

---

REPORT - PREMIO DI STUDIO:  
EDUCAZIONE E FORMAZIONE CON LA REALTÀ  
VIRTUALE E AUMENTATA

---

Anno accademico 2020/2021

Albino, 20 settembre 2022

Manuel Pezzerà

*Manuel Pezzerà*



---

---

# Indice

---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Educazione e formazione . . . . .	1
1.2	Realtà aumentata e realtà virtuale . . . . .	2
1.3	Dispositivi . . . . .	5
1.3.1	Dispositivi realtà virtuale . . . . .	5
1.3.2	Dispositivi realtà aumentata . . . . .	5
1.4	Efficacia . . . . .	7
1.5	Applicazioni . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>11</b>
2.1	Overview . . . . .	11
2.2	Medicina e salute . . . . .	12
2.3	Ambito ingegneristico e industriale . . . . .	15
2.4	Educazione di base . . . . .	17
2.5	Educazione alunni con bisogni educativi speciali . . . . .	18
2.6	Salute e sicurezza sul lavoro . . . . .	19
2.6.1	Ambito chimico . . . . .	19
2.6.2	Ambito energetico . . . . .	20
2.6.3	Ambito costruzioni . . . . .	21
2.6.4	Sicurezza antincendio . . . . .	23
2.6.5	Ambito industriale . . . . .	24
2.6.6	Sicurezza in miniera . . . . .	25
2.6.7	Sicurezza navale . . . . .	26

## Indice

---

2.6.8	Sicurezza nei tunnel e gallerie . . . . .	27
2.6.9	Gestione delle catastrofi e delle emergenze . . . . .	27
2.6.10	Conclusioni e riflessioni . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Dalla teoria alla pratica</b>	<b>31</b>
3.1	Team di sviluppo . . . . .	31
3.2	Game Engines . . . . .	33
3.2.1	Unity . . . . .	33
3.2.2	Unreal . . . . .	34
3.2.3	Altri . . . . .	34
3.3	SDKs . . . . .	35
3.3.1	Mixed Reality Toolkit . . . . .	35
3.3.2	Oculus Integration . . . . .	36
3.4	Testing e valutazione . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>39</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>41</b>

---

# CAPITOLO *1*

---

## Introduzione

---

In questo documento andremo ad approfondire come realtà virtuale e realtà aumentata possono essere utili ai fini di formazione, educazione e salute e sicurezza sul lavoro. Nel primo capitolo introdurremo alcune delle conoscenze di base sull'educazione e come le nuove tecnologie possono migliorare l'apprendimento e la sicurezza dei lavoratori.

### **1.1 Educazione e formazione**

---

Per processo educativo o formativo si intende quel processo di acquisizione di conoscenza o nuove abilità. Il processo formativo può avvenire sia in età scolare attraverso la scuola, sia in età adulta, come corsi di formazione sul lavoro, per esempio.

Questo processo di formazione è talvolta complesso. Alcuni studenti, ad esempio, hanno problemi di comprensione nelle materie scientifiche, dove è necessario pensiero astratto e dove i concetti non sono sempre tangibili [1].

Per quanto riguarda la parte pratica, inoltre, molto spesso le esperienze sono limitate a causa di assenza di risorse o perché eccessivamente pericolose per essere eseguite autonomamente da parte di uno studente

## Capitolo 1. Introduzione

---

senza supervisione. Si pensi ad esempio a laboratori di chimica, dove è necessario maneggiare sostanze potenzialmente pericolose e dove potrebbero manifestarsi rischi importanti per la salute in caso di errore. Molto spesso quindi la parte pratica è marginale o comunque non sufficientemente esplorata con conseguenti lacune nella formazione.

Fortunatamente, le moderne tecnologie possono venire in aiuto per risolvere i problemi dell'insegnamento tradizionale. Tecnologie come *Realtà Virtuale* (VR) e *Realtà Aumentata* (AR) possono permettere, da un lato, di mostrare attraverso contenuti multimediali, come modelli 3D, immagini e video, contenuti complessi e facilitarne la comprensione rispetto al libro tradizionale. Dall'altro, possono simulare laboratori o esperienze pratiche in totale sicurezza, senza la necessità di aver a disposizione particolari risorse o tutor. Gli studenti possono quindi esplorare liberamente e fare esperimenti autonomamente senza il rischio di esporsi a situazioni pericolose. Svitati studi hanno infatti dimostrato che queste tecnologie sono ottimi strumenti di supporto comparati ai metodi di studio tradizionali e possono migliorare l'apprendimento da parte degli studenti [2][3].

Quando parliamo di apprendimento e formazione includiamo anche la formazione con l'obiettivo di migliorare la salute e sicurezza sul lavoro, argomento che sarà trattato in maniera più approfondita nel capitolo successivo.

### 1.2 Realtà aumentata e realtà virtuale

---

Negli ultimi anni, grazie al continuo miglioramento della capacità di calcolo dei computer e della conseguente miniaturizzazione dei chip, sono stati creati nuovi tipi di dispositivi sempre più piccoli e portatili. Tra questi, i dispositivi di realtà virtuale e aumentata sono sempre più conosciuti e popolari tra il grande pubblico.

Nonostante possano sembrare concetti molto recenti, Realtà Virtuale e Realtà Aumentata hanno cominciato a diffondersi a partire dagli anni '60. All'epoca erano ovviamente dispositivi primordiali, molto diversi da quelli a cui siamo abituati oggi. La capacità di calcolo dell'epoca (e dei decenni successivi) non era certo sufficiente per poter sviluppare dispositivi commerciabili. Inoltre, gli elevati costi hanno sempre fatto sì

## 1.2. Realtà aumentata e realtà virtuale

---

che VR e AR fossero escluse dall'ambito educativo e limitate ad ambiti più specifici come quello militare o di ricerca.

Dobbiamo arrivare ai giorni nostri, dal 2010 in poi, per iniziare a vedere la prima e reale diffusione di queste tecnologie. Tuttavia, al momento in cui scriviamo, sebbene diversi dispositivi di questo tipo siano disponibili sul mercato, rimangono ancora prodotti relativamente di nicchia, spesso a causa di un prezzo non sempre particolarmente economico e/o di un numero ridotto di applicazioni e giochi disponibili. La tendenza è comunque in netto miglioramento e una maggiore diffusione di questi dispositivi nei prossimi anni appare sempre più probabile.

VR e AR, in un certo senso, potrebbero quasi essere visti come concetti opposti. Da un lato, vi è un'immersione completa nel mondo virtuale perdendo ogni contatto con il mondo reale (VR) [4]. Dall'altro, l'utente continua ad interagire con il mondo reale, al quale vengono aggiunti elementi virtuali come modelli 3D, animazioni e video (AR). Il concetto di AR si è evoluto nel tempo rispetto al suo significato originale, per questo ora spesso prende anche il nome di *Mixed Reality* (MR). Vediamo ora brevemente la storia di queste tecnologie.

La VR inizia la sua vera diffusione a partire dal 2012 circa, quando Oculus mostra il primo prototipo del suo visore: l'Oculus Rift DK1 (fig. 1.1). La prima versione disponibile al pubblico verrà rilasciata solo 4 anni più tardi, nel 2016. Questo tipo di tecnologia mira ad immergere l'utente in un mondo completamente virtuale (da qui il nome - realtà virtuale), sostituendo completamente le percezioni visive e sonore del mondo reale con quelle del mondo virtuale. L'utente perde quindi la concezione di ciò che sta accadendo intorno a lui, con evidenti potenziali problemi di sicurezza che nel corso degli ultimi anni stanno venendo parzialmente risolti. Questo tipo di dispositivi è progettato principalmente per l'intrattenimento e il gioco grazie alla sua natura immersiva, molto superiore rispetto a tutti gli altri dispositivi di intrattenimento che esistono attualmente.

Tuttavia, recentemente la VR sta cominciando a diffondersi in altri settori. Non è difficile trovare dispositivi VR anche in musei, acquari o luoghi turistici simili, dove hanno un maggiore scopo educativo mirato ad informare ed intrattenere turisti e visitatori. Il senso di immersione e di presenza che l'utente prova è uno dei fattori chiave anche per il

## Capitolo 1. Introduzione

---

miglioramento dell'apprendimento [5]. Anche nell'ambito della ricerca, alcuni studi hanno evidenziato come questa tipologia di dispositivi possa essere utilizzata con benefici in svariati ambiti, come la riabilitazione per i pazienti affetti da morbo di Parkinson [6] o per il trattamento di fobie [7], giusto per citare un paio di esempi.



**Figura 1.1:** *Oculus Rift DK1. Annunciato nel 2012, è stato il primo visore distribuito da Oculus, era rivolto principalmente agli sviluppatori al fine di testarlo e permettere lo sviluppo delle prime applicazioni di realtà virtuale.*

L'AR, invece, non sostituisce i sensi visivi e uditivi dell'utente, ma li integra con informazioni aggiuntive. Questo tipo di tecnologia si presta meno all'uso nel settore video-ludico, poiché l'utente rimane consapevole del mondo reale, riducendo così sensibilmente l'immersione. Pertanto, diventa più complesso sviluppare videogiochi avanzati; tuttavia, ci sono numerosi piccoli giochi, solitamente per smartphone, che utilizzano l'AR per intrattenere l'utente. Questo tipo di tecnologia può essere molto utile in vari settori, in quanto fornisce all'utente una fonte di informazioni a cui normalmente non avrebbe accesso. Si pensi, ad esempio, all'assistenza remota in svariati ambiti lavorativi: anziché recarsi fisicamente sul luogo di lavoro è possibile fornire supporto ai dipendenti tramite tecnologie di AR. Anche in ambito educazione e formazione, il dispositivo può fornire informazioni sui concetti da apprendere o riguardo i dispositivi da utilizzare.

Inizialmente l'AR era concepita come semplice informazione statica

sul monitor (principalmente testo o semplici modelli 3D), con cui l'utente non poteva interagire, per questo motivo, recentemente, è stato introdotto il concetto di Mixed Reality (MR). Questo nuovo termine identifica una nuova categoria di dispositivi che non si limitano a mostrare informazioni statiche sullo schermo, ma le informazioni e gli oggetti (come i modelli 3D, per esempio) sono inseriti nell'ambiente reale e l'utente può interagire con essi. La MR può quindi essere vista come una naturale evoluzione della AR, che non si limita più a mostrare oggetti sovrapposti al mondo reale, ma è come se gli oggetti virtuali facessero veramente parte del mondo.

VR, AR e MR rientrano in ciò che viene ormai genericamente chiamato *Extended Reality* (Realtà estesa - XR).

## 1.3 Dispositivi

---

### 1.3.1 Dispositivi realtà virtuale

Sono attualmente presenti sul mercato svariati dispositivi di VR con capacità e costi diversi. Tra i maggiori produttori vi è Meta (ex. Facebook), che ha acquisito Oculus nel 2014; tra i loro dispositivi di punta ci sono Oculus Rift S e Oculus Quest 2. Altri visori sono Valve Index, PlayStation VR e HTC Vive Pro 2, giusto per citarne alcuni. Sebbene il risultato sia sempre quello di creare un ambiente virtuale in cui immergere l'utente, ogni dispositivo ha caratteristiche e funzionalità diverse, come la mappatura dell'ambiente e delle mani dell'utente, o una maggiore capacità computazionale (attraverso la quale si può fruire di giochi maggiormente immersivi e realistici).

