POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ing. Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale

Effetti dell'ansia sul comportamento e sui parametri fisiologici in simulazioni VR di incendio. Caso studio di esodo in edificio scolastico.

Relatore:
Prof. Anna Osello

Correlatore:
Ing. Francesca Maria Ugliotti

Candidato:
Filippo Lodo

Anno accademico 2018/2019

ABSTRACT

Questa tesi è basata sull'applicazione delle tecnologie di realtà virtuale (VR) nella realizzazione di simulazioni di esodo e sullo studio del comportamento e dei parametri fisiologici delle persone ad esse sottoposte.

L'utilità di questa ricerca si inserisce nell'ambito dell'analisi delle reazioni psicofisiche innescate da situazioni d'emergenza e/o di pericolo le quali, al di fuori della VR, sarebbero troppo pericolose da indagare.

A questo obiettivo primario è stata associata anche la valutazione del realismo con cui i dispositivi VR disponibili al momento della stesura di questo elaborato sono in grado di simulare scenari fortemente ansiogeni.

Dopo aver esaminato la letteratura scientifica riguardante lo studio dell'ansia e del panico in VR si è deciso di ambientare le simulazioni virtuali del presente caso studio all'interno di un edificio scolastico, ambiente con cui tutte le persone hanno familiarità, in caso di incendio.

A partire dal modello BIM (Building Information Modeling) della scuola 'Ettore ed Aurora Morelli' di Torino fornito dai tesisti del gruppo 'Drawing To The Future' si è quindi realizzato lo scenario virtuale nel quale ambientare le simulazioni di esodo da edificio scolastico in fiamme.

Questa esperienza virtuale è poi stata sottoposta, in seguito ad una simulazione di ambientamento alla VR, a 25 candidati, dei quali durante le simulazioni venivano misurati saturazione, pressione arteriosa, frequenza cardiaca e tempo richiesto per l'esodo; nella successiva fase di analisi dei risultati si sono poi calcolate le variazioni che i valori di picco dei parametri fisiologici presentavano passando da una simulazione virtuale all'altra.

I valori così ottenuti sono stati poi comparati anche con i valori dei parametri fisiologici registrati con soggetto a riposo; tramite questi confronti è stato possibile valutare quanto l'essere introdotti in uno scenario virtuale e quanto invece gli elementi ansiogeni al loro interno influiscano sullo stato d'ansia del soggetto.

Dall'analisi sperimentale dei risultati è emerso che simulazioni virtuali con un grado di realismo sufficiente possano indurre risposte psicofisiche marcate negli utenti sottoposti ad esse, potenzialità che potrebbe rendere nei prossimi anni la VR una delle principali tecnologie impiegate nella ricerca accademica e scientifica.

INDICE

ABSTRACT III

Indice delle figure VII
Indice delle abbreviazioni. IX

INTRODUZIONE. 1

CAPITOLO I – REALTÀ VIRTUALE E RICERCA SCIENTIFICA 3
1.1 Evoluzione storica e stato dell'arte 3
1.1.1 Tecnologie VR ed utilizzi 5
1.1.2 Vantaggi e limiti applicativi 9
1.2 Realtà Virtuale in ambito biomedico 12
1.3 Monitoraggio parametri fisiologici e VR 14

CAPITOLO II – ANSIA ED ATTACCHI DI PANICO. 19
2.1 Sintomatologia 19
2.2 Esperienze ansiogene ed effetti psicofisici indotti 20
2.3 Terapia del panico tramite VR 21

CAPITOLO III – STRATEGIE DI GESTIONE E MONITORAGGIO ESODO IN CASO DI INCENDIO 23
3.1 Statistiche 23
3.2 Procedure di esodo 25
3.3 Piano di emergenza in edifici scolastici 26
3.4 Segnaletica antincendio e di salvataggio. 28
3.5 Variazione parametri vitali durante un incendio. 32
3.6 Simulazioni di esodo in VR 33

CAPITOLO IV – CASO STUDIO: SIMULAZIONE DI ESODO IN EDIFICIO SCOLASTICO 35
4.1 Ipotesi di partenza. 35
4.2 Metodologia 40

4.3 Gestione delle informazioni BIM e VR 42
4.3.1 Interoperabilità 44
4.3.2 Creazione applicativo. 46
4.4. Simulazione VR. 51
4.4.1 Strumenti utilizzati 53
4.4.2 Partecipanti 64
4.4.3 Simulazione – Parte 1: ambientamento. 66
4.4.4 Simulazione – Parte 2: esodo 67
4.4.5 Punti di forza e valore aggiunto dell'esperienza. 71
4.4.6 Questionario di valutazione dell'esperienza virtuale 75

CAPITOLO V - RISULTATI SPERIMENTALI 79
5.1 Comportamento sotto stress 79
5.2 Tempo di esodo. 82
5.3 Variazioni parametri fisiologici. 85
5.3.1 Pressione arteriosa 86
5.3.2 Frequenza cardiaca. 91
5.3.3 Saturazione. 94
5.4 Valutazione esperienze virtuali. 98

CAPITOLO VI – CONCLUSIONI E SVIUPPI FUTURI 103
6.1 Sviluppi futuri. 103
6.2 Conclusioni. 108

RINGRAZIAMENTI 111

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA. 113

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - Visore VR di Heilig. 3
Figura 1.2 - Visore di Sutherland 4
Figura 1.3 - Primo sistema HMD: Eyephone 4
Figura 1.4 - Esempio di realtá aumentata 5
Figura 1.5 - Esempio di Sistema window on World: Microsoft VR headset 6
Figura 1.6 - Esempio di Vehicle-based system: simulazione guida di un'automobile . . . 6
Figura 1.7 - Esempio di sistema Cave di virtual reality 7
Figura 1.8 - Simulazione volo aereo VR. 9
Figura 1.9 - Battito cardiaco prima e dopo stimolo ansiogeno. 15
Figura 3.1 - Andamento numero di incendi ed esplosioni in Italia dal 2008 al 2017. . . . 23
Figura 3.2 - Segnaletica di sicurezza. 28
Figura 3.3 - Esempio cartello di divieto: vietato fumare. 29
Figura 3.4 – Esempio di cartello di avvertimento: materiale radioattivo 29
Figura 3.5 - Esempio di cartello di prescrizione. 29
Figura 3.6 - Segnaletica di salvataggio. 30
Figura 3.7 - Esempio di cartello antincendio: estintore 30
Figura 4.1 - Workflow: passaggi chiave del caso studio 40
Figura 4.2 - Vista esterna complesso scolastico 'Ettore ed Aurora Morelli' 43
Figura 4.3 - Planimetria scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Revit 2019 43
Figura 4.4 - Vista 3D scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Revit 2019 45
Figura 4.5 - Modello BIM scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Unity 2018.3.3 45
Figura 4.6 - Esempio di visuale in prima persona in Unity: interno di aula scuola
'Ettore ed Aurora Morelli', Unity 2018.3.3 47
Figura 4.7 - Scala antincendio esterna, scuola 'Aurora Morelli 48
Figura 4.8 - Scale interne scuola 'Ettore Morelli': collegamento complessi scolastici . . 49
Figura 4.9 - Percorso di esodo: scale interne scuola 'Aurora Morelli'. 49
Figura 4.10 - Segnaletica di sicurezza modello BIM, Unity 2018.3.3. 50
Figura 4.11 - Uscite d'emergenza modello BIM, Unity 2018.3.3 51
Figura 4.12 - Scena di ambientamento alla VR, Unity 2018.3.3 52
Figura 4.13 - HTC Vive 54
Figura 4.14 - Struttura Cyberith Virtualizer. 56
Figura 4.15 - Esempio di movimento su Cyberith Virtualizer. 56
Figura 4.16 - Schermata applicazione Hband per iPosible tracker IP67 59
Figura 4.17 - Sfigmomanometro iHealth BP7 59

Figura 4.18 - Pulsossimetro BEURER PO 80 60
Figura 4.19 - Ripartizione uomini e donne nei gruppi 1 e 2. 65
Figura 4.20 - Scena di ambientamento alla VR, Unity 2018.3.3 66
Figura 4.21 - Andamento fumo in simulazione di esodo 69
Figura 4.22 - Scala ostruita da macerie: simulazione VR di esodo, Unity 2018.3.3 70
Figura 4.23 - Tunnel vision in approccio Highemo.. 74
Figura 4.24 - Visione offuscata dal fumo: simulazione di esodo, Unity 2018.3.3 74
Figura 4.25 - Questionario sull'esperienza virtuale, Google Form 76
Figura 5.1 - Tempi di esodo dei partecipanti dei gruppi 1 e 2: confronto simulazioni con e senza macerie. 83
Figura 5.2 - Esempio dati registrati durante le esperienze virtuali: frequenza cardiaca. . 85
Figura 5.3 – Variazioni percentuali valori di picco della pressione arteriosa sistolica e diastolica passando da soggetto a riposo alla simulazione VR di ambientamento. 87
Figura 5.4 - Variazioni percentuali delle pressioni sistolica e diastolica massimali fra le simulazioni VR di ambientamento e di esodo. 89
Figura 5.5 - Variazioni percentuali delle pressioni sistolica e diastolica massimali fra stato a riposo e simulazione VR di esodo. 90
Figura 5.6 - Variazione percentuale valore di picco della frequenza cardiaca fra stato a riposo e simulazione di ambientamento alla VR 92
Figura 5.7 - Variazione percentuale del valore massimale di frequenza cardiaca passando dalla simulazione VR di ambientamento a quella di esodo. 93
Figura 5.8 - Variazione percentuale del valore massimale di frequenza cardiaca passando da stato a riposo alla simulazione VR di esodo. 94
Figura 5.9 - Esempio di dati di saturazione rilevati tramite Beurer PO 80 durante le simulazioni VR 95
Figura 5.10 - Saturazione dei candidati appartenenti al gruppo 1. 96
Figura 5.11 - Saturazione dei candidati appartenenti al gruppo 2. 96
Figura 5.12 - Risposte alla domanda del questionario: 'Fonte di maggiore stress?'. . . . 101
Figura 5.13 - Risposte alla domanda del questionario: 'Hai trovato la simulazione realistica? 102

INDICE DELLE ABBREVIAZIONI

BIM= Building Information Modeling

D.Lgs= Decreto Legislativo

D.M.= Decreto Ministeriale

EN= Organismo di Normazione Europea

EDA= Attività elettrodermica

HMD= Head Mounted Display

HR= Heart rate

ISO= Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione

ODT= Omnidirectional Treadmill

SpO_2= Saturazione in ossigeno dell'emoglobina presente nel sangue arterioso

PEE= Piano d'Emergenza ed Evacuazione

PTSD= Disturbo Post Traumatico da Stress

UNI= Ente nazionale italiano di unificazione

VR= Virtual Reality

INTRODUZIONE

Alla base di questa tesi vi è la misura dei parametri fisiologici in soggetti esposti a simulazioni di realtà virtuale fortemente ansiogene al fine di analizzarne le variazioni rispetto ai valori a riposo e a quelli registrati durante esperienze virtuali non stressanti.

L'utilità di questo studio si inserisce in un contesto di indagine scientifica atta ad analizzare gli effetti della realtà virtuale sulle condizioni psicofisiche dei suoi utilizzatori e di validare o meno la VR come strumento in grado di ricreare con sufficiente grado di realismo situazioni stressanti tanto emotivamente quanto dal punto di vista psicofisico.

In particolare questo lavoro di tesi si focalizza sull'analisi delle variazioni dei parametri fisiologici indotte da situazioni di pericolo riprodotte in Virtual Reality (VR), le quali se studiate nella realtà esporrebbero i partecipanti ad un rischio troppo elevato per la propria incolumità.

Le motivazioni principali che hanno portato a scegliere questo tema sono state la possibilità di interfacciarsi con una tecnologia che in futuro potrebbe essere largamente diffusa in ambito biomedico e il fatto di poter dare un contributo alla comunità accademica andando a svolgere uno studio su dei dispositivi che, vista la loro recente comparsa sul mercato, fino ad oggi sono stati poco indagati.

L'obiettivo principale del lavoro è stato il dimostrare la possibilità di indurre un marcato stress psicofisico in soggetti sottoposti a simulazioni di realtà virtuale, sebbene la poca letteratura scientifica finora disponibile a riguardo assuma come uno dei limiti principali della VR proprio l'impossibilità di far scaturire nell'utente le stesse reazioni che esso avrebbe vivendo realmente la situazione da lui sperimentata virtualmente.

Partendo da questi presupposti si è realizzato il modello BIM (Building Information Modeling) della scuola 'Ettore ed Aurora Morelli' di Torino, scenario in cui sarebbero state ambientate simulazioni di esodo nel caso di un incendio.

Una volta inserite nello scenario virtuale tutte le componenti necessarie a renderlo realistico, tra cui il fumo e la segnaletica di sicurezza, si sono monitorati 25 candidati durante simulazioni virtuali di esodo assumendo come elementi principali per la valutazione dell'ansia e/o del panico variazioni rilevanti dei parametri

fisiologici o un'eventuale insorgenza di comportamenti non razionali nelle decisioni prese da quest'ultimi.

Tutte le ipotesi, le procedure e le descrizioni dei metodi adottati sono compendiate nei capitoli che compongono questo elaborato, ognuno riguardante una tematica diversa.

Nel capitolo 1 viene proposta una panoramica sullo stato dell'arte delle tecnologie di realtà virtuale ed i relativi ambiti applicativi, con particolare enfasi sugli utilizzi fatti di essi nella ricerca medico-scientifica.

Nel secondo capitolo sono esposti i sintomi degli attacchi di panico e come quest'ultimi siano stati fino ad ora indagati durante esperienze di realtà virtuale e/o aumentata.

Nel capitolo 3 vengono presentate le procedure per la gestione degli incendi e delle manovre di esodo in edifici pubblici e come tali calamità possano essere riprodotte in simulazioni virtuali.

Nel quarto capitolo viene invece proposta la descrizione degli step che hanno composto il caso studio, soffermandosi sulla realizzazione del modello BIM utilizzato nelle simulazioni di esodo e sugli strumenti VR adoperati durante la sperimentazione.

Sempre in questo capitolo vengono inoltre esposti i metodi ed i dispositivi utilizzati per la raccolta dei dati sperimentali e per la loro successiva analisi.

Nel quinto capitolo si ha invece l'esposizione dei risultati, ottenuti mediante l'analisi sperimentale dei dati registrati durante le esperienze virtuali, con particolare riferimento ai comportamenti adottati dai candidati e alle variazioni dei loro parametri fisiologici durante le prove.

Nel sesto ed ultimo capitolo vengono infine presentate le conclusioni tratte in seguito all'elaborazione dei risultati ed una descrizione di possibili sviluppi futuri delle tecnologie VR e dei relativi ambiti applicativi.

CAPITOLO I

REALTÀ VIRTUALE E RICERCA SCIENTIFICA

1.1 Evoluzione storica e stato dell'arte

La realtá virtuale, abbreviata VR dall'inglese virtual reality, è un ambiente simulato bidimensionale o tridimensionale esplorabile tramite l'ausilio di dispositivi informatici. Una definizione maggiormente esaustiva della VR è quella fornita da Burdea e Coiffet (2003): ''una simulazione in cui la computer grafica viene usata per ricreare un mondo simile a quello reale e in cui il mondo sintetico non è statico ma risponde agli input forniti dall'utilizzatore''.

Secondo i due ricercatori (Burdea e Coiffet, 2003) la potenzialitá chiave della realtá virtuale è l'interattivitá real-time, ottenuta grazie ad un computer che rileva gli input dell'utente e modifica istantaneamente il mondo virtuale.

Nonostante i maggiori progressi della VR si siano verificati negli ultimi anni questa tecnologia è tutt'altro che recente; giá nei primi anni '60 infatti il cinematografo Morton Heilig aveva ideato il primo prototipo di visore, od head mounted display (HMD).

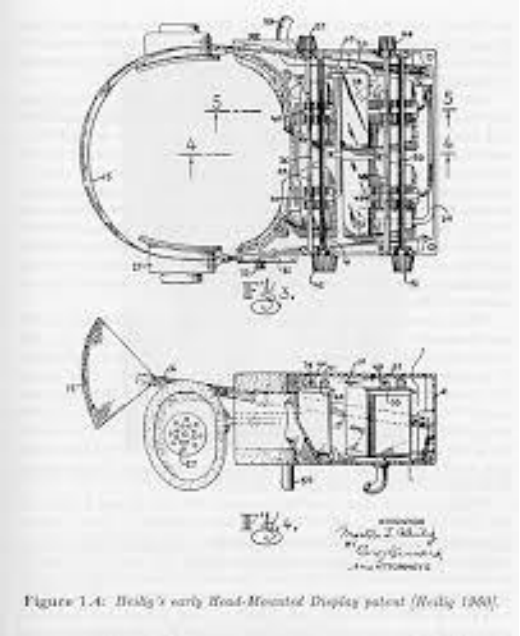

Figura 3.1- Visore VR di Heilig [Burdea e Coiffet, Virtual reality technology, 2003, p. 6].

Il lavoro di Heilig verrá poi ripreso da Ivan Sutherland che costruí nel 1968 il primo visore a tubi catodici.

Figura 1.4 - Visore di Sutherland. Immagine tratta da universovirtuale.it.

Negli anni a seguire molti furono i miglioramenti apportati a tale tecnologia fino a che, nel 1989, la azienda VPL (Virtual Programming Technology) introdusse il primo HMD commerciale, l'eyephone.

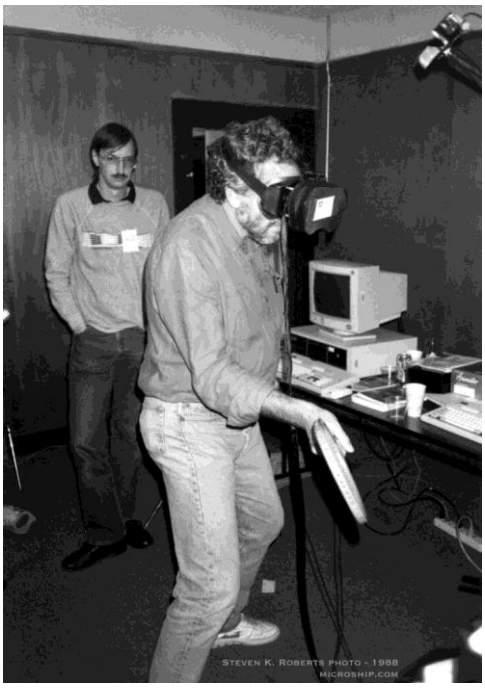

Figura 1.3 - Primo sistema HMD: Eyephone. Immagine tratta da microship.com.

Ad oggi sono moltissime le aziende che si occupano di commercializzazione e sviluppo hardware e software per la VR, con prodotti ormai distribuiti su scala mondiale.

1.1.1 Tecnologie VR ed utilizzi

Nell'ultimo decennio sempre più sistemi VR sono stati immessi nel mercato, causandone un incremento sia nelle tipologie sia nei possibili utilizzi.

Viene adesso fornita una classificazione di tali dispositivi redatta aggiornando quella utilizzata da Biocca e Delaney (1995) nel loro trattato "Immersive Virtual Reality Technology".

Innanzitutto bisogna distinguere la realtá virtuale da quella aumentata: i sistemi VR, tramite l'HMD, fanno immergere totalmente l'utilizzatore nel mondo virtuale, mentre i dispositivi di realtá aumentata sovrappongono oggetti 3D al mondo reale circostante tramite un display che può essere sia lo schermo del pc o dello smartphone sia essere indossato dal soggetto, come ad esempio gli HMD.

Figura 1.4 – Esempio di realtá aumentata. Immagine tratta da https://medium.com.

