



POLITECNICO
MILANO 1863

Due anni di laboratori VR

Esercitazioni ed esperienze
raccolte nei laboratori per Realtà
Virtuale del Politecnico di Milano

2 ANNI DI LABORATORI VR

**Esercitazioni ed esperienze raccolte nei Laboratori
per Realtà Virtuale del Politecnico di Milano**

Versione 1.0

Pubblicata il 05/07/2024

*Un ringraziamento agli stimati colleghi Eugenio Stemma,
Daniele Albricci, Claudio Ariatti, Paolo Carta, Luigi Esposito,
tutti coinvolti nel lavoro svolto per i Laboratori VR.*

Curatori

Marco Denni, Paolo Marenghi

Autori

Valeria Baldoni, Federica Brambilla, Francesca
Bruschi, Daniela Casiraghi, Marco Denni, Paolo
Marenghi, Luca Longa, Marta Pampanin, Sara
Pandocchi, Susanna Sancassani, Bianca Santolini

Editing grafico

Marco Denni - Chiara Di Terlizzi

INDICE

0. Introduzione

1. Didattica e Realtà Virtuale

1.1 Potenzialità e Limiti

- 1.1.1 Visualizzazione della complessità
- 1.1.2 Coinvolgimento
- 1.1.3 Facilitare le pari opportunità
- 1.1.4 Capacità di esercitare le abilità senza rischi e costi
- 1.1.5 Vantaggi per l'eLearning

1.2 Spreading VR

- 1.2.1 Definizione dei RAA (Risultati di Apprendimento Attesi)
- 1.2.2 Framework pedagogici
- 1.2.3 Modelli organizzativi

1.3 Casi studio rilevanti

- 1.3.1 Caso studio - Analisi della potenzialità nell'utilizzo della VR per la didattica
- 1.3.2 Caso studio - Esempio di potenziale applicazione laboratoriale
- 1.3.3 Caso studio - Applicazioni in VR per esplorare elementi microscopici
- 1.3.5 Enti e/o università che interagiscono con la tecnologia VR

1.4 Direzioni future - la didattica con VR e AR

2. Laboratori VR: nascita, sviluppo e gestione

2.1 Nascita e sviluppo

2.2 Infrastrutture e devices

2.3 Software

- 2.3.1 Applicazioni
- 2.3.2 Servizi e piattaforme

3. Procedure per la realizzazione di esperienze didattiche in VR

3.1 Guida per studenti

3.1.1 Video Tutorial

3.2 Guida per docenti

3.3 Organizzazione interna

3.3.1 Ruoli coinvolti

3.3.2 Materiale condiviso

4. Focus sull'esperienze didattiche in VR del Politecnico

4.1 Lezioni VR

4.1.1 Dipartimenti, corsi e applicativi coinvolti

4.2 Strumenti per la raccolta e condivisione di dati

4.2.1 Schede

4.2.2 Questionari

4.2.3 Report

5. Conclusioni

5.1 Impatto dell'introduzione della tecnologia VR nella didattica

5.2 Riflessioni e conclusioni

6. References

0. Introduzione

Costruire soluzioni che permettano di “toccare con mano” gli avanzamenti tecnologici nell’ambito educativo, come l’introduzione, relativamente recente, della Realtà Virtuale in aula, è sempre una sfida ambiziosa e complessa.

Attraverso questa pubblicazione, ci proponiamo di illustrare e documentare l’esperienza di ricerca e applicazione sul campo che, come Task Force “METID - Learning Innovation” del Politecnico di Milano, abbiamo intrapreso nella progettazione e gestione dei laboratori di realtà virtuale (VR). Questi laboratori, due aule dotate di postazioni con PC e visori, permettono a docenti e studenti di fruire e interagire con contenuti in VR.

Nella prima parte, approfondiamo le potenzialità e i limiti della VR nei contesti didattici, attraverso lo studio e la definizione di metodologie specifiche e l’analisi di casi studio di interesse. Successivamente, sintetizziamo gli aspetti fondamentali per la realizzazione di un ambiente di questo tipo, partendo dall’ideazione e progettazione degli spazi e delle applicazioni disponibili, per poi passare agli elementi gestionali e manutentivi.

Non mancheranno infine dettagli sulla configurazione hardware e software delle aule, sulle procedure e documenti creati per guidare docenti e studenti nell’uso dei laboratori, sugli strumenti realizzati per il monitoraggio e la registrazione delle attività, e sugli spunti di miglioramento per gli aspetti logistici e organizzativi.

1. Didattica e Realtà Virtuale

La realtà virtuale (VR), sebbene oggi sia percepita come una tecnologia nuova o quantomeno recente, affonda le sue radici in esperimenti e sviluppi avviati diversi decenni fa. Nella seconda metà degli anni '90, i visori per la realtà virtuale fecero il loro ingresso nel mercato consumer, segnando un momento epocale con il debutto del Forte VFX1 nel 1995. Questo fu solo l'inizio di un rapido sviluppo che avrebbe visto, nel 2012, l'annuncio del rivoluzionario dispositivo Rift, seguito dalla successiva acquisizione da parte di Meta (Facebook Technologies). Questo evento ha notevolmente consolidato la prospettiva di un'ampia diffusione delle Tecnologie di Realtà Mediate dal Computer (CMRT).

In un panorama sempre più dominato dalla virtualità pervasiva, è fondamentale analizzare con attenzione le reali prospettive di questa tecnologia nell'ambito dell'istruzione. La VR offre infatti potenziali rivoluzionari per l'apprendimento universitario, con applicazioni che spaziano dalla simulazione di ambienti complessi alla possibilità di esperienze immersive e interattive difficilmente replicabili in aula. Diverse imprese hanno lanciato sul mercato una gamma eterogenea di dispositivi, con esiti variabili. Di conseguenza, è essenziale esplorare le soluzioni già disponibili per le istituzioni universitarie e valutare i benefici concreti che possono apportare all'esperienza didattica.

Nell'ottica di migliorare l'efficacia dell'insegnamento e di arricchire il percorso formativo degli studenti, la realtà virtuale rappresenta una frontiera promettente, capace di trasformare le modalità di apprendimento tradizionali. Dalla visualizzazione di modelli tridimensionali per le discipline scientifiche

alla ricostruzione storica per le scienze umanistiche, le potenzialità educative della VR sono immense. Analizzando esperienze didattiche concrete e valutando i risultati ottenuti, è possibile tracciare una mappa delle migliori pratiche e delle sfide da affrontare per integrare efficacemente questa tecnologia nelle università di oggi e di domani.

1.1 Potenzialità e Limiti

1.1.1 Visualizzazione della complessità

Molto spesso, nelle attività formative tradizionali, alcuni concetti risultano estremamente difficoltosi da spiegare o visualizzare attraverso un libro di testo, come ad esempio strutture molecolari, concetti anatomici, fenomeni spaziali o argomenti astratti e complessi. La comprensione di tali concetti e la loro memorizzazione sono spesso sfide ardue per gli studenti.

Alcune tecnologie possono essere utilizzate come facilitatori di questi processi didattici: l'utilizzo della Realtà Aumentata (AR) rende notevolmente più accessibile la trasmissione di concetti complessi, creando un'esperienza didattica ricca e interattiva che fonde il mondo reale con quello virtuale. La Realtà Virtuale (VR) invece, presenta informazioni mediante modelli 3D vividi e realistici, risultando altresì efficace nel presentare in chiave immersiva concetti e abilità.

All'interno dei contesti didattici, le applicazioni legate a temi di realtà aumentata e virtuale promuovono un processo di apprendimento attivo, permettendo agli studenti un alto livello di

interazione e di esercizio, in alcuni casi molto vicino ad una simulazione reale. Questa esperienza pratica conduce a una comprensione più approfondita, migliora la memorizzazione delle conoscenze, rafforza la ritenzione, stimola la motivazione degli studenti e amplifica il loro livello di coinvolgimento.

1.1.2 Coinvolgimento

Preferire l'osservazione rispetto alla lettura o alla scrittura a fini di apprendimento è una tendenza comune tra la maggioranza degli studenti di oggi; questi trovano sempre più difficile mantenere l'attenzione su libri di testo, lavagne e dispense cartacee. Le distrazioni sono frequenti, e il tempo dedicato in classe all'uso dei loro dispositivi mobili è sempre maggiore.

Fuori dall'ambito scolastico, come durante i periodi di restrizioni dovuti alla pandemia, gli educatori hanno individuato nella scarsa partecipazione e frequenza degli studenti i principali ostacoli all'efficacia dell'apprendimento a distanza. Pur essendo in grado di connettersi con i loro insegnanti attraverso videoconferenze e strumenti di collaborazione online, gli studenti possono comunque riscontrare difficoltà nell'approcciarsi a nuovi concetti, specialmente quelli legati alle discipline STEM.

L'integrazione della realtà aumentata e virtuale nel contesto educativo emerge come una soluzione efficace per affrontare tali sfide, rendendo il processo di apprendimento intrinsecamente più coinvolgente per gli studenti. Coloro che si immergono completamente nelle esperienze proposte dai

dispositivi di realtà virtuale manifestano una minor propensione a distogliere l'attenzione attraverso l'uso degli smartphone. Quando gli insegnanti introducono elementi innovativi in aula, generano un vivo interesse negli studenti, soprattutto quando questi possono interagire con dispositivi che trovano particolarmente stimolanti. La partecipazione attiva garantisce un livello di attenzione molto alto.

Le tecnologie immersive offrono agli studenti l'opportunità di vivere esperienze altrimenti inaccessibili, consentendo loro di agire anziché limitarsi a osservare. Ad esempio, anziché leggere informazioni su paesi stranieri, gli studenti possono esplorarli attraverso l'utilizzo di applicazioni dedicate, come nel caso di Google Expeditions e di un auricolare mobile. Non solo è entusiasmante sperimentare nuove tecnologie in un ambiente di apprendimento innovativo, ma è anche evidente per istituzioni educative e aziende che la facilità ed efficienza nell'assorbire e conservare informazioni complesse aumenta significativamente con l'uso di AR e VR, stimolando la motivazione degli studenti. La ludicizzazione rende il processo di apprendimento meno oneroso, mentre un ambiente di apprendimento positivo promuove risultati migliori.

L'approccio coinvolgente e autentico si traduce in una maggiore soddisfazione degli studenti e potenzialmente in tassi di fidelizzazione e completamento del percorso formativo in aula, in laboratorio, etc., più elevati. L'integrazione della tecnologia immersiva nelle esperienze di apprendimento aiuta a stimolare la curiosità e la creatività degli studenti. I vantaggi

dell'apprendimento immersivo si estendono a tutte le forme di apprendimento. Sebbene la lettura o la visualizzazione di immagini dallo schermo o dalla carta del telefono possano essere convenienti, non possono eguagliare le potenzialità delle tecnologie VR/AR nel consentire agli studenti di esplorare mostre museali. Tali tecnologie non solo consentono di visitare musei scientifici o gallerie d'arte senza lasciare l'aula o la casa, ma aggiungono anche un nuovo livello emotivo ai tour della vita reale. Ad esempio, presso la Holocaust Memorial Exhibition a Spokane, Washington, le persone hanno utilizzato la realtà aumentata per esplorare gli eventi accaduti nella città di Eišiškes, in Lituania. Posizionando uno smartphone sopra ciascuna fotografia esposta, gli utenti possono conoscere dettagliatamente gli avvenimenti legati a ogni persona ritratta.

1.1.3 Facilitare le pari opportunità

Le esperienze di apprendimento in realtà aumentata e virtuale diminuiscono la necessità per gli studenti di affrontare lunghe percorrenze o di spostarsi fisicamente per raggiungere le aule. Indossando un semplice auricolare come Google Cardboard, gli individui possono accedere alle visualizzazioni interattive del loro curriculum o persino impegnarsi in sessioni di allenamento con un coach fitness virtuale. Un esempio significativo è quello di Steven King, professore associato presso la University of North Carolina School of Media and Journalism, che ha implementato con successo un'aula virtuale per i suoi studenti. Questa aula virtuale, basata sul suo laboratorio nel mondo reale, consente agli studenti di partecipare alle lezioni da remoto e di interagire in modo sicuro tra loro. L'introduzione

di avatar divertenti ha aggiunto un elemento di gioco all'esperienza, dimostrando il potenziale di coinvolgimento e flessibilità offerto dalle tecnologie immersive.

Oltre alle lezioni, il processo educativo abbraccia una varietà di eventi, tra cui presentazioni, workshop, conferenze e perfino cerimonie di laurea. Brian Miller, preside della Davenport University, un college privato senza scopo di lucro con sede a Grand Rapids e campus disseminati in tutto il Michigan, sottolinea l'importanza del senso di appartenenza al luogo, spesso assente nei programmi di apprendimento online tradizionali.

In risposta a questa esigenza, la Davenport University ha lanciato un programma pilota che consente di condurre lezioni, discorsi ed eventi online attraverso la realtà virtuale. Durante l'attuale pandemia, hanno adottato un approccio innovativo per migliorare l'esperienza in classe per docenti e studenti. Di conseguenza, è stata creata una rappresentazione digitale del campus e delle aule, offrendo agli studenti e agli insegnanti la possibilità di visitare e interagire in un ambiente virtuale che riflette fedelmente la realtà.

Il tour virtuale della Casa di Anna Frank, inizialmente concepito per agevolare l'accesso alle persone con mobilità ridotta, è ora liberamente accessibile nell'Oculus Store, diventando una risorsa utilizzata a livello globale per finalità educative. Lo studio Force Field Entertainment ha dedicato grande impegno alla ricreazione minuziosa dei dettagli contenuti nel diario di Anne Frank, dando vita al suo nascondiglio attraverso la realtà virtuale. Grazie a questo sforzo, chiunque può ora immergersi e ascoltare la storia

di Anne Frank in sette lingue diverse. L'integrazione della realtà virtuale, con la possibilità di traduzioni incorporate, supera diversi ostacoli tra gli studenti e i loro obiettivi educativi.