### 1.3.2 Dispositivi realtà aumentata

Rispetto alla VR, la tecnologia AR può risultare tecnicamente più complessa, ed è più difficile sviluppare dispositivi economici che possono raggiungere il mercato. Questo è principalmente dovuto alla necessità di avere hardware e software in grado di mappare in modo preciso l'ambiente circostante. Necessità non presente, o comunque ridotta, nei dispositivi VR, dove l'utente è immerso nel mondo virtuale, dentro al quale non ha quindi punti di riferimento precisi come avviene in AR. Per



**Figura 1.2:** *A sinistra Oculus Rift, che per essere utilizzato dev'essere collegato ad un PC il quale si occuperà dell'elaborazione dell'applicazione. A destra invece Oculus Quest 2, dispositivo stand-alone, che può essere utilizzato in maniera indipendente senza un PC.*

questo sono ancora pochi i dispositivi che sono attualmente in commercio con costi di produzione e vendita sensibilmente più alti rispetto alla controparte VR.

Ad oggi, l'unico vero dispositivo di MR è Microsoft HoloLens, sebbene altri dispositivi siano stati annunciati e siano prossimi alla distribuzione. Il primo modello di HoloLens è stato sviluppato nel 2016. Dotato di una telecamera di profondità, quattro sensori di “comprensione ambientale” (telecamere in scala di grigi), una telecamera a colori e un sensore di luce ambientale, è in grado di percepire e ricostruire l'ambiente intorno all'utente. La telecamera di profondità permette anche di rilevare ostacoli, pareti o pavimenti, gli sviluppatori possono anche utilizzare queste informazioni nelle loro applicazioni.

All'inizio del 2019, la seconda generazione di HoloLens è stata presentata da Microsoft, con un nuovo tracciamento delle mani e degli occhi, permettendo agli utenti di interagire meglio e in modo più naturale con gli elementi virtuali.

HoloLens non è un dispositivo progettato per il grande pubblico. Il suo costo è ancora molto alto (oltre 3.000 dollari) e ci sono molte limitazioni. La più grande è il campo visivo ridotto, che limita notevolmente l'esperienza d'uso. Nel caso di HoloLens 1, inoltre, l'uso prolungato non

è particolarmente consigliato a causa della scarsa ergonomia del dispositivo, anche l'interazione con il software non è molto comoda. HoloLens 2 ha parzialmente risolto questi problemi, espandendo il campo visivo e migliorando l'ergonomia e l'interazione. Ad oggi rimane quindi un dispositivo progettato per alcuni settori in ambito business, prima di qualche anno non sarà disponibile per il mondo consumer.

Recentemente anche altri dispositivi AR stanno iniziando ad essere sviluppati e venduti. Tra questi, ci sono gli smart glasses Nreal<sup>1</sup> e Lenovo ThinkReality<sup>A3</sup> <sup>2</sup>. Questi dispositivi, tuttavia, sono ancora difficili da reperire e non sono ancora disponibili in molte parti del mondo. Rispetto ad HoloLens, questa tipologia di dispositivi dovrebbe essere più economica ed espandersi al mondo consumer, oltre che a quello business.



**Figura 1.3:** A sinistra Microsoft HoloLens 2, a destra gli occhiali Nreal, da poco in commercio.

## 1.4 Efficacia

---

Sebbene l'ambito realtà virtuale sia un ambito ancora molto recente (come abbiamo visto, la distribuzione di dispositivi VR al grande pubblico è avvenuta circa una decade fa), ci sono già come ricerche interessanti che dimostrano come la realtà virtuale, soprattutto in ambito educazione e insegnamento, possa essere un grande valore aggiunto aumentando l'efficacia dell'apprendimento rispetto ai tradizionali metodi di studio. Tra i vari studi che possiamo citare ci sono: [2][3][8].

Proprio quest'ultimo articolo, si concentra sull'efficacia della VR rispetto non solo ai metodi tradizionali ma anche rispetto alle classiche

---

<sup>1</sup><https://www.nreal.ai>

<sup>2</sup><https://www.lenovo.com/it/it/thinkreality/a3>

## Capitolo 1. Introduzione

---

applicazioni desktop. Dal loro studio è emerso in modo chiaro come l'utilizzo della VR migliora l'apprendimento nei ragazzi dall'asilo fino all'ultimo anno di scuola superiori. Questo sembra essere particolarmente vero per le materie in ambito scientifico e inerenti allo sviluppo di abilità pratiche, le quali vengono apprese meglio grazie alle esperienze immersive, che permettono ai ragazzi di vedere, vivere e provare in prima persona l'attività che stanno studiando. La VR sembra anche essere maggiormente efficace anche per quanto riguarda il mantenimento delle conoscenze nel lungo periodo.

In [9], invece, gli autori hanno analizzato svariate ricerche pubblicate tra il 2009 e il 2020, tra queste ne sono poi state selezionate 46 che sono state incluse e approfondite nella loro ricerca, con l'obiettivo di valutare l'efficacia della VR applicata all'educazione non solo in ambito scolastico ma anche universitario. Se da un lato, gli autori sottolineano una mancanza di metodologia comune e ben definita nello sviluppo di questa tipologia di applicazioni, dall'altro evidenziano anche i dati quantitativi portati da svariati studi che testimoniano come la tecnologia VR porti un significato miglioramento in ambito educativo. Nonostante questo, poiché la maggior parte delle ricerche ha reclutato un ristretto numero di partecipanti (< 30), gli autori rimarcano la necessità di studi con un maggiore numero di soggetti coinvolti.

Un'altra review recente molto interessante è [10]. In questo lavoro gli autori hanno analizzato oltre 1.364 articoli scientifici pubblicati dal 1992 all'agosto 2019 incentrati sull'utilizzo della realtà virtuale per migliorare l'apprendimento nel campo medico, della sicurezza, nell'educazione e in quello industriale. L'importante mole di lavoro svolta dagli autori rende questo articolo molto interessante, perché dopo aver suddiviso gli articoli in una delle categorie appena citate, cercano di fare un'analisi sull'efficacia della VR per quanto riguarda la performance psicomotoria (ad esempio quanto un chirurgo migliora i propri movimenti manuali), le abilità spaziali (ossia l'abilità di orientare o percepire il proprio corpo nello spazio o per rilevare e ragionare sulle relazioni tra oggetti nello spazio) e l'acquisizione di conoscenza. Queste tre capacità si possono anche sovrapporre, ad esempio un chirurgo tramite la VR potrà migliorare le sue abilità manuali, sia le sue conoscenze mediche. Nell'articolo per ognuna di queste tre capacità viene fatto un breve riassunto sui risul-

tati che sono stati raggiunti finora. Senza scendere eccessivamente nei dettagli, in buona parte dei casi gli autori hanno registrato dei miglioramenti nell'apprendimento rispetto ai metodi tradizionali. Quello che gli autori hanno anche compreso è che non è la tecnologia stessa a migliorare le performance, ma come viene usata. Se, ad esempio, si utilizza la VR semplicemente per mostrare delle diapositive o per leggere un documento, non si avrà alcun miglioramento rispetto a metodi alternativi. Non è la tecnologia stessa a migliorare l'efficacia dell'apprendimento ma come viene utilizzata; se l'utente viene immerso in una realtà virtuale in cui può, ad esempio, toccare e manipolare oggetti, in questo caso potranno esservi miglioramenti perché è la qualità dell'esperienza vissuta che aiuta l'apprendimento. Di fronte a questi risultati sicuramente positivi, anche in questo caso gli autori fanno notare come molti dei lavori siano specifici di un determinato e ristretto dominio, non è quindi possibile fare affermazioni generali riguardo l'efficacia della VR per quanto riguarda l'apprendimento o l'educazione. I risultati rimangono comunque positivi anche perché la grossa parte dei lavori analizzati è successiva al 2017, c'è stato quindi un aumento importante degli studi in questo campo ed è possibile aspettarsi ulteriori ricerche e scoperte nei prossimi anni.

In sostanza possiamo affermare che la VR, sebbene manchino ancora studi su larga scala che misurino in maniera definitiva la sua efficacia, vista la grande quantità di studi preliminari con ottimi risultati, permette un migliore apprendimento rispetto agli strumenti di studio tradizionali quando ben utilizzata. Proprio questi primi buoni risultati devono stimolare i ricercatori ad investire su nuovi progetti, al fine di colmare le lacune attuali e raggiungere dei risultati definitivi.

Per quanto invece riguarda la realtà aumentata, siamo un passo più indietro visto l'elevato costo dei pochi dispositivi attualmente disponibili (come ad esempio Microsoft HoloLens). Come vedremo nel prossimo capitolo, mancando dei dispositivi a basso costo che possono essere distribuiti ad un alto numero di persone, la quasi totalità delle ricerche pubblicate finora si occupa di ambiti ristretti, nei quali i risultati preliminari sono comunque ottimi, ma dalle quali non è ancora possibile dedurre l'efficacia di questi dispositivi su un pubblico più ampio.

Anche in questo caso, il recente sviluppo di svariati dispositivi AR da parte di diversi produttori fa ben sperare per il futuro. Se fino a qualche

## Capitolo 1. Introduzione

---

anno fa questo ambito era ristretto al mondo business, ora si sta spostando verso il mondo consumer, questo permetterà una riduzione dei prezzi, una maggiore disponibilità di dispositivi e conseguentemente il molto probabile aumento di studi riguardanti questo ambito.

### 1.5 Applicazioni

---

Siamo ora giunti alla conclusione di questo primo capitolo di introduzione. Abbiamo introdotto brevemente le tecnologie di AR e VR, i dispositivi più diffusi e alcuni degli ambiti in cui vengono utilizzati. Oltre agli ambiti citati, queste tecnologie sono attualmente esplorate in molti altri campi diversi, come l'educazione, l'ingegneria e il turismo [11] [12] [13].

Nel prossimo capitolo descriveremo svariati lavori in ambito di ricerca che utilizzano tecnologie di VR o AR che hanno l'obiettivo di migliorare determinati ambiti (ad esempio la formazione in ambito scolastico) o dare supporto a determinate figure professionali (come può essere un medico mentre opera). Ci concentreremo molto anche nell'ambito della salute e sicurezza sul lavoro, vedremo quindi svariate ricerche che sono stati sviluppati al fine di migliorare la sicurezza e la formazione dei lavoratori.

Nel corso degli ultimi anni il numero di studi e lavori relativi a VR/AR è aumentato e sta continuando ad aumentare, noi citeremo solo alcuni dei lavori più interessanti presenti attualmente in letteratura.

---

# CAPITOLO 2

---

## Stato dell'arte

---

Dopo aver visto una breve introduzione alla realtà virtuale e aumentata e alcuni dei dispositivi attualmente sul mercato, in questo secondo capitolo ci concentreremo su lavori e applicazioni che sono stati sviluppati con questa tecnologia sia in ambito educativo/formativo che no. Buona parte del capitolo verrà inoltre dedicata alle applicazioni in ambito salute e sicurezza sul lavoro.

Purtroppo, in letteratura molti articoli parlano di tradizionali applicazioni software fruite tramite PC chiamandole applicazioni di realtà virtuale. Questa definizione di realtà virtuale poteva essere accettata fino a qualche anno fa, ora tuttavia non fa più parte del moderno concetto di realtà virtuale; pertanto, questa tipologia di lavori non verrà trattata in questo capitolo.

Nella bibliografia, al termine di questo documento, è possibile trovare tutte le informazioni sugli articoli qui citati.