Tra le varie tipologie di sistemi VR vengono di seguito elencate le principali:

- Window on World systems: su un PC viene presentato il mondo virtuale 3D con il quale l'utente può interagire in maniera attiva tramite dispositivi hardware quali ad esempio un HMD.

Figura 1.5 - Esempio di Sistema window on World: Microsoft VR headset. Immagine tratta da https://www.pcworld.idg.com.au.

- Mirror systems: consistono di uno schermo su cui viene proiettato il soggetto il quale si muove nell'ambiente virtuale; per far ciò il soggetto viene ripreso da una o più telecamere.

- Sistemi Vehicle-based: il soggetto entra in un simulatore di un veicolo, ad esempio aerei, macchine o navi e prova a controllarlo e dirigerlo in un ambiente simulato, spesso proiettato su schermi.
  Per rendere l'esperienza più realistica possono essere aggiunte al simulatore delle piattaforme mobili per ricreare il movimento.

Figura 1.6 - Esempio di Vehicle-based system: simulazione guida di un'automobile. Immagine tratta da http://www.kumc.edu.

- Cave systems: l'utente è circondato da schermi o pareti su cui viene proiettata la scena virtuale.

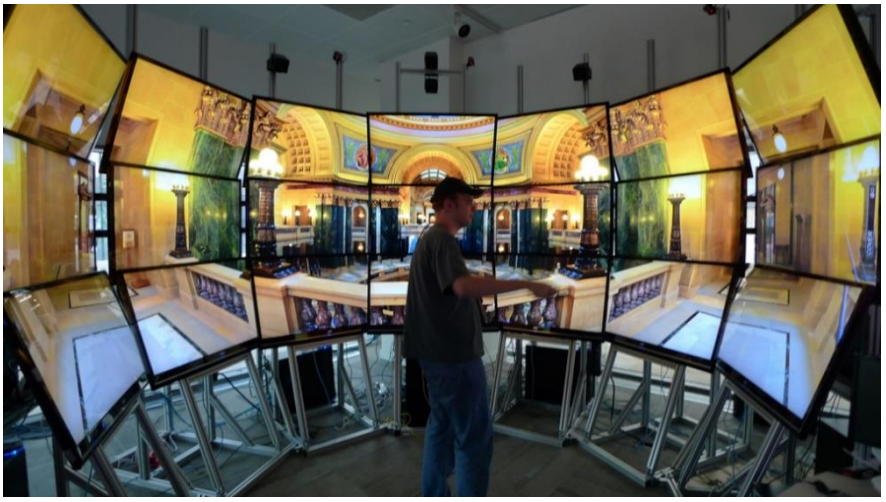

Figura 1.7 - Esempio di sistema Cave di virtual reality. Immagine tratta da http://www.calit2.net.

- Sistemi di telepresenza: un operatore guida a distanza una macchina od un robot e vede ciò che questi stanno riprendendo.
  Esempi di questa tecnologia sono i robot per disinnescare ordigni esplosivi telecomandati dagli artificieri o i droni guidati dai militari durante azioni belliche o di ricognizione.

La realtá virtuale quindi non comprende solo sistemi in cui vengono presentati all'utente scenari immaginari o creati digitalmente ma anche tutte quelle esperienze in cui si interagisce con un ambiente effettivamente esistente nel mondo reale ma estraneo al luogo nel quale si trova il soggetto in quel momento.
Grazie agli innumerevoli possibili utilizzi della VR essa ha trovato nel corso dell'ultimo decennio ampia diffusione nei più svariati ambiti, tra cui videogaming, supporto alla riabilitazione psicologica e ricerca medica.
Oggigiorno sono numerosi gli studi che sfruttano la realtá virtuale per uno scopo che esula dal puro ambito ludico, facendo sí che la VR si stia attestando non solo come strumento ricreativo e di svago ma come un vero e proprio mezzo per indagare processi umani e fisiologici fino ad ora non possibili da studiare.
Tra le tipologie di studio che ricorrono più frequentemente si hanno la riabilitazione psicologica in pazienti affetti da forme di panico, tra cui aracnofobia, paura di volare, agorafobia o disturbo da stress post traumatico (PTSD), e la riabilitazione funzionale di pazienti affetti da malattie degenerative e/o che hanno subito

incidenti.

Questa seconda tipologia di utilizzo della VR si è dimostrata molto efficace se associata alla componente ludica della realtá virtuale, rendendo più divertente il processo riabilitativo, con pazienti che risultano meglio disposti e maggiormente motivati ad affrontare tale terapia.

Un altro possibile utilizzo della VR è l'addestramento di personale qualificato per compiti che richiedono competenze specifiche altrimenti difficili e/o pericolose da acquisire.

Esempi di ciò sono i training di realtá virtuale di chirurgia laparoscopica per aspiranti chirurghi, i quali essendo eseguiti in VR non espongono ad alcun rischio i pazienti, oltre al fatto di aver dimostrato ottimi risultati di addestramento e di conseguente riduzione dei tempi negli interventi reali (Aggarwal *et al*.,2013).

Altri utilizzi prima inimmaginabili ma che oggi si stanno largamente diffondendo sono, come riportato nel sito https://www.augmenta.it/formazione-e-addestramento-realta-virtuale/ al momento di stesura di questo elaborato, l'addestramento di corpi militari e/o di polizia e la formazione di personale per le imprese e l'industria.

Il primo permette di acquisire automatismi fondamentali per gestire situazioni di stress e/o d'emergenza, oltre a conseguire esperienza che permetterá poi, nella realtá, di prendere decisioni efficaci in un margine temporale ridotto.

Le scene VR proposte a questo scopo solitamente riguardano la messa in atto di protocolli di sicurezza ma soprattutto di situazioni difficili da gestire se mai affrontate in precedenza; a titolo d'esempio di queste applicazioni citiamo le esperienze virtuali che addestrano i poliziotti a determinare in quali circostanze sparare e in quali invece non farlo, al fine di ridurre il numero di incidenti potenzialmente tragici sul campo.

La seconda tipologia di esercitazioni citata riguarda l'insegnamento tramite VR ai lavoratori di industrie, cantieri o altre attivitá lavorative particolari delle procedure necessarie per svolgere il lavoro in sicurezza ed in maniera efficace.

Oltre a quelle menzionate vi è una vasta gamma di applicazioni della VR che negli ultimi anni ha trovato fortuna e viene quindi utilizzata quotidianamente per i più disparati scopi, fattori che lasciano presumere che nel prossimo decennio la VR si attesterà non solo come un aiuto alle terapie o all'addestramento ma come il vero e proprio elemento d'elezione per tali scopi.

1.1.2 Vantaggi e limiti applicativi

La VR, nonostante il solo recente sviluppo e la presenza di margini di miglioramento in molte aree, comporta numerosi vantaggi rispetto alla semplice esposizione in vivo.

Tra gli esempi di maggiore successo citiamo la terapia di disturbi legati al panico e/o all'ansia in cui, tramite le simulazioni di realtá virtuale, si possono far vivere al soggetto delle esperienze a lui precluse nel mondo reale, sia per limiti fisici che psicologici, sia ricreare scene che sarebbero troppo pericolose da analizzare al di fuori di una simulazione, come nel caso di incendi e terremoti (Patil *et al*., 2012).

Altri benefici portati dalla VR risiedono nella selettivitá che essa permette: l'utente puó infatti essere sottoposto a gradi diversi di attivazione psico-fisica andando a variare i parametri della simulazione e, soprattutto nel caso di esperienze VR che hanno come obiettivo il miglioramento della gestione dell'ansia per pazienti affetti da attacchi di panico, di andare a vivere solo lo stimolo critico senza perdere tempo con fattori marginali che non sono utili ai fini del risultato finale.

Esempi di questa applicazione sono le simulazioni in cui a soggetti con paura di volare veniva proposta una simulazione solo della parte che gli generava maggiore ansia, sia che essa fosse il volo, il decollo o l'atterraggio; questo comporta una serie di vantaggi: una drastica riduzione del tempo della terapia in quanto il soggetto non deve realmente prendere un aereo e puó essere esposto ripetutamente allo stesso scenario andando di fatto a rendere la terapia maggiormente efficace e meno prolungata nel tempo.

Figura 1.8 - Simulazione volo aereo VR, immagine tratta da https://www.biopac.com.

Oltre a quelli giá menzionati bisogna aggiungere quello che probabilmente è il vantaggio principale apportato dalla VR soprattutto nella terapia del panico e dell'ansia, ovvero il fatto che il terapeuta possa interrompere la simulazione in qualsiasi momento, garantendo così l'incolumitá del paziente.

Per gli scopi fino ad ora indagati si è poi riscontrato che con la realtá virtuale, apparendo essa meno minacciosa rispetto all'esposizione ad un determinato stimolo in vivo, la percentuale di pazienti che rifiuta la terapia è drasticamente ridotta rispetto a quella che si avrebbe andando a far vivere loro realmente l'esperienza.

Gli stessi benefici delle terapie psicologiche in VR possono essere estesi a tutti gli utilizzi citati in 1.1.1, principalmente per quanto riguarda i costi, che come visto vengono abbattuti, i rischi di esposizione praticamente nulli anche per le simulazioni VR maggiormente ansiogene e soprattutto una semplificazione non indifferente della logistica. La realtà virtuale permette infatti di simulare in un unico ambiente molte esperienze che per essere vissute nel mondo reale necessiterebbero di andare di persona in luoghi anche molto distanti; a questo vantaggio si aggiunge la possibilità di poter sottoporre le simulazioni virtuali nello stesso luogo a molte persone, se non addirittura nelle loro case. È intuitivo vedere come i vantaggi della VR siano fra loro fortemente interconnessi: il miglioramento della logistica favorisce la riduzione dei costi, rendendo terapie e training VR facilmente accessibili ad un gran numero di persone mentre la possibilitá di eseguire trattamenti riabilitativi sia psicologici che fisici nelle abitazioni delle persone permette a quest'ultimi di affrontare i trattamenti con maggiore positivitá andando come visto a ridurre la percentuale di abbandono e/o di rinuncia alla riabilitazione.

Tutti questi vantaggi sono parte integrante di quella che è uno dei principali punti di forza delle esposizioni VR, ovvero la loro dimostrata efficacia.

La sfida che ingegneri e tecnici si troveranno prossimamente ad affrontare sará quindi andare a migliorare gli aspetti delle simulazioni virtuali che presentano ancora delle criticitá e cercare di rendere la realtá virtuale ancora più risolutiva nei suoi campi di utilizzo.

Difatti le simulazioni di realtá virtuale presentano ancora notevoli margini di miglioramento; nonostante gli enormi progressi tecnologici degli ultimi anni nel campo della VR si riscontrano infatti ancora numerosi limiti alla sua applicazione tanto in ambito videoludico quanto nella ricerca medico-scientifica.

Per quanto riguarda l'utilizzo originario della VR, ovvero il gaming, l'ostacolo

principale alla sua diffusione su larga scala è rappresentato dal prezzo dei dispositivi, assolutamente non accessibile a gran parte dei possibili fruitori.
Nella ricerca medica invece la realtá virtuale ha visto frenato il proprio utilizzo per svariati motivi, dei quali tra i principali si annoverano la giá citata onerositá delle apparecchiature ed il fatto che le simulazioni VR disponibili oggigiorno non siano ancora in grado di riprodurre fedelmente al 100% la realtà.
Le esperienze VR infatti risentono ancora di alcuni limiti nella risoluzione delle immagini e dei video che la compongono, fattori che impediscono una totale immersione dell'utente nella simulazione, elemento che sarebbe invece molto importante per studiare come si modificano le variabili psicofisiche di un soggetto esposto a determinati stimoli o per addestrare personale qualificato.
La stessa area di miglioramento si presenta anche per quanto concerne il movimento nella VR: è vero che le simulazioni di realtá virtuale permettono di camminare, correre ed eseguire molti altri movimenti al loro interno, ma tali spostamenti possono essere eseguiti o con l'utilizzo di joysticks, i quali non garantiscono una corrispondenza fra realtá fisica e simulazione virtuale in quanto il soggetto rimane fermo, oppure muovendosi sui treadmills, in cui l'utente si muove su delle piattaforme che non permettono ancora di mimare perfettamente il movimento fisiologico naturale.
Fra le principali aree di miglioramento della VR si annovera anche ció che riguarda la multisensorialitá delle simulazioni: risulta intuitivo riconoscere che il senso maggiormente sollecitato con le esperienze VR sia la vista, attivata con il visore e senza la quale non sarebbe proprio possibile fruire della realtá virtuale cosí come di quella aumentata; questo senso è quello su cui nello sviluppo delle simulazioni VR ci si è maggiormente focalizzati e proprio per questo risulta essere quello in cui le caratteristiche che la riguardano, come la risoluzione dei visori, sono più precise ed accurate di quelle finora realizzare per gli altri sensi.
Gli HMD permettono di sollecitare anche l'udito andando a riprodurre suoni e stimoli uditivi registrati nella realtá: questo permette di aumentare notevolmente l'immersione del soggetto nell'esperienza virtuale a patto peró che la simulazione fosse giá di per sé sufficientemente realistica, in quanto è stato dimostrato che in una prova VR poco immersiva l'aggiunta di stimoli uditivi rende ancora meno realistica l'esperienza, distraendo il soggetto da una scena con cui l'utente giá fatica ad interagire.

Il tatto è stimolabile invece tramite componenti hardware che nonostante il prezzo elevato non garantiscono una sensazione fedele a quella reale; questi strumenti, comunque utili per aumentare l'immersivitá delle scene VR, comprendono i joystick, i guanti VR e i treadmills, tutti dispositivi in grado di fornire un feedback aptico, più o meno accurato, al soggetto.
Il gusto e l'olfatto invece non sono ancora sollecitabili in alcun modo durante le esperienze VR, limite importante che dovrá essere superato per garantire simulazioni VR fedeli al 100% alla realtá.
È infatti risaputo che sia l'olfatto il senso che una volta stimolato con odori simili a quelli di un dato evento vissuto in precedenza permette di ricordare in maniera maggiormente vivida l'esperienza.
Possiamo quindi concludere dicendo che gli sviluppi futuri della VR su cui occorrerá concentrarsi nei prossimi anni saranno l'abbattimento dei costi di hardware e software per le simulazioni virtuali ed andare ad implementare e sviluppare migliorie a tutte quelle componenti che permettano di aumentare l'immersivitá degli scenari di realtá virtuale, in modo da rendere le simulazioni VR di un evento fedeli a quello che si avrebbe vivendo la medesima esperienza nel mondo esterno.

1.2 Realtà virtuale in ambito biomedico

Nell'ultimo decennio una grande varietà di ricerche ha cercato di valutare le potenzialità della tecnologia VR in ambito medico e biomedico; infatti come tutte le tecnologie la realtà virtuale, inizialmente usata prettamente nell'ambito videoludico, ha iniziato ad essere impiegata anche in casi studio di monitoraggio dei parametri fisiologici e delle condizioni psicofisiche dei soggetti che la utilizzavano.
Tra i motivi che hanno portato alla scelta di dedicare molti studi all'ambito della VR e le sue implicazioni sul corpo umano si ha la necessità di scoprire se la realtà virtuale possa essere di qualche aiuto in ambito diagnostico e/o riabilitativo
(Chuang *et al.*, 2005) o per addestrare personale qualificato, sia esso medico

(Aggarwal *et al*., 2013) o di diversa tipologia.

Alla letteratura scientifica ed accademica è quindi stato aggiunto un notevole numero di casi studio i cui obiettivi erano l'analisi e la comprensione di come i parametri fisiologici variassero in soggetti esposti alla realtà virtuale; in particolare la maggior parte di queste ricerche si è focalizzata sugli andamenti di frequenza cardiaca e della conduttanza cutanea, variabili facilmente registrabili che mostrano, a paritá di stimolo fornito e/o di task richiesto, le maggiori variazioni percentuali nel loro valore (Barret *et al*., 2016).

Le ricerche portate avanti nell'ambito dell'analisi dei parametri vitali umani in simulazioni di realtá aumentata e/o virtuale sono principalmente di due tipi: studio delle variazioni dei parametri fisiologici in soggetti semplicemente esposti alla VR o analisi dei dati fisiologici in persone esposte a simulazioni VR ricreanti particolari situazioni di emergenza e/o di forte stress emotivo (Kinatder *et al*., 2013).

Quest'ultima tipologia di studio si è rivelata valida anche per confrontare i risultati ottenuti con quelli che si ottengono sottoponendo i soggetti alle stesse condizioni nella realtá, permettendo cosí di indagare le potenzialitá attuali della VR e quanto le simulazioni virtuali possano essere utili, in date circostanze, per sostituire la terapia in vivo o indagare fenomeni non possibili da analizzare nel mondo esterno.

Un campo su cui si sta lavorando per renderne l'esposizione virtuale tanto efficace quanto i trattamenti reali è senza dubbio la terapia di disturbi legati al panico, allo stress ed all'ansia sociale, in quanto un loro risolutivo metodo di cura in VR comporterebbe tutta la serie di vantaggi descritta in 1.1.2.

Per quanto riguarda invece la possibilitá di indagare processi fisiologici e comportamentali non analizzabili nella realtá la VR ci viene incontro, mettendoci a disposizione scenari in grado di riprodurre le più disparate esperienze.

Esempio di quanto appena detto sono tutta una serie di studi nei quali i candidati sono stati sottoposti a simulazioni virtuali di emergenze troppo pericolose per porre i soggetti nella stessa situazione nel mondo esterno, come ad esempio la fuga da un edificio in fiamme (Chittaro e Zangrando, 2010), argomento trattato anche in questa tesi di laurea.

1.3 Monitoraggio parametri fisiologici e VR

I parametri fisiologici sono tutte quelle caratteristiche del corpo umano o, più in generale, degli appartenenti al mondo animale, che descrivono l'andamento delle funzioni vitali.

Esempi di tali variabili sono ad esempio il trend del battito cardiaco, della pressione arteriosa e della frequenza respiratoria; a questi si aggiungono poi saturazione, temperatura, attivitá elettrodermica (EDA), sudorazione e stato di coscienza, le quali forniscono un quadro completo delle risposte psicofisiche del corpo umano a determinati stimoli o a particolari condizioni, quali patologie e/o lesioni.

Molti parametri fisiologici sono tra loro collegati da processi interni al corpo umano, ad esempio uno sforzo intenso comporta aumenti sia del battito cardiaco sia della frequenza respiratoria: quest'ultima infatti subisce un incremento poiché per far fronte all'affaticamento il cuore deve pompare una maggiore quantitá di sangue ricco di ossigeno ed un aumento degli atti respiratori garantisce la possibilità per il muscolo cardiaco di disporre di tale molecola in misura sufficiente a tale scopo.

Il battito cardiaco a riposo in un soggetto sano normalmente si attesta intorno ai 70 battiti per minuto (bpm), valore normalmente assunto come riferimento; prima di valutare una frequenza cardiaca come patologica bisogna però tenere in considerazione la storia clinica e la tipologia di vita condotta dal paziente: soggetti obesi avranno un battito a riposo accelerato rispetto a valori appartenenti ad un range considerato fisiologico per la maggior parte delle persone normopeso.

Discorso inverso invece per quanto riguarda gli atleti, specialmente fondisti o agonisti in sport di resistenza, i quali presentano spesso una bradicardia asintomatica dovuta al grande allenamento del muscolo cardiaco.

Bisogna specificare peró un'importante caratteristica che riguarda il battito: uno stesso valore elevato di bpm puó essere raggiunto sia durante un'intensa attività fisica sia a causa di una tachicardia patologica.

Nel primo caso una volta terminato lo sforzo il valore del battito torna a valori normali mentre nel secondo persiste nel tempo; bisogna quindi essere consapevoli di come un dato valori dell'heart rate (HR) sia stato raggiunto prima di segnalare come patologico un soggetto sano o, nel caso peggiore, fare l'opposto.