1.1.4 Capacità di esercitare le abilità senza rischi e costi

L'apprendimento pratico costituisce il metodo più efficace per acquisire competenze. La realtà virtuale offre l'opportunità di apprendere attraverso l'esecuzione di attività, anche in contesti virtuali; scenari e simulazioni realistiche possono agevolare sia lo sviluppo di competenze trasversali che la formazione tecnica. Le applicazioni di realtà virtuale possono essere pensate per fornire analisi sul tempo impiegato per completare le attività nel mondo virtuale o segnalare gli errori direttamente al tirocinante. L'aspetto pratico dell'istruzione spesso richiede spesso attrezzature o condizioni speciali per l'apprendimento: ad esempio, gli studenti potrebbero dover manipolare sostanze chimiche volatili per osservare le reazioni che stanno studiando, o gli studenti di medicina potrebbero necessitare di manichini di prova o modelli fisici reali su cui esercitarsi. Ciò comporta ulteriori oneri finanziari per istituzioni scolastiche e università, senza contare le difficoltà logistiche e organizzative. L'apprendimento immersivo fornisce un ambiente sicuro, sia dal punto di vista mentale che fisico, per acquisire e perfezionare le abilità, riducendo al contempo i costi.

Gli ambienti virtuali ideali eliminano rischi e la necessità di viaggiare o investire in attrezzature costose, ed i laboratori virtuali possono ridurre i

costi e aumentare l'accessibilità. I modelli virtuali consentono agli studenti di medicina di esplorare, commettere errori, apprendere da essi e ripetere varie procedure senza mettere in pericolo i pazienti. Inoltre, sta crescendo l'adozione della realtà aumentata per la pratica: ad esempio, presso il Center for Creative Arts and Media di Yale, un'applicazione basata su AR consente a più studenti di partecipare alla stessa simulazione di un infortunio (o delle sue varianti) senza le limitazioni dei modelli fisici. (Fig.1)

Il primo prototipo utilizza codici QR: quando un telefono o un tablet li scannerizza, viene visualizzata l'immagine di un infortunio, e lo studente deve rispondere a una serie di domande per stabilire le priorità, diagnosticare e curare il paziente. Il secondo prototipo richiede agli studenti di utilizzare un visore HoloLens che proietta un dettagliato modello 3D virtuale su un apposito manichino. Questo simula -simulazione creata con un software di game engine come Unity- il caso di una ferita con sanguinamento sul manichino: gli studenti devono poi scegliere tra tre opzioni di trattamento e, nel caso in cui scelgano correttamente, riescono a fermare l'emorragia.



Fig.1 - Center for Collaborative Arts and Media in Yale

Altrimenti, l'app fornisce istruzioni dettagliate sul corretto protocollo terapeutico.

Un'app di formazione medica in realtà virtuale sviluppata da Onix offre agli utenti la possibilità di selezionare un set di allenamento, immergendoli successivamente in una storia tematica. In punti specifici, vengono poste domande riguardo alle azioni da intraprendere, e le risposte influenzano il susseguirsi degli eventi. Suggerimenti sotto forma di elementi video e audio sono stati integrati per un apprendimento più approfondito. (Fig.2)

Modelli virtuali accurati agevolano l'istruzione e la formazione di specialisti in diversi settori, come aviazione, ingegneria, manutenzione tecnica, addestramento militare e altro ancora. Le aziende possono addestrare i propri dipendenti in contesti che sarebbero difficili o costosi da replicare nella realtà, evitando le spese legate ai viaggi verso luoghi di lavoro fisici. Le esperienze interattive, che spaziano dai tour virtuali a 360 gradi degli impianti di produzione a scenari di situazioni di emergenza, sono in grado di sviluppare sia competenze tecniche che soft. Gli studenti hanno la possibilità di esercitarsi in modo flessibile, garantendo un apprendimento personalizzato e approfondito.

Questi costituiscono solo alcuni esempi dell'impatto delle tecnologie AR/VR sull'eLearning. Inoltre, è essenziale menzionare che la realtà virtuale può favorire lo sviluppo di capacità comunicative e di lavoro di squadra attraverso esperienze collaborative. Ad esempio, è possibile organizzare riunioni con amici o colleghi nella realtà virtuale,

effettuare chiamate di gruppo, conversare e condividere il desktop in modo condiviso.

Le tecnologie VR incentivano l'adozione di scenari ramificati e simulazioni online per migliorare la valutazione delle prestazioni. Il software consente di registrare le sessioni degli studenti e di monitorarne i risultati. Una volta completate, gli studenti possono revisionare le sessioni, identificare gli errori commessi, apprendere le correzioni e ripetere la valutazione in un secondo momento. Analisi dettagliate e approfondimenti sull'apprendimento agevolano la creazione di esperienze di apprendimento migliorate, allineate alle aspettative degli studenti e in grado di garantire un rendimento degli investimenti più significativo. Le applicazioni AR e VR contribuiscono altresì a



Fig.2 - Screenshot dall'applicazione medicale sviluppata da Onix

rendere l'insegnamento più agevole ed efficace. Un esempio concreto è rappresentato da una dettagliata rappresentazione 3D animata del cuore umano, che consente agli insegnanti di evitare l'impiego di innumerevoli domande e risposte. L'apprendimento immersivo apre la possibilità di esporre gli utenti a esperienze suscettibili di indurre varie emozioni, come paura, ansia, rabbia e confusione. Ciò crea opportunità per la formazione in meccanismi di gestione dello stress, il superamento di fobie e paure, lo sviluppo di empatia e molto altro ancora.

1.2 Spreading VR

1.2.1 Definizione dei RAA

Perché è utile proporre agli studenti un lavoro su simulazioni di Realtà Virtuale? Una risposta generale è che c'è un grande vantaggio nel poter applicare concetti teorici in un ambiente virtuale che replica fedelmente quello reale. Il manuale individua 4 macro obiettivi principali: addestramento, esplorazione e analisi di un ambiente, elaborazione di soluzioni e valutazione di uno scenario. Non sono gli unici però. Al fine di mappare e dettagliare nel migliore dei modi i Risultati di Apprendimento Attesi ci si può ispirare alla Tassonomia di Bloom.

L'apprendimento viene concepito come un processo sequenziale e lineare che procede attraverso una serie di fasi ben definite ciascuna delle quali è condizione per poter accedere alla successiva. Sul piano pratico questo si traduce in una strategia di insegnamento che procede dal semplice al complesso e riserva gli obiettivi relativi a competenze più elevate a fasi successive della formazione e dello sviluppo dello studente. Bloom divide quindi la sua Piramide in sei livelli di conoscenza: ricordare, capire, applicare, analizzare, valutare e creare.

RICORDARE

Qual è il processo/procedura/passaggi che gli studenti devono ricordare per svolgere nel modo corretto le attività all'interno della simulazione? Quali sono le conoscenze pregresse che gli studenti devono essere in grado di richiamare ed utilizzare?

CAPIRE

Quali sono gli aspetti cruciali che gli studenti devono capire nello svolgimento delle operazioni? Quali sono le relazioni di causa ed effetto all'interno del processo che gli studenti devono saper interpretare e spiegare? Quali sono gli aspetti pratici che lo studente deve saper interpretare in relazione alla teoria?

APPLICARE

In quali modi gli studenti devono saper applicare/scegliere le loro conoscenze per arrivare alle soluzioni corrette? Quali differenze ci sono nell'applicazione pratica di una procedura?

ANALIZZARE

Quali sono le caratteristiche principali di un processo/problema/scenario che gli studenti devono saper esaminare? Quali azioni lo studente deve pianificare prima di cominciare le attività nel simulatore?

VALUTARE

In che modo gli studenti classificano le azioni svolte per interpretare l'esperienza svolta? In che modo gli studenti interpretano le azioni svolte per argomentare il processo?

CREARE

In che modo gli studenti arrivano a sviluppare la soluzione ad un problema? Quali sono gli aspetti di un processo che lo studente deve saper pianificare per formulare una soluzione?

1.2.2 Framework pedagogici

I framework pedagogici sono strumenti pratici che forniscono una guida metodologica utile al docente per progettare e strutturare i contenuti delle proprie lezioni in modo efficace, allineandoli ai risultati di apprendimento attesi. Si è scelto di utilizzare i framework pedagogici come linee guida nella progettazione delle attività presentate in questo manuale. Dal momento che ogni attività può essere declinata e modificata dal docente in base alle proprie esigenze è stata inserita una presentazione di questi approcci pedagogici.

Problem-Based Learning

Secondo il Problem-Based Learning l'apprendimento viene promosso attraverso la soluzione di problemi che diventano l'occasione per esplorare i contenuti e i metodi necessari per risolverli.

Eventi Educativi Gagné

Secondo gli eventi educativi Gagné l'apprendimento ha luogo quando una situazione di "stimolo" colpisce il soggetto in modo tale che ci sia un cambiamento nella sua performance. Gli "eventi educativi", sono individuati come momenti chiave dell'attività formativa.

Inquiry-Based Learning

L'Inquiry-Based learning valorizza il ruolo della ricerca autonoma da parte dello studente partendo dalla formulazione di una domanda.

Ciclo di Kolb

Il Ciclo di Kolb si basa sull'assunto che l'apprendimento sia un processo che crea conoscenza attraverso la trasformazione dell'esperienza. Lo sviluppo di

nuovi concetti è fornito sostanzialmente da nuove esperienze e l'apprendimento implica l'acquisizione di concetti astratti che possono essere poi applicati in modo flessibile in una serie di situazioni.

1.2.3 Modelli organizzativi

Le attività da svolgere in laboratorio sono state suddivise in tre modalità organizzative: attività individuali, a coppie e a gruppi. Le attività individuali, comprendono tutte quelle attività che possono essere svolte singolarmente dagli studenti senza dover interagire con gli altri. L'unico tipo di dialogo avviene solo nel momento del feedback con il docente. Le interazioni avvengono in plenaria o con il docente. Le attività a coppie, comprendono tutte le attività che possono essere svolte a coppie all'interno di una singola postazione. In questo modo l'apprendimento avviene anche tramite la discussione e il confronto e permette lo sviluppo di competenze trasversali. Le attività a gruppi, comprendono le attività che prevedono l'interazione tra più postazioni; ciò permette la sperimentazione di scenari articolati e/o l'introduzione di dinamiche di challenge e di competizione a squadre.

1.3 Casi studio rilevanti

1.3.1 Caso studio - Analisi della potenzialità nell'utilizzo della VR per la didattica

Viene riportato in questo paragrafo uno studio pubblicato nel novembre del 2021 alla International Conference of ACM Greek, in cui un gruppo di ricercatori analizza la situazione dell'uso della tecnologia VR in diversi contesti a Cipro e in Finlandia, tra cui alcune università, tramite interviste a 16 esperti di istruzione superiore e business.

Nel particolare, l'analisi viene proiettata sulle varie opportunità didattiche e sulle esigenze di formazione nel contesto universitario. Le facoltà in cui si vorrebbe incrementare/migliorare l'uso della VR sono nell'area del Business Management.

Le domande poste sono le seguenti:

- *Nella tua organizzazione vengono utilizzati strumenti per VR?*
- *Quale fattore rende la tecnologia di VR così importante da essere utilizzata in questo momento nel vostro contesto didattico?*
- *Quali limiti ci sono attualmente nell'utilizzo della VR nella tua organizzazione?*
- *Quali possibilità offre la VR per la tua organizzazione?*
- *Cosa dovrebbe conoscere il tuo personale riguardo alla VR per utilizzarla al meglio delle sue potenzialità?*
- *Quali sono le esigenze personali di formazione per l'uso della VR nell'insegnamento e nell'apprendimento?*

Sono emersi diversi punti di forza nell'utilizzo della realtà virtuale (VR) nell'ambito dell'istruzione: gli utenti, infatti, hanno la possibilità di immergersi completamente sia in spazi virtuali realistici che

fantastici, aprendo la porta a esperienze uniche e coinvolgenti. La VR offre una visione completa e dettagliata dell'ambiente di utilizzo, consentendo agli utenti di esplorare e interagire in modi che vanno oltre la tradizionale aula. Un aspetto chiave è la possibilità per gli utenti di interagire e simulare qualsiasi tipo di contenuto, creando un ambiente di apprendimento dinamico e personalizzato.

La promozione dell'esplorazione autonoma e della pratica indipendente sottolinea l'autonomia nell'apprendimento, permettendo agli studenti di progredire a proprio ritmo. Le piattaforme di VR si distinguono per la loro ampia gamma di applicazioni, progettate per soddisfare vari scopi educativi. Le eccezionali visualizzazioni 3D fornite dalla VR rappresentano un salto di qualità rispetto alla tradizionale aula, offrendo una rappresentazione visiva immersiva e dettagliata. Uno degli aspetti più significativi è la possibilità per gli utenti di vivere esperienze altrimenti impossibili, superando i limiti degli ambienti faccia a faccia o di altri contesti digitali convenzionali.

Questa caratteristica favorisce l'autodeterminazione e stimola la motivazione all'apprendimento, poiché gli studenti si trovano coinvolti in un processo educativo coinvolgente. Infine, la realtà virtuale dimostra di aumentare in modo significativo il coinvolgimento degli studenti, trasformando l'apprendimento in un'esperienza dinamica, interattiva e altamente motivante.

1.3.2 Caso studio - Esempio di potenziale applicazione laboratoriale

Lo scopo di questa ricerca, adottata presso la Democritus University of Thrace per il dipartimento di Molecular Biology and Genetics, è quello di studiare l'esperienza di apprendimento degli studenti in un ambiente virtuale. L'obiettivo del laboratorio è imparare ad utilizzare Class II Biosafety Cabinet (BSC) in un ambiente virtuale immersivo: per questo motivo è stata utilizzata l'applicazione LabTraining VR: Biosafety Cabinet Edition, gratuita. Prima dell'attività è stata fatta un'introduzione di un'ora per spiegare il funzionamento dei vari strumenti, seguita da una breve dimostrazione. Gli studenti hanno svolto l'attività singolarmente, e la durata complessiva della simulazione è stata di 45-60 minuti, suddivisa in brief, attività, e questionario. L'applicazione simula il processo di preparazione di un Class II Biosafety Cabinet per la coltura di tessuti, suddivisa in tre parti, per guidare gradualmente lo studente nell'utilizzo degli strumenti presentati e permettergli di svolgere i vari compiti in autonomia. Una valutazione viene successivamente data sulla base del compito svolto. (Fig.3)



Fig.3 - LabTraining VR: Biosafety Cabinet Edition

Il caso studio riportato risulta di interesse per la ricerca in ambito didattico e VR perché riporta uno dei tanti esempi di attività laboratoriale simulata in realtà virtuale. Una delle tante potenzialità di questa tecnologia in ambito didattico risiede proprio nel poter “trasferire” gli studenti/studentesse in un ambiente simulato -riproducendo un laboratorio, un impianto, un’industria eccetera- per permettere loro di svolgere attività ed esercitazioni altrimenti di difficile esecuzione, anche semplicemente a livello logistico ed organizzativo.