### 2.1 Overview

---

In [14], gli autori hanno analizzato 99 articoli inerenti all'educazione in VR/AR. La maggior parte di questi articoli (73% circa) riguarda una

## Capitolo 2. Stato dell'arte

---

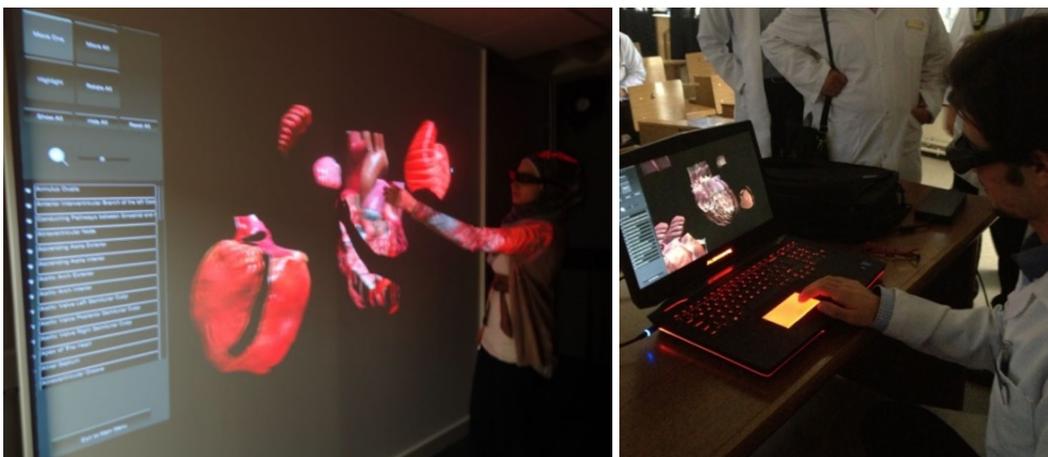
delle seguenti categorie: salute, ingegneria, scienza e educazione in generale. Ispirandoci alla loro suddivisione, presenteremo qui alcuni dei lavori più interessanti per ogni categoria.

### 2.2 Medicina e salute

---

Le applicazioni in ambito medico sono svariate [15]. Questo tipo di applicazioni può essere utilizzato sia come training per medici o aspiranti medici, sia come effettivo strumento di lavoro a supporto dei professionisti.

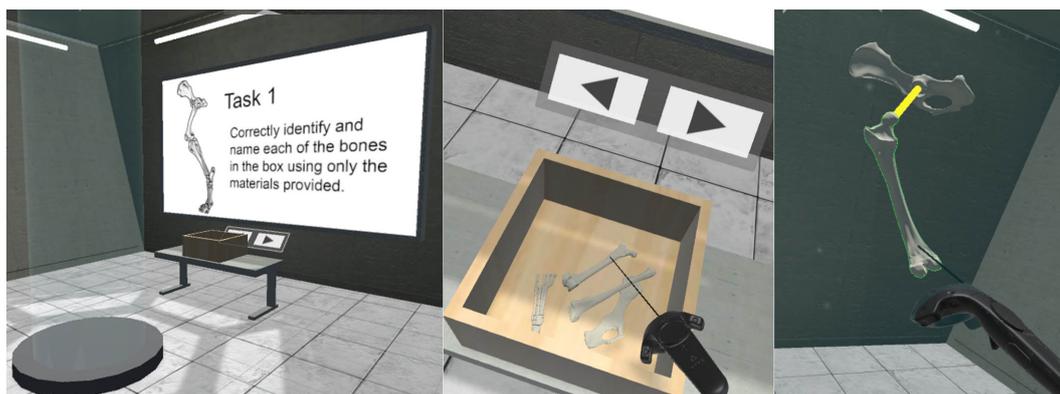
Un primo esempio è descritto in [16]. In questo lavoro gli autori hanno presentato un'applicazione VR che offre la rappresentazione 3D in tempo reale del cuore, permettendo la manipolazione del cuore e delle sue parti (Fig. 2.1). Gli autori hanno reclutato 60 studenti al fine di valutare l'utilità del software da loro sviluppato. I partecipanti hanno sia utilizzato un modello fisico di un cuore, sia eseguito le stesse operazioni virtualmente tramite la realtà virtuale. Al termine delle prove hanno poi compilato i questionari di soddisfazione al fine di valutare le due metodologie di studio. Dai risultati emerge come la VR sia risultata migliore rispetto all'analogica esperienza tradizionale sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.



**Figura 2.1:** Screenshots presi da [16]: applicazione di realtà virtuale per l'anatomia del cuore.

In [17], invece, viene presentato un software per l'educazione e formazione sull'anatomia canina: gli studenti possono manipolare e interagire a piacere con le ossa di un animale reale (Fig. 2.2). Per valutare

l'efficacia dell'applicazione gli autori hanno reclutato 11 studenti, dai risultati dei questionari emerge che gli studenti hanno apprezzato molto l'applicazione e si sono divertiti durante l'utilizzo. Il limitato numero di partecipanti rende necessaria l'esecuzione di ulteriori test prima di dimostrare in modo definitivo l'efficacia del software.



**Figura 2.2:** *Anatomy Builder VR [17]: uno strumento per l'educazione sull'anatomia canina.*

Un altro esempio di applicazione VR in ambito medico è illustrato in [18]. A differenza delle applicazioni precedenti, che avevano l'obiettivo di supportare o istruire il personale medico, in questo caso l'applicazione viene fruita dai pazienti al fine di essere meglio istruiti sulle conseguenze della fibrillazione atriale e per la prevenzione di ictus. Gli autori hanno reclutato 100 pazienti, ogni paziente ha utilizzato un visore attraverso il quale ha potuto vedere un video 3D immersivo che illustrava la sua condizione medica riguardo la fibrillazione atriale. Dai risultati dei questionari emerge che la VR sia uno strumento efficace per l'educazione dei pazienti; visti gli ottimi risultati ulteriori test verranno fatti in futuro al fine di confermare l'efficacia su gruppi più grandi.

Infine, l'ultimo articolo che vogliamo citare in questo ambito è [19]. In questo lavoro, gli autori hanno sviluppato un software per la simulazione per l'educazione degli infermieri. Per fare ciò è stato ricreato un ospedale simulando pazienti con demenza e altre patologie. Grazie all'uso del simulatore gli infermieri possono migliorare la loro formazione e il loro rapporto con pazienti e staff. Finora alcuni partecipanti hanno iniziato a testare l'applicazione, tuttavia non sono ancora disponibili dei risultati sulla sua efficacia.

## Capitolo 2. Stato dell'arte

---

Per quanto invece riguarda la realtà aumentata, Hololens ha trovato ampia applicazione in campo medico. Il vero vantaggio di questo dispositivo è la possibilità di visualizzare in 3D, come se fossero reali, ricostruzioni veritiere e realistiche degli organi del paziente; tali ricostruzioni possono essere utilizzate sia in fase di valutazione preoperatoria sia durante l'operazione chirurgica. Inoltre, il dispositivo permette la collaborazione sia locale che a distanza, permettendo, quando necessario, l'interazione in tempo reale tra più medici.

In [20], Hololens è stato utilizzato in operazioni di chirurgia ricostruttiva come supporto al chirurgo: partendo dalle tradizionali scansioni TAC, viene costruito un modello 3D del sistema vascolare del paziente, che viene poi mostrato tramite Hololens. Il chirurgo può quindi vedere l'anatomia sottostante la pelle del paziente senza dover praticare incisioni. Sono stati testati sei differenti casi operatori di chirurgia ricostruttiva con ottimi feedback da parte dei medici; non sono tuttavia disponibili dati quantitativi visto il ristretto numero di test e soggetti coinvolti.

Un lavoro per certi versi simile è descritto anche in [21]. In questo caso gli autori, partendo dai risultati della risonanza magnetica, ricostruiscono un modello 3D del tumore al fegato del paziente. Tramite Hololens, questo modello può essere sovrapposto al paziente al fine di migliorare la valutazione preoperatoria.

In [22], Hololens è stato introdotto per le annotazioni virtuali durante le autopsie; caratteristiche come la supervisione remota, l'annotazione, la visualizzazione e la manipolazione delle immagini 3D si sono rivelate molto utili.

Al fine di evitare le radiazioni, in [23] Hololens è stato utilizzato negli interventi endovascolari per ottenere una visione olografica 3D del sistema vascolare senza l'uso di immagini a raggi X. Sei chirurghi hanno testato l'applicazione e hanno compilato un questionario di soddisfazione per valutarne l'efficacia con ottimi risultati.

Nel campo della riabilitazione, invece, Hololens, in combinazione con il sistema di motion capture Vicon, è stato proposto in [24] come strumento di visualizzazione delle articolazioni del paziente, fornendo informazioni aggiuntive come l'ampiezza degli angoli delle articolazioni, informazioni che non possono essere quantificate facilmente e precisamente dall'occhio umano. Anche in questo caso l'applicazione è stata

## 2.3. Ambito ingegneristico e industriale

---

testata da un ristretto numero di specialisti (5) con dei buoni risultati nonostante gli autori stessi ammettano la presenza di alcune limitazioni.

Come si è potuto vedere, nell'ambito medico ci sono svariati lavori e molto eterogenei tra loro, sia per quanto riguarda la realtà aumentata che la realtà virtuale. Quelli che abbiamo citato sono solo alcuni dei lavori presenti attualmente in letteratura, ci sono ulteriori numerosi e interessanti lavori che qui non possiamo citare.

Questo è uno dei campi in cui potrà esserci la maggiore innovazione nei prossimi anni, da un lato fornendo uno strumento sicuro dove medici e aspiranti tali possono essere istruiti, dall'altro, sviluppando software che possono essere a supporto del personale medico al fine di prendere le decisioni migliori e in minor tempo.

Ultima nota: si può notare dai lavori citati come la VR sia un passo avanti rispetto all'AR per quanto riguarda la valutazione di applicazioni e dispositivi, questo anche perché i dispositivi VR sono più accessibili (sia in termini di facilità di reperimento che costi) e disponibili da più tempo. Con l'aumentare di dispositivi sul mercato questa lacuna dovrebbe venire ridotta nei prossimi anni.

## 2.3 Ambito ingegneristico e industriale

---

In ambito ingegneristico la simulazione di dispositivi e ambienti virtuali è molto utilizzata. Questo tipo di simulazioni permette notevole risparmio in termini di costi e tempi, inoltre fornisce un ambiente sicuro dove gli ingegneri possono formarsi e prepararsi alle situazioni che possono affrontare nella vita reale.

Il primo esempio di simulatore che vogliamo citare in ambito ingegneristico viene descritto in [25]. Questo simulatore è stato progettato per gli studenti di ingegneria elettronica e fornisce loro laboratori virtuali con ricostruzioni 3D realistiche dei dispositivi che gli studenti dovranno realmente utilizzare nel loro lavoro, fornendo loro un ambiente dove possono sperimentare e risolvere problemi.

In [26], invece, viene descritto un lavoro preliminare per l'addestramento al volo di militari statunitensi. Il lavoro è ancora preliminare e non sono ancora presenti risultati; tuttavia, la VR viene descritta come nuova tecnologia potenzialmente promettente al fine di ridurre i costi, migliora-

re la sicurezza e aumentare l'efficacia dell'apprendimento. Al momento della stesura dell'articolo il software era ancora in fase di testing, non sono quindi disponibili risultati.

Lato AR, in [27], Hololens ha dimostrato di essere una piattaforma valida per fornire istruzioni di assemblaggio, in combinazione con il framework Vuforia<sup>1</sup>, utilizzato per il tracking basato su marker al fine di aumentare la precisione della posizione delle parti da assemblare.

Un altro esempio è [28], in cui viene descritto dal punto di vista concettuale e architeturale, il modo per utilizzare Hololens al fine di interagire e programmare sistemi robotici. Avendo presentato solo un concept, per ora gli autori non ne hanno testato l'efficacia con utenti reali.

In [29], Hololens viene utilizzato dagli operatori umani per poter vedere in anticipo il movimento che verrà eseguito da un braccio robotico e dall'aerea di lavoro di quest'ultimo. Questo in diversi ambiti può essere fondamentale per la salute e sicurezza dei lavoratori perché permetterebbe loro di ridurre i rischi legati a movimenti automatici dei robot. Gli autori hanno reclutato 18 partecipanti a cui sono stati mostrati tre diversi modi di visualizzare il movimento del braccio robotico, è stato poi chiesto ai partecipanti di valutare la sicurezza di ogni tipo di visualizzazione. Tra gli sviluppi futuri proposti dagli autori vi è l'utilizzo di dispositivi VR al fine di evitare il problema del ristretto campo visivo degli attuali dispositivi AR.