Tutte le persone comunque presentano, durante un'attivitá fisica o sperimentando

un'emozione forte, un incremento nella frequenza cardiaca di una quantitá direttamente proporzionale all'intensitá dello sforzo e/o dello stimolo emotivo.
Nella VR, durante esperienze in cui il soggetto è solo spettatore della scena e non vengono forniti stimoli emotivi marcati, è stato dimostrato che il battito cardiaco aumenta, anche se in maniera poco marcata (Barret *et al*., 2016).
Barret J. e colleghi hanno infatti misurato che guardare in un visore VR una stessa scena reale vista in precedenza causa in media un aumento nella frequenza cardiaca pari a circa 1 bpm rispetto a quella che si ha guardando semplicemente la scena su un monitor.
Nei prossimi anni molte saranno ancora le sfide da superare per far sì che la VR possa essere usata stabilmente in ambito medico e biomedico ma, visto i gli incoraggianti risultati conseguiti dalla ricerca in un periodo di tempo così breve, è prevedibile che con una serie di investimenti su ricerca e sviluppo dei dispositivi di realtà virtuale si possa, in un futuro prossimo, studiare fenomeni fino ad ora non possibili da analizzare e migliorare notevolmente le tecnologie di diagnostica e/o di terapia medica andando a ridurre il disagio ed i rischi per il paziente.
In un secondo studio (Blakendaal *et al*., 2015), si è invece riscontrato che fornendo all'utente degli stimoli verbali, visivi e uditivi di grande intensitá, che in tale ricerca erano rappresentati da una seconda persona che urlava verso il soggetto, la frequenza cardiaca aumentava percentualmente molto di più nel caso reale rispetto a quello simulato in VR, che presentava comunque un aumento, sebbene lieve, dei bpm medi.

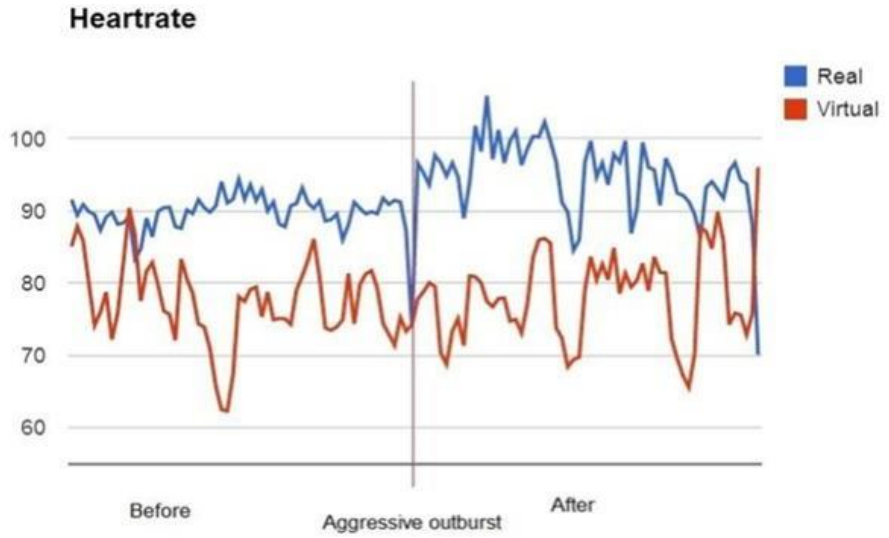

Figura 1.9 - Battito cardiaco prima e dopo stimolo ansiogeno. [Blankendaal et al., "Are Aggressive Agents as Scary as Aggressive Humans?", 2015, p. 557].

Il fatto che questo parametro presenti variazioni percentuali cosí lievi del proprio valore viene spesso identificato come un limite della VR; in molti studi finora effettuati i soggetti testati lamentavano infatti una scarsa immersivitá della simulazione virtuale, la quale di fatto veniva vista più come un gioco che come un'esperienza simile a quella reale comportando una variazione molto minore della frequenza cardiaca rispetto a quella che si avrebbe sottoponendo agli utenti la stessa scena nel mondo esterno.

Analisi della frequenza cardiaca in simulazioni virtuali maggiormente realistiche ed immersive saranno ancora necessarie per meglio analizzarne e comprenderne le variazioni, delle quali peró, come visto, si è giá riscontrata la tendenza a presentare un aumento più o meno significativo a seconda degli stimoli forniti.

Nonostante le problematiche appena descritte il battito cardiaco si presenta come il parametro fisiologico principe da indagare negli studi di VR, sia per la facilitá nel registrarne l'andamento, per il quale basta un cardiofrequenzimetro, dispositivo oggi di dimensioni ridottissime, dal prezzo contenuto, molto preciso e in grado di eseguire misure rapide e continuative, sia per le maggiori variazioni presentate nel proprio valore a parità di sforzo richiesto o di stimolo sensoriale fornito.

Proprio per questi motivi la frequenza cardiaca sarà uno dei parametri investigati nel caso studio qui presentato.

Un altro parametro fisiologico molto importante è la pressione arteriosa, ovvero la pressione del sangue nella circolazione arteriosa sistemica a livello del cuore, la quale viene caratterizzata con due valori: pressione sistolica e pressione diastolica, entrambe misurate in millimetri di mercurio (mmHg).

La pressione sistolica, o massima, rappresenta il valore assunto durante la contrazione del miocardio mentre quella diastolica è la pressione registrata durante la fase di rilassamento delle camere cardiache.

Lo strumento con cui si ottengono le misure della pressione arteriosa si chiama sfigmomanometro, dispositivo normalmente applicato al braccio o al polso del soggetto e che permette una lettura affidabile di tale parametro in qualche secondo.

Cosí come per la frequenza cardiaca anche per il polso bisogna tenere conto di come un dato valore di pressione sia stato raggiunto, specialmente se elevato; anche in questo caso valori maggiori a quelli basali potrebbero infatti essere stati superati sia per via di uno sforzo fisico sia a causa di un'ipertensione anomala.

Come visto in precedenza se il valore sopra alla norma dovesse persistere nel tempo

esso sarebbe probabilmente indice di ipertensione patologica mentre un picco seguito da un ritorno a valori normativi della pressione è di solito collegata ad una attività che richiede un impegno muscolare importante.

Essendo quindi fortemente legata sia alla storia clinica pregressa del soggetto sia a patologie molto comuni, come per l'appunto l'ipertensione, la pressione arteriosa non viene di solito presa in considerazione come parametro durante gli studi condotti in realtá virtuale; bisogna comunque sottolineare che aumenti nel battito cardiaco hanno solitamente come conseguenza un innalzamento della pressione arteriosa, fattore che potrebbe essere utile tenere a mente nell'analisi delle variazioni del valore di tali parametri.

Anche questo parametro fisiologico, vista la sua fino ad ora scarsa indagine negli esperimenti di realtà virtuale e/o aumentata, è stato registrato durante le simulazioni del lavoro di tesi qui presentato, per vedere se effettivamente una sua analisi possa essere utile per chiarire i dubbi che persistono sull'utilità o meno di indagare tale parametro.

Tra i parametri fisiologici normalmente indagati vi è anche la saturazione emoglobinica arteriosa, parametro che indica la percentuale di molecole di ossigeno legate alla proteina emoglobina e i cui valori in condizioni normali si attestano fra il 95% ed il 100%.

Valori inferiori a quelli citati sono indice di ipossia, ovvero una ridotta presenza di ossigeno nella circolazione: dal 91% al 94% si parla di ipossia lieve, mentre valori inferiori al 90% indicano un'ipossia grave e quindi una importante deficienza di ossigeno nell'organismo.

La saturazione, abbreviata comunemente con SpO_2, viene misurata con uno strumento portatile, chiamato indifferentemente pulsossimetro, saturimetro od ossimetro, il quale è formato da una pinza che presenta due diodi fotoemittenti ed un rilevatore, posti sui lati opposti del dispositivo.

I pulsossimetri sfruttano la spettrometria nell'infarosso e nel rosso vicino per rilevare la quantitá di radiazione assorbita dall'ossiemoglobina e dall'emoglobina non legata all'ossigeno.

L'emoglobina legata all'ossigeno assorbe soprattutto nell'infrarosso vicino, mentre quella non legata maggiormente nella luce rossa; sfruttando questa differenza l'unitá di elaborazione dati dello strumento fornisce in uscita il valore di saturazione.

Il saturimetro per funzionare deve essere posto o su un lobo dell'orecchio o su un dito del soggetto, mentre nei neonati è preferibile posizionarlo sul piede.
I risultati dell'analisi eseguita dall'apparecchio vengono forniti dopo pochi secondi e permettono un'osservazione prolungata della SpO_2 del paziente nonché una rapida indicazione dell'eventuale necessitá di ventilazione assisitita, fattori che lo rendono utilissimo e largamente utilizzato in ambito medico.
Negli studi di realtá virtuale e/o aumentata la SpO_2 è stata raramente monitorata e, nei pochi casi in cui veniva presa in considerazione, è stata utilizzata come parametro rappresentativo dello stato di ansia del soggetto (Bissonnette *et al*., 2011), nonostante i risultati maggiormente significativi a tale riguardo siano attribuiti alle variazioni del battito cardiaco.
La SpO_2 é stata anche registrata in trials di riabilitazione eseguiti in ambiente virtuale (Chuang *et al*., 2005), ma essendo per l'appunto soggetti che necessitavano riabilitazione i risultati ottenuti non sono estendibili alla popolazione sana.
Si può quindi affermare che negli esperimenti con la VR la saturazione può essere presa in considerazione ma, poiché anche in caso di una marcata iperventilazione la quantità di ossigeno in circolo non subisce variazione importanti, presenti invece nei livelli di anidride carbonica, le sue variazioni percentuali saranno piccole ed è quindi preferibile utilizzare come parametri rappresentativi quelli che presentano variazioni percentuali maggiori durante uno stress psicofisico, come ad esempio il battito cardiaco e la frequenza respiratoria.
Nonostante quanto appena detto nel seguente caso studio la SpO_2 è stata registrata al fine di analizzarne la correlazione o meno con gli altri parametri fisiologici indagati e soprattutto per poter avere un'indicazione affidabile riguardo un'eventuale iperventilazione manifestata dal soggetto, caso nel quale si sarebbe registrato un aumento della SpO_2 più o meno marcato in base all'entità dell'iperventilazione stessa.
Oltre ai motivi appena citati si è deciso di acquisire la saturazione per poter aggiungere i risultati ottenuti alla scarsa letteratura scientifica ed accademica inerente le variazioni di tale parametro in simulazioni di realtà virtuale.

CAPITOLO II

ANSIA ED ATTACCHI DI PANICO

2.1 Sintomatologia

Gli attacchi di panico sono delle alterazioni psicofisiche dello stato di un soggetto in seguito ad uno stimolo esterno, sia esso reale o immaginato.
Stime recenti hanno dimostrato che oltre l'8% della popolazione ha sofferto almeno una volta di un attacco, percentuale che incrementa notevolmente se si considerano anche gli episodi di grande ansia, condizione psicofisica che comporta circa gli stessi sintomi del panico vero e proprio, anche se in maniera ridotta (Casto, 2019).
Sia gli attacchi di panico sia le condizioni di forte stress causano infatti una variazione nel valore dei parametri fisiologici rispetto a quelli misurati con soggetto a riposo; se quindi si calcola l'aumento percentuale che un dato parametro fisiologico ha subito durante un'esperienza ansiogena risulta possibile quantificare, anche se con un'incertezza non trascurabile, lo stato d'ansia della persona.
Per riconoscere un episodio di panico bisogna quindi guardare i sintomi manifestati dal soggetto, in particolare sono molto frequenti palpitazioni e battito cardiaco accelerato, aumentata sudorazione, pallore della pelle, iperventilazione, tremori, nausea e/o vertigini.
A questi si aggiungono spesso sintomi psicologici o psicosomatici quali paura di morire e, nei casi più gravi, depersonalizzazione e distaccamento dalla realtá (Bryant e Panasetis, 2000).
Solitamente il culmine della crisi viene raggiunto entro dieci minuti dall'inizio dell'attacco, presentando in seguito una fase di remissione dei sintomi.
Il parametro maggiormente rappresentativo ai fini dell'individuazione di un attacco di panico è l'andamento del battito cardiaco, fattore da cui sono fortemente influenzati il ritmo della ventilazione e i valori di pressione sistolica e diastolica.
Durante le crisi di panico la frequenza cardiaca puó passare bruscamente da un ritmo normale ad una tachicardia di 130/150 battiti al minuto ed anche la remissione del sintomo non è graduale; per quanto concerne la ritmicitá delle contrazioni cardiache si nota che, durante un attacco, viene conservata la regolaritá del ritmo

durante l'aumento del battito.
Se la tachicardia venisse raggiunta con un'irregolaritá nelle contrazioni ciò sarebbe rappresentativo di un problema preesistente di natura cardiologica.
Durante una crisi ansiogena il battito eccessivamente accelerato puó comportare come conseguenze sia un'iperventilazione sia un aumento della pressione arteriosa.
L'iperventilazione, ovvero un aumento della frequenza respiratoria, comporta un incremento della SpO_2 del soggetto andando a diminuire la quantitá di CO_2 presente nell'organismo, con variazioni di quest'ultima anche molto maggiori di quelle della saturazione.
La tachicardia può inoltre comportare una maggiorazione delle pressioni diastolica e sistolica rispetto ai valori a riposo; questa ipertensione è un altro sintomo che può permanere svariati minuti una volta terminato l'attacco di panico causando una sensazione di debolezza e/o capogiri alla vittima fino ad arrivare a condizioni tali da indurne lo svenimento.

2.2 Esperienze ansiogene ed effetti psicofisici indotti

Con il termine esperienza ansiogena, durante la seguente trattazione, verranno intese tutte quelle situazioni o contesti in cui la persona coinvolta subisce un incremento non trascurabile del proprio livello d'ansia.
Durante la prima fase di una situazione di forte stress si possono avere diverse risposte psicologiche che portano a due reazioni comportamentali opposte: 'Fight or flight' (Wester, 2011).
La prima tipologia comportamentale risulta in un atteggiamento di scontro verso lo stimolo che ha creato lo stato di forte stress, facendo sí che il soggetto sia propenso ad affrontare la minaccia; la seconda invece non è altro che la fuga messa in atto di fronte ad una situazione ritenuta pericolosa.
Queste due reazioni non sono assolutamente da intendere come negative in quanto sono gli adattamenti evolutivi che il mondo animale ha seguito per sopravvivere a situazioni di minaccia alla propria incolumitá.
Non è quindi solo il genere umano a possedere questo tipo di risposte, ma tutto il

mondo animale.

Come evidenziato dal dottor Ciro Salzano (2015) sia il comportamento di fuga che quello di attacco rispetto alla minaccia comportano risposte fisiologiche in comune tra cui: una vasocostrizione che, riducendo l'apporto di sangue alla periferia del corpo, aumenta quello verso gli organi principali, un aumentato rilascio di endorfine, le quali aumentano la soglia del dolore ed un rilascio di cortisolo che comporta un aumento della glicemia.

Quest'ultima modifica fa sí che il corpo abbia una maggiore disponibilitá energetica, dovuta all'aumentato livello di zucchero nel sangue, per affrontare la situazione di pericolo.

A tutto questo si aggiunge il rilascio di adrenalina, ormone e neurotrasmettitore che causa una serie di adattamenti psicofisici dell'organismo, tra cui gli aumenti del battito cardiaco e della pressione arteriosa.

Oltre alle reazioni fight or flight si può avere, quando si verifica il panico e non una semplice situazione ansiogena, la risposta 'freeze'.

Il freezing, anche chiamato immobilitá tonica, è stato soggetto a vari studi nel corso degli ultimi anni che hanno portato a diverse teorie riguardo le sue manifestazioni.

Nel 2002 Barlow suggerí che l'immobilitá di fronte ad un pericolo venisse manifestata se sia l'attacco che la fuga sembravano avere poche possibilitá di successo contro la minaccia (Maner *et al*., 2008).

Un'altra ipotesi reputa invece il freezing come un fenomeno che si verifica quando, a livello psicologico, il nostro organismo non riesce a fronteggiare l'eccesivo livello di stress, culminando con un'immobilitá tanto motoria quanto vocale (ibidem).

2.3 Terapia del panico tramite VR

Viste le nuove frontiere di indagine in ambito riabilitativo e/o psicologico aperte dalla realtà virtuale negli ultimi anni si sono susseguiti una serie di studi atti a validarne le potenzialità ed a cercare di ridurne i limiti.

Tra le ricerche con soggetto lo studio dell'ansia in ambiente virtuale che hanno trovato maggiore risonanza nel mondo scientifico si hanno certamente quelle legate

al panico (Baños *et al*.,2017); in queste venivano presentate agli utenti diverse tipologie di simulazioni VR in base all'obiettivo perseguito: terapia e riabilitazione psicologica in soggetti affetti da disturbi dell'ansia ed esposizione di soggetti sani a scenari di VR fortemente stressanti per vedere se con la tecnologia e le conoscenze attuali fosse possibile creare virtualmente condizioni ansiogene importanti.
Quest'ultima applicazione sarebbe di fondamentale importanza per poter addestrare efficacemente personale qualificato a gestire certe tipologie di emergenze senza esporre nessun candidato ai rischi inutili corsi invece nell'addestramento sul campo.
Questi studi hanno evidenziato un'ottima percentuale di persone che mostrava un netto miglioramento in quanto a gestione delle proprie emozioni nella condizione stressante sotto indagine; su questo fronte infatti, come già evidenziato in 1.1.1, la terapia in VR di condizioni psicologiche quali agorafobia, aracnofobia, paura di volare e disturbi legati all'ansia comporta numerosi vantaggi rispetto alla sola terapia in vivo e/o all'esposizione del soggetto alla causa scatenante del suo malessere.
Esporre soggetti non affetti da crisi di panico a scenari virtuali fortemente stressanti si è invece dimostrato un insuccesso in molti casi, con risultati molto lontani dagli effetti psicofisici che tali esperienze avrebbero indotto se vissute realmente (Blakendaal *et al*.,2015).
Grazie al continuo processo di evoluzione tecnologica dei dispositivi di realtà virtuale è auspicabile che un sempre maggior numero di studi si ponga come obiettivo la terapia dei disturbi psicologici legati all'ansia utilizzando la tecnologia VR; in questo modo si potrebbero andare a ridurre i limiti che persistono in tale ambito al momento di stesura di questa tesi.
Una volta decretate le potenzialità della realtà virtuale per quanto riguarda la creazione di simulazioni virtuali realistiche si renderebbe infatti possibile lo studio, con un discreto livello di affidabilità, del comportamento e delle reazioni fisiologiche umane in situazioni di forte stress psicofisico.
Quanto appena detto è stato uno dei principali obiettivi perseguiti da questo lavoro di tesi in quanto si è reputato che, grazie alle moderne tecnologie impiegate in esso, si potessero superare i limiti dello scarso realismo e della scarsa immersività delle simulazioni andando così a verificare se con gli strumenti attuali sia possibile indurre una condizione di stress elevato semplicemente sottoponendo agli utenti una simulazione VR fortemente ansiogena.

CAPITOLO III

STRATEGIE DI GESTIONE E MONITORAGGIO ESODO IN CASO DI INCENDIO

3.1 Statistiche

Ogni anno in Italia, secondo quanto riportato dall'annuario statistico dei Vigili Del Fuoco per il 2017 (Cirillo *et al*., 2017), ultimo anno disponibile al momento di stesura di questa tesi, incendi ed esplosioni causano più di 120 morti e 500 feriti: questi due eventi non si verificano però con la stessa frequenza e numerositá ogni anno ma presentano un andamento tutt'altro che prevedibile.