1.3.3 Caso studio - Applicazioni in VR per esplorare elementi microscopici

In questo paragrafo viene riportato il caso studio di Manta, un innovativo software di simulazione molecolare che sfrutta la tecnologia VR per fornire un ambiente immersivo agli studenti, capaci così di esplorare in modo dinamico strutture molecolari autentiche e reazioni chimiche in tempo reale. Agendo sia come aula virtuale che come area di apprendimento per la chimica, Manta consente agli studenti di interagire attivamente con le strutture molecolari, acquisendo conoscenze sulla progressione delle reazioni chimiche e identificando i principali fattori influenti. Per valutare l’efficacia educativa di Manta, sono stati condotti esperimenti con 16 studenti universitari e 18 studenti universitari post-laurea, concentrandosi sulle reazioni di combustione dell’idrogeno. Attraverso tre compiti appositamente progettati, gli studenti hanno esplorato i ruoli della temperatura e delle caratteristiche delle collisioni nelle reazioni chimiche, nonché le reazioni elementari coinvolte nella combustione dell’idrogeno. Il feedback degli

studenti ha indicato un’esperienza di apprendimento significativamente positiva con Manta, superando i metodi tradizionali di istruzione.

1.3.4 Enti e/o università che interagiscono con la tecnologia VR

Di seguito vengono elencati diversi enti universitari a livello globale che si sono attivati nel creare laboratori, dipartimenti, varie cellule operative sul tema della VR nella didattica.

PoliTo

(International Context, VR@Polito)

Nel novembre 2017, il Consiglio di Amministrazione del Politecnico di Torino ha lanciato il VR@POLITO e ha finanziato la creazione di un laboratorio destinato a supportare le attività sulla realtà virtuale e tecnologie correlate. Il laboratorio adotta uno schema di coordinamento distribuito; oltre ai rappresentanti dei centri attuali dei dipartimenti, le attività coinvolgono diversi Membri Partecipanti e Collaboratori. Il laboratorio lavorerà all’avanguardia della tecnologia nei campi della realtà virtuale, aumentata e mista, progettando, sviluppando e testando strumenti e servizi innovativi capaci di potenziare, anche grazie al ruolo svolto dall’Area Tecnologie dell’Informazione, l’implementazione e lo sfruttamento delle attività di ricerca e insegnamento in questi settori presso il Politecnico di Torino.

University of Illinois Virtual Reality Lab

(V-ARE Lab | University of Illinois Chicago, n.d.)

Il Laboratorio V-ARE presso l'istituto University of Illinois Chicago è un centro di ricerca dedicato alla realizzazione di esperienze virtuali nel settore della salute, utilizzando tecnologie come la Realtà Virtuale (VR) e la Realtà Aumentata (AR). Il loro lavoro si concentra sullo studio del comportamento degli utenti durante l'interazione con queste tecnologie e sullo sviluppo di soluzioni funzionali in ambito soprattutto sanitario. Come laboratorio, collaborano con esperti del settore per creare innovazioni che possano migliorare l'assistenza sanitaria e l'esperienza del paziente, promuovendo il benessere attraverso la ricerca e lo sviluppo tecnologico.

University of Portsmouth - Virtual Reality Lab

(Virtual Reality Lab, n.d.)

Il "Virtual Reality Lab" presso l'Università di Portsmouth, istituito nel 2018, è uno spazio educativo all'interno del Portland Building. Frutto della collaborazione tra docenti, ricercatori ed esperti di tecnologia, il laboratorio offre agli studenti una straordinaria piattaforma per l'apprendimento immersivo. Il laboratorio è stato progettato per esplorazioni accademiche avanzate, offrendo simulazioni e visualizzazioni 3D per arricchire il percorso formativo degli studenti.

Macquarie University - VISOR research group

(Macquarie, Administration, 2024)

VISOR (Virtual and Interactive Simulations of Reality) è un gruppo di ricerca multi-departimentale che fa parte del Dipartimento di Informatica, nella

Facoltà di Scienze e Ingegneria presso l'Università di Macquarie, Sydney. Si distinguono per l'uso di metodi di elaborazione del segnale e dell'immagine per il tracciamento del movimento nella progettazione di interfacce e simulazioni, essendo ben allineato con l'elaborazione delle informazioni umane.

MIT Media Lab

(Research – MIT Media Lab, n.d.)

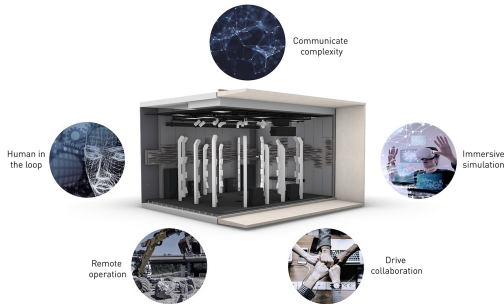
Il MIT Media Lab è un laboratorio interdisciplinare presso il Massachusetts Institute of Technology (MIT) focalizzato sull'innovazione nel campo della tecnologia, dei media e dell'arte. Attraverso la collaborazione tra ricercatori provenienti da diverse discipline, il Media Lab sviluppa soluzioni all'avanguardia che influenzano la società, dalla creatività all'innovazione tecnologica. Il livello delle sperimentazioni e delle aziende partner è ai vertici del settore VR e AR.

Immersive Design Lab - ETH

(Immersive Design Lab (IDL), n.d.)

IDL (Immersive Design Lab) è un laboratorio interdisciplinare presso l'ETH Zurigo dedicato al futuro del design, dell'architettura e dell'ingegneria. Fornisce una piattaforma senza precedenti per la ricerca e l'insegnamento collaborativo nel campo in rapida evoluzione della realtà estesa interattiva (XR) e dell'apprendimento automatico (ML) nell'architettura e nella costruzione. Consente l'interazione degli utenti in tempo reale con modelli virtuali di progettazione e ingegneria (XR) e interfacce uomo-macchina. (Fig.4)

Fig.4 - Immersive Design Lab structure and values



VHIL Stanford University

(Virtual Human Interaction Lab, n.d.)

Dalla sua fondazione nel 2003, i ricercatori presso il Laboratorio di Interazione Umana Virtuale (VHIL) hanno cercato di comprendere meglio gli effetti psicologici e comportamentali della Realtà Virtuale (VR) e della Realtà Aumentata (AR).

Oxford University VR and AR Lab

(Virtual Reality and Augmented Reality Lab, n.d.)

Il VR e AR Hub di Oxford mette insieme persone, conoscenze e risorse legate alle tecnologie VR e AR. Questa piattaforma mira a promuovere lo scambio di informazioni all'interno di Oxford; esternamente, vuole coinvolgere aziende e altre istituzioni. Mettendo in collegamento chi propone idee innovative con chi progetta e produce hardware dedicato, la piattaforma intende dimostrare l'applicabilità di VR e AR nella ricerca, nell'istruzione e in altre attività condotte dall'Università.

VIRTECH by VR Lab Caltech

(California Institute of Technology)

(VIRTECH, n.d.)

Virtech è una piattaforma sperimentale per l'istruzione online, gestita dal Virtual Reality Lab, che fa parte del Center for Data-Driven Discovery presso il Caltech. Originariamente concepito come uno spazio interattivo, sociale e privato all'interno del Mondo Virtuale di Second Life, è stato progettato per fornire alla comunità del Caltech un'alternativa alle interazioni in persona durante la pandemia. Attraverso l'uso di avatar, i partecipanti possono visitare uno spazio virtuale ricco, progettato per offrire un'esperienza coinvolgente e interazioni sociali senza soluzione di continuità. Virtech è uno spazio sicuro e piacevole per socializzare, creare, collaborare e apprendere. È aperto a tutti i membri della comunità del Caltech e ai loro ospiti autorizzati, nonché ai membri di altre comunità accademiche tramite un accordo speciale.

Harvard University

(Harvard Innovation Labs, 2024)

L'AR/VR Studio è uno spazio dedicato all'esplorazione di tecnologie immersive all'avanguardia, sia dal punto di vista fisico che dell'immaginazione. L'AR/VR Studio è dotato di tecnologie che includono varie piattaforme software e di progettazione, configurazioni multiple di cuffie, postazioni di lavoro e risorse di ripresa per aiutare gli studenti a sperimentare e creare innovazioni in una vasta gamma di settori. Questo laboratorio viene usato come una risorsa per tutti gli studenti di Harvard in cerca di laurea.

1.4 Direzioni future - la didattica con VR e AR

L'istruzione convenzionale sta rapidamente cedendo il passo a un nuovo paradigma educativo. Negli Stati Uniti, nel solo 2017, oltre 6 milioni di individui hanno abbracciato l'istruzione a distanza, un fenomeno in crescita anche in controtendenza rispetto alla diminuzione generale delle iscrizioni all'istruzione superiore. Prima dell'irruzione della pandemia, si stimava che il mercato dell'apprendimento online potesse raggiungere i 350 miliardi di dollari entro il 2025, prospettiva che potrebbe necessitare di una revisione alla luce dell'impatto della crisi sanitaria sulla sua crescita.

La digitalizzazione dell'apprendimento è in costante ascesa, guidata dall'innovazione tecnologica. Scuole, università e altre istituzioni educative stanno attivamente impegnandosi nell'integrazione di nuove tecnologie nel processo formativo. Le previsioni indicano che il settore dell'EdTech raggiungerà i 680,1 miliardi di dollari entro il 2027, registrando una crescita annua del 17,9%. Nella costante ricerca di strumenti in grado di catturare e mantenere l'attenzione degli studenti, le nuove tecnologie di visualizzazione e interazione rappresentano una scelta intuitiva.

La realtà virtuale, in particolare, si prefigura come un elemento chiave nell'ecosistema educativo, dall'istruzione primaria alla ricerca post-laurea, mentre la realtà aumentata trova applicazione sin dai primi anni di scuola. A ciò si aggiunge la flessibilità offerta dai contenuti digitali, personalizzabili e adattabili nel contesto di un curriculum. Se il

trend al ribasso dei prezzi dei dispositivi persiste e la produzione di contenuti prosegue in crescita, è evidente che AR e VR saranno destinate a un impatto considerevole sul futuro del digital learning. Un crescente numero di istituti di istruzione superiore, tra cui college e università, sta attualmente esplorando e implementando la tecnologia di realtà aumentata (AR) per migliorare l'erogazione del proprio curriculum. Gli sviluppi recenti testimoniano l'introduzione di casi d'uso creativi e innovativi in diverse discipline. Sebbene non tutte le istituzioni scolastiche possano attualmente permettersi visori VR di alta gamma, soluzioni accessibili come Google Cardboard offrono un'alternativa, consentendo agli utenti di godere di video a 360 gradi su piattaforme come YouTube. App come Google Expeditions stanno rivoluzionando l'approccio all'apprendimento sia per insegnanti che studenti, con previsioni che indicano un significativo aumento nell'utilizzo nei prossimi cinque anni. (Fig.5)

Nonostante il numero di esperienze di apprendimento in realtà virtuale stia crescendo, sembra che non esistano ancora corsi completamente strutturati in grado di guidare gli studenti in modo completo e dettagliato nel mondo virtuale. Tuttavia, nei prossimi anni, è previsto un notevole ampliamento dei contenuti educativi basati su AR e VR, che copriranno una vasta gamma di argomenti per soddisfare le esigenze di apprendimento di tutte le fasce d'età. La realtà estesa è destinata a diventare un elemento chiave nell'ambito dell'apprendimento basato sui fatti, dell'istruzione tecnica, delle competenze e dell'apprendistato. L'adozione di AR e VR nel settore dell'istruzione è ormai



Fig. 5 - VR App on expeditions

inevitabile, analogamente al passaggio dai libri di testo tradizionali a quelli elettronici. Secondo ABI Research, società di consulenza sulle previsioni di mercato, entro il 2023 il valore complessivo dell'AR nell'istruzione raggiungerà circa 5,3 miliardi di dollari, con un aumento previsto di oltre 640 milioni di dollari nei ricavi totali dei display VR indossabili utilizzati nell'istruzione. Le aziende che abbracceranno questa evoluzione precocemente avranno un vantaggio significativo nel settore educativo.

La realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR) emergono come strumenti potentemente efficaci nel supportare la formazione immersiva. Questi non solo forniscono contenuti interattivi e coinvolgenti, ma anche esperienze divertenti, facilitando la formazione pratica attraverso simulazioni realistiche e offrendo al contempo flessibilità e indipendenza. Queste caratteristiche combinano per migliorare notevolmente il processo di apprendimento e i risultati per gli studenti di tutte le età e in ogni ambito disciplinare. L'apprendimento autentico in tempo reale si dimostra intrinsecamente più efficace rispetto all'approccio tradizionale di sedersi

in una classe o esplorare un museo, cercando di immaginare concetti astratti.

Gli studenti, dalla comodità e sicurezza del proprio ambiente domestico, possono rimanere attivamente coinvolti e costruire conoscenze esperienziali in modo più efficace. Sebbene l'apprendimento immersivo sia ancora in fase embrionale, il ruolo della tecnologia AR/VR nell'istruzione è destinato a crescere in modo significativo. Con il progresso continuo della tecnologia, ci aspettiamo un notevole aumento sia nel numero di applicazioni disponibili che nelle modalità innovative in cui vengono impiegate nei prossimi anni.