Infine, un altro lavoro interessante è [30]. Qui gli autori hanno investigato sulla possibilità di utilizzare Hololens durante le operazioni di manutenzione: l'operatore in loco, tramite Hololens, riceve supporto da un esperto remoto. Dai risultati preliminari emerge che rispetto alla tradizionale chiamata solo audio, i tempi si riducono sensibilmente. Anche i costi vengono chiaramente ridotti, poiché si permette all'operatore remoto di gestire la manutenzione di più macchine senza doversi spostare ogni volta. I risultati preliminari sono stati raccolti grazie a sei partecipanti che hanno poi anche compilato un breve questionario sull'esperienza di uso. L'83% di loro ha confermato un aumento dell'efficienza lavorativa, mentre il 63% ha riscontrato una riduzione dei tempi di lavoro. Per quanto riguarda invece le note negative, nessuno ha segnalato grossi problemi come distrazione o effetti negativi causati dal visore.

---

<sup>1</sup><https://vuforia.com/>

Anche in questo ambito, quindi, VR e AR possono essere strumenti utili per aiutare la vita di professionisti come ingegneri o tecnici al fine di supportarli nelle scelte e ottenere risultati migliori, in minor tempo, o spendendo di meno.

## 2.4 Educazione di base

---

Per quanto invece riguarda l'educazione di base, come ad esempio la formazione di studenti di scuole primarie e secondarie, ci sono svariati progetti in corso di sviluppo [31].

Uno di questi è, ad esempio, Google Arts and Culture<sup>2</sup> (precedentemente chiamato Google Expeditions) che permette agli studenti di immergersi in tour virtuali.

In [32], invece, viene proposta una piattaforma per colmare il divario di genere nelle materie STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica). Pensato per le scuole superiori, è uno strumento di programmazione visuale per programmare movimenti di danza di avatar, con la possibilità di vedere il risultato attraverso il visore Oculus Rift. Sono state coinvolte 54 partecipanti per valutare la piattaforma e le studentesse hanno apprezzato l'esperienza e l'immersività della VR. Le partecipanti hanno inoltre anche mostrato un maggiore apprezzamento per quanto riguarda il campo dell'informatica al termine dei test.

Un altro esempio di applicazione VR applicata all'istruzione scolastica è [33]. In questo articolo gli autori descrivono il software da loro sviluppato, un'applicazione immersiva per lo studio di un vulcano islandese. Secondo gli autori il software può essere esteso ed applicato in modo più generico all'istruzione in ambito STEM e geologia. Attualmente il software non è ancora stato testato e non è ancora stato possibile valutarne l'efficacia e l'usabilità; gli autori hanno effettuato solo una prima fase iterativa in cui sono stati raccolti i primi feedback e applicate le migliorie come suggerito.

In [34], invece, si possono trovare alcune considerazioni e un breve stato dell'arte inerente ai software VR applicati all'insegnamento di strumenti musicali. Gli autori citano sia alcune ricerche che alcuni software commerciali per VR disponibili sul mercato, senza però scendere troppo

---

<sup>2</sup><https://artsandculture.google.com/>

## Capitolo 2. Stato dell'arte

---

nei dettagli. Sebbene non siano presenti risultati da questa analisi, secondo gli autori sia VR che AR possono avere grande potenziale nell'allenamento di abilità musicali, un compito che può essere spesso noioso e ripetitivo, che però stimolato dall'interattività e immersività delle nuove tecnologie potrebbe essere eseguito con maggiore motivazione e divertimento.

Un lavoro per alcuni versi simile, applicato però all'educazione fisica, è [35]. In questo articolo però, a differenza di quello precedente in cui gli autori si sono concentrati sull'analisi dello stato dell'arte, in questo caso gli autori hanno focalizzato la loro attenzione sulle caratteristiche e funzionalità che un software per l'educazione fisica dovrebbe avere. Secondo la loro opinione, l'utilizzo di applicazioni VR e tecnologie come tracking di mani e corpo, possono essere utili per l'educazione sulla corretta esecuzione di esercizi e movimenti anche a distanza; non sono tuttavia ancora disponibili risultati a supporto delle loro tesi.

### 2.5 Educazione alunni con bisogni educativi speciali

---

VR e AR possono venire in aiuto anche ai bambini con BES (Bisogni Educativi Speciali), ossia tutti quei ragazzi che necessitano di attenzioni speciali per diversi motivi, sia di natura fisica che psicologica ma anche per altre esigenze (ad esempio gli alunni stranieri). Ad oggi ci sono risultati incoraggianti per quanto riguarda l'utilizzo di tecnologie VR con bambini con disturbi dello spettro autistico, anche se ancora molto lavoro è necessario per dimostrarne l'efficacia [36].

Proprio nell'ambito dell'autismo, in [37] gli autori hanno presentato una loro applicazione VR per il miglioramento delle abilità di adattamento emotivo e sociale per bambini con autismo. L'applicazione consiste in sei diversi percorsi che spaziano dal controllo delle emozioni alla simulazione di situazioni sociali.

Un altro esempio è [38]. Qui un'applicazione VR che simula un supermercato è stata utilizzata per simulare l'esperienza di fare la spesa, un'azione apparentemente semplice che può risultare invece problematica per soggetti che soffrono di autismo. Gli autori hanno fatto eseguire svariate simulazioni ad un piccolo gruppo di 9 partecipanti; sono state eseguite sette sessioni di formazione in 10 giorni, successivamente i partecipanti sono tornati nel supermercato reale per confrontare il loro com-

portamento prima e dopo le sessioni di VR. I risultati sono incoraggianti e sembra esserci un miglioramento, ma a detta degli autori il gruppo di partecipanti è ancora troppo piccolo; prima di poter confermare i risultati ulteriori test con un maggior numero di soggetti sono necessari.

Sempre di ambito VR applicata all'autismo possiamo citare [39]. In questo lavoro gli autori hanno fatto sperimentare a 3 ragazzi con autismo un'applicazione VR per 6 settimane. Questa applicazione è stata pensata per il miglioramento delle loro abilità sociali. Per fare ciò sono state simulate alcune situazioni di vita reale nelle quali i soggetti potevano comunicare con personaggi virtuali. Sebbene il numero di partecipanti sia molto piccolo, soltanto tre, i risultati sono positivi. Da un lato, i soggetti hanno avuto un livello di stress minore rispetto alle stesse situazioni nella vita reale, dall'altro, al termine delle sei settimane, le loro abilità sociali sono risultate effettivamente migliorate.

Al lettore suggeriamo la lettura di [40] qualora fosse interessato ad altre applicazioni VR nell'ambito dello spettro autistico.

## 2.6 Salute e sicurezza sul lavoro

---

VR e AR possono essere di fondamentale importanza anche nell'ambito di salute e sicurezza sul lavoro, fornendo ai lavoratori uno strumento economico e sicuro da utilizzare, come un visore, che permette loro di imparare le procedure e le operazioni necessarie per svolgere al meglio il loro lavoro in tutta sicurezza.

In questo ambito ci sono svariati lavori sviluppati in diversi ambiti lavorativi che vogliamo citare.

### 2.6.1 Ambito chimico

Il primo articolo interessante è [41]. In questo articolo è stato sviluppato un software per la simulazione di un evento critico in ambito chimico, in particolare la rottura di un tubo in una raffineria con conseguente incendio. In questa situazione d'emergenza, l'operatore deve eseguire correttamente il protocollo per risolvere al meglio la situazione. Al fine di verificare l'efficacia della soluzione proposta gli autori hanno reclutato 24 partecipanti, i quali hanno ricevuto un'ora di training prima di poter usare il simulatore. 12 di loro ha però ricevuto un training tradizionale

attraverso slides, mentre gli altri 12 hanno utilizzato degli occhiali 3D in modo passivo, vedendo quindi l'ambiente 3D e ricevendo indicazioni da parte del trainer. Dopo questo primo training, tutti e 24 i partecipanti hanno utilizzato il simulatore, i 12 partecipanti che sono stati addestrati tramite gli occhiali VR hanno avuto risultati e tempi di reazione migliori rispetto al gruppo che ha ricevuto la formazione classica. Sebbene il numero di partecipanti sia ancora piccolo e ulteriori studi siano necessari, questo dimostra come un training tramite VR, almeno in questo ristretto ambito ed esperimento, sia più efficace rispetto ai metodi tradizionali.

### 2.6.2 Ambito energetico

In ambito energetico invece, in [42], è stato sviluppato un simulatore che permette la formazione del personale riguardo le procedure di sicurezza in una centrale elettrica. A tal fine, è stata ricostruita in 3D una centrale elettrica dove gli operatori possono muoversi come se fossero in una situazione reale. Nell'articolo gli autori si concentrano molto sulla metodologia di lavoro che permette la riproduzione fotorealistica in 3D di una centrale elettrica. Il software è stato poi provato dagli operatori e secondo gli autori i feedback sono stati positivi; non vengono però fornite ulteriori valutazioni quantitative o qualitative.

Un altro lavoro è [43]. Il loro software 3D, utilizzato tramite un visore, permette di simulare diverse situazioni reali in cui ci sono potenziali pericoli. Ai partecipanti viene chiesto di muoversi nell'ambiente e segnalare ogni possibile pericolo. A fine simulazione viene poi mostrato quanti pericoli sono stati correttamente identificati e quanti no. Tra gli scenari sviluppati, vi sono scenari generici, non applicati ad un particolare lavoro, come ad esempio un incidente stradale o una rapina, oppure scenari ristretti a determinati ambiti, come lavori in ambito energetico, ad esempio. Alcuni degli screenshots sono visibili in 2.3. Gli autori hanno svolto un lavoro importante, inizialmente reclutando oltre 200 volontari, grazie ai quali è stato possibile rifinire l'applicazione e il suo funzionamento; successivamente altri 15 partecipanti sono stati selezionati per la valutazione vera e propria della piattaforma. Tramite questo esperimento l'obiettivo degli autori era valutare se le reazioni degli utenti all'interno del simulatore erano coerenti con le reazioni che i partecipanti avrebbero avuto nella realtà se si fossero ritrovati nella stessa situazione. Grazie ad

## 2.6. Salute e sicurezza sul lavoro

un'analisi da parte di psicologi, realizzata prima dell'esperimento, si è potuto vedere che il comportamento nel simulatore è piuttosto coerente con quello atteso, sebbene ci siano alcuni punti non coerenti che secondo gli autori sono stati causati dal mancato realismo del software.



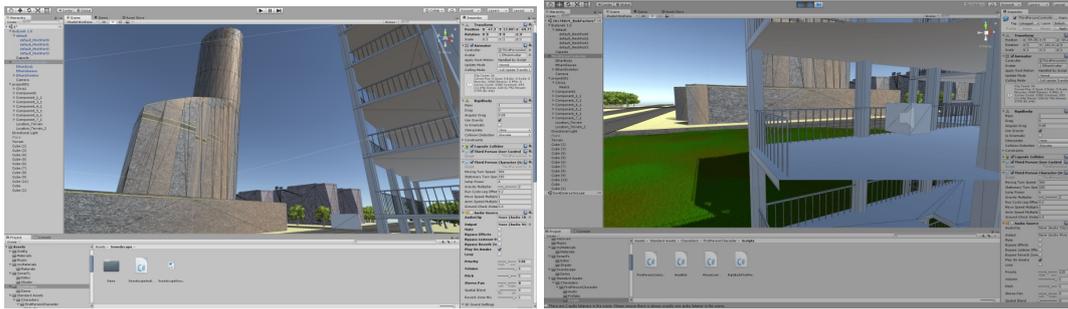
**Figura 2.3:** *Screenshots presi da [43]: alcuni delle situazioni reali di pericolo proposte dal simulatore.*

### 2.6.3 Ambito costruzioni

Un altro settore critico per quanto riguarda la sicurezza è invece quello delle costruzioni. In [44], gli autori hanno sviluppato un simulatore 3D che utilizzato insieme ad Oculus Rift permette all'utilizzatore di muoversi all'interno di un ambiente virtuale rappresentante un possibile sito di costruzione (Fig. 2.4). Gli autori si sono concentrati in maniera specifica per quanto riguarda i rischi inerente ai rumori: il simulatore utilizza un modello matematico per il calcolo propagazione, riflessione e assorbimento del suono da parte dell'ambiente e degli edifici, mostrando all'utente i rischi che corre in ogni zona. Al momento della stesura dell'articolo non erano ancora disponibili dati sull'efficacia del simulatore.