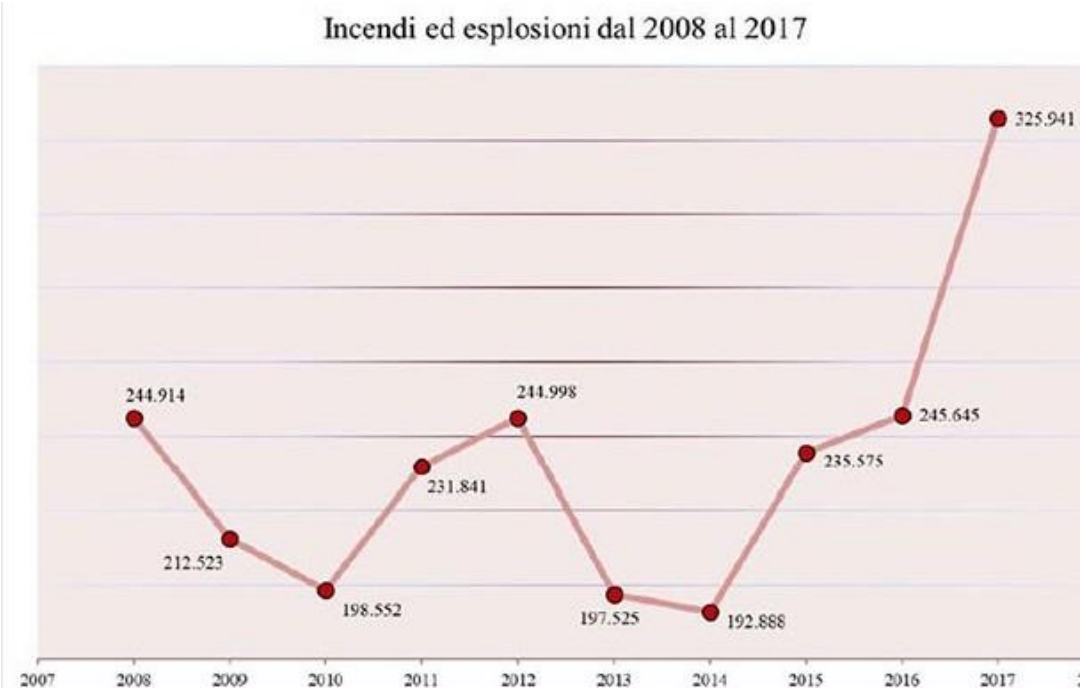

Figura 3.1 - Andamento del numero di incendi ed esplosioni in Italia dal 2008 al 2017. Fonte: https://www.studio3a.net/statistiche-incendi-in-italia/.

Il 2017 è stato per l'Italia l'anno peggiore dell'ultimo decennio per quanto riguarda il numero di incendi ed esplosioni, avendo necessitato di oltre 320.000 interventi da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Come evidenziato da Barillo e Goode (1996) una grande percentuale di vittime di

tali calamità è rappresentata da bambini sotto gli undici anni e da anziani di oltre settanta anni: è infatti emerso che gli incendi rappresentano la prima causa di morte domestica per i bambini e la seconda se si considerano tutte le etá.

Negli incendi la principale causa di decesso è rappresentata dall'unione di inalazione di fumo e ustioni, le quali contano per circa il 65% delle morti totali.

Le sole inalazioni di fumo causano invece il 25% dei decessi mentre le ustioni il 10% circa (Barillo e Goode, 1996).

Nella maggior parte degli incendi l'evacuazione di alcune persone rappresenta una criticitá, in particolar modo soggetti affetti da disabilità o patologie, casistiche entrambe molto presenti all'interno delle strutture ospedaliere e che necessitano di particolari piani e vie di esodo.

Studi dettagliati delle varie casistiche di incendio hanno sottolineato che il 66% dei feriti e circa la metá dei morti si potrebbero evitare (Kuligowski, 2013); questo avviene poiché molti soggetti, non essendo addestrati su come comportarsi in caso di tale evenienza, perdono tempo in attivitá che ritardano l'inizio delle manovre di esodo andando così a ridurre drasticamente le probabilitá di sopravvivenza.

Tra le azioni più frequenti che ritardano il raggiungimento della salvezza si hanno: cercare di spegnere il fuoco, allertare altri del pericolo nell'edificio e/o assisterli nell'evacuazione.

Per quanto riguarda le cause degli incendi sempre Barillo e Goode hanno evidenziato che una grandissima incidenza di tali eventi si verifica a causa del vizio del fumo, soprattutto fumare nel letto o sul divano; a questa scaturigine se ne aggiungono altre due che contano anch'esse molti casi: incendi in cucina o fiamme divampate da sistemi di riscaldamento.

I medesimi autori hanno infatti mostrato come un elevatissimo numero di roghi si abbia nel periodo invernale, perlopiù dovuto a scintille emanate dalle stufe, e durante l'orario di preparazione della cena, causato da un utilizzo distratto o improprio delle fiamme a gas presenti nelle cucine.

Visto il grande numero di possibili cause di incendio risultano molto importanti sia la prevenzione sia l'educazione sull'utilizzo di materiali infiammabili, entrambi fattori che potrebbero andare a migliorare l'attuale statistica che vede circa l'80% dei roghi svilupparsi all'interno di strutture residenziali.

3.2 Procedure di esodo

Nonostante gli enormi miglioramenti che ogni anno vengono apportati ai dispositivi ed agli impianti antincendio risulta ancora di vitale importanza la prevenzione in tale ambito.

Con il termine prevenzione antincendio si intendono tutte le norme vigenti che devono essere rispettate per ridurre al minimo i rischi correlati a tale calamitá.

Uno dei fattori più importanti ai fini della prevenzione è l'identificazione delle migliori strategie di fuga e di esodo in caso di emergenza, al fine di rendere più veloci le procedure di evacuazione e limitare rischi e danni a persone e/o cose presenti nell'edificio.

Il documento principale che viene redatto in fase di prevenzione e valutazione del rischio è, per ogni attivitá lavorativa, il PEE (piano di emergenza ed evacuazione) il quale contiene le indicazioni che consentono di gestire al meglio le situazioni di pericolo seguendo le procedure di esodo e/o d'emergenza in esso descritte.

Tra le principali caratteristiche che il PEE deve possedere si citano: la sintesi, la facile comprensibilitá, contenere tutte le informazioni necessarie a gestire situazioni di pericolo e l'essere disponibile e compreso da tutti i dipendenti dell'attivitá per la quale viene redatto.

Oltre a quelli citati è importante che il piano di emergenza ed evacuazione contenga anche i compiti che i lavoratori devono svolgere durante l'emergenza, in modo che ogni persona abbia ben chiaro il ruolo assegnatogli al fine di ridurre il rischio durante le manovre di esodo.

Per attivitá lavorative con meno di dieci dipendenti il PEE non è obbligatorio purché vengano adottate misure cautelative per tutelare il personale e le persone dentro l'edificio in caso di emergenza.

Il contenuto del PEE deve essere compilato in modo che contenga informazioni e linee guida sintetiche ma esaustive riguardanti: i numeri di soccorso da chiamare e le procedure di chiamata, le azioni che i lavoratori e le persone incaricate di sovrintendere le procedure di esodo devono mettere in atto, le norme specifiche di assistenza a persone disabili, la mappa dell'edificio con relative uscite di emergenza e punti di ritrovo, l'ubicazione dei dispositivi antincendio e le vie di esodo.

In particolare per quest'ultime bisogna dimostrare in fase di redazione del PEE che

l'ASET, tempo disponibile per effettuare l'esodo in sicurezza o, in altre parole, il tempo in cui le condizioni ambientali non risultano dannose per gli occupanti l'edificio, sia maggiore del RSET, tempo richiesto per l'esodo.
Il piano di evacuazione è quindi solo una parte del piano d'emergenza, il quale tiene conto anche della gestione di tutte quelle situazioni di pericolo che non necessitano peró di un'evacuazione dell'edificio.
Proprio per la grande utilitá del PEE una sua eventuale mancanza comporta pene molto severe per il datore di lavoro, soggetto in tal caso a denuncia e/o a procedimenti giudiziari.
Altrettanto grave che non avere il PEE e l'averne più di uno, in quanto in situazioni d'emergenza persone diverse che seguono differenti istruzioni possono risultare in un'evacuazione disordinata e che tralascia azioni importanti, col risultato di ritardare il raggiungimento della salvezza per gli occupanti la struttura ed aumentando quindi la possibilità di eventi fatali.
Proprio per questi motivi il DM del 10.03.98, "pianificazione delle procedure da seguire in caso di incendio", contenente tra le altre cose le disposizioni inerenti i PEE, va rispettato pedissequamente e con la massima cura; a ció si aggiunge un ulteriore fattore di tutela per la sicurezza antincendio, ovvero il fatto che i piani d'emergenza ed evacuazione debbano essere aggiornati e quindi di fatto revisionati con cadenza circa annuale.
Per un'efficace prevenzione bisogna peró affiancare al PEE tutte le conoscenze che negli anni si sono acquisite in materia di difesa contro gli incendi e le altre emergenze; a questo proposito oggi si dimostrano particolarmente attivi studi e ricerche di nuovi materiali e dispositivi antincendio che possano andare a diminuire ulteriormente il rischio derivante da tali eventi.

3.3 Piano di emergenza in edifici scolastici

Come per le strutture lavorative standard anche gli edifici scolastici devono possedere il PEE a cui si aggiungono però alcuni obblighi normativi tra cui i vincoli e le linee guida riguardanti le prove di evacuazione.

Come indicato nel DM 26/08/92 risultano infatti obbligatorie almeno due prove di evacuazione durante l'anno scolastico a cui, secondo la nota del 18/04/2018 dei VVF, bisogna aggiungere un minimo di due esercitazioni antincendio.

Come abbiamo detto in precedenza i piani di evacuazione tengono conto di tutte le situazioni di pericolo che ci si potrebbe trovare a fronteggiare in caso di emergenza, quindi non solo gli incendi.

A questo proposito, nonostante non esista un'unica normativa che regoli lo svolgimento delle prove di evacuazione, si ritengono normalmente valide le modalitá di esercitazione di seguito riportate.

Nelle prove di evacuazione per terremoti la campanella emette tre suoni brevi, segnale a cui tutti, sia studenti che docenti, devono ripararsi sotto tavoli o architravi; a tali suoni seguirá un segnale continuo che indica di abbandonare l'edificio.

Per quanto concerne invece le prove di evacuazione antincendio si predispone di solito la campanella affinché produca un suono prolungato e continuo, il quale sancisce di iniziare immediatamente le manovre di esodo predisposte nel PEE.

Nelle strutture scolastiche, in caso di emergenza, le vie di esodo devono essere percorse rispettando una disposizione in fila indiana, in cui l'alunno apri-fila è quello più vicino alla porta mentre l'alunno chiudi-fila è quello più lontano da essa; quest'ultimo ha come compiti quelli di assicurarsi che nell'aula non sia presente più nessuno ed aiutare eventuali compagni in difficoltà (Barone, 2019).

Nel caso siano presenti studenti costretti su una sedia a rotelle i quali, per ovvi motivi, non riescono a seguire le vie di esodo, essi dovranno essere scortate allo spazio calmo più vicino dalla persona incaricata di tale compito.

Gli spazi calmi sono stanze presenti all'interno dell'edificio scolastico realizzate secondo apposite normative antincendio e di sicurezza in cui lo studente disabile deve attendere l'arrivo dei soccorsi.

Al termine dell'evacuazione, di solito identificata con il momento in cui viene raggiunta la zona sicura di ritrovo indicata nel PEE, il docente di ogni classe deve redigere il modulo di evacuazione, documento con cui si verifica mediante un appello che nessuno studente sia rimasto all'interno dell'edificio scolastico.

3.4 Segnaletica antincendio e di salvataggio

La segnaletica antincendio e quella di salvataggio fanno parte della segnaletica di sicurezza, la quale fornisce indicazioni riguardanti la sicurezza sul posto di lavoro, luoghi pubblici e/o privati.

La segnaletica di sicurezza, nonostante il nome, non è composta solo da cartelli, ma anche da segnali luminosi, acustici ed altri tipi di dispositivi in grado di attirare l'attenzione ed essere facilmente interpretabili durante una situazione d'emergenza.

I principali segnali facenti parte della segnaletica di sicurezza sono: i segnali di divieto, che vietano comportamenti che potrebbe causare l'insorgenza di un pericolo, i segnali di prescrizione, i quali prescrivono la condotta da adottare, i segnali di avvertimento, che avvertono di un rischio o di un pericolo ed infine i segnali di salvataggio o di soccorso che forniscono, ad esempio, indicazioni sulle uscite di sicurezza.

Le maggiori differenze fra le varie tipologie di segnali sono, oltre all'indicazione fornita dal cartello, le loro forma e colore; sono proprio le differenze e le peculiarità dei segnali che, insieme al pittogramma, permettono di evincere tutte le informazioni necessarie alla loro interpretazione.

Colore	Significato o scopo	Indicazioni e precisazioni
Rosso	Segnali di divieto	Atteggiamento pericolosi
	Pericolo - Allarme	Alt, arresto, dispositivi di interruzione d'emergenza, sgombero
	Materiali e attrezzature antincendio	Attenzione, cautela Verifica
Giallo e giallo-arancio	Segnali di avvertimento	Identificazione e ubicazione
Azzurro	Segnali di prescrizione	Comportamento o azione specifica - obbligo di portare un mezzo di sicurezza personale
Verde	Segnali di salvataggio o di soccorso	Porte, uscite, percorsi, materiali, postazioni, locali
	Situazione di sicurezza	Ritorno alla normalità

Figura 3.2 – Segnaletica di sicurezza. [D.Lgs 9 aprile 2008, nr. 81].

Vengono di seguito presentate le normative riguardanti la segnaletica di sicurezza esposte nel decreto legislativo numero 81 del 9 aprile 2008:

- I cartelli di divieto devono presentare forma rotonda, pittogramma nero su fondo bianco con bordo e banda rossi; quest'ultima deve andare verso il basso da sinistra

verso destra e coprire parte del pittogramma.

Figura 3.3 – Esempio cartello di divieto: vietato fumare. [D.Lgs 9 aprile 2008, nr. 81].

- I cartelli di avvertimento devono essere realizzati con forma triangolare, bordo nero e disegno nero su sfondo giallo, con il colore giallo che deve coprire almeno il 50% della superficie totale del cartello.

Figura 3.4 – Esempio cartello di avvertimento: materiale radioattivo. [D.Lgs 9 aprile 2008, nr. 81].

- I cartelli di prescrizione devono essere di forma rotonda e presentare pittogramma bianco su sfondo azzurro, con quest'ultimo occupante almeno il 50% dell'area del segnale.

Figura 3.5 – Esempio di cartello di prescrizione. [D.Lgs 9 aprile 2008, nr. 81].

- I cartelli di salvataggio devono essere forma quadrata oppure rettangolare ed avere pittogramma bianco su fondo verde con quest'ultimo che, come nei casi visti in

precedenza, deve ricoprire almeno la metà della superficie del cartello.

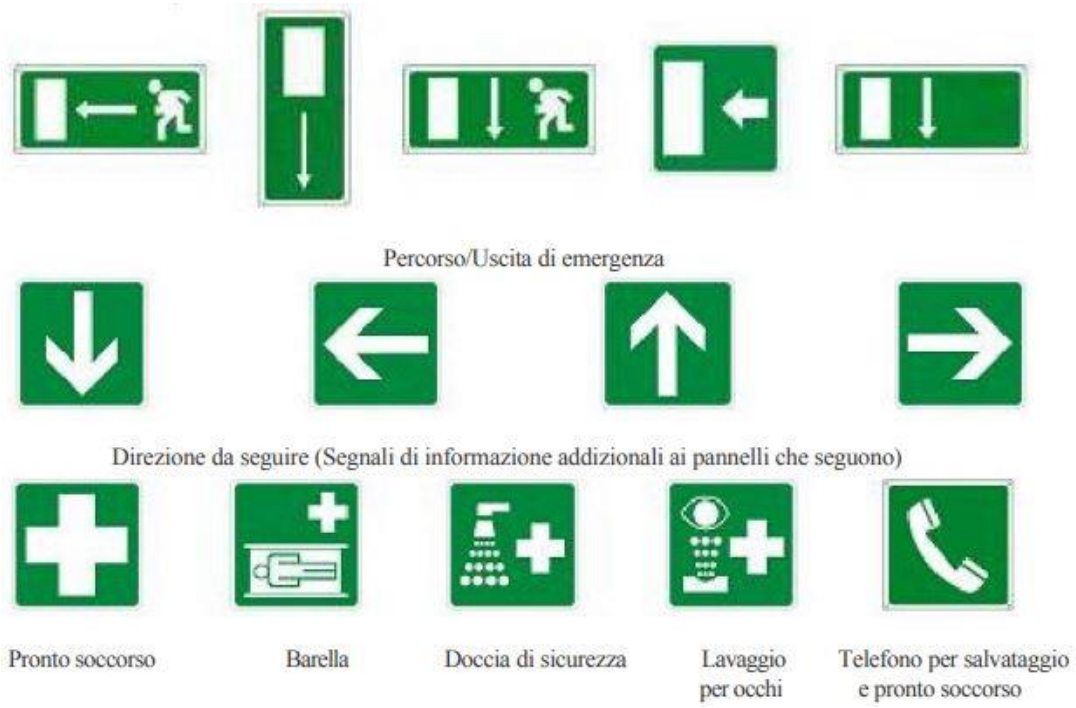

Figura 3.6 - Segnaletica di salvataggio. [La segnaletica di sicurezza, Sapra formazione, 2009].

- I cartelli per le attrezzature antincendio hanno invece forma o quadrata o rettangolare e disegno bianco su sfondo rosso, con il colore del fondo che deve rispettare la stessa condizione vista per le altre tipologie di segnale.

Figura 3.7 – Esempio di cartello antincendio: estintore. [D.Lgs 9 aprile 2008, nr. 81].

Dal momento della sua stesura il D.Lgs. 81/08 (Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro) è stato oggetto di revisioni e di successive modifiche tra le quali citiamo il D.M. del 18/09/2002, che regola l'approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie

pubbliche e private.

La segnaletica deve quindi essere intesa come parte integrante delle misure di prevenzione e protezione da attuare per il controllo di uno o più rischi nell'ambiente di lavoro.

Lo stesso decreto stabilisce inoltre i criteri per la scelta dei segnali e le relative caratteristiche, in particolare esso stabilisce che la forma ed il colore di ogni segnale di sicurezza debbano essere conformi alla norma ISO 3864-1.

Bisogna però sottolineare che ogni nazione adotta una tipologia di segnaletica di sicurezza diversa e questo potrebbe portare a confusione e/o ad una errata interpretazione dei segnali.

Per evitare ciò nel 2012 è entrata in vigore la norma UNI EN ISO 7010:2012, la quale sancisce una serie di segnali di sicurezza riconosciuti universalmente da adottare per la prevenzione antincendio e degli infortuni, nelle evacuazioni d'emergenza o per fornire indicazioni sulle possibili fonti di pericolo presenti all'interno di strutture lavorative.

Come visto all'interno della segnaletica di sicurezza vi sono varie categorie di segnali; quelli di interesse per questo lavoro di tesi, svolgendosi l'esperienza virtuale durante un incendio in una scuola, sono quelli antincendio e di salvataggio.

La segnaletica deve fare riferimento, per i segnali non espressamente definiti nella norma legislativa, alle norme UNI (ente italiano di Unificazione), tra cui citiamo la UNI 7546-5, che regola i percorsi di esodo verso le uscite d'emergenza, l'UNI 7546-6 che tratta le regole per la disposizione degli estintori e l'UNI 7546-9 la quale norma tutto quello che concerne le uscite d'emergenza.

