11, 10, 11, 9, 10, 11, 10, 11, 10)
6
7 # Calcola il miglioramento per i due gruppi
8 miglioramento_VR <- post_test_VR - pre_test_VR
9 miglioramento_Teams <- post_test_Teams - pre_test_Teams
10
11 # Esempio di esecuzione del test t a due code
12 # L'ipotesi nulla è che le medie dei due gruppi siano uguali
13 # L'ipotesi alternativa è che le medie dei due gruppi siano diverse
14 risultato_test_due_code <- t.test(miglioramento_VR, miglioramento_Teams)
15
16 # Esempio di esecuzione del test t a una coda
17 # L'ipotesi nulla è che la media del gruppo VR sia minore o uguale
18 # alla media del gruppo Teams
19 # L'ipotesi alternativa è che la media del gruppo VR sia maggiore
20 # della media del gruppo Teams
21 risultato_test_una_coda <- t.test(miglioramento_VR, miglioramento_Teams,
22 alternative = "greater")
23
24 # Esempio di esecuzione del test di Mann-Whitney
25 risultato_test <- wilcox.test(miglioramento_VR, miglioramento_Teams,
26 alternative = "greater")
```

È importante sottolineare che, in questo studio, il grado di apprendimento viene quantificato come la differenza tra i risultati del pre-test e del post-test. Questo approccio consente di misurare in modo diretto e quantitativo il progresso e l’acquisizione di nuove competenze o conoscenze da parte degli studenti nel corso dell’intervento didattico.

CAPITOLO 5

Analisi Dei Risultati

Questo capitolo descrive i risultati acquisiti dall'analisi dei questionari somministrati agli utenti.

5.1 Reclutamento

Nell'esperimento hanno preso parte 14 soggetti. Di questi, 6 hanno utilizzato il visore VR, 6 hanno fatto uso del software Teams, mentre gli ultimi due sono stati coinvolti in un pilot test per identificare e correggere eventuali errori nel materiale sperimentale proposto.

Nessun partecipante ha evidenziato competenze approfondite in quantum computing, come riscontrabile sia dal questionario di selezione (tabella 5.1) sia dal pre-test condotto anteriormente (tabella 5.2).

Coloro che hanno utilizzato il visore VR avevano già familiarità con la realtà virtuale o la utilizzavano regolarmente.

Nessuno dei partecipanti utilizzanti il visore, aveva mai partecipato ad una lezione in realtà virtuale. Per assicurare l'integrità scientifica dei risultati, i partecipanti erano individui che, nel corso del loro percorso universitario, avevano già seguito lezioni in modalità didattica a distanza.

I dettagli pertinenti dei soggetti sono sintetizzati nella tabella 5.1.

Si fa notare che i soggetti con identificativo [1...9]V hanno impiegato il visore, quelli con identificativo [1...9]T hanno adoperato Teams, infine gli studenti con la P finale hanno partecipato al pilot test.

Identificativo Partecipante	Anno Di Corso	Conoscenze Quantum	Utilizzo precedente di visori VR	Partecipazione Precedente a corsi VR	Genere
Pilot Test					
1P	3 anno triennale concluso	NO	SI	NO	Uomo
2P	3 anno triennale concluso	NO	NO	NO	Uomo
VR					
1V	3 anno tirennale concluso	NO	SI	NO	Uomo
2V	3 anno triennale concluso	NO	SI	No	Uomo
3V	3 anno triennale concluso	NO	SI	No	Uomo
4V	Fuoricorso triennale	NO	SI	No	Uomo
5V	Fuoricorso triennale	NO	SI	No	Uomo
6V	3 anno concluso triennale	NO	SI	No	Uomo
Teams					
1T	3 anno triennale concluso	NO	NO	NO	Uomo
2T	3 anno triennale concluso	NO	NO	No	Uomo
3T	3 anno triennale concluso	NO	NO	No	Uomo
4T	3 anno triennale concluso	NO	NO	No	Donna
5T	Fuoricorso triennale	NO	NO	No	Uomo
6T	Fuoricorso triennale	NO	SI	No	Uomo

Tabella 5.1: Dettagli dei partecipanti all'esperimento

5.2 Pulizia e Regole di scoring per i dati

I questionari proposti presentavano diverse scale di valutazione e dimensioni. È stato necessario apportare vari adattamenti per renderli idonei alla valutazione dell'esperienza didattica.

Grado Di Apprendimento: *gAppr* Nel capitolo antecedente, si è discusso del concetto noto come "grado di apprendimento". È stato sottolineato come, nel nostro studio, sia stato implementato un questionario pre-test al fine di valutare le competenze pregresse dei partecipanti in materia di quantum computing. Nonostante i soggetti non abbiano dichiarato preliminarmente di possedere conoscenze in tale ambito (tabella 5.1), si è ritenuto opportuno procedere comunque con la somministrazione del questionario pre-test. Come anticipato, i risultati (riportati nella tabella 5.2)

confermano una lacuna nelle conoscenze relative all'argomento in esame. Pertanto, si è optato per basare la valutazione della variabile *gAppr* esclusivamente sui risultati del post-test, i quali sono raffigurati nella tabella 5.3.

	1V	2V	3V	4V	5V	6V	1T	2T	3T	4T	5T	6T
pre-test	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1

Tabella 5.2: Apprendimento: Risultati del pre-test per ciascun partecipante

	1V	2V	3V	4V	5V	6V	1T	2T	3T	4T	5T	6T
post-test	9	10	11	10	11	14	8	13	10	6	7	12

Tabella 5.3: Apprendimento: Risultati del post-test per ciascun partecipante

Grado di User Engagement: *gEng* Relativamente alla valutazione di *gEng*, come menzionato nel capitolo precedente, abbiamo fatto ricorso al questionario User Engagement Scale Short Form (UES-SF). Questo comprende diverse sottoscale (come Attenzione Focalizzata, Usabilità Percepita, Attrattiva Estetica...). A causa di questa strutturazione, abbiamo adottato regole specifiche per organizzare e filtrare i dati, come descritto nella sezione 4.2.4.

Grado di Carico Cognitivo e Fisico : *gAff* Nella analisi del grado cognitivo e fisico si è utilizzato il questionario NASA-TLX. La metodologia di scoring e cleaning dei dati è evidenziata nella sezione 4.2.4

5.3 Test sulla normalità dei dati

Prima di procedere con l'analisi dei risultati, è fondamentale esaminare la normalità dei dati. Come delineato nella sezione 4.3.1, verrà effettuato un test di Shapiro-Wilk, e verrà altresì illustrata graficamente la loro distribuzione. A seconda delle analisi condotte in questo capitolo, si opterà per l'utilizzo del t-test o del test di Mann-Whitney.

Normalità gAppr Iniziamo effettuando il test di normalità sui dati del post-test. Osservando la tabella 5.4, si evidenzia che sia il gruppo VR sia il gruppo Teams mostrano un p-value superiore a 0.05. Questo suggerisce che i dati seguono una distribuzione normale. Questa affermazione è altresì confermata dal grafico Q-Q (figura 5.1), che mostra che la maggior parte dei dati seguono una linea retta. È importante far notare che nel gruppo VR, è presente un outlier notevole con un punteggio di 14/15, come evidenziato sia nel box plot che nel grafico Q-Q nelle figure 5.1. Tuttavia, questo non sembra compromettere la distribuzione gaussiana dei dati.