2. Laboratori VR: nascita, sviluppo e gestione

2.1 Nascita e sviluppo

Nel 2020, il Politecnico di Milano decide di costruire due postazioni dedicate ad una sperimentazione sull'uso della realtà virtuale per attività didattiche da proporre agli studenti.

Il progetto pilota da cui scaturisce la sperimentazione si chiama EYEducation, a cura del Politecnico di Milano e di AVEVA / Schneider-Electric, e si pone l'obiettivo di integrare esperienze immersive basate su Digital Twin all'interno del programma di laurea magistrale in ingegneria industriale. Il progetto si fonda sullo sviluppo di un gemello digitale di un impianto chimico, attraverso l'integrazione di due suite disponibili e commerciali: (i) il simulatore dinamico Dynsim per la rappresentazione dettagliata della dinamica e dei controlli dei processi chimici e (ii) la soluzione immersiva Eyesim per la rappresentazione tridimensionale di impianti reali.

Gli incoraggianti risultati della sperimentazione hanno portato alla richiesta di scalare la soluzione, da postazione singola a laboratorio utilizzabile da più studenti contemporaneamente, con la conseguenza di dover individuare ed allestire uno o più spazi adeguati. La progettazione di uno spazio dedicato a un'esperienza di apprendimento basata sull'uso della Realtà Virtuale infatti richiede un'attenzione particolare in quanto deve rispondere a precisi vincoli e criteri: aspetti tecnologici, numero di postazioni, numero di utenti simultanei, spazio disponibile. (Fig.6)

Il processo realizzativo ha previsto quindi le seguenti fasi:

1) *Definizione delle specifiche della singola postazione (derivante dalla sperimentazione sul campo);*

- *1a) La workstation* deve risultare a prestazioni medio-alte. Il componente chiave, oltre a una buona dotazione complessiva di CPU, RAM e HDD, è il comparto grafico in quanto è l'elemento più sollecitato nell'elaborazione degli scenari 3D. Pertanto, la scheda grafica deve essere progettata per il gaming (applicazioni che normalmente utilizzano la sua potenza di calcolo) e deve essere compatibile con il visore per Realtà Virtuale in uso;*
- *1b) Il visore per fruizione di contenuti VR scelto è stato l'Oculus Quest 2 (ad oggi, Meta Quest 2), per le sue indicazioni di compatibilità della suite EYESIM, e la disponibilità dei materiali e al costo contenuto. Il visore si collega al PC tramite una porta USB e una porta DisplayPort grazie ad un cavo lungo 5 metri. Come altri dispositivi di questo tipo, ha al suo interno due lenti che permettono di vedere gli schermi LCD (uno per occhio) in modalità stereoscopica. Sono presenti sensori di movimento che gestiscono l'interazione con il mondo virtuale, consentendo un'immersione totale. L'interazione con il contenuto VR avviene tramite le manopole (due, una per mano sinistra una per mano destra) in dotazione con il pacchetto Oculus Quest 2. Queste presentano diversi tasti con funzioni diverse a seconda del comando necessario;*

2) Individuazione degli spazi in grado di ospitare un numero adeguato di studenti (e quindi di postazioni di lavoro);

3) Individuazione dei vincoli legati alle attrezzature e alle attività da svolgere;

4) Realizzazione dei laboratori.

Le aule sono state selezionate in base ai seguenti vincoli:

- Capacità di almeno 14/15 postazioni fisse
- Spazio di movimento per l'utilizzo di visori e simulazioni di 4 metri quadrati
- Dotazione tecnica minima possibile (prese elettriche e prese LAN)
- Copertura della rete WIFI

- Pavimento piano senza gradini
- La configurazione delle due aule prevede quindi postazioni di lavoro che possono essere adattate a diversi scenari di utilizzo:

a - *Lavoro autonomo*

Ogni gruppo lavora su una singola simulazione: gli studenti si alternano nell'uso del visore mentre gli altri possono intervenire direttamente sulla simulazione con mouse e tastiera o limitarsi a osservare ciò che accade sul monitor.

b - *Lavoro in cluster*

Gruppi di postazioni lavorano in modo collaborativo su una singola simulazione. Anche in questo caso, la persona che utilizzerà il visore ruota all'interno dei gruppi.

È quindi necessario prevedere una gestione dello spazio per evitare che le singole postazioni invadano il territorio dei vicini, oltre a gestire i flussi di entrata e uscita durante e tra le lezioni. Per questo motivo, è consigliabile utilizzare del nastro adesivo colorato per delimitare la divisione degli spazi in modo che siano evidenti agli utenti. Infine, è importante individuare armadi e contenitori adatti a ospitare le attrezzature (in particolare i visori) quando non vengono utilizzate e non possono essere lasciate sui tavoli.

Particolare attenzione viene poi posta sugli aspetti organizzativi e gestionali di questo tipo di spazi, trattandosi di ambienti particolari nei quali devono potersi utilizzare applicazioni molto diverse tra loro e a volte non compatibili. Per questo motivo, diversi sono i gruppi di lavoro coinvolti ognuno dei quali si



Fig.6 - Laboratorio VR in aula L04

occupa di differenti aspetti quali:

Logistica

Prenotazione dello spazio e raccolta dei requisiti tecnici e metodologici;

Aspetti tecnologici

Creazione dello stack software necessario per procedere con l'esercitazione dedicata;

Metodologia

Progettazione dell'esperienza didattica e relativo lesson plan delle attività, osservazione delle modalità e degli effetti di queste sull'efficienza didattica;

Aspetti organizzativi

Presidio dell'aula da parte di tecnici in grado di intervenire in caso di imprevisti, per supporto tecnico, per spiegazioni più di dettaglio ai docenti.

**Scheda tecnica workstation*

- Processore classe Intel Core i7 10a generazione (8 Core, 16M cache, base 2,9GHz, fino a 4,8GHz) DDR4-2933)
- RAM 32 GB DDR4
- HDD 1 (capacità, tecnologia): 512 gigabyte, unità a stato solido NVMe
- HDD 2 (capacità, tecnologia): 2 TB a 7.200 giri/min e 6 Gb/s
- Sistemi operativi disponibili: Windows™ 10 Pro (64 bit)
- Scheda di rete Gigabit Ethernet Control 10/100/1000 con porta RJ45 che supporta il protocollo PXE e la modalità Wake-On Lan
- Scheda grafica Nvidia GeForce RTX 3070, 8GB, 3DP, HDMI (certificata per l'esperienza Oculus VR)
- Monitor da 27 pollici, risoluzione Full HD (1080p) 1920 x 1080 @ 60 Hz, IPS, rapporto di contrasto 1000:1, 8 ms (normale); 5 ms (veloce), connessioni HDMI, DisplayPor

2.2 Infrastrutture e devices

Nel seguente capitolo vengono riportate le strutture ed i devices inseriti all'interno dei due Laboratori VR. Come già descritto, il Politecnico di Milano ha costruito due Laboratori VR in due sedi diverse dell'università: uno, nell'aula L.0.4, nel campus di Bovisa La Masa, l'altro, nell'aula 2.2.5, all'interno dell'edificio 2 del campus di Leonardo, la sede centrale. I due laboratori sono equivalenti rispetto a schema implementativo e a livello hardware. Entrambi contengono quindi: 15 postazioni con PC fisso (Windows 10), schermo, tastiera, mouse; 15 visori Meta Quest 2, 15 Gamepad con connessione USB.

Le 15 postazioni sono state pensate per ospitare un numero variabile di studenti/ fino ad una capienza massima di 45 persone, cioè per un massimo di tre per ogni postazione. La postazione singola comprende un banco -che ospita tastiera, mouse e PC fisso- e tre sedie disponibili. I visori vengono raccolti in un armadio blindato all'interno dell'aula stessa, e distribuiti in numero sufficiente a seconda delle diverse situazioni. Ad ogni postazione è stato associato, con una precisa divisione dell'area, uno spazio di movimento, delimitato a terra da scotch ben visibile, che delimita il cosiddetto "boundary", ovvero l'area di utilizzo che il visore della postazione riconoscerà come proprio. (Fig.7)

Per garantire che ogni visore sia correttamente associato alla postazione per cui sono stati impostati i boundaries, le scatole dei Quest e i PC fissi sono stati numerati in modo identico. Il tutto



Fig. 7 - Visualizzazione aula 225

è stato realizzato fissando un foglio di carta con il numero di riconoscimento sia sul visore che sul PC. Nell'armadio dove vengono riposti i visori, con le loro scatole originali numerate, vengono conservati anche i gamepad a connessione USB (utili anche nei casi di utilizzo delle applicazioni direttamente dallo schermo del PC), le mascherine igieniche di protezione e batterie AA di ricambio per i joystick dei Quest.

2.3 Software

Una volta organizzati e strutturati i laboratori a livello hardware, sono state avviate azioni di ricerca sia desk che empirica sul lato software. Sono stati quindi studiati applicativi, sia applicazioni vere e proprie che piattaforme online, potenzialmente interessanti in ambito didattico per l'uso della tecnologia di realtà virtuale in aula. Questa ricerca ha permesso di ottenere una prima catalogazione di diversi casi studio di applicativi software, utile sia a METID per il supporto alla progettazione delle lezioni, sia per fornire indicazioni ai docenti nella scelta del software più appropriato.

È stata quindi condotta una ricerca approfondita sui software e sulla fruizione di contenuti didattici in VR. Sono state esplorate e catalogate decine di applicazioni, provenienti dallo Store integrato nel sistema operativo Meta di Quest 2, dalla piattaforma Steam e, quando possibile, anche applicativi sviluppati internamente al Politecnico di Milano da parte di altri dipartimenti, utilizzando i motori grafici Unity o Unreal Engine. La catalogazione di questi applicativi è stata eseguita effettuando verifiche in tempo reale sull'esperienza di utilizzo sul campo e annotando le caratteristiche tecniche e didattiche di interesse.

Di seguito le principali applicazioni ed i principali servizi/piattaforme in VR analizzate.

2.3.1 Applicazioni

Durante la ricerca e catalogazione delle diverse applicazioni, quest'ultime sono state divise in diverse sotto-sezioni, relative alla funzione dell'app stessa. Vengono elencate, divise per sezioni, le diverse applicazioni:

App per Sketch

Software dedicati alla creazione di sketch, più o meno complessi, operazioni di painting, realizzazione di opere grafiche tramite tecnologia VR.

(Fig.8)

Tiltbrush

Software di disegno tramite visori: viene visualizzato in 3D il tratto eseguito e viene data la possibilità di scegliere tra diversi pennelli, strumenti, comandi. I disegni possono essere salvati ed esportati. Il software è sviluppato da Google ed è a pagamento.

Openbrush

Praticamente la versione non a pagamento di Tiltbrush, molto simile sia come interfaccia che come comandi applicati, funzioni, eccetera. Viene utilizzata questa nei Laboratori VR del Politecnico.

Multibrush

Realizzato da Rendever, si tratta della versione con più funzionalità di Tiltbrush: interfaccia e comandi molto simili, vengono aggiunte diverse altre funzioni tra cui la possibilità di collaborare in multigiocatore e l'interazione con altri software esterni.

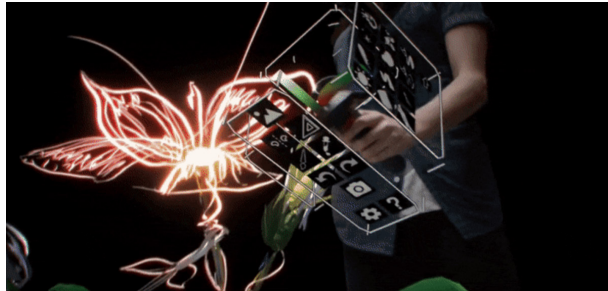


Fig. 8 - Visualizzazione attività dello sketch in VR

Quill

Programma per disegno interessante, le sue caratteristiche principali sono comuni ad altri programmi di disegno in VR, il punto forte è avere tutti gli strumenti possibili e immaginabili sotto mano invece che doverli cercare nel menu ogni volta.

PaintingVR

Molto interessante come applicazione, permette di utilizzare tantissimi strumenti di pittura in maniera digitale, con un effetto azione-reazione molto vicino alla sensazione tangibile di utilizzo degli strumenti.

Vermillon

Anche qui, le caratteristiche principali sono comuni agli altri programmi di pittura in VR, e gli strumenti

sono tutti a portata di mano e sono veramente tanti. La user experience è stata sviluppata molto bene: l'effetto reale che dà l'azione della pittura è impressionante. Si possono cercare delle risorse utili, tutorial e video descrittivi, su youtube. La ricerca online di immagini canvas da copiare può agevolare enormemente il lavoro. La miscelazione dei colori è molto realistica. (Fig. 9)



Fig. 9 - Vermillon VR app

Kingspray Graffiti

Per chi ha avuto esperienza nel mondo dei graffiti è impressionante la fedeltà con cui viene riprodotta l'azione del dipingere su muro: il feeling delle bombolette, la traccia che lasciano, le variazioni di pressione sono pressoché identiche alla realtà. C'è una grandissima varietà di tappini, bombolette, accessori e altro da utilizzare. (Fig. 10)



Fig. 10 - Kingspray Graffiti

Spazi di lavoro e Piazze virtuali

SPAZIO DI LAVORO: applicazioni che permettono l'uso di spazi virtuali in cui organizzare meeting/presentazioni/conferenze/eventi con la possibilità di utilizzare strumenti che incrementano/accompagnano l'attività lavorativa (note, schizzi, puntatori laser, condivisione schermo, ecc.)

PIAZZE VIRTUALI: applicazioni che permettono di usufruire di spazi per incontri/eventi/mostre/esposizioni/conferenze a scopo divulgativo/informativo/artistico/ecc.