Rimanendo sempre in ambito costruzioni, un altro lavoro interessante viene presentato in [45]. Anche in questo caso un sito di costruzioni è stato riprodotto in 3D, ma a differenza del lavoro precedente gli autori

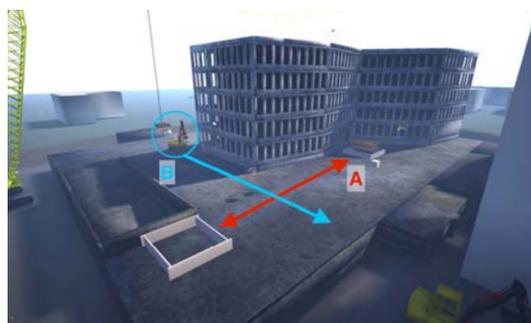
## Capitolo 2. Stato dell'arte



**Figura 2.4:** Screenshots presi da [44]: ambiente virtuale rappresentante un sito di costruzioni.

non si sono concentrati esclusivamente sull'audio, ma hanno focalizzato la loro attenzione sui pericoli che una persona può correre quando si trova nelle vicinanze di mezzi pesanti. In Fig. 2.5 è illustrato lo scenario preso in considerazione: l'utente deve spostare due piccoli oggetti spostandosi sul percorso A. Sul percorso B, che interseca con il percorso che deve seguire l'utente, si sposta in momenti casuali un escavatore. L'utente, quindi, deve porre attenzione all'ambiente circostante, anche sfruttando suoni e rumori, senza farsi distrarre dal compito che deve portare a termine. Per ora il software è stato testato da un solo partecipante, a cui sono stati misurati i tempi di reazione. Ulteriori test saranno necessari prima di poter dare una valutazione attendibile sul simulatore.

Nell'ambito delle costruzioni sono presenti anche altri lavori in cui simulatori 3D sono stati sviluppati al fine di valutare la sicurezza sul lavoro ed educare i lavoratori sulle giuste pratiche da tenere su un sito di costruzioni. Ad esempio, giusto per citarne un paio: [46] e [47]. Purtroppo, tuttavia, molti di questi lavori non utilizzano l'immersione della realtà virtuale, limitandosi a normali software fruiti tramite PC.



**Figura 2.5:** Screenshot preso da [45]. L'utente deve muoversi lungo il percorso A, stando attento all'escavatore che si muove sul percorso B.

### 2.6.4 Sicurezza antincendio

Cambiando ambito, in [48] è stato sviluppato un simulatore VR al fine di istruire gli studenti per quanto riguarda la sicurezza antincendio (Fig. 2.6). Sebbene gli autori abbiano sviluppato il simulatore pensando alla sicurezza in ambito universitario, il simulatore può essere utile anche in ambito lavorativo per poter istruire i lavoratori e insegnare loro le giuste pratiche in caso di incendio. Il simulatore prevede alcune situazioni in cui l'utente deve, utilizzando gli strumenti classici antincendio (ad esempio l'estintore), spegnere dei piccoli incendi. Gli autori hanno verificato anche l'efficacia del software reclutando 60 studenti divisi in tre gruppi. Tutti e tre i gruppi hanno ricevuto una formazione di 60 minuti, il primo gruppo tramite la realtà virtuale, il secondo tramite lo stesso simulatore fruito però utilizzando un normale PC, mentre il terzo gruppo ha utilizzato un libro sulla sicurezza. Alla fine della formazione tutti gli studenti si sono sottoposti ad un test, sia pratico che teorico, al fine di valutare la loro formazione. Nel test teorico i gruppi 1 e 2 hanno avuto mediamente lo stesso punteggio, punteggio inferiore invece per il gruppo 3, dimostrando che il simulatore software, indipendentemente da come venga fruito (visore VR o desktop) è più efficace del più tradizionale libro. Per quanto riguarda invece il test pratico, gli studenti del gruppo 1 hanno avuto punteggi superiori a quelli degli altri due gruppi, dimostrando che l'immersione della realtà virtuale ha portato ad un migliore apprendimento per quanto riguarda una situazione pratica.



**Figura 2.6:** Screenshot preso da [48]. L'utente deve utilizzare un estintore per spegnere piccoli incendi.

### 2.6.5 Ambito industriale

Un'altra applicazione di VR applicata alla salute e sicurezza sul lavoro è illustrata in [49]. In questo articolo gli autori si sono concentrati su un paio di scenari tipici nell'ambito industriale, in particolare si sono focalizzati su una possibile caduta dalle scale e sulla simulazione di movimento in un magazzino con la presenza di carrelli elevatori. In questo secondo caso sono presenti diverse varianti, l'utente può sia utilizzare un carrello elevatore per avere un'idea del raggio di visione da parte del guidatore, oppure può muoversi a piedi all'interno del magazzino e deve evitare il contatto con i mezzi. Nel momento in cui si verifica un incidente il simulatore avverte l'utente e le possibili conseguenze (Fig. 2.7). Gli autori hanno inoltre verificato l'efficacia dell'apprendimento tramite simulatore. Per fare ciò hanno confrontato due gruppi, uno ha ricevuto una formazione tradizionale con video e slides, l'altro ha utilizzato il simulatore. Il test è stato eseguito due volte, la prima volta immediatamente dopo la lezione e la seconda volta dopo un mese. Dai risultati emerge che il gruppo che ha utilizzato la realtà virtuale ha avuto risultati sensibilmente migliori in entrambi i casi, e soprattutto sul periodo più lungo la differenza è aumentata (87% di risposte corrette contro il 68% dopo un mese). Anche in questo caso, quindi, si è visto che un training basato su VR permette un migliore apprendimento rispetto ai mezzi tradizionali.



**Figura 2.7:** Screenshot preso da [49]. Nel caso di incidente l'utente viene accuratamente informato su ciò che è successo e sulle possibili conseguenze nel breve/medio periodo.

Per quanto riguarda invece la realtà aumentata, secondo gli autori, in [50], gli smart glasses possono essere uno strumento molto utile in ambito industriale, sia per svolgere meglio il lavoro (permettendo, ad esempio, di visualizzare informazioni direttamente dagli occhiali senza dover

utilizzare dispositivi come tablet, telefoni o simili, che richiederebbero l'uso di una o di entrambe le mani) sia per aumentare la sicurezza sul lavoro. Gli occhiali, ad esempio, potrebbero notificare in modo chiaro e immediato all'utente un eventuale pericolo per la sicurezza. Rispetto anche ad altri dispositivi come cellulare o tablet, che richiedono la totale attenzione dell'utente, che per poterli utilizzare deve fissare lo schermo, gli smart glasses permettono di ricevere informazioni mentre si continua a guardare l'ambiente circostante.

### 2.6.6 Sicurezza in miniera

Un altro ambito lavorativo particolarmente pericoloso, dove la sicurezza è di fondamentale importanza, è quello relativo ai lavori svolti in miniera.

In [51] gli autori hanno sviluppato un simulatore al fine di istruire i minatori e ridurre i rischi e i pericoli. Secondo gli autori, i mezzi usati finora come video ed immagini, non sono sufficienti per raggiungere un buon livello di apprendimento, hanno quindi sperimentato come la tecnologia VR possa aiutare a raggiungere risultati migliori.

Il simulatore da loro sviluppato (Fig. 2.8) ha due diverse modalità. Nella prima modalità l'utente viene istruito, da un coach virtuale, su un determinato tipo di lavoro da eseguire in miniera e su tutti i passi necessari per portarlo a termine. La seconda modalità, invece, si concentra esclusivamente sui possibili pericoli che minatori, ingegneri e chiunque entri in miniera, può incontrare durante la sua permanenza nella miniera. Al fine di aumentare ulteriormente il realismo, gli autori si sono concentrati molto sulla fisica relativa al distacco e alla caduta delle rocce.

Per testare l'efficacia del loro software 20 persone sono state reclutate. Dieci di queste hanno ricevuto un training di 12 minuti tramite il simulatore, le altre dieci invece hanno visto un video inerente alla sicurezza in miniera della medesima durata. Alla fine del training, tutti i partecipanti sono stati sottoposti a dei test attraverso il simulatore per verificare quanto avevano appreso. Il gruppo che non aveva ancora utilizzato la tecnologia VR è stato adeguatamente istruito al fine di avere la giusta familiarità con il dispositivo. Il test è stato eseguito la prima volta immediatamente dopo il training e una seconda volta dopo una settimana. Anche in questo caso, come in altri articoli citati precedentemente, i punteggi del gruppo che aveva utilizzato il visore VR sono stati superiori

## Capitolo 2. Stato dell'arte

---

sia nella prima che nella seconda esecuzione del test. Inoltre, anche stavolta, con il passare del tempo aumentano le differenze nei punteggi tra i due gruppi.



**Figura 2.8:** *Screenshots presi da [51]: a sinistra, un esempio di possibile situazione pericolosa; a destra, il coach virtuale che istruisce l'utente.*

### 2.6.7 Sicurezza navale

Anche in ambito navale la sicurezza è un requisito fondamentale. Quando si è in mare aperto il minimo errore potrebbe risultare drammatico, vista anche l'estrema difficoltà con cui i soccorsi potrebbero intervenire. Per questo, avere a disposizione un personale ben formato e istruito riduce sensibilmente la probabilità di errori, o ne limita la gravità.

Il progetto ShipSEVR (Ship Engine Safety Education Virtual Reality) [52] si pone come obiettivo il miglioramento della sicurezza a bordo sfruttando un training basato su realtà virtuale. È stato creato il modello 3D di una nave e studiati cinque sistemi fondamentali per il funzionamento della nave (ad esempio il sistema di alimentazione carburante, sistema di raffreddamento, ...). L'utente può quindi muoversi liberamente nella nave virtuale e gestire i vari sistemi della nave, con svariati feedback sia in caso di successo che di fallimento. Gli autori, tuttavia, non presentano risultati dal punto di vista dell'usabilità o confronti con gli strumenti di training tradizionali, diventa quindi difficile capire l'efficacia del software sviluppato.

### 2.6.8 Sicurezza nei tunnel e gallerie

Un altro ambito relativo alla sicurezza, seppur non necessariamente direttamente correlata al mondo del lavoro, è quello della sicurezza nei tunnel (stradali, ferroviari, ecc.).

In [53], gli autori hanno reclutato 40 persone per testare i loro comportamenti in caso di incidente con conseguente incendio di un mezzo pesante all'interno di una galleria (Fig. 2.9). I partecipanti sono stati divisi in due gruppi, in un caso il mezzo pesante incidentato trasporta del materiale pesante non infiammabile, nel secondo caso invece riguardava un trasporto infiammabile (quindi un pericolo più elevato). Gli autori hanno progettato questi due scenari per cercare di misurare l'immersione e la capacità di analisi degli utenti al fine di valutare se erano in grado di analizzare la situazione correttamente; proprio per questo alla fine del test ad ogni utente è stato chiesto di valutare da 0 a 100 la pericolosità della situazione. Durante l'esperimento sono stati monitorati i comportamenti e i movimenti tenuti da ogni partecipante, come la distanza e il percorso effettuati. Curiosamente si è notato che la maggior parte dei partecipanti, al posto di dirigersi verso l'uscita di emergenza, è andata verso l'uscita del tunnel, seppur più lontana (e quindi potenzialmente più pericolosa in caso di incendio e fumo).