Gruppo	Statistica W	p-value
VR	0.8658724	0.2102417
Teams	0.9400915	0.6599359

Tabella 5.4: Risultati del test sulla normalità dei dati del post-test per i gruppi VR e Teams

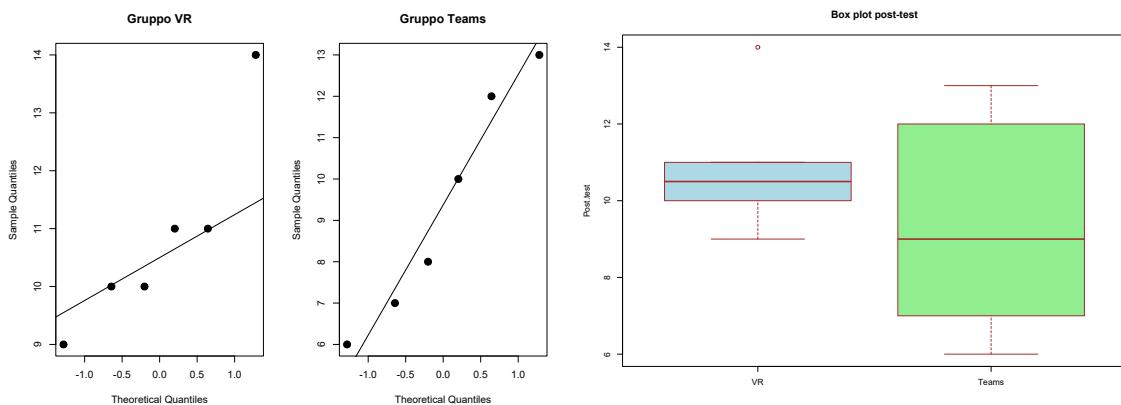


Figura 5.1: Q-Q plot e box plot del post test

Normalità gAff Riesaminiamo la normalità, questa volta focalizzandoci sulla variabile gAff. Considerando che analizzeremo ogni dimensione del NASA-TLX nei risultati, è essenziale controllare la distribuzione dei dati per ciascuna di loro. Osservando la tabella 5.5, emerge che la stragrande maggioranza dei gruppi segue una distribuzione normale. Tranne il gruppo VR nella dimensione "prestazione" che devia da questa tendenza e presenta un p-value dello 0.02. Questo è confermato dal

grafico Q-Q in figura 5.2, in cui si può osservare una deviazione significativa dalla linea di riferimento, indicando una non conformità alla distribuzione normale. In particolare, un punto si discosta notevolmente dalla retta teorica del grafico Q-Q e si può osservare anche nel boxplot in figura 5.2

Tipo Test	Gruppo	Carico mentale	Carico fisico	Carico temporale	Prestazione	Sforzo	Frustrazione	Dati Totali
statistica t	V	0.9333373	0.8789562	0.9604676	0.7545374	0.8592665	0.9030501	0.8392529
	T	0.9181840	0.8918671	0.9663876	0.9575422	0.9123751	0.9425439	0.9587854
p-value	V	0.60610968	0.26429797	0.82333721	0.02205705	0.18666384	0.39227243	0.12851855
	T	0.49237863	0.32808659	0.86734917	0.80061238	0.45220542	0.67975621	0.81033265

Tabella 5.5: Risultati del test sulla normalità delle dimensioni del NASA-TLX

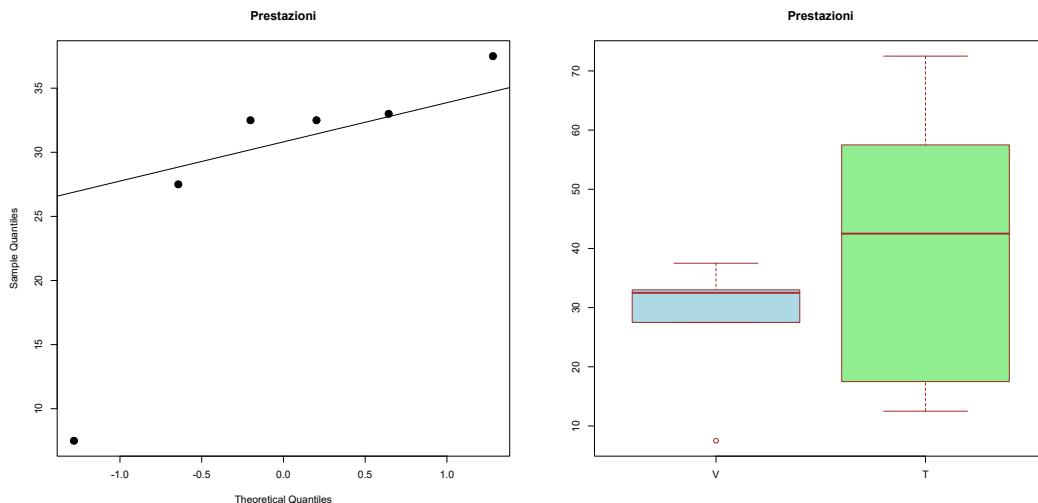


Figura 5.2: Q-Q e box plot test della dimensione "prestazione" nel gruppo VR

Normalità gEng Concludiamo questa analisi con l'ultima variabile *gEng*. L'analisi è analoga alle due precedenti. Le dimensioni che non sono distribuite normalmente e alle quali verrà quindi eseguito il test di mann-whitney sono le seguenti (figura 5.6).

- Nella dimensione "usabilità percepita" il gruppo Teams ha un p-value di 0.03
- Nella dimensione "attrattiva esetica" il gruppo VR ha un p-value di 0.013
- Nella dimensione "esperienza interattiva" il gruppo VR ha un p-value di 0.034

Tip Test	Gruppo	Attenzione Focalizzata	Usabilità Percepita	Attrattiva Estetica	Esperienza Interattiva
Statistica W	V	0.8311415	0.8229599	0.7338971	0.7751637
	T	0.9498760	0.7768051	0.9337896	0.8395332
p-value	V	0.10990751	0.09359739	0.01379515	0.03473043
	T	0.73927786	0.03598446	0.60966851	0.12920870

Tabella 5.6: Risultati del test sulla normalità delle dimensioni dell'UES-SF

5.4 Analisi Dei Dati

Dopo aver sistemato e verificato la distribuzione dei dati, nella presente sezione procederemo con l'analisi dei risultati. Effettueremo un'analisi preliminare per rilevare eventuali differenze statisticamente significative tra il gruppo V e il gruppo T.

5.4.1 User Engagement

Cominciamo esaminando la variabile dipendente *gEng*. Inizialmente, considereremo il punteggio aggregato, per poi dedicarci a un'analisi più approfondita di ogni singola dimensione dell'UES-SF. Le nostre ipotesi di riferimento per questa analisi sono H_0 e H_a , come esplicitato nella tabella 4.2.