Spatial

Viene presentata come un'applicazione che sta nel mezzo di uno Spazio di lavoro e di una Piazza Virtuale: è molto utilizzata e diffusa nell'ambito, permette di lavorare attorno a un "banco" e di visitare mostre/conoscere persone, ecc. (Fig.11)

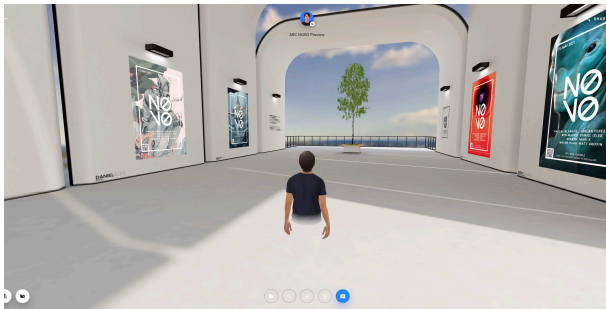


Fig.11 - Spatial app

Artsteps

Piattaforma che permette di creare pacchetti di spazi virtuali in cui organizzare esposizioni/meeting, altro.

Nextmeet

Piattaforma per organizzare esposizioni virtuali, presentazioni, meeting: fruibile solamente da browser, non è ancora stato ottimizzato per la VR.

Engage

Fruizione di spazi virtuali per eventi, ecc., con possibilità di utilizzare diversi strumenti di lavoro: contenuti didattici molto interessanti.

VRChurch

Risulta essere una piattaforma nel metaverso che ospita diversi scenari e dà la possibilità di poter interagire tra persone che vogliono riunirsi per scopi religiosi e per svolgere attività religiose.

Softspace

Si presenta come uno strumento di lavoro, ora potenziato con AI: offre strumenti per fare ricerche online, prendere note, scrivere, ideare, ecc.

Noda

Strumento per incrementare l'attività di brainstorming e il lavoro di gruppo. Sembra essere uno dei software più interessanti, rendendo 3D le classiche mappe di pensiero nel lavoro di gruppo. (Fig. 12)

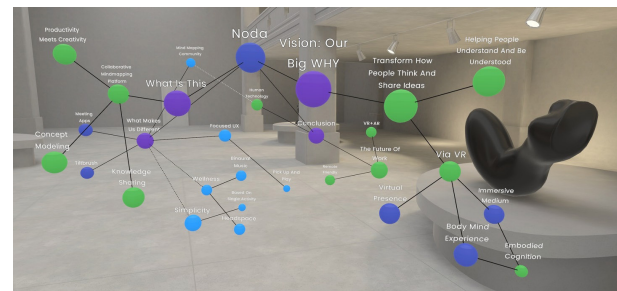
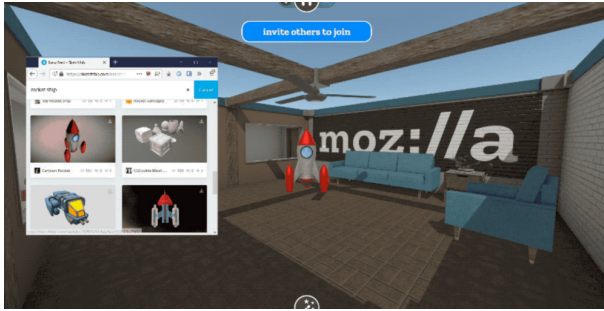


Fig. 12 - Noda VR app

Fig. 13 - Mozilla Hub interface



Mozilla Hub

Piattaforma opensource per creare il proprio spazio virtuale -tramite Mozilla Spoke- e poterne usufruire da remoto in modalità collaborativa, invitando altri utenti, anche da desktop. Funziona tutto tramite browser, ed è molto semplice da usare. (Fig. 13)

Horizon Workrooms

App per meeting / lavorare insieme da remoto come se si stesse nella stessa stanza. Sviluppata da Meta, è molto interessante per la personalizzazione degli avatar, la resa grafica, la facilità di utilizzo e i diversi strumenti da utilizzare che ne incrementano l'esperienza utente. (Fig. 14)

vTime VR

Viene presentato come il social network della realtà virtuale: permette di chattare, scambiare immagini, vedere contenuti multimediali insieme ad altre persone, creare il proprio avatar personalizzato, utilizzare diversi e interessanti sfondi.

Altspace VR

Sembra rispondere adeguatamente alle esigenze di una piattaforma social, con UX e UI sviluppate bene: un tutorial built spiega come muoversi e come interagire con l'ambiente circostante

Alcove

Applicazione che permette di vivere con altri giocatori all'interno di un ambiente e poter:

- appendere foto/disegni ecc.;
- giocare a diversi giochi da tavolo;
- fare esercizi di yoga ecc.;
- usufruire di contenuti video geografici e storici.

Vengono presentati contenuti video su di un viaggio in macchina coast to coast negli USA, sull'esplorazione di diverse località in diversi continenti, video sugli animali e la natura.

Rec Room

App per incontrare persone in ambienti low poly virtuali: si può interagire in diverso modo, principalmente spostandosi tra stanze e toccando oggetti.

Spot

Anche questa è un'app sviluppata per lavorare da remoto traslando le persone in avatar digitali che popolano uno scenario virtuale. La grafica è low poly e le interazioni (chat, tra avatar, ecc.) molto basilari ma funzionali.



Fig. 14 - Horizon Workrooms

MeetinVR

App per incontrarsi e lavorare da remoto, con diverse funzionalità. Ogni persona dispone del suo avatar virtuale con cui interagisce in uno scenario. (Fig.15)

BigScreen

App per meeting tra persone interessante, puoi interagire con gli altri avatar e usufruire, soprattutto, di contenuti multimediali proiettati su schermi virtuali flat.

Curatours

App per creare musei virtuali: risulta ancora in fase di sviluppo e non disponibile in lingua italiana. Per il momento ospitano il museo virtuale della plastica.

mootUp

Piattaforma/app per usufruire da browser o da VR di diversi spazi (office, coworking, classroom, conference, exhibition, breakout room) entro cui interagire con gli altri utenti. Si possono condividere contenuti multimediali, prendere note, condividere lo schermo, 360, personalizzare lo spazio, interagire parlando con gli altri utenti.



Fig. 15 - MeetinVR

Shapspark

Piattaforma online usufruibile da browser che

permette di progettare e organizzare mostre e esposizioni interattive (info point e caricamento di contenuti multimediali) e di tenere meeting sia interagendo con mic tra utenti sia condividendo lo schermo.

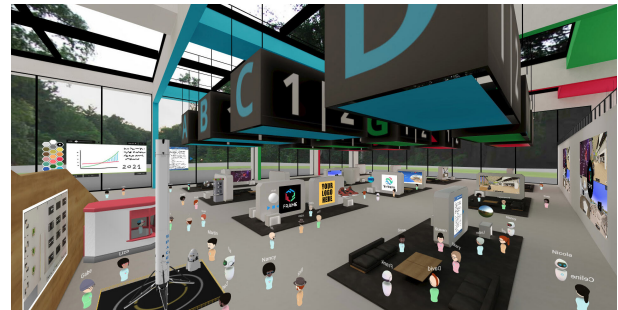


Fig. 16 - FrameVR

FrameVR

App che permette di creare ambientazioni VR per ospitare eventi, tenere conferenze o lavorare da remoto con altri avatar. (Fig.16)

Spaces Facebook Beta

App sviluppata da Meta per incontrare altre persone in ambienti virtuali, ancora Beta in sviluppo.

Breakroom

Pensato durante il covid come alternativa a Zoom, propone incontri di gruppo, meeting di lavoro, eventi, pensati tramite esperienza immersiva/VR.

Immersed

App per lavorare in gruppo: si possono invitare amici e lavorare in gruppo, con strumenti come la lavagna, lo sharing del computer, il recording della sessione, la connessione a chiamate su Zoom, Meeting o Skype. Diversi ambienti tra cui scegliere e la possibilità di lavorare con le mani oppure con i controllers.

Bulding VR App

Software e piattaforme dedicate allo sviluppo di modelli/interazioni/ambienti in VR.

Aframe

Piattaforma creata per poter costruire interazioni o ambienti per VR tramite HTML o librerie di codice pre impostate: ci sono numerosi esempi di applicazioni create (APainter, altro) e la piattaforma è diventata anche una grande community VR. (Fig.17)

Krpano

App per generare qualsiasi tipo di immagine: virtual tour, panoramic video, ambienti 3D. Ha diversi plug in per Google Maps, WebVR; ultimi aggiornamenti del sito risalgono al 2019.

VrSync

Upload di video/immagini/contenuti a 360° sulla piattaforma per creare contenuti VR.

Teach-VR

Stesso tipo di servizio offerto dalla VrSync.

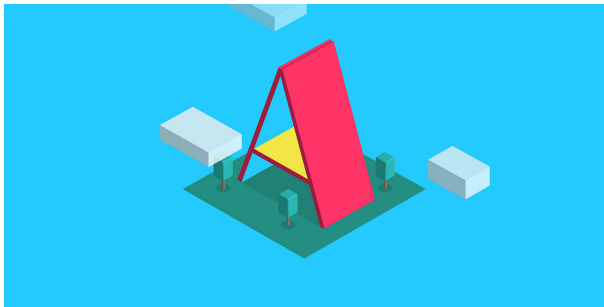


Fig. 17 - Aframe VR



Fig. 18 - Teacher and students can participate in a multi-user learning environment powered by EON EON-XR.

StellarX

Piattaforma per sviluppo di contenuti e ambienti in VR: non serve sapere alcun codice, avendo ottimizzato i processi e le feature di creazione per facilitarne la riuscita a chiunque. Possibilità di importare modelli 3D e di interagire con altri software.

EONReality (Fig.18)

Interessante piattaforma per creazione di contenuti in VR con scopi didattici facilitata per non esperti e ottimizzata per diversi dispositivi. Molto accessibile.

InstaVR

App per creazione facilitata di contenuti VR.

ThingLink

Contenuti 360 didattici fruibili in VR.

Matterport (Piattaforma)

Scannerizzazione 3D di spazi e environment rielaborati poi come twins in realtà virtuale.

CloudExpo (Piattaforma)

Simile a Matterport, ricreano twins in VR per spazi

espositivi ed eventi.

Parable (Piattaforma)

Azienda che, su commissione, crea esperienze didattiche per VR.

ScopeAR (Piattaforma)

Piattaforma per creazione contenuti utili in AR.

Enduvo (Piattaforma)

Piattaforma che offre servizio di progettazione di esperienza in VR.

Skylect (Piattaforma)

App per network didattici e lezioni su VR.



Fig. 19 - Gravity Sketch app

Modellazione 3D

Software dedicati alla modellazione 3D di prodotto, architettura, interni, urbanistica. (Fig.19)

Gravity Sketch

Uno dei migliori programmi in VR di modellazione 3D per solidi e superfici. Ha diverse feature sempre in continuo aggiornamento, la possibilità di collegarlo ad app per Mixed Reality, molti tutorials in giro. Alta facilità di utilizzo sia nella modellazione che nell'esportazione. Si può lavorare anche da remoto in modalità collaborazione.



Fig. 20 - Arkio VR

Arkio

App per la realizzazione di modelli 3D per architettura, interni, urbanistica. Modalità lavoro condiviso e plug in per Rhino, Unity, Revit, Sketch Up, Bim 360. (Fig.20)

Masterpiece Studio Pro

Molto interessante, ha la parte creator e la parte motion. Molto professionale.

Dreams

Disponibile solo su Playstation 4 / 5, le recensioni sono molto buone: insegna il mondo della VR mentre si sta giocando.

Adobe Medium

A differenza degli altri programmi di modellazione, al di là del dialogo con i vari software Adobe, ha la potenzialità che utilizza una logica sculpting per la modellazione: l'utente tratta il 3D come se stesse modellando dell'argilla. Molto intuitivo e divertente da utilizzare!

Blocks

Da Google, completamente gratuito: funzioni base, l'output generato è molto indicativo, low poly definition.

StereoPaint

App per modellazione tramite sculpting (come fosse argilla) di modelli 3D.

VRifier

Visualizzatore 3D e semplificatore mesh per VR.



Fig. 21 - ShapesXR

ShapesXR

Molto interessante, software di modellazione anche per principianti, ha librerie di asset e possibilità di importazione, modalità multi utente, esportazione e plug in per Unity, possibilità di racconto progetti anche tramite storytelling. (Fig. 21)

Microsoft Maquette

App per modellare fatta molto bene, lavora per creazione di solidi e superfici nello spazio 3D con le classiche funzioni di modellazione/sketching/esportazione di questi programmi per modellare.

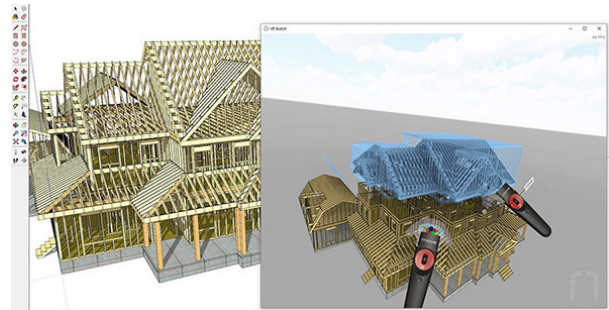


Fig. 22 - VR Sketch

VR Sketch

Estensione di Sketch Up (Fig.22)

SculptrVR

Viene presentato con una forte parte di engagement, non essendo pensata prettamente per una modellazione da professionisti quanto più per un'app di intrattenimento anche in gruppo. Si può modellare e scolpire in modalità sculpting.

Altre applicazioni trovate ed analizzate rimandano ad app per la lettura e gestioni di Dati (3Data, Dataviz, Splunk, SyGlass) e app in ambito chimico (Nanome, Nanoscape VR) per l'esplorazione di molecole, con diverse attività correlate. Poi, software per l'esplorazione anatomica del corpo umano, come Everyday Anatomy, Sharecare, Organon. Infine, conseguentemente ad una richiesta esplicita di alcuni professori del Politecnico, è stata svolta una ricerca su dei plug in di Revit Autodesk in VR: Prospect e Sentio VR, per attività in ambito BIM.

2.3.2 Servizi e piattaforme

Vengono elencati di seguito diverse piattaforme online che offrono servizi e pacchetti VR didattici per istituti di diverso grado e per diverse discipline.

FESTO ha una sezione dedicata ai software di virtual reality e mixed reality pensati per le aziende e la formazione. In particolare, il software CIROS è un programma dedicato alla simulazione di impianti di produzione.