Qualora il lettore fosse interessato a questo ambito, un altro paio di lavori nell'ambito sono [54] e [55].

### 2.6.9 Gestione delle catastrofi e delle emergenze

Chiudiamo questa sezione con questo breve paragrafo per quanto riguarda la simulazione e gestione di eventi catastrofici ed emergenze. Si pensi ad esempio ad un terremoto o ad un incendio sul luogo di lavoro. I lavoratori devono essere istruiti sulle corrette procedure d'emergenza, in modo da trovarsi preparati e agire con calma e nel modo corretto.

Un progetto che ha l'obiettivo di simulare questo tipo di situazioni ed eventi è Holodisaster [56]. Si tratta di un progetto che sfruttando Hololens punta a simulare diversi scenari.

L'utilizzo della realtà aumentata, a differenza di quello virtuale, permette agli utenti di muoversi nell'ambiente reale, raggiungendo quindi un livello di realismo superiore. Si pensi ad esempio allo scenario di un



**Figura 2.9:** *Screenshots presi da [53]: situazione pericolosa all'interno di una galleria.*

incendio, Hololens aggiungerà ologrammi di fiamme e gli utenti dovranno trovare il percorso migliore per poter uscire in sicurezza dell'edificio. Hololens stesso, grazie alle sue capacità di riconoscere l'ambiente, può suggerire la strada migliore.

Proprio per questo, infatti, in [57], gli autori hanno utilizzato Hololens durante simulazioni di evacuazioni da un edificio. Invece delle classiche cartine 2D, tramite Hololens gli utenti avevano a disposizione mappe 3D. Da un breve test su una decina di persone, i primi risultati sembrano incoraggianti, la maggior parte degli utenti è riuscita ad utilizzare correttamente il sistema e lo trova utile soprattutto in ambito istruzione e formazione. Gli autori hanno anche confrontato Hololens rispetto ad altri dispositivi mobile come tablet; dai risultati emerge che gli utenti hanno preferito maggiormente il visore di Microsoft rispetto al classico smartphone/tablet.

### 2.6.10 Conclusioni e riflessioni

In questa sezione abbiamo visto svariati lavori, principalmente di realtà virtuale (ma qualcuno anche di realtà aumentata) che riguardano l'ambito della salute e sicurezza sul lavoro. Come si avrà già notato, i lavori sono molto eterogenei; molto spesso ogni ambito lavorativo ha particolari esigenze ed è quindi necessario sviluppare un software/simulatore

ad-hoc, questo chiaramente richiede parecchio sforzo, tempo e denaro. La grossa parte di questi tipi di software attualmente sfrutta la realtà virtuale, questo è dovuto al fatto che è più economica ed è diffusa da più anni, è quindi anche più facile reperire i dispositivi necessari.

Nei prossimi anni è possibile aspettarsi un aumento della diffusione della realtà aumentata. Il vantaggio della AR è che permettendo di continuare a vedere il mondo reale può garantire un livello di realismo maggiore. L'utente rimarrà nel proprio ambiente e le simulazioni saranno più realistiche rispetto ad una grafica 3D riprodotta in un simulatore di realtà virtuale.

Ad oggi, comunque, sia per quanto riguarda la VR che AR, come si sarà potuto intuire leggendo il capitolo, gli studi sull'efficacia di questi tipi di software in ambito salute e sicurezza sul lavoro sono ancora agli stadi iniziali. Molti degli studi citati hanno effettuato test su piccoli gruppi di persone, ed è necessario ulteriore lavoro e test su numeri più grandi, per dimostrare l'efficacia di VR/AR in questo ambito. In ogni caso, questi risultati preliminari sono incoraggianti, vale quindi la pena continuare ad investire in questo filone di ricerca.



---

# CAPITOLO 3

---

## Dalla teoria alla pratica

---

Dopo questa carrellata di ricerche e software sviluppati negli ultimi anni in svariati ambiti, in questo breve capitolo ci concentreremo maggiormente sulla parte più pratica, ossia descrivere il gruppo di sviluppo necessario e gli strumenti fondamentali per lo sviluppo di una generica applicazione VR/AR.

Non scenderemo nei dettagli dei software e concetti illustrati, il nostro obiettivo è solo dare un'idea al lettore degli strumenti attualmente disponibili che sono necessari per lo sviluppo di questa tipologia di applicazioni e dare dei primi consigli utili per chi per la prima volta si approccia al mondo dello sviluppo di un'applicazione di questo tipo. Non verranno descritti dettagli tecnici, quindi il capitolo in linea generale sarà comprensibile anche a chi non conosce l'informatica e la programmazione.

### **3.1 Team di sviluppo**

---

Per poter sviluppare un software di VR/AR generalmente sono necessarie svariate figure professionali che dipendono anche dal livello di realismo che si vuole raggiungere. Oltre, ovviamente, ai programmatori che

### Capitolo 3. Dalla teoria alla pratica

---

hanno il compito di progettare e scrivere il software, è necessaria anche la collaborazione di figure molto diverse, a partire, ad esempio, da modellatori 3D, grafici ed illustratori, solo per citare alcune figure in ambito artistico. Questo perché praticamente tutte le applicazioni VR/AR forniscono un ambiente 3D dove l'utente può muoversi, e pertanto è necessaria la presenza di professionisti in grado di creare le risorse (e.g., modelli 3D, immagini, ecc..) che andranno a far parte dell'ambiente e che saranno a disposizione dell'utente.

È di solito, inoltre, necessaria la collaborazione con uno o più game-designer. Il game-designer è la figura che si occupa del design del videogioco, sebbene il nome potrebbe far pensare che questo tipo di figura sia necessaria solo nello sviluppo di giochi e video-giochi, in realtà può essere fondamentale anche in altre tipologie di applicazioni, come simulatori per formare/educare alla salute e sicurezza sul lavoro. Il game designer ha, tra le tante cose, infatti l'obiettivo di definire le meccaniche e la difficoltà delle sfide che l'utente si troverà davanti. Deve quindi scegliere come strutturare lo scheletro dell'applicazione, per far sì che l'esperienza non sia eccessivamente facile (il che porterebbe l'utente ad annoiarsi) o eccessivamente difficile (il che porterebbe alla frustrazione). In entrambi i casi il risultato sarebbe un abbassamento del livello di immersività, che risulterebbe in una riduzione dell'efficacia del software, e quindi dell'apprendimento da parte dell'utente.

Spesso potrebbe essere necessario anche affidarsi a dei sound/music designer, figure specializzate nella creazione di musiche ed effetti sonori. L'audio è infatti una componente fondamentale per poter raggiungere un buon livello di immersività. In determinate applicazioni potrebbe essere magari in secondo piano, se non abbiamo particolari requisiti in tal senso, ma in altri casi, come abbiamo nel capitolo precedente con il simulatore che stimava il livello di rumorosità (e di conseguenza del pericolo all'udito), può essere una componente chiave nell'applicazione che si sta sviluppando.

Da non sottovalutare infine il ruolo dei tester. I software di VR/AR molto spesso sono altamente complessi, gli utenti possono muoversi a loro piacimento nell'ambiente 3D ed interagire con ciò che desiderano, è facile quindi rischiare che l'utente interagisca in un modo non previsto o si ritrovi in una situazione anomala, è fondamentale quindi testare a

fondo il funzionamento dell'applicazione per garantire un buon livello di affidabilità.

Questi citate sono solo alcune delle figure professionali necessarie, in determinati casi anche altre figure potrebbero essere necessarie. Come, ad esempio, programmatori grafici (specializzati principalmente in effetti visivi), o altri tipi di designer, come level designer o game world designer.

Come forse il lettore avrà capito, lo sviluppo di questo tipo di applicazioni può essere molto complesso e richiedere la collaborazione di diverse persone, di conseguenza anche i costi e tempi di sviluppo possono essere alti.

## 3.2 Game Engines

---

Per lo sviluppo di un video-gioco, o comunque di un'applicazione grafica come lo sono quelle in realtà virtuale e aumentata, generalmente si utilizzano i cosiddetti *Game engine* (in italiano motore grafico o motore di gioco). Sebbene il nome possa far intuire che servano esclusivamente per lo sviluppo di videogiochi, in realtà il loro uso è più ampio, e permette di ridurre notevolmente il tempo di sviluppo. Un Game Engine si occupa della gestione di tutte le componenti di un'applicazione grafica, a partire appunto dalla grafica, ma anche della fisica, dei suoni, degli input e così via. Ad oggi esistono svariati game engine, ma i due più famosi sono sicuramente Unity<sup>1</sup> e Unreal<sup>2</sup>.

### 3.2.1 Unity

Unity è attualmente il game engine più diffuso. Permette di sviluppare velocemente e con relativa facilità diversi tipi di applicazioni, dai mini-giochi per i dispositivi mobile, ai giochi/applicazioni fotorealistiche per PC e console. Unity supporta esclusivamente il linguaggio di programmazione C#. In Fig. 3.1, a sinistra è possibile vedere uno screenshot dell'interfaccia del motore grafico.

Attraverso Unity è possibile sviluppare un progetto ed esportarlo per svariate piattaforme, senza dover modificare il codice. Questo lo rende

---

<sup>1</sup><https://unity.com/>

<sup>2</sup><https://www.unrealengine.com/>

## Capitolo 3. Dalla teoria alla pratica

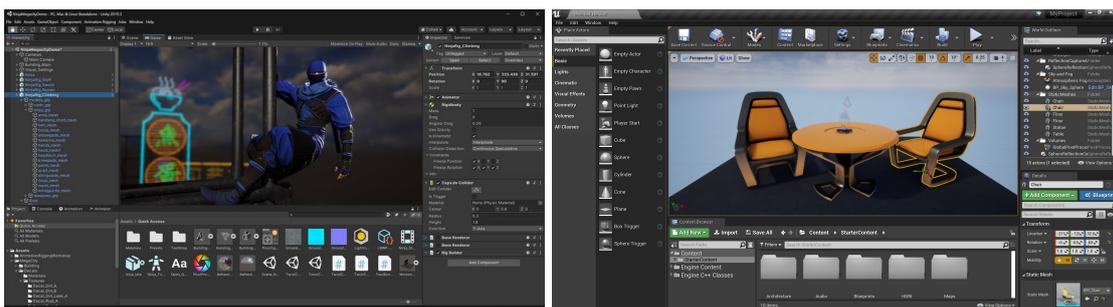
uno dei migliori software in ambito VR/AR (ma non solo), in quanto permette, con relativamente poco sforzo, di programmare e distribuire applicazioni e giochi su svariate tipologie di dispositivi e piattaforme.

### 3.2.2 Unreal

Unreal (Fig. 3.1, a destra) è un altro dei game engine più utilizzati. A differenza di Unity è maggiormente adatto per videogiochi fotorealistici per PC e console, ma lentamente sta cercando di diffondersi anche in altre piattaforme. Unreal supporta il linguaggio di programmazione C++; per chi non lo conoscesse è disponibile anche un editor visuale per la programmazione grafica.

Rispetto a Unity, è meno intuitivo e richiede più tempo per essere appreso appieno, rendendolo meno appetibile a chi per la prima volta si avvicina ai Game Engine. Anche le piattaforme supportate sono numericamente inferiori rispetto a quelle supportate da Unity.

Per questi motivi, ad oggi, sembra meno indicato per lo sviluppo di AR/VR rispetto a Unity, a meno che l'obiettivo non sia quello di sviluppare esclusivamente giochi per Windows (ad esempio per dispositivi come Oculus Rift, il cui software viene eseguito su PC). In questo caso, almeno a livello di piattaforma, non ci sarà alcuna limitazione, e anzi, si potrà sfruttare appieno la potenza del motore grafico fotorealistico di Unreal.



**Figura 3.1:** A sinistra uno screenshot di Unity, a destra, uno di Unreal.

### 3.2.3 Altri

Esistono inoltre altri Game Engine meno diffusi che stanno provando a farsi largo sul mercato. Tra questi possiamo citare Godot, Phaser o Game Maker, ad esempio.