Dimensione	Statistica	Valore	p-value
Attenzione Focalizzata	t	1.825742	0.05353428
Usabilità Percepita	W	14.500000	0.74710509
Attrattiva estetica	W1	28.000000	0.06209404
Esperienza Interattiva	W2	25.500000	0.12300530
Media	t1	1.383440	0.10816371

Tabella 5.7: User Engagement: Risultati Statistici; "t" sta per t-test e "W" sta per mann-whitney test

Analizzando i risultati ottenuti (risultati per gruppo V nella tabella 5.8, risultati per gruppo T nella tabella 5.9, e risultati analisi statistica nella tabella 5.7), e tenendo conto di un p-value pari a 0.1082 relativo al punteggio totale, non possiamo rigettare

Dimensione	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione Standard
Attenzione Focalizzata	2.666667	3.666667	3.000000	2.833333	0.4216370
Usabilità Percepita	2.333333	4.000000	3.333333	3.666667	0.6666667
Attrattiva Estetica	2.666667	4.000000	3.166667	2.833333	0.6582806
Esperienza Interattiva	3.000000	3.666667	3.388889	3.500000	0.3277307
Media	3.000000	3.666667	3.222222	3.125000	0.2453267

Tabella 5.8: User Engagement: Risultati gruppo V

Dimensione	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione Standard
Attenzione.Focalizzata	1.333333	3.333333	2.333333	2.333333	0.7888106
Usabilità.Percepita	1.666667	4.000000	3.333333	3.833333	0.9660918
Attrattiva.estetica	1.333333	3.666667	2.444444	2.333333	0.9108401
Esperienza Interattiva	2.000000	3.666667	2.888889	3.166667	0.7200823
Media	1.750000	3.666667	2.750000	2.916667	0.7993053

Tabella 5.9: User Engagement: Risultati gruppo T

l'ipotesi nulla. Questo indica l'assenza di differenze statisticamente significative che avrebbero supportato l'ipotesi alternativa.

Passiamo ora ad esaminare le singole dimensioni:

- "Attenzione Focalizzata" ha un p-value di 0.0535. Questo è vicino al threshold comune di 0.05, quindi potrebbe considerarsi al limite della significatività statistica.
- "Usabilità Percepita" ha un p-value di 0.7471, il che indica che non ci sono prove significative di una differenza (o effetto).
- "Attrattiva estetica" ha un p-value di 0.0621, che è leggermente superiore a 0.05, indicando che i risultati non sono statisticamente significativi, ma sono vicini.
- "Esperienza Interattiva" ha un p-value di 0.1230, quindi non ci sono prove significative di una differenza.

Dimensione	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione Standard
Attenzione Focalizzata	1.3333333	0.3333333	0.6666667	0.5000000	-0.3671736
Usabilità Percepita	0.6666667	0.0000000	0.0000000	-0.1666667	-0.2994251
Attrattiva Estetica	1.3333333	0.3333333	0.7222222	0.5000000	-0.2525595
Esperienza Interattiva	1.0000000	0.0000000	0.5000000	0.3333333	-0.3923516
Media	1.2500000	0.0000000	0.4722222	0.2083333	-0.5539786

Tabella 5.10: User Engagement: Differenza fra gruppo V e T (V-T)

5.4.2 Apprendimento

Passiamo ora all’analisi della variabile *gAppr*. Faremo riferimento alle ipotesi $H0_2$ e Ha_2 , presentate nella tabella 4.2.

Condotto un t-test ad una coda sui dati del post-test, confrontando il gruppo V con T, emerge che l’ipotesi Ha_1 può essere respinta. Il p-value calcolato è di 0.1478, che supera il consueto livello di significatività del 5%. Questo suggerisce l’assenza di una differenza statisticamente rilevante tra le medie dei due gruppi.

Gruppo	Min	Max	Mediana	Media	Dev. Std.
V	9	14	10.5	10.83	1.72
T	6	13	9	9.33	2.61

Tabella 5.11: Apprendimento: Statistiche del post-test per i gruppi

	Min	Max	Mediana	Media	Dev. Std.
Differenza (V - T)	3	1	1	1.84	-0.67

Tabella 5.12: Apprendimento: Differenze tra Gruppo V e Gruppo T (V-T)

Tipo Test	Dimensione	Statistica t	p value
t	Punteggio Totale	-0.9574232	0.1811433
t1	Richiesta Mentale	-2.3927951	0.0189726
t2	Richiesta Fisica	1.2485794	0.8798639
t3	Pressione Temporale	-0.7240296	0.2432604
W	Prestazioni	10.5000000	0.1303291
t4	Richiesta Attenzione	-2.4941127	0.0208763
t5	Stress	0.4442443	0.6666150

Tabella 5.13: NASA-TLX: Statistiche tra i gruppi

Dimensione	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione.Standard
Richiesta Mentale	22.5	72.0	42.25000	42.00000	17.78131
Richiesta Fisica	2.5	63.0	41.75000	42.50000	22.32431
Pressione Temporale	17.5	82.5	46.58333	42.25000	24.61791
Prestazioni	7.5	37.5	28.41667	32.50000	10.72575
Richiesta Attenzione	17.5	67.5	44.08333	50.00000	21.74952
Stress	7.5	67.5	45.08333	52.50000	23.26030
MEDIA	25.0	55.0	41.36111	44.16667	13.85056

Tabella 5.14: NASA-TLX: Risultati per il gruppo V

5.4.3 Affaticamento Cognitivo e Fisico

Infine approfondiamo i risultati riguardanti il grado di affaticamento $gAff$, considerando sia gli aspetti cognitivi che fisici. Ci riferiremo alle ipotesi $H0_3$ e Ha_3 , delineate nella tabella 4.2.

Valutando il punteggio complessivo fornito dal NASA-TLX (vedi risultati del gruppo T nella tabella 5.15 e quelli del gruppo V nella tabella 5.14 ed i risultati statistici in 5.13), e tenendo presente che un punteggio più basso indica un risultato migliore, un t-test ha evidenziato la non reiezione dell'ipotesi nulla $H0_3$ a favore di Ha_3 . Il p-value associato è infatti di 0.1811433, che è superiore al livello di significatività convenzionale del 5%. Tra le singole dimensioni del NASA-TLX, alcune hanno rivelato differenze statisticamente significative, mentre altre no.

Dimensione	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione.Standard
Richiesta Mentale	37.5	82.50000	65.83333	70.0	16.329932
Richiesta Fisica	2.5	52.50000	25.83333	25.0	21.832697
Pressione Temporale	12.5	97.50000	58.33333	55.0	31.211643
Prestazioni	12.5	72.50000	40.83333	42.5	23.166067
Richiesta Attenzione	57.5	82.50000	68.33333	70.0	9.703951
Stress	2.5	87.50000	38.33333	32.5	29.054546
MEDIA	24.5	79.16667	50.19444	50.0	17.857590

Tabella 5.15: NASA:TLX: Risultati per il gruppo T**Dimensioni Statisticamente Significative:**

- *Richiesta Mentale*: La statistica t per questa dimensione è -2.3927951 con un p-value di 0.0189726 , che è inferiore al livello di significatività tradizionale di 0.05 . Questo suggerisce che vi è una differenza significativa tra i gruppi riguardo alla percezione della richiesta mentale. Il valore negativo della statistica t indica che il primo gruppo ha avuto punteggi medi inferiori rispetto al secondo gruppo.