Prima di andare ad eseguire l'installazione dei cartelli è necessario effettuare un dimensionamento degli stessi al fine di renderli facilmente individuabili.

La grandezza dei segnali di sicurezza e quindi anche di quelli antincendio e di salvataggio deve essere tale da garantire la giusta visibilità del segnale da una certa distanza secondo la formula:

$$A > \left(\frac{L^2}{2000}\right) \qquad (3.1)$$

, dove A è la dimensione della superficie del segnale ed L è la distanza fra il segnale considerato e quello ad esso più vicino.

Esistono inoltre delle normative che per ogni tipologia di cartello regolano sia la

dimensione minima del pittogramma sia l'ubicazione corretta del segnale una volta installato, elementi che esulano dagli obiettivi di questa tesi e pertanto vengono solamente citati.
Importante da sottolineare è anche che i segnali di salvataggio, essendo nell'immaginario collettivo identificati come appartenenti alla categoria dei segnali antincendio soprattutto da chi non ha esperienza nel settore di prevenzione antincendio, verranno chiamati con tale nome nel questionario sottoposto ai candidati alla fine delle esperienze virtuali, esposto in 4.4.6, al fine di non creare problemi di interpretazione nelle domande ad essi relativi.

3.5 Variazione parametri vitali durante un incendio

Vista la pericolositá intrinseca degli incendi ad oggi non si hanno molti dati a disposizione riguardanti la variazione dei parametri fisiologici in persone coinvolte in tali situazioni d'emergenza; una loro misura precisa comporterebbe infatti esporre le persone partecipanti allo studio ad un rischio troppo elevato per la propria incolumità.
I pochi dati a disposizione derivano da ricerche condotte sui vigili del fuoco (Griggs e Manning, 1983), i quali hanno però subito un addestramento e non vengono colti alla sprovvista da un eventuale rogo, fattore che lascia supporre che le loro variabili fisiologiche subiscano variazioni differenti rispetto a quelle di persone prese alla sprovvista se coinvolte in quel genere di avvenimento.
Inoltre parametri quali la saturazione, la frequenza respiratoria ed i livelli di anidride carbonica nel corpo umano potrebbero presentare notevoli differenze fra un incendio e l'altro in quanto fortemente influenzate dalla quantitá di fumo nella quale si trova il soggetto; questo potrebbe portare ad una incorretta interpretazione dei risultati, sfida in più che la ricerca scientifica si trova ad affrontare nello studio degli incendi.
Per quanto riguarda i vigili del fuoco Griggs e Mannings (1983) hanno riscontrato che durante esercitazioni di spegnimento di incendio il battito cardiaco dei pompieri saliva a circa l'80% del massimale, valore determinato precedentemente con test di

fatica su tapis roulant, durante il primo minuto di intervento per poi aumentare ancora fino al 90-100% della massima frequenza raggiungibile fino a che le fiamme non venivano estinte.
I parametri respiratori dei Vigili del Fuoco non vengono tenuti in considerazione in quanto non sarebbero conclusivi visto che l'aria da loro respirata durante un incendio viene fornita da specifici apparati in grado di erogare aria non contaminata anche in condizioni critiche di calore e fumo.

3.6 Simulazioni di esodo in VR

La VR viene in aiuto nello studio delle reazioni umane in caso di incendio e/o di evacuazione da edifici in fiamme poiché permette di ricreare virtualmente delle simulazioni di eventi che, come spiegato, comporterebbero un rischio troppo alto per essere analizzati nella realtà.
Essendo però le esperienze virtuali ricreanti la fuga da un incendio molto meno traumatiche di quanto si suppone possano esserlo realmente (Kinatder *et al*., 2014) ad oggi sono pochissimi i dati raccolti sulle variazioni dei parametri fisiologici in simulazioni VR in quanto ritenuti ancora scarsamente conclusivi per via dei limiti di cui ancora risentono sia il realismo che l'immersività delle esperienze virtuali.
Molte sono invece state, specialmente nell'ultimo decennio, ricerche scientifiche aventi come oggetto di studio le simulazioni VR di evacuazione da edifici in fiamme, esperienze a cui hanno preso parte diverse tipologie di persone, sia affette da disabilità (Coles *et al*., 2006) sia senza problemi psico-fisici (Chittaro e Zangrando, 2010).
In queste tipologie di studio l'obiettivo principale non era la misura dei parametri psicofisici dei candidati ma andare ad aumentare la consapevolezza ed istruire i partecipanti sulle linee guida da seguire in caso di incendio, esito raggiunto con successo nella maggior parte delle ricerche fino ad oggi portate a termine se pur con risultati e gradi di successo diversi; ciò ha di fatto validato l'utilitá delle simulazioni di realtá virtuale nello studio di eventi altrimenti troppo pericolosi o addirittura impossibili da analizzare.

Anche il comportamento umano è stato oggetto di diverse ricerche con la VR portando però a risultati non soddisfacenti se comparati con quelli ottenibili sul campo (Kuligowski, 2013); ciò è dovuto principalmente al limite già riscontrato per altre tipologie di applicazione VR della non perfetta immersività delle simulazioni virtuali, la quale di fatto altera il comportamento del candidato non mettendolo nelle condizioni di agire come se si trovasse a vivere realmente l'esperienza a lui sottoposta virtualmente.

Per questi motivi nei prossimi anni ci si aspettano progressi nelle simulazioni VR dal punto di vista del realismo e del coinvolgimento, fattori che potrebbero portare le esperienze virtuali ad essere impiegate stabilmente come strumento per studiare eventi catastrofici, tra cui gli incendi e le reazioni che tali situazioni inducono nel corpo umano.

La ricerca futura dovrá quindi orientarsi sulla possibilitá di rendere la VR uno strumento non più prettamente videoludico ma un pratico mezzo per istruire quante più persone possibile sul comportamento da adottare durante incendi, terremoti, tempeste ed altre calamità.

I recenti sviluppi e le sfide ancora da superare negli ambiti di realtá virtuale ed aumentata, soprattutto per quanto riguarda la riproduzione di eventi catastrofici, sono tra i principali motivi che hanno portato ad intraprendere l'analisi scientifica rappresentata da questa tesi di laurea, ricerca con la quale si è cercato di andare a superare i limiti fin qui esposti.

CAPITOLO IV

CASO STUDIO: SIMULAZIONE DI ESODO IN EDIFICIO SCOLASTICO

4.1 Ipotesi di partenza

Durante l'ideazione dell'iter sperimentale da seguire è stata eseguita un'attenta ricerca bibliografica per indagare quanti e quali studi avessero già analizzato soggetti durante simulazioni ansiogene di realtà virtuale.
Vista la presenza di molti casi studio in VR dai risultati esaustivi sia sull'analisi dei parametri fisiologici (Barret et al., 2016) sia sulla valutazione dello stato d'ansia (Beidel et al., 2015) degli utenti si è deciso di andare riprodurre e modificare alcune delle condizioni sperimentali considerate maggiormente utili per gli obiettivi perseguiti da questa tesi.
Questa diversificazione avrebbe dovuto portare in caso di similarità fra i risultati ottenuti fra questa e le altre ricerche ad una validazione delle conclusioni di tali studi o, in caso contrario, date le migliori strumentazioni e tecnologie disponibili oggigiorno rispetto a quelle utilizzate fino a pochi anni fa, ad una possibile messa in discussione dei risultati ottenuti nelle ricerche temporalmente meno recenti rispetto a questa.
Bisogna però specificare che quanto appena detto non vale per tutti i risultati che questa tesi si prefiggeva di ottenere in quanto avendo registrato ed in seguito analizzato dati ancora poco o addirittura per niente presi in considerazione negli studi condotti fino ad oggi non si sarebbe avuto alcun metro di paragone con cui confrontare i dati ottenuti.
Questo fatto, che da un lato potrebbe sembrare uno svantaggio, ha però permesso di aumentare le scarse conoscenze disponibili riguardo alcuni ambiti della VR, tra cui l'andamento della saturazione in soggetti sottoposti a simulazioni virtuali ansiogene e la differenza nelle risposte comportamentali di quest'ultimi in base al livello di stress sperimentato.
Addentrandosi quindi in quello che si auspicava di ottenere durante il caso studio si

può affermare che, per quanto riguarda i parametri fisiologici e le rispettive variazioni, le ipotesi inizialmente fatte prevedevano un incremento dei valori dei parametri vitali indagati, con una tendenza ad aumentare più intensamente nei momenti della simulazione virtuale con i maggiori stimoli ansiogeni.

In particolare essendo questa tesi concentrata sul confronto dei valori di picco dei parametri fisiologici registrati in diverse esperienze virtuali si è supposto a priori che maggiore il livello di ansia, maggiore sarebbe stato il picco relativo di pressione arteriosa e frequenza cardiaca, le quali insieme alla saturazione costituiscono i parametri vitali indagati nel presente caso studio.

Nella stesura delle ipotesi è stato inoltre necessario considerare che durante la sperimentazione si sarebbero registrati i parametri di candidati appartenenti a due diversi gruppi, uno ignaro dello scenario e dell'obiettivo della simulazione VR e uno a cui tali elementi erano noti, suddivisione che verrà spiegata dettagliatamente in seguito.

Sempre in questo capitolo verrà inoltre spiegato come, al fine di avere maggiori dati relativi allo stato d'ansia degli utenti, le simulazioni di esodo ad essi sottoposte fossero due: una con le vie di fuga libere ed una invece con le vie di esodo ostruite da macerie.

Entrambi i gruppi testati non erano a conoscenza dell'aggiunta di tali elementi, fattore che ha lasciato supporre a priori una differenza nulla nella variazione dei parametri vitali di fronte a tali impedimenti fra i due gruppi.

Queste variazioni avrebbero dovuto essere, in base alle ipotesi fatte, degli aumenti nel valore di frequenza cardiaca e pressione arteriosa dovuti allo stress psicologico indotto dal trovarsi di fronte a tale ostacolo.

Vista la novità di questo particolare caso non è stato possibile a priori fare delle ipotesi atte a quantificare la possibile variazione di tali parametri, ma ci si è limitati a supporne la probabile alterazione.

A partire da quanto fino ad ora decretato dalla ricerca scientifica si è supposto a priori che la frequenza cardiaca, ovvero i battiti per minuto, sarebbe stata il parametro con le maggiori variazioni percentuali registrate, ipotesi banalmente basata sul fatto che sia durante uno sforzo intenso che durante situazioni di particolare stress emotivo e/o psicofisico sia proprio la frequenza cardiaca a il parametro fisiologico a presentare le maggiori oscillazioni del proprio valore.

Nonostante i battiti per minuto possano arrivare fino a 200 bpm, valore

normalmente assunto come massimale raggiungibile ma che presenta una grande variabilità interpersonale, si è supposto che le variazioni del valore di picco della frequenza cardiaca, in particolare fra simulazioni VR non ansiogene e simulazioni virtuali con stimoli ed elementi fortemente stressanti, non avrebbero condotto a valori così elevati ma sarebbero state solo di qualche battito, indicativamente di qualche punto percentuale.

Per dimostrare tali supposizioni i partecipanti al caso studio venivano sottoposti ad una simulazione di ambientamento alla VR, priva di stimoli ansiogeni, e ad una di esodo, la cui ambientazione era il modello BIM di una scuola realmente esisitente.

A quanto visto finora si aggiungeva l'ipotesi che passando da soggetto a riposo alla simulazione di ambientamento alla realtà virtuale le variazioni registrate sarebbero state inferiori a quelle sopra descritte ma comunque consistenti, con previsione di un aumento di almeno qualche bpm vista la presenza anche della componente movimento dovuta all'utilizzo, come verrà spiegato, di un particolare dispositivo di realtà virtuale.

Lo stesso discorso vale anche per la pressione arteriosa i cui valori massimali di pressione sistolica e diastolica che si sarebbero registrati avrebbero dovuto presentare variazioni di qualche punto percentuale; in particolare, secondo le previsioni, si sarebbero riscontrate differenze minori fra i valori rilevati con soggetto a riposo e durante la simulazione VR di ambientamento rispetto a quelli che si ipotizzava di misurare passando dalla scena di prova a quella di esodo.

A causa degli scarsi dati disponibili prima della sperimentazione queste sono state le uniche ipotesi formulate in quanto supposizioni maggiormente accurate avrebbero potuto portare ad un'errata interpretazione dei risultati ottenuti.

La saturazione invece, essendo un numero già espresso in percentuale, è stata a priori supposta come il parametro che avrebbe presentato le minori variazioni nel proprio valore, con possibilità addirittura di non presentare alcun discostamento percentuale passando da soggetto a riposo alle simulazioni VR ansiogene.

Bisogna sottolineare che non essendo stata presa in considerazione fino ad oggi in studi di realtà virtuale e/o aumentata le conclusioni tratte sulla saturazione non sono confrontabili con studi precedenti e dovranno quindi essere validate da ricerche future a questa.

Per quanto riguarda le differenze fra i due gruppi indagati si è ipotizzato di riscontrare una differenza fra i valori massimali ottenuti e le rispettive variazioni

percentuali fra le varie prove, in particolare si sono supposte variazioni maggiori dei parametri nel gruppo 1, in quanto composto da candidati a cui erano sconosciuti obiettivi e scenari delle simulazioni VR.

Il fattore sorpresa infatti, elemento distintivo del gruppo 1 rispetto al secondo gruppo, avrebbe dovuto garantire un maggiore incremento del valore dei parametri vitali non quantificabile a priori ma supposto, senza nessuna evidenza scientifica su cui basarsi, di qualche punto percentuale in più rispetto al gruppo 2, privo di tale componente.

Per quanto concerne la durata di esodo sono state fatte ipotesi ben diverse per le due simulazioni virtuali di esodo: per la prima esperienza virtuale di fuga dal complesso scolastico in fiamme, quella senza presenza di macerie, si è supposta una durata minima possibile pari a circa la durata richiesta per l'esodo, partendo dallo stesso punto, nella scuola reale.

Quest'ultimo, come dettagliatamente spiegato nel prosieguo del presente capitolo, è pari a 75 secondi camminando a passo moderato.

Vista la possibilità durante le simulazioni di muoversi con un'andatura veloce, paragonabile ad una corsa lenta, si sono ipotizzati tempi di percorrenza minimi di 60 secondi con picchi massimi accettabili di circa 150 secondi, il doppio di quanto richiesto nella realtà.

Per quanto riguarda la seconda simulazione VR di esodo, quella con presenza di macerie, si sono supposti tempi molto variabili da persona a persona ma non avendo a disposizione un riferimento di durata preso nella realtà si è solamente prevista una durata molto maggiore rispetto alla prima simulazione di esodo.

Sempre riferendosi alla durata delle simulazioni sono state fatte delle assunzioni sulle differenze in secondi che si sarebbero riscontrate fra i due diversi gruppi di candidati; in particolare si sono supposti tempi uguali o comunque simili per la simulazione con presenza di ostacoli sui percorsi di fuga mentre per la prima esperienza virtuale di esodo sono stati ipotizzati tempi minori per il gruppo 2 in quanto, conoscendo già lo scenario e l'obiettivo da perseguire, si andava ad eliminare il tempo richiesto per capire di dover evacuare l'edifico necessario invece per il primo gruppo.

Per il tempo di reazione alla minaccia del gruppo 1 non è stato possibile fornire un'ipotesi che tentasse di quantificarlo prima di partire con la sperimentazione poiché ancora nessuno studio aveva indagato tale elemento e nessun dato

proveniente dalla realtà risulta disponibile, cosa intuitiva visto che possedere dati a riguardo avrebbe comportato mettere persone reali in un incendio vero.
Per quanto appena visto ci si è limitati a supporre che il tempo richiesto ai candidati del gruppo 1 per capire di dover abbandonare l'edificio fosse di qualche secondo.
Passando adesso alle ipotesi fatte riguardo il comportamento che i soggetti avrebbero adottato nelle varie simulazioni si nota subito una differenza sostanziale rispetto ai parametri fisiologici e alla durata, ovvero che il livello di stress, assunto come principale indicatore di un possibile comportamento anomalo, non è quantificabile con un numero, ma solo tramite valutazioni soggettive.
Per questi motivi durante tutto il lavoro di tesi si è cercato di quantificare l'ansia dei candidati basandosi sulle alterazioni dei parametri fisiologici o su una durata anomala del tempo di esodo; dall'unione di questi elementi quantificabili si sarebbe infatti potuto valutare il livello di stress della persona.
A questo si aggiungeva poi tutta la serie di decisioni prese dal soggetto che, nel caso di poca razionalità, avrebbero potuto indicare uno stato di forte ansia.
Fra le varie simulazioni si è previsto che quella che avrebbe causato una maggiore alterazione dello stato psicologico dei candidati sarebbe stata sicuramente quella di esodo con presenza di macerie, vista la presenza di questo elemento così stressante a livello mentale.
In seguito all'elaborazione ed alla stesura di tutte le ipotesi enunciate fino ad ora si sono rese necessarie alcune considerazioni in quanto, come detto in precedenza, solo alcuni dati registrati in questo lavoro di tesi si sarebbero potuti confrontare con quelli ottenuti durante ricerche passate.
Il principale svantaggio di indagare parametri e/o elementi non ancora stati oggetto di studio è proprio il non poter misurare la loro effettiva accuratezza, limite che potrà essere superato solo in futuro andando ad aumentare il numero dei casi studio aventi la VR e le variazioni da essa indotte sui parametri come oggetto di studio.
Quanto appena detto è, in conclusione, ciò che ha fatto propendere le ipotesi di partenza elaborate in questo studio verso supposizioni meno accurate dal punto di vista della precisione numerica ma che lasciassero spazio ad una maggiore libertà in fase di analisi, fattore che avrebbe reso l'interpretazione dei risultati ottenuti più facile ed intuitiva.