Labster è un'azienda specializzata nella creazione di laboratori scientifici virtuali: presenta un catalogo di oltre 200 simulazioni pronte all'uso e divise in lezioni. (Fig. 23)

L'università di Princeton ha sviluppato un software di realtà aumentata per il visore HTC Vive per supportare la sensibilizzazione riguardo alla salvaguardia nucleare e alle sfide correlate al controllo per il rispetto dei trattati internazionali in ambito nucleare.



Fig. 23 - Labster simulation



Fig. 24 - Veative headsets

Siemens ha un software di visualizzazione dei modelli 3D ottimizzata per i modelli meccanici che si propone di permettere la visualizzazione in scala 1:1 per una migliore fruizione delle meccaniche. Il software si chiama NX Virtual Reality.

VEATIVE raccoglie più di 500 esperimenti in VR indirizzati agli studenti materie STEM. Maggiormente è indirizzato alle materie e gli argomenti delle scuole superiori. (Fig. 24)

vLUME, un software di VR pensato per visualizzare set di dati di singole molecole 3D sviluppato dalla University of Cambridge.

Speedernet è un servizio sviluppato in Francia che offre un pacchetto di servizi VR dedicati a diversi scopi. Si possono creare riunioni immersive, esperienze di diverso tipo di apprendimento, tour

virtuali, manutenzione, dimostrazioni/presentazioni ecc. Sembra non avere dei parametri di scena fissi. Si potrebbe contattarli per avere un'esperienza didattica VR tagliata su misura.

Praxilabs è una piattaforma con a disposizione molte simulazioni utili per facoltà di Fisica, Chimica, Biologia. Interessante come approfondimento per le varie materie.

VRLABacademy

Piattaforma che presenta diversi tipi di simulazioni in ambito scientifico (chimico, fisico, ecc) o sanitario, tutte svolte all'interno di laboratori simulati.

VictoryXR

Piattaforma che riproduce digital twin di enti di ricerca e/o laboratori universitari per permetterne la fruizione da VR.

ScienceVR è una piattaforma che tratta contenuti didattici non universitari.

EmbodiesLab è una piattaforma che crea simulazioni di ambientazioni per persone con disabilità.

IXRLabs, piattaforma con pacchetti di lezioni STEM.

Sama courses: piattaforma che offre corsi in VR di chimica, fisica, biologia per università.

(Fig.25)

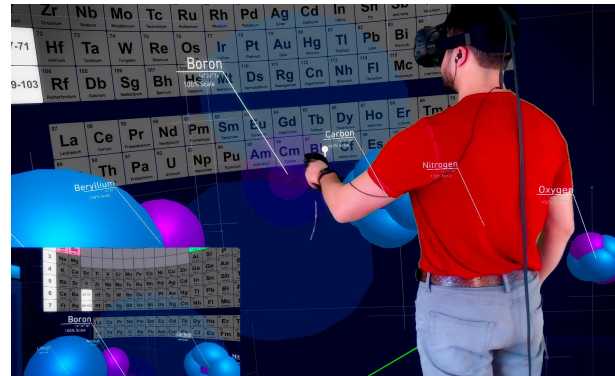


Fig. 25 - Sama courses in VR

3. Procedure per la realizzazione di esperienze didattiche in VR

Il presente capitolo delinea in dettaglio le procedure consigliate da METID al corpo docente sulla base di esperienze empiriche e metodologiche maturate sul campo.

Al fine di agevolarne una comprensione accurata, le due guide, che abbracciano sia gli step consigliati per la progettazione didattica che le azioni da evitare durante lo svolgimento delle attività, sono state classificate in base al target di riferimento.

Una guida passo dopo passo è stata appositamente sviluppata per i docenti, allo scopo di facilitare la creazione di lezioni ed esercitazioni che prevedono attività che necessitano l'uso di tecnologia VR. Sono stati inoltre costruiti i materiali utili destinati agli studenti, da condividere e consultare prima dell'ingresso in aula. Un primo documento è il Vademecum VR, una guida in formato PDF i cui passaggi saranno esaminati in dettaglio nei prossimi sottocapitoli. Questa guida fornisce indicazioni precise sul corretto svolgimento delle lezioni da parte degli studenti. Inoltre, è stato realizzato un Video Tutorial per consentire agli studenti di acquisire una comprensione approfondita delle attrezzature disponibili e del funzionamento generale dei Laboratori VR prima di entrare in aula.

(Fig.26 - 30)

3.1 Guida per studenti/studentesse

Il percorso formativo in Realtà Virtuale richiede un approccio attento e consapevole da parte degli studenti, sia per le modalità innovative di fruizione della lezione in aula sia per evitare di cadere nell'intrattenimento puro, perdendo di vista l'obiettivo didattico. Questa sezione fornisce una dettagliata "Guida per studenti", concepita per facilitare una partecipazione efficace e fruttuosa alle lezioni immersive in VR.

Basato sulle indicazioni elaborate da METID nel documento Vademecum VR, questo capitolo mira a fornire una comprensione chiara delle strumentazioni disponibili e a incrementare la familiarità con il funzionamento dei Laboratori VR, promuovendo così un'esperienza di apprendimento più soddisfacente. Inoltre, vengono presentati i principali step e i contenuti del Video Tutorial pedeguitico all'ingresso nei Laboratori stessi.

3. Procedure per la realizzazione di esperienze didattiche in VR

Fig. 26 - Copertina del Vademecum VR per studenti

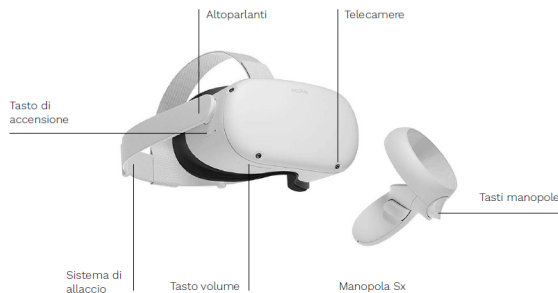


Fig. 28 - Descrizione della strumentazione VR



La strumentazione

6



I laboratori VR al Politecnico

4

Lo spazio del laboratorio è suddiviso in 15 aree di lavoro, una per postazione, in modo che gli utenti che indossano il visore possano muoversi in tranquillità.

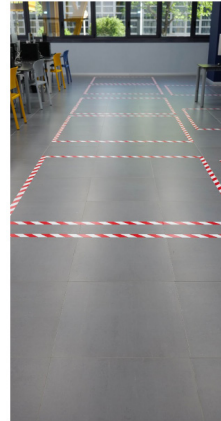


Fig. 27 - Descrizione dei Laboratori VR per gli studenti



Come indossare il visore

7

Prima di entrare nella simulazione VR, è essenziale assicurarsi di aver indossato correttamente visore e controller, per un'esperienza immersiva più comoda e sicura.

Per prima cosa, quando si usano i visori nei laboratori, è opportuno indossare la mascherina igienica di protezione.

In secondo luogo è consigliabile assicurare i controller che devono essere legati ai polsi in modo da evitarne la caduta.



Fig. 29 - Indossare il visore con la mascherina di protezione



Come usare i controller

9

Sui controller sono presenti diversi tasti con funzioni variabili a seconda dell'applicazione VR da utilizzare, oltre a due levette analogiche



Manopole

10

I controller sono progettati in modo che ciascun dito abbia alcuni tasti dedicati:

Pollice

Levetta analogica spesso utilizzata per muoversi negli ambienti virtuali o scorrere le opzioni dei menu.

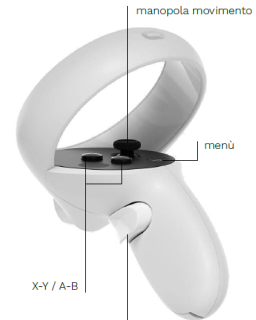
Pulsanti X e Y per la mano sinistra, A e B per la destra, con diverse funzioni a seconda dell'app. Tasto menu per accedere ai menu dell'applicazione.

Indice

Tasto Trigger serve per indicare, selezionare e talvolta spostarsi nella modalità "teletrasporto".

Medio

Tasto Grab su cui poggia il dito medio della mano: solitamente consente di simulare la presa di oggetti.



tasto Grab (B)

Il tasto Grab simula la presa reale di oggetti ed elementi virtuali, premendo e rilasciando.



Come comportarsi durante l'esercitazione

12

Ricordati che l'aula è un ambiente sicuro e controllato, l'esperienza immersiva può essere interrotta in qualsiasi momento e può essere ripresa quando si è di nuovo pronti a farlo.

Professori e assistenti sono presenti anche per fare in modo che l'esperienza didattica sia il più piacevole possibile.



Fig. 30 - altri screenshot dalla guida per studenti Vademecum

Contatti

METID
Politecnico di Milano
Piazza Leonardo Da Vinci, 32 - 20133 Milano

info.metid@polimi.it



POLITECNICO
MILANO 1863
METID
LEARNING INNOVATION



VRMETID

License

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



*3. Procedure per la realizzazione di
esperienze didattiche in VR*

METID Learning Innovation - Politecnico di Milano

3.1.1 Video tutorial

Di seguito, vengono riportati i punti salienti del Video Tutorial relativo al funzionamento dei Laboratori VR. Il video si trova al seguente link ed è rilasciato con licenza Creative Commons non commerciale 4.0 Internazionale.

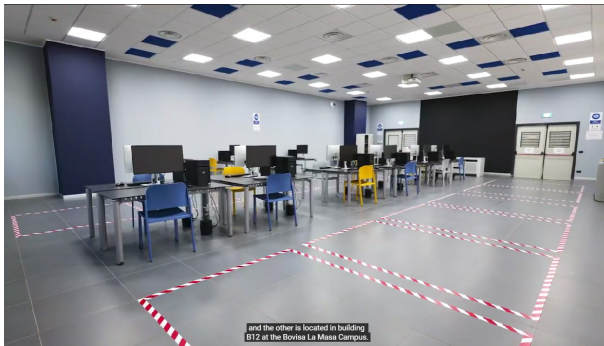


Fig. 31 - Screenshot del tutorial

Presentazione dei due diversi Laboratori nelle due sedi del Politecnico di Milano. (Fig.31)



Fig. 32 - Screenshot del tutorial

Indicazioni circa la disponibilità tecnologica dell'aula (quindi per singola postazione con PC, visore Quest 2, i due controller). (Fig. 32)



Fig. 33 - Screenshot del tutorial

Concetto di "boundaries" legate alla singola postazione: lo spazio contrassegnato da scotch colorato come spazio di lavoro durante le esercitazioni/lezioni in VR. (Fig. 33)



Fig. 34 - Screenshot del tutorial

Come indossare il visore la prima volta, come regolare i cinturini e le lenti, quali pulsanti da utilizzare per l'accensione. (Fig. 34)

3. Procedure per la realizzazione di esperienze didattiche in VR

Spiegazione dei diversi comandi/funzionalità dei joystick (controller). (Fig.35)

Fig. 35 - Screenshot del tutorial



Indicazioni sulla VR Sickness. (Fig.36)

Fig. 36 - Screenshot del tutorial



3.2 Guida per docenti

Affrontare la progettazione e l'esecuzione di lezioni in Realtà Virtuale (VR) richiede una metodologia ponderata e competente da parte dei docenti. Questa sezione presenta la "Guida per docenti", un'esauritiva risorsa che offre indicazioni dettagliate per la costruzione di lezioni in VR in modo fluido ed efficiente. Attraverso l'analisi approfondita delle azioni consigliate e degli evitamenti durante lo svolgimento delle attività, i docenti saranno guidati nella creazione di un ambiente didattico virtuale stimolante. La guida passo dopo passo fornirà un supporto essenziale per garantire il successo delle lezioni in VR, promuovendo un coinvolgimento attivo e una trasmissione efficace dei contenuti agli studenti.

Le sezioni (dalla 1 alla 8) sono state sviluppate in un ordine logico e cronologico per il corretto utilizzo della modalità VR di fruizione della lezione. Di seguito gli step in ordine:

1 - Individuare contenuti adatti all'utilizzo in VR

- Informarsi su cosa è e come funziona la tecnologia VR;
- Analizzare il programma del proprio corso didattico per individuarne aspetti interessanti da sviluppare tramite tecnologia VR: capirne vantaggi e svantaggi;
- Contattare il METID per capire come sviluppare la parte tecnica e metodologica utile alla costruzione di esperienze VR;

2 - Reperire l'applicativo per l'utilizzo in VR dei contenuti

- Tramite l'aiuto del dipartimento METID, individuare l'applicazione o la piattaforma adatta per sviluppare gli argomenti della lezione e raggiungere gli obiettivi didattici;
- Informarsi su come ottenere la licenza per lo sfruttamento dell'applicativo, capire per quanti studenti e per quanto tempo sia necessaria.

NEL CASO L'APPLICATIVO NON ESISTA

Esistono dipartimenti al cui interno operano delle risorse capaci di creare a tavolino applicativi per VR: capire come poter sviluppare, internamente al proprio corpo docenti per la lezione o dipartimento o tramite aiuto esterno, il proprio applicativo. Ovviamente sviluppato per essere usufruito con il visore Meta Quest 2 a disposizione.

3 - Testare l'applicativo

Una volta reperito l'applicativo, va testato per garantirne qualità e facilità di utilizzo.

4 - Strutturare la lezione

Testato l'applicativo, la fase successiva richiede di inserirlo nella lezione da svolgere. È necessario comprendere come organizzare la lezione nelle sue componenti teoriche e pratiche: questo compito rientra nelle competenze del docente, mentre METID può supportare l'organizzazione del flusso della lezione, integrando la tecnologia VR:

- Dai casi studio osservati risulta essenziale informare gli studenti relativamente ai contenuti della lezione, alla nuova modalità di svolgimento (tramite VR per tutta la lezione o

solo in alcune alcune parti) e su come è stata pensata e strutturata;

- importante è fornire agli studenti le istruzioni su come utilizzare le attrezzature dei laboratori necessarie: i tecnici d'aula vengono coinvolti per eventuali spiegazioni più di dettaglio o problemi tecnici;
- occorre inoltre fornire istruzioni dettagliati sull'applicazione specifica che verrà utilizzata.