- *Richiesta Attenzione*: Con una statistica t di -2.4941127 e un p-value di 0.0208763 , anche questa dimensione mostra una differenza significativa tra i gruppi. Anche in questo caso, il segno negativo della statistica t suggerisce che il primo gruppo ha percepito una minore richiesta di attenzione rispetto al secondo.

Dimensioni Non Statisticamente Significative:

- *Richiesta Fisica*: La statistica t di 1.2485794 suggerisce che il gruppo V ha avuto più "richiesta fisica" di quella del gruppo T, tuttavia il p-value di 0.8798639 indica che la differenza osservata non è statisticamente significativa.
- *Pressione Temporale*: Nonostante una statistica t di -0.7240296 , il p-value di 0.2432604 suggerisce che non vi è una differenza significativa tra i gruppi per quanto riguarda questa dimensione.
- *Prestazioni*: Anche se il valore della statistica per questa dimensione è 10.5000000 , il p-value associato è 0.1303291 , che non è statisticamente significativo.

- *Stress*: Con una statistica t di 0.4442443 e un p-value di 0.6666150, non esistono evidenze di differenze statisticamente significative tra i gruppi per questa dimensione.

5.5 Risposte alle Research Question

Dopo un analisi preliminare dei dati raccolti, in questa sezione ci concentreremo a dare delle risposte alle domande di ricerca (RQ) formulate all'inizio del nostro studio, interpretando i risultati conseguiti.

5.5.1 RQ1 : In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l'user engagement nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?

Procedendo con l'analisi dell'engagement dell'utente, esamineremo di nuovo ogni dimensione dell'UES-scale, ma questa volta in modo più approfondito e proporremo alcune considerazioni.

La variabile "Attenzione Focalizzata" presenta una tendenza interessante: con un p-value di 0.05353428, si può notare una maggiore concentrazione o immersione tra gli studenti che sperimentano l'IVR nella loro esperienza didattica.

Riguardo alla "Usabilità Percepita", non emerge una distinzione statisticamente significativa tra IVR e Teams. Sorprendentemente, le medie dei due gruppi sono identiche, come evidenziato nella tabella 5.10. Questa constatazione è notevole poiché, nonostante l'apparente complessità dell'IVR, gli studenti lo trovano altrettanto intuitivo e maneggevole quanto Teams.

Per quanto concerne l'"Attrattiva Estetica", l'IVR manifesta un'orientazione positiva: infatti, benché non raggiunga una significatività statistica, si avvicina alla soglia del 5%. Ciò potrebbe evidenziare l'entusiasmo dei giovani utenti per l'innovazione e l'avanguardia della realtà virtuale immersiva, in confronto a soluzioni più convenzionali.

Infine, la variabile "Esperienza Interattiva" non rivela discrepanze di rilievo dal punto di vista statistico. Ciò potrebbe implicare che, a prescindere dall'infrastruttura

utilizzata, l'interattività e il coinvolgimento generale degli studenti rimangano invariati. Allo stesso tempo, ciò sottolinea che semplicemente adottare un'interfaccia IVR non garantisce necessariamente un maggior coinvolgimento; molto potrebbe dipendere da come essa viene implementata per scopi didattici e da come i suoi contenuti insegnati sono presentati agli utenti (per Approfondimento sezione 5.6)

↳ **Risposta alla RQ₁.** Come ampiamente appurato, l'IVR ha il potenziale per migliorare l'engagement degli studenti nelle lezioni grazie alla sua capacità di offrire un'esperienza immersiva, riducendo le distrazioni. Tuttavia, i risultati ottenuti suggeriscono che la sua efficacia potrebbe dipendere in gran parte da come viene implementato nel contesto didattico.

5.5.2 RQ2 : In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare l' affaticamento (cognitivo e fisico) nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?

Attraverso il NASA-TLX, abbiamo analizzato l'affaticamento dei partecipanti utilizzando sia l'IVR in ambito didattico che strumenti tradizionali come Teams. Non è emersa una differenza globale statisticamente significativa, ma esaminando le componenti specifiche del NASA-TLX, emergono alcune osservazioni.

Si è notato che la percezione della "richiesta mentale" è stata significativamente e statisticamente diversa tra i gruppi, in favore del gruppo VR. Questo può essere attribuito all'ambiente immersivo dell'IVR che rende il materiale più tangibile e contestualizzato, facilitando la comprensione. L'interattività dell'IVR e la presenza di un "digital twin" che spiegava la lezione potrebbe anche aver aumentato il coinvolgimento degli studenti, rendendo l'informazione più facile da assimilare e riducendo quindi l'affaticamento mentale.

Analogamente, nella dimensione della "richiesta di attenzione", il gruppo IVR ha performato statisticamente meglio rispetto al gruppo su teams. L'ambiente IVR, separando fisicamente gli studenti dal mondo esterno e coinvolgendoli attraverso stimolazioni multi-sensoriali, potrebbe aver ridotto le distrazioni esterne e mantenuto alta l'attenzione.

Per quanto riguarda la "richiesta fisica", anche se la differenza non era statisticamente significativa, il gruppo IVR ha tendenzialmente percepito un impegno fisico maggiore rispetto al gruppo Teams. Questo può essere legato all'esigenza di indossare e interagire con un visore IVR, che potrebbe essere fisicamente più impegnativo rispetto al semplice seguire una lezione su Teams.

Considerando la dimensione della "prestazione", si può notare, pur non avendo risultati statisticamente significativi, che la deviazione standard nel gruppo T è superiore al doppio rispetto a quella del gruppo V (tabella 5.15 e tabella 5.14), quindi questo suggerisce che la variabilità delle prestazioni tra gli individui è maggiore nel gruppo T rispetto al gruppo V. Questo indica che, basandosi sulle loro autovalutazioni, gli studenti si sono sentiti più competenti, e soddisfatti nel compito assegnato.

Infine, per le dimensioni della pressione temporale, e stress, non sono emerse differenze significative tra i due gruppi.

👉 **Risposta alla RQ₂.** L'utilizzo dell'IVR in ambito didattico sembra ridurre l'affaticamento cognitivo nelle lezioni frontali rispetto a Teams, ma per quanto riguarda l'affaticamento fisico, l'uso del visore VR potrebbe comportare un leggero aumento, anche se non statisticamente significativo. Infine, sebbene non in modo statisticamente significativo, le performance auto-valutate dei soggetti suggeriscono una maggiore efficienza in VR rispetto a Teams.

5.5.3 RQ3: In che modo l'utilizzo dell'IVR in ambito didattico può influenzare il grado di apprendimento nelle lezioni frontali rispetto a strumenti più tradizionali come Teams?

Nella sezione 5.4.2 non si sono trovate evidenze statisticamente significative per rigettare l'ipotesi nulla.

Tuttavia, ci sono stati in ogni caso dei miglioramenti nelle prestazioni degli studenti (come si può vedere dalla tabella 5.12, e dal box plot 5.1) che meritano di essere descritti:

- In media gli studenti nel gruppo V hanno ottenuto punteggi leggermente superiori rispetto a quelli nel gruppo T.
- La deviazione standard più bassa nel gruppo V suggerisce che gli studenti in questo gruppo avevano punteggi più uniformi. Questo potrebbe indicare che l’esperienza VR fornisce una piattaforma di apprendimento più uniforme e che la maggior parte degli studenti reagisce in modo simile ad essa.