4.2 Metodologia

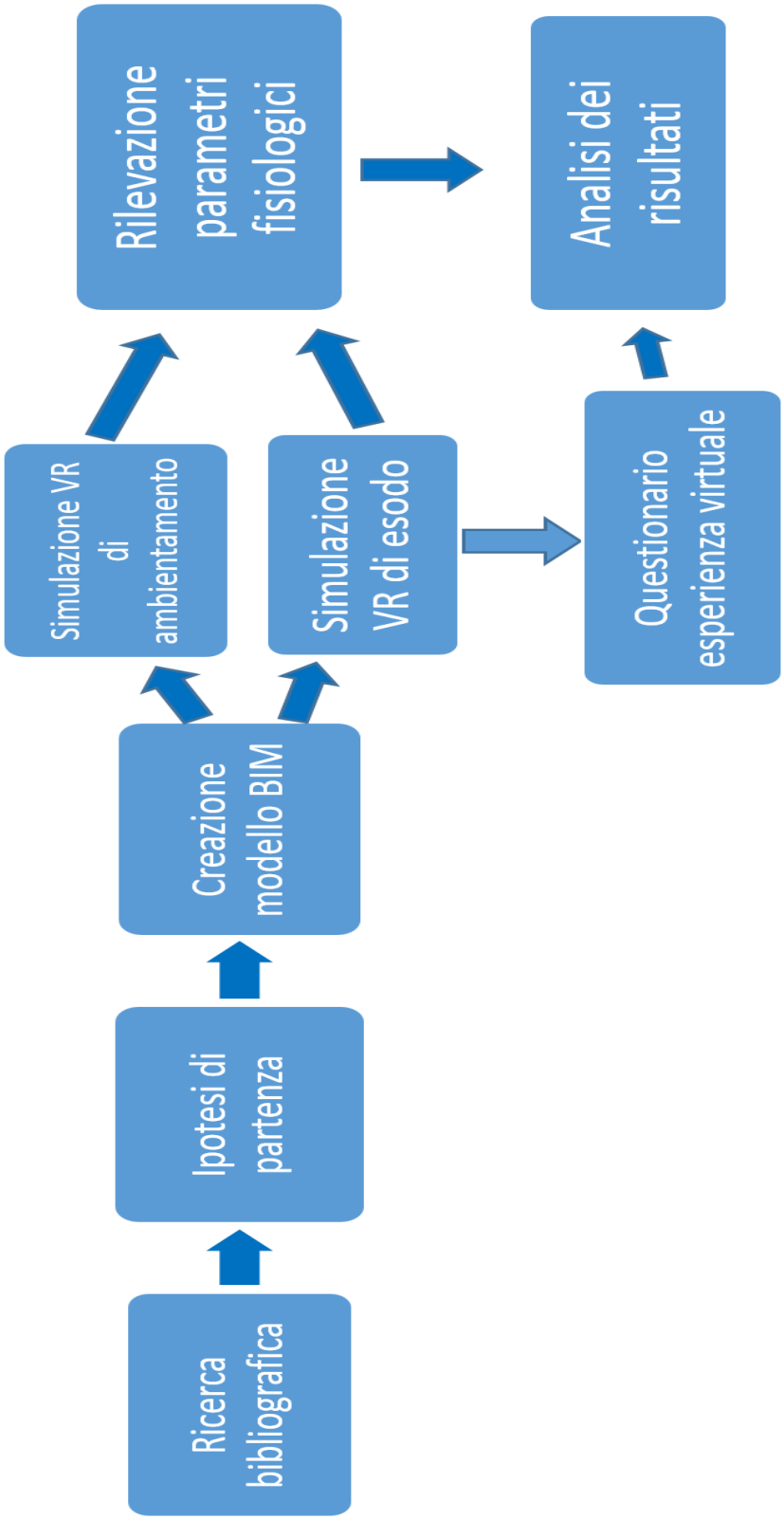

Figura 4.1 – Workflow: passaggi chiave del caso studio.

Il caso studio qui presentato è stato condotto interamente all'interno del DISEG, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica dell'universitá Politecnico di Torino, nel cui laboratorio 'drawingTOthefuture' era stato adibito uno spazio apposito per le tecnologie di realtà virtuale e per gli strumenti utilizzati nelle varie fasi dell'iter sperimentale.

L'indagine scientifica rappresentata da questo lavoro di tesi ha seguito delle tappe ben definite sia temporalmente sia dal punto di vista dei contenuti.

Come visto si è subito eseguita un'attenta ricerca bibliografica atta ad evidenziare quali siano le potenzialità attuali delle tecnologie VR e in quali tipologie di studio esse avessero dato i migliori risultati.

Sempre in questa prima fase ci si è focalizzati sugli utilizzi della VR in ambito medico-scientifico ponendo particolare attenzione sui casi studio riguardanti lo studio dell'ansia e la riproduzione di incendi in ambiente virtuale, elementi indagati anche in questo elaborato.

Una volta terminata la ricerca bibliografica si è poi messa in atto un'elaborazione delle informazioni ricavate e, tramite esse, si è ragionato su quali potessero essere gli scenari virtuali maggiormente ansiogeni e tramite quali dati si potesse valutare lo stato di ansia di un soggetto durante una simulazione virtuale.

In base a quanto emerso dalla ricerca scientifica finora disponibile si è deciso di misurare lo stress psicofisico di persone esposte a simulazioni fortemente ansiogene di esodo andandone a misurare durante esse le variazioni dei parametri vitali.

Per includere le scelte fatte fino a quel momento e per poter realizzare una simulazione verosimile alla realtà si è deciso di modellare virtualmente la scuola 'Ettore ed Aurora Morelli' di Torino, scenario fedelmente riproducibile in VR e facilmente accessibile per ispezioni ed indagini nella realtà, fattori che avrebbero permesso di valutare differenze di alcuni dati rilevati nella simulazione virtuali rispetto a quelli reali.

Quanto appena detto è stato il caso, per esempio, del tempo richiesto per l'esodo, misurato sia nella scuola reale che durante le esperienze virtuali; dal confronto fra questi dati si sarebbe potuto avere un riscontro su quanto i dispositivi VR siano in grado di riprodurre virtualmente scenari realmente esistenti.

Nel modello BIM della scuola si sono poi inseriti, durante la terza fase del caso studio, gli elementi necessari per rendere la simulazione di esodo da un edificio scolastico realistica: si sono implementati il fumo, oggetto usato per modellare

l'incendio in corso nella scuola virtuale, la segnaletica di esodo ed i banchi, le sedie e le lavagne presenti nelle aule, tutti elementi che avrebbero dotato l'esperienza virtuale di maggiore realismo.
Prima di monitorare durante le simulazioni di esodo i partecipanti allo studio ad essi veniva sottoposta una simulazione virtuale per prendere confidenza con le tecnologie VR; in essa i parametri fisiologici venivano comunque acquisiti in modo da poter poi eseguire un confronto con i dati rilevati durante le esperienze VR di esodo dall'edificio scolastico in fiamme.
Questo parallelo avrebbe fornito durante l'analisi dei risultati, ultima fase del caso studio, delle indicazioni su quanto la semplice introduzione di una persona nell'ambiente virtuale faccia variare le sue variabili psicofisiche e quanto la stessa cosa siano in grado invece di fare gli elementi ansiogeni inseriti in simulazioni VR fortemente stressanti.

4.3 Gestione delle informazioni BIM e VR

Invece di realizzare da zero la scena VR che si sarebbe successivamente utilizzata si è deciso di partire da un modello BIM di una scuola realmente esistente, fattore che avrebbe fornito un maggiore grado di realismo alle esperienze virtuali.
L'edificio in questione è il complesso scolastico 'Aurora Morelli ed Ettore Morelli', rispettivamente scuola elementare e media di Torino (TO).
Per l'implementazione degli scenari virtuali necessari a comporre la simulazione VR si sono utilizzati i software Unity 2018.3.3 ed i software di Autodesk Revit 2019 e 3Ds Max 2019, tutti in student version.
Questi programmi hanno permesso sia di realizzare il modello BIM della scuola sia di implementare in esso gli elementi caratteristici dello scenario di incendio; in questo modo si è ottenuto il prototipo successivamente utilizzato, nel quale il maggiore livello di dettaglio rispetto ad un semplice modello 3D del complesso scolastico era dovuto proprio all'accuratezza degli oggetti in esso inseriti.
Il modello BIM è stato realizzato, grazie a rilievi strumentali e a dati progettuali presi dagli archivi comunali della cittá di Torino, dalle colleghe Rabattu Carla e

Viale valeria che per il loro lavoro di tesi hanno svolto rispettivamente il modello della struttura e gli interni di quest'ultima nel software Revit di Autodesk.
Le scuole, interconnesse fra loro da due ampi androni dotati di scale, presentano in totale tre edifici, due appartenenti al complesso 'Aurora Morelli' ed uno di pertinenza della scuola media "Ettore Morelli'.

Figura 4.2 - Vista esterna complesso scolastico 'Ettore ed Aurora Morelli'.

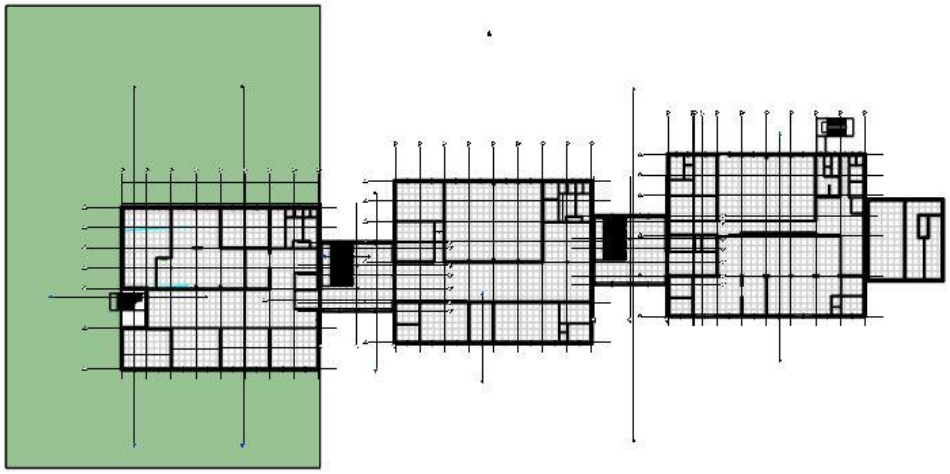

Figura 4.3 - Planimetria scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Revit 2019.

Una volta ritenuto soddisfacente e fedele alla realtá il progetto in Revit è stato importato dapprima in 3Ds 2019 per caratterizzarne i volumi in un unico modello

tridimensionale e poi in Unity 2018.3.3, software maggiormente impiegato durante questa tesi in quanto programma scelto per l'utilizzo delle simulazioni virtuali.
Il vantaggio di avere utilizzato un BIM accurato invece che una semplice scena virtuale risiede nel fatto che nelle simulazioni VR gli utenti si sarebbero trovati in una scuola virtuale che è una riproduzione fedele di quella esistente nella realtà, garantendo in questo modo un realismo che, analizzando la letteratura pertinente, non si era ancora raggiunto nei casi studio con obiettivi analoghi a quelli di questo elaborato.
Per apprezzarne a pieno le potenzialità ed i vantaggi apportati si fornisce una sintetica descrizione di cosa è il BIM: è una tecnica di modellizzazione software di tutti i dati riguardanti un edificio, i quali vengono poi raccolti all'interno di un unico modello tridimensionale della struttura.
Il Building Information Modeling puó quindi essere usato per tutta una serie di analisi dell'edificio che spaziano dalla prevenzione antincendio all'analisi energetica della struttura, fattore che rendono il BIM uno strumento utilissimo per i mondi dell'architettura e dell'ingegneria civile e/o edile ma non solo.
Una volta che le colleghe avevano realizzato il progetto Revit del modello si è importato quest'ultimo, come visto, in Unity 2018.3.3 andando a verificarne, grazie al confronto con i dati raccolti durante un sopralluogo nella scuola reale, la correttezza di tutte le componenti.

4.3.1 Interoperabilità

Il modello BIM della scuola realizzato nel software Revit presenta gli enormi vantaggi di essere facilmente modificabile, permettendo quindi una semplice correzione di eventuali errori di modellazione, e di poter essere importato, come visto, in molti altri software.
Questa è un esempio di interoperabilità, ovvero la possibilità di scambiare applicativi, modelli e le relative informazioni fra piattaforme software diverse.
L'opportunità fornita dall'interoperabilità di inviare il modello da un software all'altro senza perdita di dettaglio ha permesso di prendere la esatta riproduzione

della scuola eseguita in Autodesk Revit 2019 e di semplificarla, come descritto in 4.4, in 3Ds 2019.

Questo software, prodotto anch'esso da Autodesk, permette di importare modelli 3D da Revit e di mapparne le superfici in un unico volume tridimensionale nel formato fbx.

I file nel formato fbx sono poi facilmente importabili in un altro software, Unity, processo che avviene senza comportare una perdita delle informazioni o della qualità del modello.

Ciò che contraddistingue Unity 2018.3.3 è che è un software compatibile con la VR e quindi i modelli BIM o 3D in esso importati possono essere utilizzati, con opportuni accorgimenti, all'interno di simulazioni virtuali.

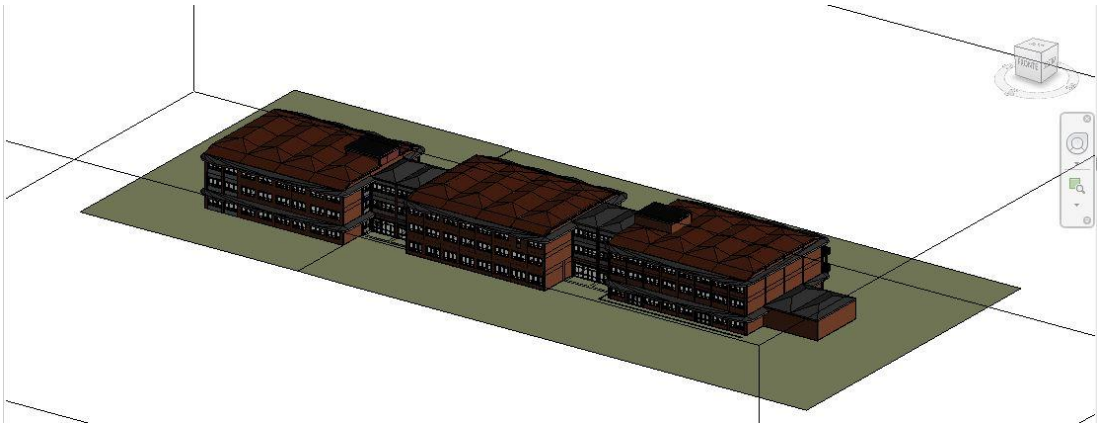

Figura 4.4 - Vista 3D scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Revit 2019.

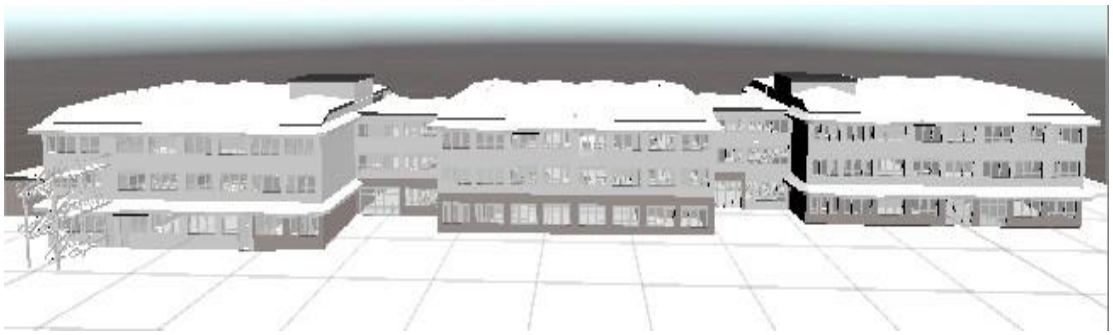

Figura 4.5 - Modello BIM scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Unity 2018.3.3.

L'interoperabilità fra piattaforme software diverse permette quindi di poter realizzare scenari di realtà virtuale che riproducano fedelmente una costruzione, un edificio o un'ambientazione reali.

Il mantenimento del livello di dettaglio è quindi uno dei maggiori vantaggi

dell'interoperabilità fra software per la modellazione BIM, pregio che ricopre ancora maggiore importanza in casi studio, come quello qui esposto, in cui il realismo del modello e degli oggetti in esso presenti sono quanto mai importanti.

4.3.2 Creazione applicativo

Siccome in Unity non basta importare il modello realizzato in Revit per potercisi muovere all'interno si è dovuta mettere in atto una serie di accorgimenti che ne permettessero l'utilizzo nelle simulazioni virtuali,

Prima di tutto è stato necessario realizzare il player, ovvero il giocatore che rappresenta l'utente nelle simulazioni: per farlo si è usata una componente software fornita da Cyberith insieme al Cyberith Virtualizer, dispositivo VR utilizzato nel presente caso studio che permette di trasporre il movimento eseguito su di esso nella scena virtuale, il quale verrà esaustivamente descritto nel seguito del capitolo.

Questa componente è rappresentata da una capsula, poi oscurata durante le esperienze virtuali, su cui è montata la telecamera principale della scena Unity; da questa telecamera, chiamata MainCamera, si vede tutto ció che avviene durante la simulazione VR.

Il movimento del player è stato poi sincronizzato con quello del soggetto sul Virtualizer mediante una serie di script che si sono andati ad implementare nel quadro di comando di Unity.

Per rendere l'esperienza VR maggiormente realistica si è deciso di montare la telecamera sopra la capsula, in modo che durante le esperienze virtuali il soggetto avesse una visuale in prima persona, proprio come se si trovasse realmente nella scena, fattore che si supponeva avrebbe fornito un maggiore grado di realismo alle simulazioni virtuali sottoposte agli utenti.

Figura 4.6 – Esempio di visuale in prima persona in Unity, interno di aula scuola 'Ettore ed Aurora Morelli', Unity 2018.3.3.

Per far sí che nel visore VR venisse visualizzato ció che in Unity veniva ripreso dalla MainCamera si sono implementati ed utilizzati gli script e le componenti software fornite dalla piattaforma SteamVR, necessarie per poter utilizzare la pedana di Cyberith con Unity.

Si sono poi modificate le regolazioni del player e della scena fino al raggiungimento del grado di realismo desiderato; in particolare si sono variate le impostazioni del campo visivo, della massima velocità di movimento, dell'altezza e dei gradi di libertà di movimento del player.

Nelle simulazioni virtuali erano così permesse le rotazioni attorno all'asse longitudinale del player ma non quelle attorno agli assi medio-laterale ed anteroposteriore le quali, se consentite, avrebbero reso possibile eseguire movimenti non naturali all'interno della VR andando così a diminuire il grado di realismo della scena.

Si è poi passati ad aggiungere a tutti gli oggetti, pareti e superfici della scena i collider, ovvero le componenti che in Unity definiscono un volume non attraversabile; in questo modo si sono resi calpestabili i pavimenti e le scale del modello e non attraversabili i muri né tantomeno gli oggetti facenti parte la scena; nel caso studio qui esposto tali elementi risultavano essere, ad esempio, sedie, banchi e le ringhiere delle scale o, nel caso della scena di ambientamento alla VR,

la quale verrà descritta in seguito, il terreno e qualche altro elemento geometrico.
Chiaramente anche al player si sono aggiunte tali caratteristiche per impedire che muovendosi potesse passare attraverso le pareti o che, una volta iniziata la simulazione, cadesse trapassando il pavimento.
A questo punto il modello BIM per la simulazione virtuale di esodo e lo scenario di prova potevano ritenersi ultimati e si è quindi proseguito andando ad implementare tutte quelle componenti che rendessero i modelli più realistici.
Per fare ciò si sono usati i dati e le informazioni raccolte durante un sopralluogo presso il complesso scolastico 'Ettore ed Aurora Morelli'.
Tale sopralluogo, eseguito in data 27/03/2019 con il permesso del Comune di Torino, ha permesso di reperire informazioni importanti sia sugli interni che sugli interni della scuola e di mappare i percorsi di esodi; di quest'ultimi si è inoltre cronometrato il tempo richiesto per percorrerli partendo dall'aula da cui si era deciso di far partire le simulazioni virtuali di esodo dalla scuola nel caso di incendio.
Durante il sopralluogo sono stati riscontrati tre possibili vie di esodo: due, una per ogni padiglione esterno, terminanti su delle scale antincendio esterne al complesso scolastico che portano al cortile comune ed una, rappresentante il percorso antincendio per il blocco centrale della struttura, che impone invece di seguire le rampe di scale interne e conduce verso la strada antistante il complesso scolastico.
In particolare nelle simulazioni VR di esodo si è deciso di far partire tutti gli utenti da un'aula del complesso centrale, scelta che rendeva il percorso di esodo interno all'edificio quello migliore nonchè più breve da percorrere.

Figura 4.7 – Scala antincendio esterna, scuola 'Aurora Morelli'.