Ognuno di questi Game Engine tendenzialmente ha una tipologia di giochi/app in cui è maggiormente adatto. Phaser, ad esempio, è comodo per lo sviluppo di applicazioni browser 2D. Ad oggi, tuttavia, non consigliamo di suggerire nessuno di questi per quanto riguarda lo sviluppo in ambito VR/AR.

## 3.3 SDKs

---

Lato software, alcuni produttori mettono a disposizione il proprio SDKs per lo sviluppo dei propri dispositivi (e.g., Oculus SDK). SDK in italiano può essere tradotto come “pacchetto di sviluppo per applicazioni”, ossia è un insieme di strumenti software che vengono rilasciati dagli sviluppatori di un determinato dispositivo, e che vengono utilizzati dai programmatori per sviluppare software su quel determinato dispositivo o piattaforma.

Sebbene questa sia una soluzione appropriata a chi vuole diffondere la propria applicazione su una singola piattaforma, molto spesso è desiderabile avere la possibilità di progettare software e applicazioni per una più vasta lista di dispositivi, senza dover riprogrammare tutto per ogni singolo dispositivo. Da questo punto di vista, in ambito VR/AR, una delle soluzioni più diffuse prende il nome di Mixed Reality Toolkit.

### 3.3.1 Mixed Reality Toolkit

Il Mixed Reality Toolkit (MRTK)<sup>3</sup> è sviluppato da Microsoft, è un SDK per Unity che ha l’obiettivo di aiutare gli sviluppatori a scrivere codice funzionante su una lunga lista di dispositivi, anche molto diversi tra loro, come smartphone, visori di realtà virtuale, o visori di Mixed Reality come Hololens.

L’MRTK si interfaccia con il dispositivo a basso livello, offrendo una serie di funzionalità generiche permettendo quindi allo sviluppatore di risparmiare molto tempo evitando di dover riscrivere il codice per ogni piattaforma diversa.

Si pensi, ad esempio, alla gestione degli input: dispositivi diversi hanno capacità diverse, attraverso uno smartphone sarà possibile solo

---

<sup>3</sup><https://github.com/microsoft/MixedRealityToolkit-Unity>

## Capitolo 3. Dalla teoria alla pratica

premete sul touch screen, mentre utilizzando un Hololens sono possibili diversi tipi di interazione (interazione da vicino, da lontano, tracking degli occhi, ecc.), MRTK gestisce l'hardware sottostante permettendo agli sviluppatori di ignorare su quale dispositivo sta girando l'applicazione. Chiaramente, sarà cura dello sviluppatore gestire l'assenza di determinate capacità su certi dispositivi.

Il toolkit fornisce inoltre una serie di componenti grafici, come pulsanti e pannelli, sviluppati da Microsoft, che possono essere aggiunti e velocemente integrati nelle proprie applicazioni.

In Fig. 3.2 è possibile vedere alcuni dei componenti disponibili in questo kit di sviluppo.



**Figura 3.2:** Alcuni esempi di componenti disponibili nel MRTK.

### 3.3.2 Oculus Integration

Se MRTK è un ottimo esempio di strumento che permette di sviluppare software per diversi dispositivi, esistono anche SDK che supportano solo una determinata piattaforma. Qui citeremo uno di quelli più famosi in ambito VR, l'Oculus SDK, che prende il nome di Oculus Integration<sup>4</sup> quando viene utilizzato con Unity.

SDK proprietari come quello di Oculus permettono di accedere in maniera ottimale alla funzionalità dei dispositivi per cui sono stati progettati. Attraverso questo SDK è per esempio possibile gestire al meglio

<sup>4</sup><https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022>

funzionalità come il tracciamento delle mani o il passthrough (ossia la possibilità di vedere il mondo reale attraverso le camere del dispositivo).

Si noti l'utilizzo di Oculus integration o di software analoghi non impedisce il suo utilizzo insieme all'MRTK; anzi, molto spesso vengono utilizzati in combinazione per poter utilizzare i vantaggi di entrambi.

Ad oggi MRTK e Oculus SDK sono tra i kit di sviluppo più utilizzati in ambito VR/AR.

### 3.4 Testing e valutazione

---

Al termine di questo capitolo, dopo aver illustrato le tecnologie e software base necessari per lo sviluppo di un'applicazione VR/AR, ci vogliamo brevemente concentrare sulla parte di testing e valutazione dell'applicazione sviluppata.

Quando si sviluppa un video-gioco o comunque un'app 3D interattiva come può essere un'app VR, è sempre consigliato testare il prima possibile il software che si sta sviluppando. Da un lato questo è necessario per verificare che il nostro dispositivo (o dispositivi) target sia in grado di eseguire in modo fluido l'applicazione sviluppata, e quindi verificare non siano necessarie ottimizzazioni. Dall'altro lato, far provare l'applicazione a potenziali utenti è fondamentale per verificare come un utente reale si comporta e se ci sono problematiche riguardo l'esperienza di utilizzo del software. Per questo è consigliato far testare frequentemente l'applicazione a soggetti esterni allo sviluppo, ancora meglio se sono potenziali utenti futuri dell'applicazione. Fondamentale inoltre raccogliere feedback ed eventualmente aggiornare velocemente l'applicazione e ritestarne il funzionamento per verificare se ci sono stati miglioramenti o peggioramenti.

Inoltre, per applicazioni di istruzione/formazione/educazione, è anche necessario verificare l'apprendimento dei soggetti dopo aver fruito dell'app. Questo è ovviamente ancora più fondamentale se l'applicazione che si sta sviluppando fa parte di un progetto di ricerca. Per questo, potrebbe essere utile somministrare ai soggetti dei test prima e dopo l'utilizzo del software e verificare se vi sono state differenze significative.



---

## CAPITOLO 4

---

### Conclusioni

---

Chiudiamo questo documento con delle brevi conclusioni per fare il punto della situazione attuale quando si parla di realtà virtuale e aumentata applicata a salute e sicurezza sul lavoro e no.

Come abbiamo già potuto approfondire nel Capitolo 1, dal punto dei dispositivi hardware e della loro diffusione sul mercato siamo ancora in una fase iniziale. Solo negli ultimi anni, soprattutto in ambito VR, hanno iniziato ad essere venduti in buon numero visori come Oculus Rift e Quest che lentamente stanno aumentando la loro fetta di mercato e che ci aspettiamo continuino la loro diffusione nei prossimi anni. Per quanto invece riguarda la realtà aumentata, in questo caso la diffusione di questa tipologia di dispositivi è più ridotta, principalmente a causa dei costi ancora molto alti e nelle poche applicazioni attualmente disponibili in ambito consumer. Anche qui comunque, rispetto a pochi anni fa, il miglioramento è grande.

Per quanto riguarda le ricerche di VR e AR applicate a educazione ed istruzione sono svariati gli studi che hanno dimostrato, seppur su piccoli gruppi, come la VR migliori l'apprendimento sia nel breve che nel lungo periodo, comparato ai mezzi di studio tradizionali come i libri. Ora si attendono studi su gruppi più grandi che confermino questi primi risultati.

## Capitolo 4. Conclusioni

---

Lato AR invece siamo leggermente più indietro, visto anche la carenza di dispositivi, e il numero di ricerche attualmente presenti in letteratura è inferiore.

Anche in ambito salute e sicurezza sul lavoro, come abbiamo potuto vedere nel Capitolo 2, sono presenti svariati lavori che hanno indagato su come VR e AR possano aiutare i lavoratori a migliorare la sicurezza sul luogo di lavoro. Anche in questo caso le ricerche attuali si sono concentrate su piccoli gruppi e gli ottimi risultati preliminari dovranno essere confermati da ricerche su gruppi più grandi che, si spera, potranno arrivare nei prossimi anni, grazie ad una maggiore diffusione di dispositivi VR/AR.

Nel Capitolo 3, invece, abbiamo voluto dare alcune indicazioni e spunti iniziali nel caso il lettore volesse approfondire o progettare questa tipologia di applicazioni. Chiaramente, per chi fosse intenzionato a questo tipo di progetti, è necessario approfondire svariati concetti qui non trattati, in questo documento abbiamo solo voluto dare una primissima introduzione agli strumenti base necessari per lo sviluppo di applicazioni immersive.

Per concludere, possiamo dire che l'era della Realtà Virtuale e Aumentata è iniziata da poco, e si prospettano grandi miglioramenti nei prossimi anni. Questo tipo di dispositivi e applicazioni può essere utile non solo in ambito video-giochi, come già stanno venendo utilizzati attualmente, ma, come abbiamo visto, anche in ambito educazione, formazione, turismo ed ingegneria, solo per citare alcuni dei campi più importanti.

È tuttavia ancora necessario moltissimo lavoro per cercare di uniformare i risultati ottenuti finora e dimostrare in modo inequivocabile come VR/AR possono migliorare l'apprendimento e la sicurezza in svariati campi, bisogna quindi continuare ad investire in questo ambito.

Albino, 20 settembre 2022

*Manuel Perna*

---

---

## Bibliografía

---

- [1] Saijing Zheng, Mary Beth Rosson, Patrick C Shih e John M Carroll. Understanding student motivation, behaviors and perceptions in MOOCs. In *Proceedings of the 18th ACM conference on computer supported cooperative work & social computing*, pages: 1882–1895, 2015.
- [2] Thomas Cochrane. Mobile VR in education: From the fringe to the mainstream. In *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)*, 8(4):44–60, 2016.
- [3] Yoana Slavova e Mu Mu. A comparative study of the learning outcomes and experience of VR in education. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. IEEE, pages: 685–686, 2018.
- [4] Navid Farahani, Robert Post, Jon Duboy, Ishtiaque Ahmed, Brian J Kolowitz, Teppituk Krinchai, Sara E Monaco, Jeffrey L Fine, Douglas J Hartman e Liron Pantanowitz. Exploring virtual reality technology and the Oculus Rift for the examination of digital pathology slides. In *Journal of pathology informatics*, 7, 2016.
- [5] Tassos A Mikropoulos e Antonis Natsis. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). In *Computers & education*, 56(3):769–780, 2011.
- [6] Patricia Sánchez-Herrera-Baeza, Roberto Cano-de-la-Cuerda, Edwin Daniel Oña-Simbaña, Domingo Palacios-Ceña, Jorge Pérez-Corrales, Juan Nicolas Cuenca-Zaldivar, Javier Gueita-Rodriguez, Carlos Balaguer-Bernaldo de Quirós, Alberto Jardón-Huete e Alicia Cuesta-Gomez. The impact of a novel immersive virtual reality technology associated with serious games in Parkinson’s disease patients on upper limb rehabilitation: a mixed methods intervention study. In *Sensors*, 20(8):2168, 2020.