- Tra i 6 studenti che hanno utilizzato Teams, 3 hanno ottenuto risultati strettamente inferiori rispetto a tutti i partecipanti che hanno usato il visore. Questa discrepanza è evidente dalla differenza tra i valori minimi, che ammonta a 3, e nella tabella 5.3 dei risultati del post-test.

☞ **Risposta alla RQ₃.** L’utilizzo dell’IVR in ambito didattico non ha evidenziato significativi vantaggi statistici nel grado di apprendimento rispetto a Teams. Tuttavia, gli studenti con IVR hanno mostrato punteggi mediamente superiori e una maggiore uniformità nei risultati rispetto a quelli che hanno usato Teams

5.6 Discussioni

Dall’analisi e dalla successiva interpretazione dei risultati, sono emerse alcune considerazioni sulle potenzialità dell’IVR nell’educazione.

Nella sezione 5.5.1, si esplora l’idea che l’uso diretto dell’IVR in una lezione tradizionale potrebbe non garantire un maggiore coinvolgimento degli studenti.

Per avere una visione chiara e completa delle opinioni e delle aspettative degli studenti riguardo all’uso dell’IVR in ambito didattico, è essenziale approfondire ulteriormente l’argomento attraverso ricerche mirate. L’ideale sarebbe condurre studi che prevedano l’utilizzo di questionari dettagliati o interviste strutturate, in modo da raccogliere feedback diretti e costruttivi. Questo tipo di approccio permetterebbe di comprendere meglio le esigenze, le perplessità e le aspettative degli studenti, fornendo così indicazioni preziose per un’integrazione efficace dell’IVR nella didattica.

Tuttavia, è importante sottolineare che l’efficacia di tali ricerche sarà massimizzata quando la comprensione e l’accettazione del metaverso e delle tecnologie correlate

saranno più radicate nella società. Con l'avanzare della tecnologia e l'evoluzione dei metodi didattici, è probabile che l'IVR e altre soluzioni innovative diventino parte integrante della vita quotidiana di tutti, e non solo di una nicchia di studenti o appassionati. Solo allora potremo avere un quadro completo delle potenzialità e delle sfide legate all'integrazione dell'IVR nella didattica.

Nonostante ciò, possiamo già identificare alcuni punti chiave per un futuro framework didattico mirato ad aumentare l'engagement degli studenti. La lezione frontale, tipica delle aule universitarie e liceali, rappresenta un solido punto di partenza per l'insegnamento nel metaverso. Tuttavia, è essenziale rivedere e adattare alcuni dei suoi elementi.

Per esempio un aspetto fondamentale da riconsiderare potrebbe essere l'uso delle slide. Nel metaverso, le limitazioni fisiche del mondo reale non ci vincolano. Non siamo più ristretti all'uso di una lavagna o di un proiettore. L'aula virtuale può trasformarsi in un'immensa piattaforma di presentazione. Grazie all'uso di assets personalizzati e di penne 3D per annotare direttamente su oggetti tridimensionali (figura 5.3), si potrebbe reinventare l'approccio alla presentazione dei contenuti.

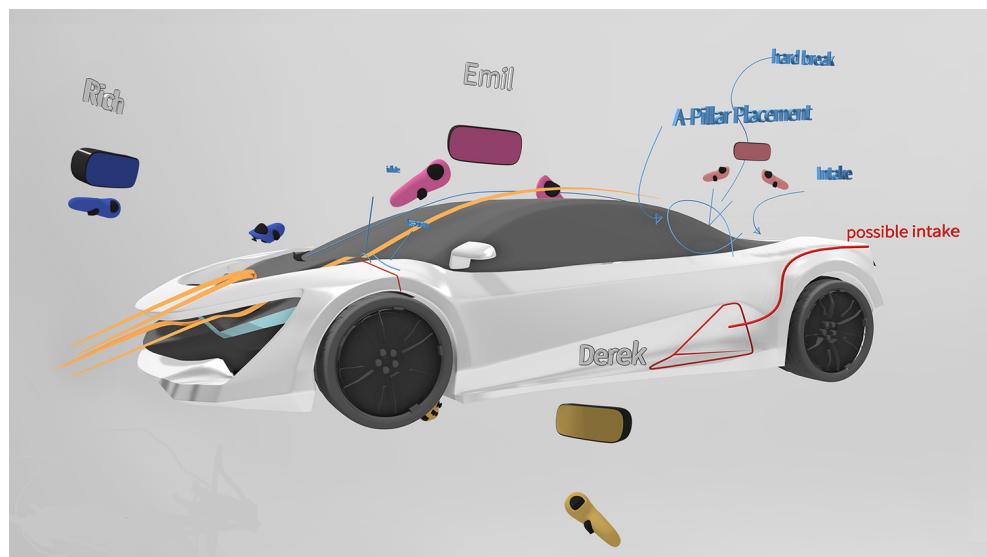


Figura 5.3: Esempio utilizzo penna 3d in un ambiente virtuale

Valutando in profondità le considerazioni emerse e, qualora fossero applicate concretamente, si potrebbe presupporre la capacità di conseguire un grado di apprendimento e coinvolgimento superiore a quello rilevato dal presente studio.

5.7 Lab Package

Il lab package può essere trovato alla seguente repository GitHub¹ ed include:

- I risultati dell'esperimento nella cartella "results"
- Il progetto completo della classe virtuale nella cartella "VrChatLessonProject"
- I questionari e le domande somministrati ai soggetti nella cartella "QuestionnaireAndQuestions"

¹*Lab Package*: <https://github.com/benedettoscala/MetaverseTeachingExperimentation>

CAPITOLO 6

Minacce alla validità

Le minacce alla validità di un esperimento si riferiscono a fattori o problemi che possono compromettere la capacità di un esperimento di fornire risultati accurati e generalizzabili. Queste minacce possono mettere in discussione la validità delle conclusioni tratte dall'esperimento e potrebbero rendere difficile o impossibile stabilire relazioni causali tra le variabili coinvolte nello studio. In questo capitolo, analizzeremo attentamente varie categorie di minacce che potrebbero avere un impatto sui risultati della nostra ricerca. Per ciascuna di queste, adotteremo strategie per mitigare l'effetto e garantire la validità dei nostri risultati.

6.1 Validità Interna

La validità interna si riferisce alla misura in cui uno studio può affermare con certezza che le variazioni osservate nella variabile dipendente sono causate dalla variabile indipendente, e non da altri fattori esterni o variabili di confusione.

Interazione con la selezione Abbiamo attenuato questa minaccia facendo lavorare ogni gruppo di partecipanti su strumenti diversi: uno con VR e l'altro con Teams, entrambi impegnati in due compiti di comprensione. Inoltre, tutti i partecipanti

avevano livelli di conoscenza analoghi riguardo al quantum computing, come evidenziato dai punteggi estremamente bassi nel pre-test, garantendo così una baseline comune di partenza.

Risposte Oneste e Comprensione del Questionario La validità delle risposte in un questionario può essere influenzata dalla percezione dei partecipanti riguardo all’anonimato e alla chiarezza delle domande. Abbiamo cercato di mitigare queste minacce in vari modi:

- In primo luogo, abbiamo enfatizzato l’anonimato dell’esperimento, assicurando ai partecipanti che le loro risposte sarebbero state trattate in modo confidenziale.