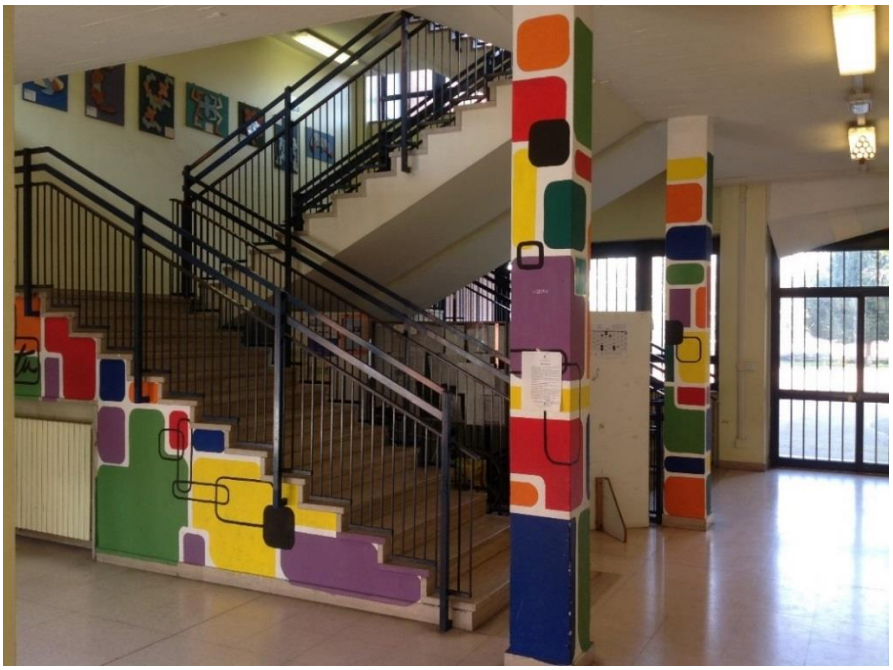

Figura 4.8 - Scale interne scuola 'Ettore Morelli': collegamento fra i complessi scolastici.

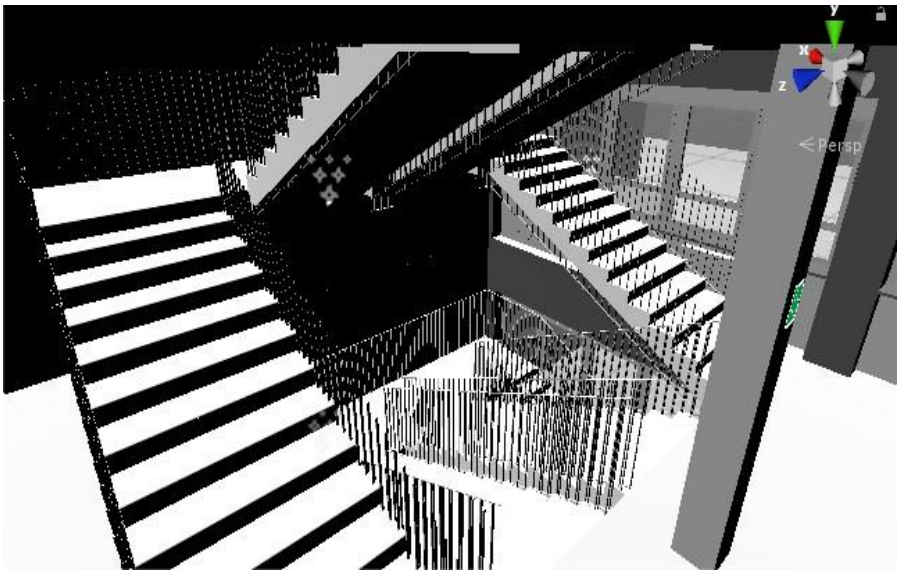

Figura 4.9 - Percorso di esodo: scale interne scuola 'Aurora Morelli'.

Tutti e tre i percorsi seguendo la segnaletica di esodo e senza intralci hanno una durata di percorrenza simile di circa 75s, valore misurato durante la visita alle scuole camminando a passo moderato.

Questo dato è stato rilevato per poter realizzare vie di esodo verosimili a quelle reali nel modello BIM del complesso scolastico; se percorsi a passo medio anche i percorsi virtuali avrebbero così presentato il medesimo tempo di percorrenza di quelle reali, fattore che avrebbe reso l'esperienza virtuale maggiormente realistica.

Per i ragazzi disabili in carrozzina la scuola ha invece predisposto su ogni piano,

vista l'impossibilitá di prendere le scale, degli spazi calmi, stanze ignifughe in cui essi devono aspettare i soccorsi in caso di incendio; visto che ai fini della ricerca proposta in questo lavoro di tesi gli spazi calmi non rappresentavano alcuna utilità si è deciso di non implementarli nel modello.

Un altro elemento inserito nell'applicativo è rappresentato dalla segnaletica di esodo che, come spiegato in precedenza, svolge un ruolo fondamentale durante le manovre d'emergenza poiché, se rispettata, aumenta in maniera esponenziale le probabilità di riuscire a mettere in salvo cose e/o persone.

Visto che l'esperienza virtuale proposta, come verrà dettagliatamente spiegato in seguito, prevedeva che il soggetto pensasse solo ad evacuare l'edificio e non a provare a spegnere l'incendio si è deciso di inserire nella simulazione virtuale solo la segnaletica di salvataggio, ovvero quella a sfondo verde atta a fornire le indicazioni per trovare e seguire le vie di esodo.

Sempre per il medesimo motivo non si sono inseriti nel modello BIM gli estintori né i segnali ed i cartelli ad essi relativi, oggetti che avrebbero distolto l'attenzione degli utenti dalla ricerca e dal percorrere le vie di esodo nel minor tempo possibile.

Anche la presenza di altre persone all'interno dell'edificio in fiamme avrebbe potuto far decidere al soggetto di aiutare quest'ultime invece di evacuare l'edificio, motivo per cui anch'esse non sono state inserite all'interno della simulazione VR.

Per aumentare il grado di realismo si sono inoltre realizzati segnali e cartelli di salvataggio cercando di riprodurre in maniera il più possibile fedele alla realtà la disposizione e le dimensioni di quelli presenti nel complesso scolastico.

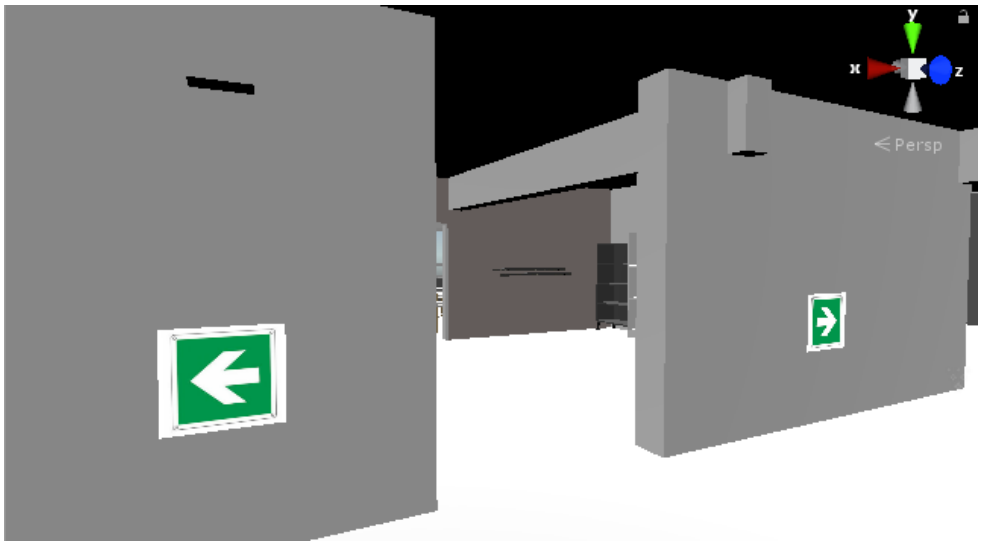

Figura 4.10 – Segnaletica di sicurezza modello BIM, Unity 2018.3.3.

Il fatto di aver riprodotto in maniera coerente la segnaletica di sicurezza presente nell'edifico reale ha implicitamente portato ad adottare le normative riguardanti forma, colorazione e pittogrammi dei segnali vigenti in Italia, fattore che avrebbe ulteriormente aumentato la verosimiglianza del modello in quanto tutti i candidati a cui sarebbe stata sottoposta la simulazione virtuale provenivano da tale paese.
In questo modo si sarebbe evitata la confusione riguardante la scarsa comprensione di cartelli fino ad allora mai visti e non facenti parte del bagaglio culturale degli individui monitorati durante la sperimentazione.

Figura 4.11 – Uscite d'emergenza modello BIM, Unity 2018.3.3.

4.4 Simulazione VR

Una volta pronti entrambi gli scenari virtuali da sottoporre ai partecipanti al caso studio si è iniziato il trial sperimentale vero e proprio.
A turno i diversi candidati venivano chiamati, sensorizzati con i dispositivi atti a rilevarne i parametri fisiologici ed in seguito sottoposti alle simulazioni virtuali.
La prima esperienza virtuale che veniva loro presentata era quella di ambientamento alla realtà virtuale, nella quale i partecipanti allo studio imparavano ad usare ed acquisivano dimestichezza con i dispositivi VR necessari per la sperimentazione.
Sia durante questa simulazione che durante quelle di esodo venivano registrate

saturazione, pressione arteriosa e frequenza cardiaca dei candidati, dati poi confrontati fra di loro nella successiva fase di analisi dei risultati.

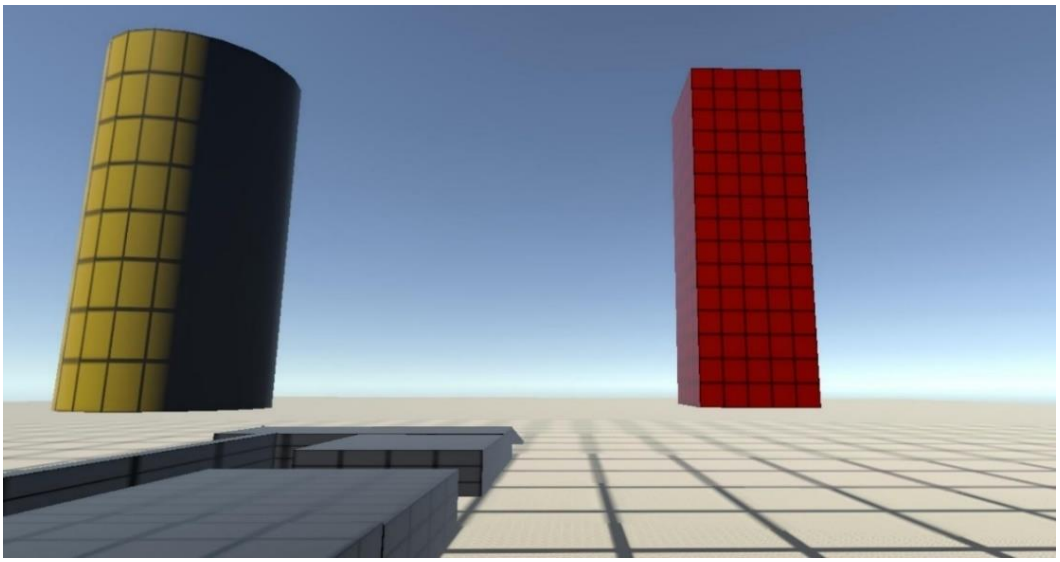

Figura 4.12 - Scena di ambientamento alla VR, Unity 2018.3.3.

Una volta ritenuti pronti i partecipanti al caso studio venivano poi sottoposti alle simulazioni di esodo ed in seguito veniva loro chiesto di rispondere ad un questionario di valutazione dell'esperienza virtuale.

Gli obiettivi principali da perseguire durante le esperienze virtuali erano, come visto, studiare l'evoluzione statistica dei parametri vitali in soggetti esposti a situazioni di stress simulate virtualmente e se a causa degli input ansiogeni presenti in quest'ultime nei candidati venissero innescati comportamenti non razionali.

Chiaramente non essendoci presente personale medico durante lo svolgimento dei test VR non appena si fossero presentati i segnali di una crisi di panico la simulazione sarebbe stata immediatamente interrotta.

Per valutare con maggiore grado di veridicitá le risposte fisiologiche ad alcuni soggetti veniva spiegato a cosa sarebbero stati sottoposti durante le simulazioni di esodo mentre ad altri ciò non veniva detto, fattore avrebbe dovuto rendere le variazioni dei parametri vitali di quest'ultimi maggiormente significative ed i loro comportamenti più istintivi.

Le azioni messe in atto da quest'ultima tipologia di candidati sono state poi confrontate con quelle degli altri utenti permettendo così di valutare quanto il trovarsi all'improvviso in una situazione di pericolo, anche simulata, influenzi le

decisioni prese e quanto incida sulla variazione dei parametri fisiologici.
Tutte le simulazioni, gli strumenti utilizzati e i metodi di analisi dei dati rilevati durante le simulazioni virtuali vengono dettagliatamente descritti nel seguito di questo capitolo evidenziando per ognuno di essi come abbia contribuito a generare e/o a quantificare il livello di ansia dei candidati durante le esperienze VR.

4.4.1 Strumenti utilizzati

Gli strumenti ed i dispositivi utilizzati in questo lavoro di tesi comprendono materiale hardware e software appartenenti sia al mondo della VR sia all'ambito medico, con quest'ultimi facenti parte della categoria di dispositivi adibiti alla registrazione dei parametri vitali.
Il materiale software impiegato è quello descritto nella sezione precedente ed include, come visto, programmi deputati principalmente alla realizzazione del modello BIM e al suo utilizzo in VR.
La simulazione virtuale è stata utilizzata grazie al visore HTC Vive e alla pedana Cyberith Virtualizer, entrambi messi a disposizione dal gruppo 'Drawing TO The Future' del DISEG, dipartimento di ingegneria strutturale, edile e geotecnica dell'università Politecnico di Torino.
La rilevazione delle variabili fisiologiche è stata invece realizzata mediante tre strumenti: un pulsossimetro, uno sfigmomanometro ed uno smartwatch.
Tutti questi dispositivi sono stati usati congiuntamente durante le esperienze di realtá virtuale rendendo così possibile l'analisi statistica delle variazioni dei parametri fisiologici su soggetti diversi sottoposti alla stessa simulazione VR.
Il primo dispositivo per la VR che viene presentato è l'HTC Vive, apparecchiatura immessa nel mercato nel 2016 appartenente alla famiglia degli head mounted display (HMD).
L'HTC Vive, comunemente abbreviato Vive, è composto da varie componenti: un headset, due joysticks e due diversi sistemi di tracking.

Figura 4.13 - HTC Vive. Fonte: https://www.vive.com

Quest'ultimi sono di fondamentale importanza in quanto sono gli elementi deputati al rilevamento della posizione e dell'orientamento delle altre componenti ed alla loro trasposizione nello scenario virtuale; il primo è un sistema di tracking inerziale con frequenza di aggiornamento pari a 120Hz mentre il secondo, il quale viene usato per correggere eventuali errori nella valutazione di orientamento del sistema inerziale, consiste in due torrette chiamate Lighthouses contenenti due emettitori laser nell'infrarosso (Lappe *et al*., 2017).

Quest'ultimo sistema di rilevazione funziona grazie a una serie di fotodiodi posti sia sull'headset che sui controllers: in base alla differenza di tempo con cui vengono colpiti i diversi fotodiodi il sistema ricostruisce la posizione e l'orientamento dell'utente.

Il tracking inerziale si rivela inoltre indispensabile quando entrambe le Lighthouses, per problemi di occlusione, non rilevano fotodiodi; in questo caso la posizione viene aggiornata utilizzando solo le informazioni ricavate dal sistema inerziale.

Misure effettuate sull'headset dell'HTC Vive hanno stabilito che il campo visivo coperto da tale dispositivo è di circa 110°, un po' inferiore rispetto a quello massimo raggiungibile da un occhio umano sano ma che consente comune una buona visuale sia centrale che periferica.

L'headset è costituito da due display da 1080x1200 pixel aggiornati a 90 Hz; questa risoluzione comporta una densitá di circa 12 pixel/°, valore che ad oggi non permette una risoluzione dell'immagine in grado di riprodurre in maniera totalmente fedele la realtá pur garantendo comunque un elevato livello di immersione del soggetto nella simulazione VR.

Tra le varie caratteristiche dell'HTC Vive quella che si rivela maggiormente importante per la qualitá dell'immersione nell'ambiente virtuale è la latenza del sistema, ovvero il tempo che intercorre fra il movimento fisico e la sua rappresentazione nella VR.

A tale riguardo una recente ricerca (Lappe *et al*., 2017) ha misurato che per L'HTC Vive la latenza è molto buona, circa 22ms; ció permette al soggetto di svolgere la sua simulazione senza accorgersi di tale differenza in tempo.

I controller dell'HTC Vive, i quali vengono venduti insieme al visore in un unico pacchetto hardware, non sono stati utilizzati in questo lavoro di ricerca ma ne vengono comunque riportate le caratteristiche principali: sono dispositivi wireless con batteria ricaricabile, tramite cavo USB o con cavo a muro, della capacitá di 960 mAh, il loro peso si attesta intorno ai 350g ed attualmente sono realizzati con le dimensioni 21,8 x 16,4 x 9,8 cm.

I joysticks possiedono anche un'altra interessante potenzialitá: il feedback aptico, ovvero la possibilitá di ricevere sensazioni e responsi tattili come conseguenza di uno stimolo virtuale.

A queste componenti si possono poi andare ad aggiungere una lunga serie di gadget e dispositivi che permettono di rendere ancora più immersiva l'esperienza virtuale, come ad esempio i guanti VR; non essendo stati usati in questa tesi tali dispositivi vengono solo menzionati ma non verranno descritti nella seguente trattazione.

Il secondo dispositivo VR utilizzato nel presente caso studio è il Cyberith Virtualizer, tecnologia utilizzata nell'ambito delle simulazioni VR appartenente alla categoria degli omnidirectional treadmills (ODT), apparecchiature che consentono al soggetto di muoversi in tutte le direzioni del piano.

Il Virtualizer appariene alla sottocategoria degli ODT passivi, in cui il corpo umano esegue il movimento sul dispositivo il quale invece rimane fermo; il Virtualizer puó quindi essere visto come una pedana su cui ci si può muovere sia avanti che indietro, sia a destra che a sinistra e, se si esegue un salto, verso l'alto.

Il Virtualizer è stato lanciato sul mercato nel 2014 dalla startup austriaca Cyberith la quale ha al centro della propria attivitá la realizzazione di hardware per la VR.

Il dispositivo è composto da tre componenti principali: la pedana, i tre pilastri e la struttura mobile ad anello.

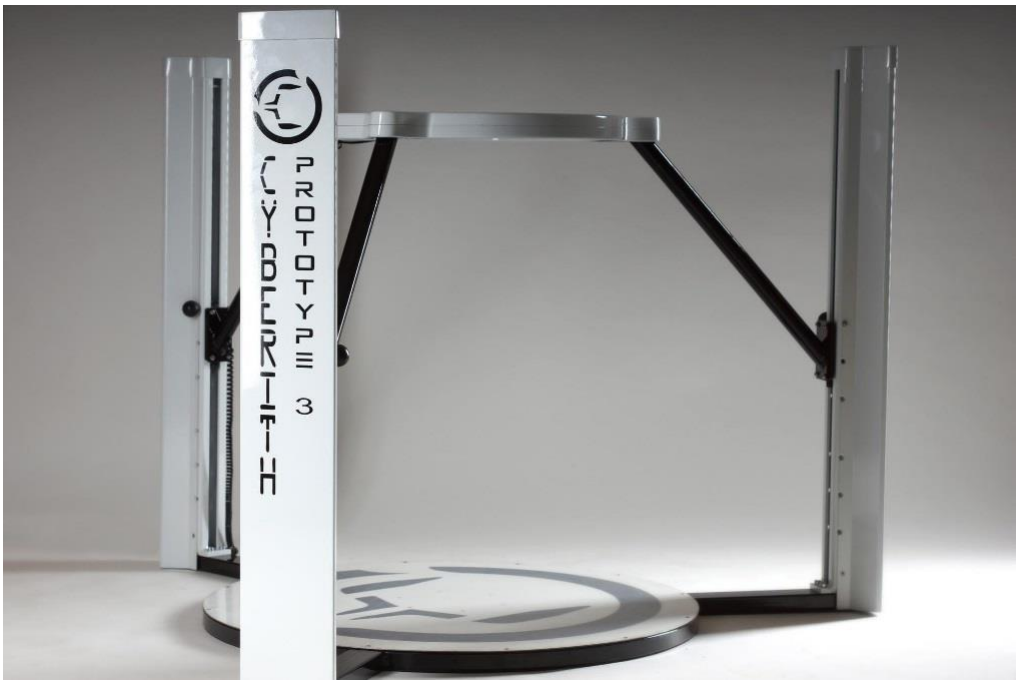

Figura 4.14 - Struttura Cyberith Virtualizer. Fonte https://www.cyberith.com/virtualizer-rd-kit/.