5 - Organizzare il Lab VR

Buone regole da seguire nell'organizzazione dei Laboratori sono:

- Accertarsi che l'attrezzatura sia in ordine e con il giusto livello di carica prima di iniziare la lezione;
- Effettuare l'upload dell'applicativo su PC / visore direttamente e testarlo su ogni visore prima della lezione;
- Se per l'applicativo è sufficiente la presenza di uno studente per postazione, una buona pratica è organizzare la lezione in gruppi di massimo 12-15 studenti, per garantire un utilizzo efficiente della tecnologia VR. Preferibilmente, il numero massimo di studenti dovrebbe essere 12, in modo che, in caso di problemi con una postazione, ne rimangano 2-3 di riserva. Nel caso ci sia un numero maggiore di studenti, è possibile organizzare turni orari, a seconda del tempo necessario per lo svolgimento della lezione, nel corso della giornata.
- In ogni caso, è sempre opportuno garantire un buon numero di tutor per seguire gli studenti e guidarli nell'utilizzo della tecnologia;
- Ventilare bene l'aula e garantire un supporto agli studenti che potrebbero soffrire di

vertigini/nausea/mal di testa con l'utilizzo della tecnologia.

6 - Informare gli studenti

METID ha sviluppato delle linee guida utili da condividere con gli studenti prima della lezione (VADEMECUM e Video tutorial VR).

All'interno sono presenti le spiegazioni su:

- Cosa è la tecnologia VR ;
- Come è composta e come si usa la strumentazione VR ;
- Cosa sono i Lab VR ;
- Come comportarsi dentro e fuori l'esperienza VR ;
- Oltre a queste linee guida, è utile informare gli studenti in merito alle caratteristiche dell'applicativo individuato, per facilitare il corretto svolgimento della lezione e delle attività; in questo modo gli studenti arriveranno più preparati e consapevoli, ottimizzando tempi e modi dell'esperienza didattica.

7 - Svolgere la lezione (Fig.37)

Prima della lezione:

- Verificare qualche giorno prima dello svolgimento, che tutte le componenti organizzative siano state coinvolte (supporto tecnico, prenotazione aula etc);
- Accertarsi di aver condiviso con studenti il materiale informativo effettuare il setup dell'aula con un margine di tempo congruo, così da avere tutti i sistemi pronti per l'orario stabilito.

Durante la lezione:

- Esplicitare in modo chiaro i passaggi dell'esercitazione, comprese le attività ed il timing orario;
- Monitorare attraverso i tutor o i tecnici d'aule, tutti gli aspetti tecnici ed eventuali problemi che sorgono, in modo che i gruppi di lavoro possano procedere in maniera omogenea;
- Prestare attenzione all'uso dei visori ed in particolare evitare l'uso prolungato, o in ogni caso l'inserimento di pause, per prevenire fenomeni di malessere.

8 - Raccogliere feedback

Una volta terminata la lezione, discutere con gli studenti rispetto le novità che ha portato l'utilizzo della lezione crea spunti di interesse per entrambe le parti. Gli studenti possono condividere con i docenti i loro pensieri, l'entusiasmo o i dubbi riguardo la tecnologia, e i docenti possono spiegare i propri punti di vista e piani futuri. Avere una lista alla mano dei nomi e contatti degli studenti partecipanti alla lezione può essere utile per poter far girare in futuro un questionario o per ricontattare gli stessi studenti per altri motivi.



Fig. 37 - Lezione in aula VR

3.3 Organizzazione interna

Un aspetto fondamentale per la buona riuscita di lezioni ed esercitazioni in questa tipologia di laboratori, riguarda l'organizzazione interna intesa sia come l'individuazione di referenti specifici, sia nella gestione dei flussi di lavoro che devono poi integrarsi e consentire di avere un ambiente pronto ad accogliere le esigenze di docenti e studenti. Questo è un punto molto delicato e risente sicuramente di come ogni organizzazione è strutturata al proprio interno.

3.3.1 Ruoli coinvolti

METID - Learning Innovation

METID Task Force si occupa della gestione dei Laboratori VR, della progettazione metodologica con il corpo docenti e supervisiona, quando necessario, lo svolgimento della lezione. Inoltre ha prodotto i materiali al corretto svolgimento della lezione ed ha sviluppato attività di dell'esplorazione e catalogazione di servizi/app VR interessanti per la didattica. Le analisi e gli approfondimenti avvengono sia come ricerca teorica che direttamente sul campo monitorando le lezioni nei laboratori.

Assistenza tecnica

Il reparto di assistenza tecnica si occupa della preparazione dell'aula per lo svolgimento delle lezioni e della relativa assistenza in loco per le singole postazioni del laboratorio. Il corretto funzionamento tecnico, sia a livello hardware che software, è gestito interamente dal personale preposto all'assistenza, garantendo un funzionamento efficiente e fluido delle lezioni. Oltre ai visori e alle postazioni PC, il reparto di assistenza tecnica si occupa anche del sistema di proiezione dell'aula, utile nei casi occorra condividere a tutta l'aula alcune fonti video.

Servizi ICT

Particolare importanza riveste il ruolo dell'IT in quanto per ogni esercitazione occorre effettuare il setup delle macchine consolidando la configurazione software necessaria: viene quindi istituito un catalogo di configurazioni, una per ogni applicativo, che dovrà essere poi resa disponibile nel giorno della lezione.

4. Focus sull'esperienze didattiche in VR del Politecnico

4.1 Lezioni VR

Nel seguente capitolo vengono riportate le esperienze delle lezioni attivate all'interno dei Laboratori VR nel periodo 2021-2023.

Vengono presentati i dipartimenti ed i corsi coinvolti, e le relative applicazioni e piattaforme utilizzate. I dati sono raccolti tramite schede compilate durante le giornate di lezione stessa. (Fig.38)

4.1.1 Dipartimenti, corsi e applicativi coinvolti

Dall'apertura nel 2021 dei Laboratori VR, sono stati utilizzati da docenti provenienti da diversi dipartimenti. I dipartimenti maggiormente coinvolti provengono nella maggior parte dei casi da discipline STEM.

Molto attivi nell'utilizzo dell'aula sono stati i docenti del Dipartimento di Energia e Chimica, con diverse esercitazioni pratiche svolte nelle aule. Le loro esercitazioni utilizzano applicativi che simulano la presenza in impianti/laboratori virtuali a cui gli studenti accedono tramite visore, svolgendo diverse pratiche. Sono stati effettuati dalla divisione di Ingegneria Nucleare dello stesso dipartimento, test su laboratori simulati di Radiochimica in collaborazione con un dottorando di un'università tedesca; il dottorando ha costruito, per un progetto in collaborazione con il Politecnico di Milano, l'ambiente virtuale in cui studenti e studentesse del Politecnico si sono esercitati per la raccolta dati della ricerca.



Fig. 38 - An example of a lesson displaced into the VR class

Altro Dipartimento fortemente coinvolto è stato quello di Ingegneria Meccanica, che ha numerosissime lezioni del corso di Virtual Prototyping, in cui agli studenti/esse viene insegnato l'utilizzo di un software di Game Engine per sviluppare ambienti virtuali poi testati. Non solo, il corso di Rappresentazione Tecnica ha utilizzato per lungo periodo l'aula virtuale del Campus di Bovisa con centinaia di studenti che hanno testato i visori, utilizzando un applicativo VR sviluppato internamente. Lo scopo dell'esercitazione era testare il livello di comprensione dei contenuti teorici del corso attraverso alcune attività pratiche, in particolare, facendo smontare un riduttore meccanico virtuale e fornendo diversi quesiti in schede visionabili sempre tramite visore. Il Dipartimento di Meccanica ha svolto nel corso del tempo anche altre lezioni di stampo teorico nelle aule VR, e ha coinvolto all'interno delle aule iniziative di divulgazione scientifica anche durante la Digital Week di Milano nel 2022.

4. Focus sulle esperienze didattiche in VR del Politecnico

Il Dipartimento di Ingegneria delle Automazioni ha svolto numerose lezioni all'interno dell'aula del Campus di Leonardo, con un applicativo dedicato alla simulazione di un impianto industriale. Con il Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria è stato utilizzato un applicativo per il controllo di sistemi robotici simulati. Anche il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente costruito è stato coinvolto all'interno delle aule, nella parte finale del corso di Building Information Modelling, con il test di un teodolite virtuale da parte degli studenti.

Con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) sono stati revisionati i progetti sviluppati dagli studenti durante il corso intero in Autodesk Revit: tramite dei plug in sviluppati esternamente per Revit stesso, i modelli 3D del corso sono stati trasformati in ambienti virtuali esplorabili. Altro caso interessante è quello della School of Management, divisione di Innovation Management, che ha organizzato con METID alcuni workshop all'interno dei Laboratori VR per promuovere tra gli studenti tecnologia spunti di uso e di riflessione sul tema della Realtà Virtuale.

(Fig.39, 40)



Fig. 39 - An example of a lesson displaced into the VR class



Fig. 40 - An example of a lesson displaced into the VR class

4.2 Strumenti per la raccolta e condivisione di dati

Durante lo svolgimento delle lezioni nei Laboratori VR sono state raccolte informazioni sulla lezione da parte degli studenti che sono state rielaborate successivamente in Report riassuntivi.

Questi hanno lo scopo di tenere traccia dell'andamento delle lezioni e dei feedback degli studenti/docenti. Una scheda viene compilata con i dati generali della lezione (nome corso, nome docente, dipartimento di riferimento ecc.) e con la descrizione della metodologia utilizzata a lezione per fruire dei contenuti in VR. (Fig. 41, 42, 43)

4.2.1 Schede

Le schede riguardanti le lezioni VR raccolgono informazioni più generali e descrittive del corso/docente coinvolto e più specifiche delle metodologie e della tecnologia adottate.

Le informazioni raccolte sono:

- il nome del corso;
- il nome del/della docente o dei/delle docenti coinvolti/e nella lezione;
- il nome del dipartimento di appartenenza;
- l'obiettivo della lezione;
- gli orari di inizio e di fine della lezione;
- la data della lezione e le eventuali successive date (o frequenze di utilizzo);
- numero di professori/esse presenti alla lezione, il numero di tutor e di eventuali esterni, la presenza di personale tecnico, l'eventuale

- presenza di personale METID di supporto;
- presenze degli studenti e la disposizione in gruppo o individuale nelle postazioni;
- informazioni sull'applicativo utilizzato per la lezione: il nome, la configurazione software necessaria, una descrizione sommaria del software e delle sue funzioni;
- la lingua di erogazione della lezione;
- modalità di preparazione dell'aula;
- note particolari, eventuale numero di persone colpite da VR sickness;
- link del questionario e link del report finale.

4.2.2 Questionari

I dati raccolti per il monitoraggio utilizzano un questionario costruito ad hoc, in cui vengono richieste le informazioni necessarie per identificare tutti gli elementi costitutivi delle esperienze svolte, come il gradimento da parte degli studenti, l'esperienza pregressa rispetto alle tecnologie utilizzare, l'indicazioni di criticità e spunti di miglioramento. Le domande sono sia aperte che chiuse. A titolo informativo viene allegato il questionario in appendice.

La raccolta dati permette poi di costruire report riassuntivi di analisi dettagliata degli aspetti più significativi delle esperienze didattiche svolte, e vengono poi condivisi con i docenti coinvolti, allo scopo di valutare il raggiungimento degli obiettivi formativi e le eventuali azioni correttive per le lezioni future.

4. Focus sulle esperienze didattiche in VR del Politecnico

1. Hai mai usato un sistema di Realtà Virtuale?

No

Sì

2. Hai usato sistemi di Realtà Virtuale per motivi di studio o di svago?

Studio

Svago

Entrambi

Altro

3. Che sistema hai usato?

Inserisci la risposta

4. Durante l'attività, quali difficoltà TECNICHE hai riscontrato?

meglio i VINCOLI e le peculiarità

Svolgere diversi tipi di attività, non solo pratiche ma anche teoriche

8. Quanto hai apprezzato i seguenti aspetti? (Da 1 a 5)

	1 - Non molto utile	2	3 - Più utile	4	5 - Molto utile
Video di introduzione e orientamento all'attività	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Esercizi di riflessione/attivazione prima dell'attività pratica (-> ordina le azioni che dovrai svolgere)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Possibilità di manipolare gli oggetti nella realtà virtuale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Possibilità di confrontare in modo autonomo gli oggetti e la relativa rappresentazione in sezione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quiz per verificare il livello di comprensione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

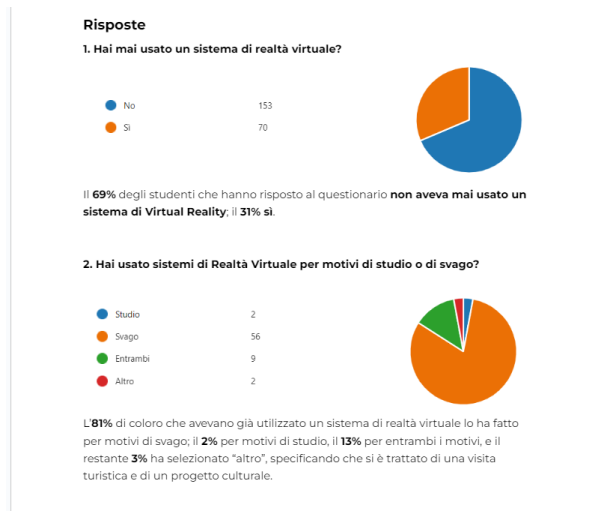


Fig. 41, 42, 43 - Screenshot dai questionari e dai report risultanti

5. Conclusioni

5.1 Impatto dell'introduzione della tecnologia VR nella didattica

La possibilità di utilizzare ambienti dedicati a tecnologie molto verticali, come può essere un laboratorio di Virtual Reality, può sicuramente rappresentare un valore aggiunto e una risorsa preziosa da inserire all'interno di un percorso didattico. (Fig. 44)

I docenti coinvolti hanno dimostrato fin da subito un interesse per questa tecnologia, palesata attraverso la richiesta di informazioni sugli aspetti tecnologici, didattici, applicativi ed organizzativi.