- Abbiamo anche esortato i partecipanti a rispondere onestamente alle domande, sottolineando che non c’erano incentivi per fornire risposte disoneste.
- Per garantire una comprensione chiara delle domande, abbiamo sottolineato l’importanza di leggere attentamente ogni domanda, indipendentemente dalla familiarità con l’argomento(Durante il pilot-test, abbiamo notato che alcuni partecipanti tendevano a saltare domande a causa della loro mancanza di familiarità con l’argomento)
- Dopo il pre-test e il post-test, abbiamo condotto brevi interviste per comprendere meglio le percezioni e le comprensioni dei partecipanti. Queste interviste hanno rivelato che, dopo il pre-test, la maggior parte dei partecipanti aveva una conoscenza limitata o inesistente delle domande presentate.

Diffusione o Imitazione dei trattamenti Questa minaccia riguarda le informazioni scambiate tra i partecipanti. I partecipanti sono stati monitorati dai supervisori dell’esperimento, che non hanno permesso la comunicazione tra di loro.

Rivalità compensativa e demoralizzazione risentita I partecipanti non erano informati sulle ipotesi dello studio, evitando così di essere influenzati o di modificare il loro comportamento rispetto agli altri gruppi sottoposti a trattamenti diversi. Tuttavia, è possibile che i partecipanti che hanno utilizzato Teams abbiano trovato l’esperienza meno coinvolgente rispetto a quelli che hanno usato il visore.

Effetto Novità I partecipanti che hanno sperimentato il visore potrebbero aver ottenuto risultati superiori a causa dell’innovatività della tecnologia. Tuttavia, per mitigare questo effetto, il visore è stato fornito solo a chi aveva già esperienza con esso

6.2 Validità di Costrutto

La validità di costrutto si riferisce alla misura in cui un test o strumento di misurazione effettivamente misura il concetto o il costrutto che intende misurare.

Spiegazione preoperatoria inadeguata dei costrutti e bias mono-metodo Nel corso di questo esperimento, abbiamo adottato diverse misure per garantire una spiegazione operativa accurata dei concetti analizzati e per evitare la minaccia del "bias mono-method". Tra gli strumenti utilizzati figurano la User Engagement Scale (UES SCALE) e il NASA-TLX, oltre ai test preliminari e finali per valutare la comprensione degli studenti. Era noto, dalla loro definizione, cosa questi questionari andassero a misurare. L’adozione combinata di questi metodi ci ha permesso non solo di affrontare la sfida rappresentata dalla mancanza di una spiegazione operativa inadeguata dei costrutti, ma anche di ottenere una visione più completa e variegata del fenomeno in esame. L’uso di questionari multidimensionali come il NASA-TLX e l’UES-SF ha ulteriormente garantito una valutazione dettagliata dei costrutti da diverse prospettive, riducendo la dipendenza da un singolo metodo e, quindi, minimizzando il rischio di mono-method bias.

Intuizione delle ipotesi sperimentali I soggetti sono stati tenuti all’oscuro dell’ipotesi dell’esperimento, ed inoltre non c’è stata alcuna interazione tra il gruppo di controllo e il gruppo sperimentale. Inoltre, durante l’esecuzione dello studio, il personale coinvolto nell’interazione con i partecipanti è stato adeguatamente addestrato per evitare qualsiasi divulgazione di informazioni che potesse compromettere la cecità sperimentale.

Aspettative Dello Sperimentatore La minaccia dell' "Aspettative dello Sperimentatore" è ridotta al minimo all'interno di questo studio, in quanto l'obiettivo è di valutare sia i possibili miglioramenti che i potenziali peggioramenti derivanti dall'utilizzo dell'ambiente immersivo virtuale.

Apprensione della valutazione La minaccia dell' "Apprensione della valutazione" è stata attenuata poiché i soggetti hanno partecipato volontariamente allo studio senza ricevere alcuna forma di premio materiale o incentivo esterno. La motivazione principale dei partecipanti risiedeva nell'auspicio di contribuire alla ricerca scientifica.

Tale partecipazione volontaria ha favorito un coinvolgimento autentico da parte dei soggetti, riducendo la probabilità che essi avessero agito spinti unicamente dalla ricerca di ricompense o gratificazioni esterne.

Interazione tra testing e trattamento Questa minaccia potrebbe essere presente nello studio. Infatti, avendo somministrato questionari di pre-test e post-test per valutare il livello di apprendimento, i partecipanti potrebbero aver intuito che erano sotto esame per le loro capacità di apprendimento.

Generalizzabilità limitata nel costrutto È stato osservato che i partecipanti hanno ottenuto risultati migliori in determinate situazioni con il visore rispetto a Teams, mentre in altre hanno mostrato prestazioni inferiori. Ad esempio, con il visore la richiesta fisica è risultata maggiore, ma la necessità di attenzione è stata minore rispetto all'uso di Teams.

6.3 Validità Esterna

La validità esterna si riferisce alla misura in cui i risultati di uno studio possono essere generalizzati o applicati a situazioni, persone, tempi e luoghi al di fuori delle condizioni dello studio originale

Interazione fra la selezione e il trattamento La minaccia dell'"interazione fra selezione e trattamento" è stata parzialmente mitigata selezionando studenti universitari

con l'intento di generalizzare i risultati nel contesto accademico. Tuttavia, poiché il campione è specifico per gli studenti di informatica, la capacità di estendere i risultati a tutto l'ambito universitario è circoscritta. La scelta di focalizzarsi unicamente sugli studenti di informatica, trascurando altre discipline, implica che le peculiarità e le competenze di questi studenti potrebbero aver determinato risposte diverse rispetto a quelle di studenti provenienti da altri settori.

Interazione tra l'ambientazione e il trattamento La minaccia dell’“interazione tra l’ambientazione e il trattamento” è stata parzialmente controllata conducendo l'esperimento all'interno di un'università, un ambiente che simula un contesto didattico reale. Tuttavia, è importante sottolineare che l'esperimento non si è svolto in un'aula tradizionale, ma piuttosto nei locali di un'associazione studentesca. Questa decisione potrebbe aver influenzato l'interazione tra l'ambiente e il trattamento, poiché l'atmosfera di un'associazione studentesca potrebbe differire da quella di un'aula tradizionale.

6.4 Validità delle conclusioni

La validità delle conclusioni riguarda la misura in cui le conclusioni tratte dalle relazioni tra variabili sono giustificate o valide.

Affidabilità delle misure Le misure utilizzate (nasa-tlx, ues-sf, etc.) ci hanno permesso di valutare in modo oggettivo il livello di comprensione, ingaggio ed affaticamento raggiunto dai soggetti.

Eterogeneità casuale dei partecipanti Abbiamo selezionato campioni equilibrati basandoci principalmente sull'esperienza d'uso del visore, dato che il quantum computing non era conosciuto da nessuno dei partecipanti. Una potenziale criticità riguarda il numero di osservazioni. Per confermare o smentire i risultati ottenuti, sarebbe necessario replicare lo studio su un numero maggiore di partecipanti.

Tasso di Errore Per determinare la significatività statistica, è stato adottato un valore p-value inferiore a 0.05.