## Bibliografia

---

- [7] José Rúben Silva Freitas, Vitor Hugo Silva Velosa, Leonardo Tadeu Nunes Abreu, Ricardo Lucas Jardim, João Artur Vieira Santos, Beatriz Peres e Pedro F Campos. Virtual reality exposure treatment in phobias: a systematic review. In *Psychiatric Quarterly*, 92(4):1685–1710, 2021.
- [8] Bian Wu, Xiaoxue Yu e Xiaoqing Gu. Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. In *British Journal of Educational Technology*, 51(6):1991–2005, 2020.
- [9] Nikolaos Pellas, Stylianos Mystakidis e Ioannis Kazanidis. Immersive Virtual Reality in K-12 and Higher Education: A systematic review of the last decade scientific literature. In *Virtual Reality*, 25(3):835–861, 2021.
- [10] Julian Abich, Jason Parker, Jennifer S Murphy e Morgan Eudy. A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. In *Virtual Reality*, 25(4):919–933, 2021.
- [11] Mark Billinghurst, Adrian Clark, Gun Lee et al. A survey of augmented reality. In *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3):73–272, 2015.
- [12] Chris D Kounavis, Anna E Kasimati e Efpraxia D Zamani. Enhancing the tourism experience through mobile augmented reality: Challenges and prospects. In *International Journal of Engineering Business Management*, 4:10, 2012.
- [13] E Zhu, A Hadadgar, I Masiello e N Zary. *Augmented reality in healthcare education: an integrative review*. *PeerJ*, 2, e469. 2014.
- [14] Sam Kavanagh, Andrew Luxton-Reilly, Burkhard Wuensche e Beryl Plimmer. A systematic review of virtual reality in education. In *Themes in Science and Technology Education*, 10(2):85–119, 2017.
- [15] Guisepppe Riva. Applications of virtual environments in medicine. In *Methods of information in medicine*, 42(05):524–534, 2003.
- [16] Salsabeel FM Alfalah, Jannat FM Falah, Tasneem Alfalah, Mutasem Elfalah, Nadia Muhaidat e Orwa Falah. A comparative study between a virtual reality heart anatomy system and traditional medical teaching modalities. In *Virtual Reality*, 23(3):229–234, 2019.
- [17] Jinsil Hwaryoung Seo, Brian Michael Smith, Margaret Cook, Erica Malone, Michelle Pine, Steven Leal, Zhikun Bai e Jinkyoo Suh. Anatomy builder VR: Applying a constructive learning method in the virtual reality canine skeletal system. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, pages: 245–252, 2017.
- [18] Paweł Balsam, Sonia Borodzicz, Karolina Malesa, Dominika Puchta, Agata Ty mińska, Krzysztof Ozierański, Łukasz Kołtowski, Michał Peller, Marcin Grabowski, Krzysztof J Filipiak et al. OCULUS study: Virtual reality-based education in daily clinical practice. In *Cardiology journal*, 26(3):260–264, 2019.

- [19] James Elliman, Michael Loizou e Fernando Loizides. Virtual reality simulation training for student nurse education. In *2016 8th international conference on games and virtual worlds for serious applications (VS-games)*. IEEE, pages: 1–2, 2016.
- [20] Philip Pratt, Matthew Ives, Graham Lawton, Jonathan Simmons, Nasko Radev, Liana Spyropoulou e Dimitri Amiras. Through the HoloLens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels. In *European radiology experimental*, 2(1):2, 2018.
- [21] Lei Shi, Tao Luo, Li Zhang, Zhongcheng Kang, Jie Chen, Feiyue Wu e Jia Luo. Preliminary use of HoloLens glasses in surgery of liver cancer. In *Zhong nan da xue xue bao. Yi xue ban= Journal of Central South University. Medical sciences*, 43(5):500–504, 2018.
- [22] Matthew G. Hanna, Ishtiaque Ahmed, Jeffrey Nine, Shyam Prajapati e Liron Pantanowitz. Augmented reality technology using Microsoft HoloLens in anatomic pathology. In *Archives of pathology & laboratory medicine*, 142(5):638–644, 2018.
- [23] Ivo Kuhlemann, Markus Kleemann, Philipp Jauer, Achim Schweikard e Floris Ernst. Towards X-ray free endovascular interventions—using HoloLens for on-line holographic visualisation. In *Healthcare technology letters*, 4(5):184–187, 2017.
- [24] Henrique Galvan Debarba, Marcelo Elias de Oliveira, Alexandre Lädermann, Sylvain Chagué e Caecilia Charbonnier. Augmented Reality Visualization of Joint Movements for Rehabilitation and Sports Medicine. In *Proceedings of the Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. IEEE, pages: 114–121, 2018.
- [25] M Travassos Valdez, C Machado Ferreira, Maria João M Martins e FP Maciel Barbosa. 3D virtual reality experiments to promote electrical engineering education. In *2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*. IEEE, pages: 1–4, 2015.
- [26] Elizabeth Pennington, Riley Hafer, Erin Nistler, Todd Seech e Chad Tossell. Integration of advanced technology in initial flight training. In *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*. IEEE, pages: 1–5, 2019.
- [27] Gabriel Evans, Jack Miller, Mariangely Iglesias Pena, Anastacia MacAllister e Eliot Winer. Evaluating the Microsoft HoloLens through an augmented reality assembly application. In *Degraded Environments: Sensing, Processing, and Display*. International Society for Optics e Photonics, 2017.
- [28] Jan Guhl, Son Tung e Jörg Kruger. Concept and architecture for programming industrial robots using augmented reality with mobile devices like microsoft HoloLens. In *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. IEEE, pages: 1–4, 2017.

## Bibliografia

---

- [29] Uwe Gruenefeld, Lars Prädell, Jannike Illing, Tim Stratmann, Sandra Drolshagen e Max Pfingsthorn. Mind the ARm: Realtime visualization of robot motion intent in head-mounted augmented reality. In *Proceedings of the Conference on Mensch und Computer*, pages: 259–266, 2020.
- [30] Wolfgang Vorraber, Johannes Gasser, Helena Webb, Dietmar Neubacher e Philipp Url. Assessing augmented reality in production: Remote-assisted maintenance with HoloLens. In *Procedia CIRP*, 88:139–144, 2020.
- [31] Abbie Brown e Tim Green. Virtual reality: Low-cost tools and resources for the classroom. In *TechTrends*, 60(5):517–519, 2016.
- [32] Dhaval Parmar, Joseph Isaac, Sabarish V Babu, Nikeetha D’Souza, Alison E Leonard, Sophie Jörg, Kara Gundersen e Shaundra B Daily. Programming moves: Design and evaluation of applying embodied interaction in virtual environments to enhance computational thinking in middle school students. In *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE, pages: 131–140, 2016.
- [33] Jiayan Zhao, Peter LaFemina, Jan Oliver Wallgrün, Danielle Oprean e Alexander Klippel. iVR for the geosciences. In *2017 IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR)*. IEEE, pages: 1–6, 2017.
- [34] Stefania Serafin, Ali Adjorlu, Niels Nilsson, Lui Thomsen e Rolf Nordahl. Considerations on the use of virtual and augmented reality technologies in music education. In *2017 IEEE virtual reality workshop on K-12 embodied learning through virtual & augmented reality (KELVAR)*. IEEE, pages: 1–4, 2017.
- [35] Kai Zhang e Sai-Jun Liu. The application of virtual reality technology in physical education teaching and training. In *2016 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*. IEEE, pages: 245–248, 2016.
- [36] Patricia Mesa-Gresa, Hermenegildo Gil-Gómez, José-Antonio Lozano-Quilis e José-Antonio Gil-Gómez. Effectiveness of virtual reality for children and adolescents with autism spectrum disorder: an evidence-based systematic review. In *Sensors*, 18(8):2486, 2018.
- [37] Horace HS Ip, Simpson WL Wong, Dorothy FY Chan, Julia Byrne, Chen Li, Vanessa SN Yuan, Kate SY Lau e Joe YW Wong. Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach. In *Computers & Education*, 117:1–15, 2018.
- [38] Ali Adjorlu, Emil Rosenlund Høeg, Luca Mangano e Stefania Serafin. Daily Living Skills Training in Virtual Reality to Help Children with Autism Spectrum Disorder in a Real Shopping Scenario. In *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, pages: 294–302, 2017.
- [39] Yufang Cheng, Cheng-Li Huang e Chung-Sung Yang. Using a 3D immersive virtual environment system to enhance social understanding and social skills for children with autism spectrum disorders. In *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 30(4):222–236, 2015.

- [40] Ryan Bradley e Nigel Newbutt. Autism and virtual reality head-mounted displays: a state of the art systematic review. In *Journal of Enabling Technologies*, 2018.
- [41] Simone Colombo, Salman Nazir e Davide Manca. Immersive virtual reality for training and decision making: preliminary results of experiments performed with a plant simulator. In *SPE Economics & Management*, 6(04):165–172, 2014.
- [42] Alexandre Cardoso, Paulo R Prado, Gerson FM Lima e Edgard Lamounier. A virtual reality based approach to improve human performance and to minimize safety risks when operating power electric systems. In *Advances in human factors in energy: Oil, gas, nuclear and electric power industries*. Springer, 171–182, 2017.
- [43] Luciana Nedel, Vinicius Costa De Souza, Aline Menin, Lucia Sebben, Jackson Oliveira, Frederico Faria e Anderson Maciel. Using immersive virtual reality to reduce work accidents in developing countries. In *IEEE computer graphics and applications*, 36(2):36–46, 2016.
- [44] Ryszard Klempous, Konrad Kluwak, Radosław Idzikowski, Tomasz Nowobilski e Tomasz Zamojski. Possibility analysis of danger factors visualization in the construction environment based on Virtual Reality Model. In *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. IEEE, pages: 000363–000368, 2017.
- [45] Thomas Hilfert, Jochen Teizer e Markus König. First person virtual reality for evaluation and learning of construction site safety. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Vol. 33. IAARC Publications, pages: 1, 2016.
- [46] Xiangyu Wang, Phillip S Dunston, Robert Proctor, Lei Hou, J So, X Wang, PS Dunston, R Proctor, L Hou e JCY So. Reflections on using a game engine to develop a virtual training system for construction excavator operators. In *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011)*, pages: 631–636, 2011.
- [47] Heng Li, Greg Chan e Martin Skitmore. Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology. In *Automation in construction*, 22:498–505, 2012.
- [48] Kun Zhang, Jintao Suo, Jingying Chen, Xiaodi Liu e Lei Gao. Design and implementation of fire safety education system on campus based on virtual reality technology. In *2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. IEEE, pages: 1297–1300, 2017.
- [49] Jan Lacko. Health safety training for industry in virtual reality. In *2020 Cybernetics & Informatics (K&I)*. IEEE, pages: 1–5, 2020.
- [50] Sunwook Kim, Maury A Nussbaum e Joseph L Gabbard. Augmented reality “smart glasses” in the workplace: industry perspectives and challenges for worker safety and health. In *IIE transactions on occupational ergonomics and human factors*, 4(4):253–258, 2016.

## Bibliografia

---

- [51] Zhipeng Liang, Keping Zhou e Kaixin Gao. Development of virtual reality serious game for underground rock-related hazards safety training. In *IEEE access*, 7:118639–118649, 2019.
- [52] Evangelos Markopoulos, Mika Luimula, Pasi Porramo, Tayfun Pisirici e Aleks Kirjonen. Virtual Reality (VR) safety education for ship engine training on maintenance and safety (ShipSEVR). In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, pages: 60–72, 2020.
- [53] Max Kinateder, Daniel Gromer, Philipp Gast, Susanne Buld, Mathias Müller, Michael Jost, Markus Nehfischer, Andreas Mühlberger e Paul Pauli. The effect of dangerous goods transporters on hazard perception and evacuation behavior—A virtual reality experiment on tunnel emergencies. In *Fire Safety Journal*, 78:24–30, 2015.
- [54] Andreas Mühlberger, Max Kinateder, Johanna Brütting, Silke Eder, Mathias Müller, Daniel Gromer e Paul Pauli. Influence of information and instructions on human behavior in tunnel accidents: a virtual reality study. In *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 12(3), 2015.
- [55] Max Kinateder, Paul Pauli, Mathias Müller, Jürgen Krieger, Frank Heimbecher, Inga Rönnau, Ulrich Bergerhausen, Götz Vollmann, Peter Vogt e Andreas Mühlberger. Human behaviour in severe tunnel accidents: Effects of information and behavioural training. In *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 17:20–32, 2013.
- [56] Ali Asgary. Holodisaster: Leveraging microsoft hololens in disaster and emergency management. In *IAEM Bulletin*:20–21, 2017.
- [57] James Stigall, Sri Teja Bodempudi, Sharad Sharma, David Scribner, Jock Grynovicki e Peter Grazaitis. Building evacuation using microsoft HoloLens. In *27th International Conference on Software Engineering and Data Engineering*, pages: 8–10, 2018.