Naturalmente, considerata l'intrinseca difficoltà di armonizzare tutti questi aspetti, il percorso avviato non è stato semplice, ma non sono mancati gli aspetti positivi e di apprezzamento di tutte le componenti coinvolte, in particolare degli studenti. Il questionario realizzato dai docenti di Meccanica a valle delle attività legate al corso "Metodi di Rappresentazione Tecnica" a cui hanno preso parte centinaia e centinaia di studenti, riporta risultati molto interessanti: a fronte di 223 risposte, circa $\frac{1}{3}$ di loro (70) aveva già avuto esperienze precedenti con la Realtà Virtuale: di questi, 56 lo avevano utilizzato per svago, 11 anche o solo per scopi educativi. In pratica, solo il 5% di chi ha risposto aveva utilizzato in precedenza la Realtà Virtuale per scopi didattici, mentre per gli altri $\frac{2}{3}$ del campione era la prima interazione con questa tecnologia.

Un dato positivo riguarda le problematiche tecniche riscontrate durante lo svolgimento delle lezioni: la maggior parte dei rispondenti non riporta alcun

tipo di difficoltà tecnica, anche il tema del disagio fisico è risultato contenuto, con la maggioranza degli studenti (66%) che non segnala nessun fenomeno in particolare. I sintomi più segnalati sono disorientamento (16%) e nausea (9%).

Lato applicativo, pur con una buona base che non segnala particolari problemi nelle attività di interazione nell'ambiente virtuale (49%), occorre segnalare un 31% di persone che avrebbe preferito avere più tempo a disposizione (la sessione durava meno di due ore)- mentre l'11% ha riportato difficoltà a comunicare con i compagni di gruppo durante l'uso del visore.

È stato richiesto ai partecipanti di valutare diversi aspetti dell'esperienza, assegnando un punteggio da 1 (per niente) a 5 (molto). Considerando tutte le risposte dal neutro al positivo (3-4-5), la stragrande maggioranza (dal 96,9% al 100% dei rispondenti) ha dichiarato di aver apprezzato l'utilizzo di un sistema VR in prima persona, di essere stata soddisfatta di applicare i concetti teorici precedentemente studiati in ambito pratico e di essere entusiasta dell'esperienza, sia per l'eterogeneità delle attività proposte sia per le interazioni nell'ambiente virtuale. Diversi aspetti inseriti nella costruzione della lezione stessa sono stati largamente apprezzati (con una percentuale di risposte da 3 a 5 compresa tra l'85,7% e il 97,3%), tra cui il video introduttivo relativo all'attività e alla tecnologia VR, gli esercizi

di riflessione propedeutici all'attività da svolgere e il quiz finale di verifica della comprensione delle attività.

Il 98% degli studenti che hanno risposto al questionario hanno dichiarato di voler replicare questo tipo di attività in altri corsi.



Fig. 44 - Foto di una lezione in VR

5.2 Riflessioni e conclusioni

L'esperienza fin qui raccolta ci porta ad affermare che, per la popolazione di docenti e studenti che ha partecipato a questo tipo di attività, vi sia una percezione positiva dell'uso della tecnologia VR. Questa percezione diviene tanto maggiore quanto più consapevole ed approfondita è la conoscenza del tema da parte dei docenti stessi e in particolare al grado di conoscenze delle tecnologie, piattaforme o applicativi che la VR offre in termini di utilità per le esperienze didattiche.

Sembra perciò necessario continuare a investigare e studiare non solo tutti i cambiamenti e le novità di questo particolare campo tecnologico, dai dispositivi, all'interazione e alle applicazioni disponibili, ma anche nuove soluzioni integrate che possano essere adatte ai vari contesti didattici. Potrebbe risultare utile infine un aggiornamento in termini di formazione mirata al corpo docente, al fine di condividere il più possibile le esperienze svolte e le potenzialità di questa tecnologia.

Dobbiamo altresì segnalare come dai primi mesi del 2021 alla metà del 2024 (data di questa pubblicazione), si possa notare un calo di interesse nei confronti della tecnologia VR e delle sue potenzialità per la didattica, dato riscontrabile anche dal numero di richieste e di presenze nei due laboratori. Questa diminuzione, ampiamente prevista (ogni novità tecnologica genera il cosiddetto "hype", quell'interesse generale dovuto alla novità del momento, diminuito il quale restano le persone davvero interessate e pronte ad investire tempo sul lavoro e sulla sperimentazione) potrebbe essere spiegata da diverse difficoltà tecnologiche intrinseche ai sistemi VR stessi (Kohen, 2023). È quindi essenziale aggiornare costantemente le conoscenze relative al mercato e ai nuovi dispositivi per affinare le metodologie didattiche basate sulle soluzioni già disponibili e su quelle future (Fitz-Patrick, 2023).

In conclusione, dalle esperienze vissute fino ad oggi e ancora in corso, possiamo ipotizzare che la tecnologia di Realtà Virtuale avrà un ruolo significativo nelle aule e nel contesto didattico in generale (Liakopoulos, 2023). L'impatto di un sistema tecnologico di questo tipo si dimostra molto positivo per tutti gli attori coinvolti, dai docenti agli studenti, fino a tutto il personale di supporto. Sarà fondamentale capire come si evolverà il mercato consumer di questi dispositivi poiché, come ci hanno insegnato mercati simili (ad esempio quello degli smartphone), a una grande disponibilità

di oggetti tecnologici utili e accessibili può corrispondere una maggiore capacità di sviluppo di applicazioni dedicate, in grado di rendere disponibili con maggiore facilità contenuti didattici specifici.

Dobbiamo considerare la Realtà Virtuale, al pari delle altre tecnologie disponibili, come uno strumento a nostra disposizione, capace di potenziare le esperienze didattiche nel contesto di una progettazione integrata con i metodi tradizionali, affiancandola ad altre tecnologie in forte crescita, come i tool di Intelligenza Artificiale (AI).

Forse proprio questi ultimi potranno fungere da volano per la costruzione di contenuti e applicazioni dedicati. Spetta alle organizzazioni preposte al ruolo di innovatori didattici il compito di mantenere alta l'attenzione e continuare a sperimentare.

References

Fitz-Patrick, M. (2023, December 16). The past, present and future of virtual reality. The Interaction Design Foundation. <https://www.interaction-design.org/literature/article/the-past-present-and-future-of-virtual-reality>

Harvard Innovation Labs. (2024, March 1). Harvard Innovation Labs. <https://innovationlabs.harvard.edu/>

Immersive Design Lab (IDL). (n.d.). <https://idl.ethz.ch/>

JetRuby Agency. (2018, February 2). Virtual reality or real virtuality? - JetRuby Agency. Medium. <https://expertise.jetruby.com/virtual-reality-or-real-virtuality-part-1-ad7bc378f189>

Kaltsidis, C., Kedraka, K., & Grigoriou, M. (2021). TRAINING HIGHER EDUCATION BIOSCIENCE STUDENTS WITH VIRTUAL REALITY SIMULATOR. *European Journal of Alternative Education Studies*, 6(1). doi:<http://dx.doi.org/10.46827/ejae.v6i1.3748>

Kohen, N. (2023, February 10). Is virtual reality the future? *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2023/02/10/is-virtual-reality-the-future/>

Kosmas P, Makridou E, Pirkkalainen H., Torro o., and Vrasidas C. (2021). Opportunities, challenges, and training needs in the use of VR in Higher Education and SMEs: The case of Cyprus and Finland. CHI Greece 2021: 1st International Conference of the ACM Greek SIGCHI Chapter. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 20, 1–7. DOI:<https://doi.org/10.1145/3489410.3489430>

Labs. (n.d.). Labs – Center for Augmented Computational Design in Architecture, Engineering and Construction | ETH Zurich. <https://designplusplus.ethz.ch/infrastructure.html>

Liakopoulos, K. (2023, November 28). Is VR the future? - Konstantinos Liakopoulos - medium. Medium. <https://medium.com/@wiz-wizdomgr/is-vr-the-future-a587b4579a10>

Macquarie Administration. (2024, March 11). VISOR research group. <https://www.mq.edu.au/research/research-centres-groups-and-facilities/groups/visor-research-group>

Radoff, J. (2022, January 14). The metaverse Value-Chain - building the metaverse - medium. Medium. <https://medium.com/building-the-metaverse/the-metaverse-value-chain-afcf9e09e3a7>

Research – MIT Media Lab. (n.d.). MIT Media Lab. https://www.media.mit.edu/research/?filter=groups_centers_initiatives

Stanford (2023, October 3). Stanford University course teaches students while fully immersed in VR. ENGAGE. <https://engagevr.io/stanford-university-metaverse/>

The Virtual Reality Initiative of Politecnico di Torino. (n.d.). vr.polito.it/?np

V-ARE Lab | University of Illinois Chicago. (n.d.). <https://vare.ahs.uic.edu/>

VIRTECH. (n.d.). Virtual. <https://virtual.caltech.edu/virtech>

Virtual Human Interaction Lab. (n.d.). Virtual Human Interaction Lab. <https://stanfordvr.com/>

Virtual Learning Lab, Department of Psychology, University of Copenhagen. (n.d.). <https://www.virtuallearninglab.net/>

Virtual Reality Lab. (n.d.). University of Portsmouth. <https://www.port.ac.uk/about-us/our-facilities/teaching-and-learning-spaces/virtual-reality-lab>

Virtual Reality and Augmented Reality lab. (n.d.). Centre for Teaching and Learning. <https://www.citl.ox.ac.uk/virtual-reality-and-augmented-reality-lab>

Virtual Reality Lab. (n.d.). <https://citl.illinois.edu/citl-101/instructional-spaces-technologies/armory-innovation-spaces/virtual-reality-lab>

Virtual Reality Lab. (n.d.-b). University of Portsmouth. <https://www.port.ac.uk/about-us/our-facilities/teaching-and-learning-spaces/virtual-reality-lab>

VR/AR MIT. (n.d.). VR/AR MIT. <http://vratmit.com/>

Zhao R., Chu Q., Chen D., (2021) Exploring Chemical Reactions in Virtual Reality. *Journal of chemical education*

Figures

Fig.1 - Center for Collaborative Arts and Media in Yale
<https://ccam.yale.edu/about-0>

Fig.2 - Screenshot dall'applicazione medicale sviluppata da Onix
<https://onix-systems.com/blog/vr-for-training>

Fig.3 - LabTraining VR: Biosafety Cabinet Edition
<https://www.meta.com/es-es/experiences/4830420787016392/>

Fig.4 - Immersive Design Lab structure and values
© Gramazio Kohler Research, ETH Zürich 2020.
<https://designplusplus.ethz.ch/infrastructure.htm>

Fig.5 - VR App on expeditions
<https://www.eduporium.com/wp/wp-content/uploads/2021/09/Google-Expeditions-Alternatives-Blog-Banner.png>

Fig.6 - Laboratorio VR in aula L04
METID Task Force - Learning Innovation

Fig.7 - Visualizzazione aula 225
METID Task Force - Learning Innovation

Fig.8 - Visualizzazione attività dello sketch in VR
<https://www.xrpedagogy.com/en/google-tilt-brush-how-to-use-virtual-reality-to-improve-creativity/>

Fig. 9 - Vermillon VR app
<https://vermillion-vr.com/press-kit/>

Fig.10 - Kingspray Graffiti
<https://www.realovirtual.com/rovdB/juegos/11369/kingspray-graffiti-vr>

Fig.11 - Spatial app
<https://www.spatial.io/blog/four-uses-of-virtual-reality-in-spatial>

Fig.12 - Noda VR app
<https://www.realovirtual.com/rovdB/aplicaciones/19242/noda>

Fig. 13 - Mozilla Hub interface
<https://metaverse-news.es/mozilla-hub-amplia-su-servicio-de-colaboracion-inmersiva-a-mas-de-30-regiones/>

Fig. 14 - Horizon Workrooms
Image Credit: <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

Fig. 15 - MeetinVR
<https://www.meetinvr.com/category/future-of-work/>

Fig.16 - FrameVR
Image Credit: <https://framevr.io/>

Fig. 17 - Aframe VR
<https://medium.com/uom-digilab/a-frame-for-beginners-5a15d3337200>

Fig. 18 - Teacher and students can participate in a multi-user learning environment powered by EON EON-XR
<https://eonreality.com/eon-reality-launches-eon-creator-avr-a-do-it-yourself-augmented-and-virtual-reality-knowledge-content-creation-application-for-teachers-and-students/?lang=it>

Fig. 19 - Gravity Sketch app
<https://www.rca.ac.uk/business/innovationrca/start-companies/gravity-sketch/>

Fig. 20 - Arkio VR
<https://www.arkio.is/>

Fig. 21 - ShapesXR
<https://www.meta.com/es-es/blog/quest/introducing-shapesxr-a-new-tool-for-real-time-collaboration-and-prototyping-in-vr/>

Fig. 22 - VR Sketch
<https://vrsketch.eu/>

Fig. 23 - Labster simulation
<https://www.healthysimulation.com/medical-simulation/vendors/labster/>

Fig. 24 - Veative headsets
<https://www.dpvr.com/en/p1-vr-headset-hardware-for-veative-virtual-reality-classroom-platform/>

Fig. 25 - Sama courses in VR
<https://www.realovirtual.com/rovdB/juegos/16889/sama-learning>

Fig. 26/30 - Screenshots dal Vademecum VR
METID Task Force - Learning Innovation

Fig. 31/36 - Screenshot dal tutorial

Video source: https://youtu.be/VhLhptqz_yA

2022 | METID - Task force learning teaching innovation

Fig. 37 - Lezione in aula VR

METID Task Force - Learning Innovation

Fig. 38/40 - An example of a lesson displaced into the VR class

METID Task Force - Learning Innovation

Fig. 41/43 - Screenshot dei questionari e del report risultante

METID Task Force - Learning Innovation

Fig. 44 - Foto di una lezione in VR

METID Task Force - Learning Innovation