CAPITOLO 7

Conclusioni, Limitazioni e Sviluppi Futuri

In questo capitolo, esamineremo le conclusioni derivate dall'analisi dei dati raccolti durante l'esperimento empirico. Saranno inoltre presentate le limitazioni e gli eventuali sviluppi futuri.

7.1 Conclusioni

L'obiettivo principale di questo studio era quello di esaminare in che modo poteva l'utilizzo di dispositivi di realtà virtuale immersiva migliorare la didattica a distanza rispetto a piattaforme di videocomunicazione standard. Specificamente, l'intenzione era quella di:

- Determinare se gli studenti apprendessero di più utilizzando caschetti VR
- Capire in che modo l'utilizzo di caschetti VR potesse compromettere l'affaticamento cognitivo e fisico degli studenti.
- Valutare se, per gli studenti, l'esperienza di utilizzo dei visori risultasse in un maggiore coinvolgimento e partecipazione rispetto all'uso di Teams.

Per conseguire gli obiettivi della nostra ricerca, abbiamo condotto un quasi-esperimento controllato confrontando un gruppo che utilizzava la realtà virtuale (VR)

con uno che utilizzava Teams. Questa scelta è stata guidata dalla consapevolezza che, in contesti reali, possono emergere fattori confondenti incontrollabili. Inoltre, un esperimento completamente randomizzato non era fattibile, dato l'ostacolo di selezionare partecipanti da un'ampia popolazione ipotetica.

L'approccio sperimentale ha aderito al modello proposto da C. Wohlin et al. [31]. Abbiamo inizialmente definito le ipotesi dello studio, strettamente correlate alle domande di ricerca. Da queste, abbiamo derivato le variabili indipendenti (NO_VR e SI_VR) e le variabili dipendenti ($gAFF$, $gEng$, $gAppr$).

Successivamente, abbiamo organizzato una lezione sul quantum computing sia su Teams che su VRChat. Su VRChat, abbiamo ricreato un ambiente di classe virtuale sfruttando l'SDK fornito da VRChat stesso. Inoltre, abbiamo realizzato un 'digital twin' del docente, registrando in anticipo slide, audio e movimenti del docente attraverso un software di motion capture.

Per valutare le differenze tra i due gruppi, abbiamo adottato diversi strumenti, tra cui il NASA-TLX, UES-SF e questionari pre-test e post-test.

Dopo il processo di reclutamento e la conduzione dell'esperimento, siamo giunti alle seguenti conclusioni:

- L'IVR può potenziare l'engagement degli studenti nelle lezioni grazie alla sua natura immersiva e alla riduzione delle distrazioni. La sua efficacia, tuttavia, dipende dalla sua implementazione nel contesto didattico.
- Sebbene l'IVR sembri diminuire l'affaticamento cognitivo nelle lezioni rispetto a Teams, l'uso del visore VR potrebbe aumentare leggermente l'affaticamento fisico. Nonostante ciò, le autovalutazioni indicano una maggiore efficienza con l'IVR rispetto a Teams.
- Nonostante non ci siano differenze statisticamente significative nell'apprendimento tra IVR e Teams, gli studenti con IVR hanno ottenuto punteggi leggermente migliori e risultati più uniformi rispetto a quelli su Teams.

7.2 Limitazioni e Sviluppi Futuri

Nel corso della ricerca, si sono manifestate alcune restrizioni che richiedono un'attenta valutazione. Queste potrebbero influenzare gli sviluppi futuri in questo ambito:

- **Interazione studente docente:** Lo studio si è focalizzato esclusivamente sulla lezione frontale, senza possibilità di interazione tra studenti e docente. Sarebbe stimolante esplorare come le domande, se formulate in realtà virtuale, possano influenzare l'engagement e l'apprendimento degli studenti.
- **Interazione tra studenti:** La configurazione prevedeva la presenza di un solo studente per aula. Sarebbe intrigante analizzare come la dinamica della lezione possa evolversi con la presenza di più studenti: potrebbero interagire direttamente tra loro, porre domande al docente o collaborare all'interno dell'ambiente virtuale.
- **Insegnamento Di Un Intero Corso:** Per determinare con precisione se l'insegnamento tramite visore sia superiore a Teams nella didattica a distanza, sarebbe necessario condurre un corso completo utilizzando il visore. Tuttavia, considerando che un corso universitario si estende su molteplici lezioni per un arco temporale significativo (un semestre completo), non è stato praticabile realizzare un esperimento di tale durata.
- **Mancanza Di Appunti:** Gli studenti hanno l'istinto di prendere appunti durante le spiegazioni del docente. Tuttavia, il visore non supporta ancora questa pratica. È essenziale esplorare soluzioni alternative per soddisfare questa esigenza.

Per quanto riguarda le prime due limitazioni, emergono delle sfide economiche e sociali. Infatti, non tutti hanno accesso a un visore per la realtà virtuale, rendendo difficile la realizzazione pratica di tali considerazioni. Tuttavia, guardando al futuro e considerando che molti software, inclusi quelli come VrChat, offrono già la possibilità di comunicare vocalmente, si prevede che superare tali ostacoli diventerà progressivamente meno complesso.

In conclusione è fondamentale che gli sviluppatori e gli educatori collaborino per affrontare queste sfide e sfruttare appieno il potenziale della realtà virtuale nell'ambito educativo.

Bibliografia

- [1] R. Singh and S. Awasthi, "Updated comparative analysis on video conferencing platforms- zoom, google meet, microsoft teams, webex teams and gotomeetings," *EasyChair preprints*, August 2020, intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair. (Citato alle pagine 1, 31 e 32)
- [2] T. D. B. Cathy Hackl, Dirk Lueth, *Navigating the Metaverse: A Guide to Limitless Possibilities in a Web 3.0 World.* John Wiley & Sons, 2022. (Citato alle pagine 1 e 7)
- [3] H. Lee, D. J. Woo, and S. Yu, "Virtual reality metaverse system supplementing remote education methods: Based on aircraft maintenance simulation," *Applied Sciences*, 2022. (Citato alle pagine 2 e 22)
- [4] Y. Zinchenko, P. Khoroshikh, A. Sergievich, A. Smirnov, A. Tumyalis, A. Kovalev, S. Gutnikov, and K. Golokhvast, "Virtual reality is more efficient in learning human heart anatomy especially for subjects with low baseline knowledge," *New Ideas in Psychology*, vol. 59, p. 100786, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0732118X19301102> (Citato alle pagine 2 e 21)

- [5] A. Akbulut, C. Catal, and B. Yıldız, "On the effectiveness of virtual reality in the education of software engineering," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 26, no. 4, pp. 918–927, 2018. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.21935> (Citato alle pagine 2 e 20)
- [6] M. Hiramatsu, S. Asagiri, S. G. Amano, N. Takanashi, S. K. Kawagoe, and K. Kamegai, "Virtual alma tour in vrchat: A whole new experience," 2022. (Citato alle pagine 2 e 23)
- [7] E. Cline, *Ready Player One*. Ballantine Books, 2011. (Citato a pagina 5)
- [8] N. Stephenson, *Snow Crash*, 1992. (Citato a pagina 5)
- [9] Y. Wang, Z. Su, N. Zhang, R. Xing, D. Liu, T. H. Luan, and X. Shen, "A survey on metaverse: Fundamentals, security, and privacy," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 25, no. 1, pp. 319–352, 2023. (Citato a pagina 6)
- [10] D. T. K. Ng, "What is the metaverse? definitions, technologies and the community of inquiry," *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 38, no. 4, p. 190–205, Nov. 2022. [Online]. Available: <https://ajet.org.au/index.php/AJET/article/view/7945> (Citato a pagina 6)
- [11] E. Schlemmer, D. Trein, and O. Cristoffer, "The metaverse: Telepresence in 3d avatar-driven digital-virtual worlds," *@tic : Revista d'Innovació Educativa*, 01 2009. (Citato a pagina 6)
- [12] J. E. M. Díaz, C. A. D. Saldaña, and C. A. R. Avila, "Virtual world as a resource for hybrid education," *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 15, pp. 94–109, 2020. (Citato a pagina 6)
- [13] C. E. George Reyes, "Percepción de estudiantes de bachillerato sobre el uso de metaverse en experiencias de aprendizaje de realidad aumentada en matemáticas: Perception of high school students about using metaverse in augmented reality learning experiences in mathematics," *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, vol. 58, p. 143–159, abr. 2020. [Online]. Available: <https://recyt.fecyt.es/index.php/pixel/article/view/74367> (Citato a pagina 6)

- [14] R. B. Riaan Rudman, "Defining web 3.0: opportunities and challenges," *The Electronic Library*, 2016. (Citato a pagina 7)
- [15] L. Lee, T. Braud, P. Zhou, L. Wang, D. Xu, Z. Lin, A. Kumar, C. Bermejo, and P. Hui, "All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda," *CoRR*, vol. abs/2110.05352, 2021. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2110.05352> (Citato a pagina 8)
- [16] Cisco. What is 5g? Accesso: Data di accesso al link. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/it_it/solutions/what-is-5g.html (Citato a pagina 8)
- [17] H. Ning, H. Wang, Y. Lin, W. Wang, S. Dhelim, F. Farha, J. Ding, and M. Daneshmand, "A survey on the metaverse: The state-of-the-art, technologies, applications, and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 1–1, 2023. (Citato alle pagine 8 e 10)
- [18] M. Ikram, K. Sultan, M. F. Lateef, and A. S. M. Alqadami, "A road towards 6g communication—a review of 5g antennas, arrays, and wearable devices," *Electronics*, vol. 11, no. 1, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/1/169> (Citato a pagina 8)
- [19] P. Mukherjee and C. Pradhan, *Blockchain 1.0 to Blockchain 4.0—The Evolutionary Transformation of Blockchain Technology*, 05 2021, pp. 29–49. (Citato a pagina 9)
- [20] T. Huynh-The, T. R. Gadekallu, W. Wang, G. Yenduri, P. Ranaweera, Q.-V. Pham, D. B. da Costa, and M. Liyanage, "Blockchain for the metaverse: A review," *Future Generation Computer Systems*, vol. 143, pp. 401–419, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X23000493> (Citato alle pagine 9 e 10)
- [21] H. Duan, J. Li, S. Fan, Z. Lin, X. Wu, and W. Cai, "Metaverse for social good: A university campus prototype," *CoRR*, vol. abs/2108.08985, 2021. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2108.08985> (Citato alle pagine 9 e 15)
- [22] M. A. I. Mozumder, M. M. Sheeraz, A. Athar, S. Aich, and H.-C. Kim, "Overview: Technology roadmap of the future trend of metaverse based on iot, blockchain,

- ai technique, and medical domain metaverse activity," in *2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2022, pp. 256–261. (Citato a pagina 10)
- [23] L. Freina and M. Ott, "A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives," *Nome della rivista*, vol. Volume, no. Numero, p. Pagine, Anno. (Citato a pagina 10)
- [24] E. Prasolova-Førland, A. Sourin, and O. Sourina, "Cybercampuses: design issues and future directions," *The Visual Computer*, vol. 22, pp. 1015–1028, 11 2006. (Citato a pagina 14)
- [25] G. Makransky, S. Borre-Gude, and R. E. Mayer, "Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 35, no. 6, pp. 691–707, 2019. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jcal.12375> (Citato a pagina 16)
- [26] G. Makransky and G. B. Petersen, "Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach," *Computers & Education*, vol. 134, pp. 15–30, 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131519300259> (Citato a pagina 16)
- [27] D. Sjoeberg, J. Hannay, O. Hansen, V. Kampenes, A. Karahasanovic, N.-K. Liborg, and A. Rekdal, "A survey of controlled experiments in software engineering," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 31, no. 9, pp. 733–753, 2005. (Citato a pagina 19)
- [28] J. Hagler, M. Lankes, and N. Gallist, "Behind the curtains: Comparing mozilla hubs with microsoft teams in a guided virtual theatre experience," in *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2022, pp. 19–22. (Citato alle pagine 22 e 24)

- [29] U. Bilotti, D. Di Dario, F. Palomba, C. Gravino, and M. Sibilio, "Machine learning for educational metaverse: How far are we?" 01 2023, pp. 01–02. (Citato a pagina 27)
- [30] H. Nesher Shoshan and W. Wehrt, "Understanding "zoom fatigue": A mixed-method approach," *Applied Psychology*, vol. 71, no. 3, pp. 827–852, 2022. [Online]. Available: <https://iaap-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/apps.12360> (Citato a pagina 27)
- [31] C. Wohlin, P. Runeson, M. Höst, M. C. Ohlsson, and B. Regnell, "Experimentation in software engineering," in *The Kluwer International Series in Software Engineering*, 2000. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:9558494> (Citato alle pagine 28 e 68)
- [32] V. R. Basili, G. Caldiera, and H. D. Rombach, "The goal question metric approach," 1994. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:13884048> (Citato a pagina 29)
- [33] M. Italia, "Microsoft edu day live: l'evoluzione digitale della scuola italiana e dell'università durante e dopo l'emergenza sanitaria," Maggio 2020, evento online. [Online]. Available: <https://bit.ly/MicrosoftEduDayTeams> (Citato a pagina 32)
- [34] N. Fenton and J. Bieman, *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach, Third Edition*, 3rd ed. USA: CRC Press, Inc., 2014. (Citato a pagina 33)
- [35] H. O'Brien, P. Cairns, and M. Hall, "A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (ues) and new ues short form," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 112, 04 2018. (Citato alle pagine 37 e 38)
- [36] M. M. Marta Galant-Gołębiewska, Barbara Mika, "Analysis of the impact of task difficulty on the operator's workload level," *Aviation*, 2022. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.3846/aviation.2022.16808> (Citato a pagina 40)
- [37] V. Nagy, G. Kovács, P. Földesi, D. Kurhan, M. Sysyn, S. Szalai, and S. Fischer, "Testing road vehicle user interfaces concerning the driver's

- cognitive load," *Infrastructures*, vol. 8, no. 3, p. 49, 2023. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.3390/infrastructures8030049> (Citato a pagina 40)
- [38] N. H. Muhammad Saddam Akbar Hermansyah, "Nasa-tlx assessment of mental workload in manufacturing industry," *Spektrum Industri*, vol. 20, no. 2, p. 43, 2022. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.12928/si.v20i2.43> (Citato a pagina 40)