Il movimento eseguito sul Virtualizer viene riportato nella VR grazie a sei sensori ottici presenti sulla pedana dell'ODT che permettono di calcolare e ricavare angolo, direzione e velocitá dei piedi del soggetto; il movimento di quest'ultimi sulla pedana è consentito dalla low-friction (Cakmak e Hager, 2014), principio fisico per cui la superficie su cui ci si muove possiede un coefficiente di frizione tale da permettere all'utilizzatore un movimento senza fatica quando egli fa scivolare i piedi nella direzione del movimento desiderato (Abid e Bishop, 2018).

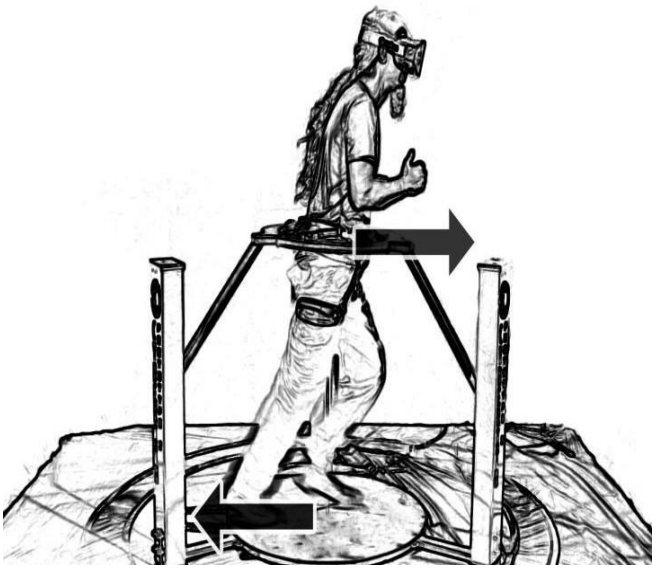

Figura 4.15 - Esempio di movimento sul Cyberith Virtualizer. [Abid e Bishop, 2018].

La pedana è inoltre dotata di un'unitá vibrante che, nel caso sia richiesto, può fornire un feedback aptico, utile soprattutto nel caso di simulazioni di terremoto (Muscio, 2016).

Alla pedana sono collegate le tre colonne che a loro volta sono connesse all'imbragatura ad anello grazie ad un sistema di molle e carrucole; in uno dei pilastri è inoltre situato un sensore che rileva l'elevazione verticale dell'anello.

L'imbragatura ad anello è composta da una struttura esterna collegata con dei bracci mobili ai tre pilastri e da un anello interno contenente l'imbragatura vera e propria ed un sensore che rileva l'orientamento del soggetto.

Grazie alla possibilitá di movimento dei bracci mobili in direzione verticale e a quella di rotazione dell'anello interno l'utente puó eseguire movimenti in tutte e tre le direzioni dello spazio, compresi accovacciarsi, saltare, correre o spostarsi lateralmente.

I dati dei sensori citati in precedenza vengono poi inviati ad un microcontrollore che, tramite un algoritmo implementato nel sistema, calcola ed invia al PC le informazioni sull'orientamento del corpo dell'utente, la velocitá e la direzione del movimento e l'altezza del bacino del soggetto, corrispondente all'elevazione della struttura ad anello (Cakmak e Hager, 2014).

L'utilizzo fatto del Cyberith Virtualizer in questo lavoro di tesi è stato innovativo e non trova riscontro nella letteratura scientifica in quanto gli ODT nell'ambito della realtá virtuale hanno trovato impiego quasi esclusivamente nel settore videoludico. Il costo elevato degli ODT ha inoltre reso accessibile ad un limitato numero di persone il loro acquisto, fattore che ne ha limitato drasticamente l'utilizzo nelle ricerche accademiche e scientifiche finora condotte.

In futuro questi dispositivi dovranno essere utilizzati in studi differenti e dai diversi scopi al fine di comprenderne le effettive potenzialitá; da qui emerge uno degli obiettivi che questa tesi si prefigge: studiare come la tecnologia VR possa risultare vantaggiosa nell'analisi dei parametri fisiologici in condizioni di stress simulate virtualmente.

Di pari passo con i possibili vantaggi portati dall'utilizzo del Virtualizer vanno anche i limiti che tale tecnologia presenta: il movimento nella VR usando l'ODT di Cyberith richiede, per essere efficace, un tempo di addestramento varibile da qualche minuto a qualche ora in base al soggetto e a quanto esso sia abituato ad usare tale tipo di tecnologie.

A quelli sopra citati si aggiunge un ulterirore grande limite del Virtualizer, ovvero il fatto che per utilizzarlo sia necessario entrare nell'imbragatura, movimento difficile da eseguire per persone anziane e/o limitate a livello motorio.
Oltre ai dispositivi per la VR durante il lavoro di tesi è stato necessario, come descritto precedentemente, registrare i parametri fisiologici dei partecipanti al caso studio sia prima che durante le simulazioni virtuali.
In particolare per studiare in che modo e di quale ordine di grandezza varino i parametri fisiologici di un individuo sottoposto ad un forte stress virtualmente simulato si sono sensorizzati i candidati con dei dispositivi di facile utilizzo, resistenti e che restituissero una lettura affidabile dei parametri rilevati.
Durante il trial è però emersa l'impossibilitá di andare a registrare l'andamento di alcune variabili fisiologiche, tra cui l'attivitá elettrodermica e la temperatura del soggetto.
La prima non è stata presa in considerazione in quanto l'esperimento veniva svolto con il soggetto in movimento e, come verrà spiegato in seguito, sottoposto ad un getto di calore, entrambi fattori che avrebbero comportato una sudorazione diversa rispetto quella a riposo e che avrebbero quindi modificato la conduttanza della pelle dell'utente non rendendola più un indicatore affidabile del livello di attivazione psicologica di quest'ultimo.
Anche la temperatura non è stata registrata in quanto la fonte di calore esterna avrebbe falsato la lettura di tale parametro.
Visti suddetti impedimenti si è deciso di andare a misurare quei parametri fisiologici che sarebbero variati durante l'esperimento ma che da esso non sarebbero stati falsati, in particolare battito cardiaco, pressione arteriosa e saturazione del soggetto.
Per misurare queste variazioni nel presente caso studio si sono utilizzati i tre strumenti citati in precedenza: saturimetro, smartwatch e sfigmomanometro da polso, tutti strumenti wireless e dal peso ridotto.
Lo smartwatch utilizzato è un iPosible fitness tracker IP67, dispositivo che permette di rilevare sia il numero di battiti cardiaci al minuto sia la pressione arteriosa e di visualizzarne i valori sull'applicazione per smartphone HBand.

Figura 4.16 – Schermata applicazione Hband per iPosible tracker IP67.

Gli stessi parametri sono stati monitorati anche con il misuratore di pressione da polso wireless iHealth BP7, le cui misurazioni venivano inviate all'applicazione per telefoni cellulari di ultima generazione IHealth.

Figura 4.17 - Sfigmomanometro iHealth BP7. Fonte: https://ihealthlabs.com.

Il saturimetro bluetotth BEURER PO 80 invece forniva come lettura la SpO_2 e la frequenza cardiaca, parametri le cui registrazioni erano poi consultabili su PC e/o tablet tramite il programma software fornito da BEURER all'acquisto del pulsossimetro.

Figura 4.18 - Pulsossimetro BEURER PO 80. Fonte: https://www.beurer.com.

Tutti e tre gli strumenti avevano il vantaggio di essere molto leggeri e di non procurare sensazioni di fastidio all'utente una volta indossati, fattore molto importante in questo caso studio in quanto l'attenzione del soggetto non veniva distolta dalla simulazione VR; a questi si aggiungeva l'ulteriore pregio che essendo strumenti silenziosi le registrazioni dei dati venivano effettuate senza che il soggetto se ne avvedesse, rendendo quindi possibile eseguire le misure in qualsiasi momento della simulazione senza distrarre l'utente.

Per l'analisi del battito cardiaco si è ricorso, nonostante tutti e tre i dispositivi sopra descritti fossero in grado di rilevarla, ad un solo strumento, il pulsossimetro prodotto da BEURER.

L'ossimetro forniva come output le pulsazioni al minuto del soggetto in bpm, le quali venivano registrate in maniera continuativa durante le esperienze virtuali.

Una volta terminata l'acquisizione dei dati riguardanti la frequenza cardiaca di quest'ultima, collegando il dispositivo ad un computer, veniva graficato l'andamento del proprio valore nel tempo con conseguente quantificazione delle fluttuazioni di tale parametro al variare delle condizioni sperimentali.

Solo nel caso di un assai poco probabile malfunzionamento del dispositivo si sarebbe fatto ricorso ai valori di frequenza cardiaca rilevati dallo smartwatch o dallo sfigmomanometro portatile i quali venivano comunque sempre registrati in quanto, come verrà spiegato in seguito, l'esperimento per essere ritenuto valido non presentava la possibilità di una sua ripetizione.
In questo modo, anche se ritenuti meno validi ed affidabili dei valori del battito misurati dal saturimetro, i dati ottenuti dagli altri due strumenti sarebbero stati mediati fra loro in modo da ottenerne uno unico utilizzato poi come risultato.
Nel caso di una delle due misure evidentemente errata o di un malfunzionamento anche di uno fra Iposible IP67 e iHealth BP7 si sarebbe tenuta solo la misura relativa allo strumento che non aveva mostrato problemi per tale candidato.
La pressione arteriosa invece veniva misurata sia con lo smartwatch che con lo sfigmomanometro da polso e dei due valori, a meno di un evidente malfunzionamento di uno dei dispositivi, ne veniva fatta la media per ottenere un'unica misura assunta come valore finale.
Se invece una misura risultava palesemente errata poiché presentava un valore non fisiologico o non coerente con le misure precedenti, in quel caso veniva considerata solo la misura ritenuta corretta e l'altra veniva assunta come un outlier e quindi scartata, stessi metodi già illustrati per la frequenza cardiaca.
Le misurazioni della pressione arteriosa venivano eseguite negli stessi istanti di quelle del battito cardiaco di modo che i parametri vitali registrati appartenessero allo stesso momento; questo chiaramente vale per le misure fatte dall'Iposible IP67 e dall'iHealth BP7 visto che il saturimetro BEURER, come spiegato, acquisiva in modalità continuativa.
La particolarità della pressione arteriosa è che a differenza degli altri due parametri investigati è suddiviso a sua volta in due valori, pressione sistolica e diastolica, le quali forniscono indicazioni diverse sull'efficacia della pompa cardiaca e che quindi anche in fase di analisi dei risultati sono stati considerati separatamente.
La saturazione del soggetto, ultimo parametro fisiologico investigato, veniva misurata con il pulsossimetro wireless in due diverse modalità: per la misura a riposo essa veniva individuata andando semplicemente a leggere il valore sul display del dispositivo mentre successivamente, durante le simulazioni virtuali, il saturimetro veniva impostato in modalità recording e si registravano frequenza cardiaca e SpO_2 del soggetto in maniera continuativa.

In questo modo i valori ottenuti potevano essere graficati, analizzati e comparati in maniera facile ed intuitiva.
La saturazione, essendo una variabile fisiologica ancora poco indagata nei trials di realtá virtuale, è stata misurata pur sapendo che avrebbe potuto portare a risultati non conclusivi; a priori non si poteva infatti prevedere se essa avrebbe presentato variazioni importanti in base agli stimoli virtuali forniti, solo delle fluttuazioni casuali o addirittura nessuna variazione.
Nell'analisi dei risultati per tale parametro si è quindi deciso di tenerne in considerazione solo le variazioni abbastanza marcate da giustificare uno stato di ipossia, lieve o marcata, o una condizione di iperventilazione.
Per poter attribuire la saturazione del candidato ad una di queste condizioni si sono poste delle soglie: una SpO_2 minore del 95% per un tempo consistente sarebbe stata valutata come ipossia mentre un aumento fino al 100% o valori appena inferiori sarebbe stato considerato come possibile indice di iperventilazione.
Come verrà spiegato più nel dettaglio in seguito durante il protocollo sperimentale venivano sottoposte al soggetto diverse simulazioni VR, in particolare una di ambientamento alla realtà virtuale ed altre, quelle di maggiore interesse, nelle quali agli utenti veniva sottoposto uno scenario di esodo con presenza di input ansiogeni sia visivi che di altra natura.
Il confronto dei parametri fisiologici si basa sulla distinzione fra queste simulazioni ed anche i risultati ottenuti vengono distinti e discussi in base allo scenario virtuale di appartenenza.
Una volta rilevati i parametri fisiologici ed il loro andamento con soggetto a riposo e durante le simulazioni VR di prova e di esodo essi venivano analizzati al fine di estrapolarne il valore di picco per ogni stage della sperimentazione.
Per trarre le conclusioni si è iniziato analizzando la saturazione, parametro che a causa dei piccoli cambiamenti possibili nel proprio valore avrebbe probabilmente mostrato piccolissime differenze fra i valori registrati.
In ogni caso si sono indagate le variazioni nel valore di SpO_2 passando dallo stato di soggetto a riposo a alla simulazione di ambientamento alla VR e fra quest'ultima e le simulazioni VR di esodo.
Per quanto concerne invece i valori di pressione misurati si è eseguita la loro elaborazione al fine di estrarne per ogni situazione sperimentale il valore di picco andando però a distinguere per ogni simulazione fra pressione sistolica e diastolica,

le quali sono state poi considerate separatamente anche nella successiva fase di analisi dei risultati.

I valori di pressione massimale acquisiti nei vari spot temporali venivano confrontati e successivamente venivano calcolate le variazioni percentuali dei valori che le pressioni sistolica e diastolica presentavano passando dalla scena di ambientamento alla VR alle simulazioni di esodo o passando da soggetto a riposo allo scenario virtuale di prova.

Per la frequenza cardiaca e le variazioni percentuali nel suo valore si è proceduto in maniera analoga a quanto fatto per gli altri parametri fisiologici rilevati, andando a stimare anche per essa il valore di picco in ogni situazione sperimentale ed eseguendone il successivo confronto.

Una volta terminato di confrontare tutti i parametri di ogni candidato si è passati a calcolare quello che effettivamente interessava, la presenza di trend locali per una data condizione sperimentale e, in particolare, quantificare le variazioni del valore di picco dei parametri fisiologici sotto indagine all'aumentare del livello di stress sottoposto al soggetto.

Come verrà poi esaustivamente spiegato nel capitolo successivo a quanto appena illustrato si aggiungeranno anche i confronti fra i diversi gruppi di candidati cha hanno partecipato alla sperimentazione, andando a confrontare i valori ottenuti per i candidati di ogni gruppo con quelli degli altri in maniera del tutto analoga a quanto fatto precedentemente, in modo da estrarre anche in questo caso informazioni riguardo andamenti ricorrenti di qualche parametro e/o fluttuazioni anomale ed inaspettate degli stessi.

Oltre ai parametri fisiologici durante le simulazioni veniva misurato un ulteriore elemento: il tempo richiesto dai candidati per terminare l'esodo virtuale.

Il tempo necessario per evacuare l'edificio sarebbe stato usato in fase di analisi dei risultati per vedere quanto esso differisse da quello realmente necessario, il quale era stato precedentemente misurato durante il sopraluogo nella scuola 'Ettore ed Aurora Morelli'.

Disparità importanti fra i due valori avrebbero potuto infatti essere dovute all'assunzione da parte del candidato di comportamenti non razionali dettati da uno stato di eccessiva ansia; la controprova di ciò si sarebbe potuta avere andando a guardare se nei soggetti in cui il tempo richiesto per l'esodo VR era eccessivo i parametri fisiologici mostrassero un incremento marcato del proprio valore.

Se così fosse stato si sarebbe potuto confermare che il comportamento poco lucido del soggetto fosse dovuto allo stato d'ansia indotto dalla simulazione virtuale.
Il confronto tra il tempo di esodo in VR e quello realmente richiesto avrebbe inoltre permesso di valutare la verosimiglianza del modello BIM con l'edificio reale.

4.4.2 Partecipanti

Al presente caso studio hanno partecipato come candidati volontari 25 persone le quali, come accennato in precedenza, sono state divise in due gruppi: il primo, formato da 15 persone di cui 9 uomini e 6 donne, a cui non veniva spiegato in cosa consisteva l'esperienza virtuale né tantomeno lo scopo di essa ed il gruppo 2, composto da 10 soggetti divisi in 6 maschi e 4 donne, in cui i soggetti conoscevano il luogo dello scenario virtuale, a quali stimoli esterni sarebbero stati esposti e l'obiettivo dell'esperimento, ovvero riuscire a fuggire dall'edificio in fiamme.
Importante da sottolineare è che per entrambi gli insiemi di candidati il percorso da seguire durante l'esodo era sconosciuto a priori così come il fatto della presenza delle macerie ostruenti i percorsi di fuga nella seconda simulazione di evacuazione a loro sottoposta.
I risultati ottenuti con questi due gruppi di persone sono poi stati analizzati e comparati; al fine di rendere il confronto maggiormente rappresentativo si sono realizzati gruppi il più possibile affini sotto vari aspetti, in particolare per quanto riguarda il sesso e l'età dei partecipanti.
Per quanto riguarda il primo parametro la percentuale di utenti di sesso maschile e femminile è stata la stessa per entrambi i gruppi testati.
Tale suddivisone ha fatto sì che nei due diversi insiemi di partecipanti la percentuale di uomini fosse per entrambi il 60% mentre, di conseguenza, le donne avrebbero rappresentato il 40% di entrambi i gruppi.

Figura 4.19 – Ripartizione uomini e donne nei gruppi 1 e 2.

Lo stesso approccio è stato adottato anche per quanto riguarda l'età dei candidati, la quale per ambedue i gruppi di candidati variava dai 18 ai 30 anni con un'età media risultante di 24 anni.

Questo range è stato scelto per una moltitudine di fattori tra cui spicca innanzitutto la facilità nel reperire candidati appartenenti a tale fascia d'età nell'ambiente universitario dove si svolgeva l'esperimento.

A ciò si aggiunge una scelta dettata da uno dei maggiori limiti applicativi della tecnologia VR utilizzata nella sperimentazione: i dispositivi di realtà virtuale adoperati nel presente caso studio non sono infatti compatibili con i minori di anni quattordici in quanto le misure antropometriche di quest'ultimi non consentono loro né di indossare il visore dell'HTC Vive né di poter sfruttare al meglio tutte le funzionalità del Cyberith Virtualizer.

L'HTC Vive richiede infatti una testa di grandezza sufficiente a sostenere il visore mentre l'ODT di Cyberith presuppone un'altezza minima dell'utilizzatore sotto la quale le sue performance ne risentono fino a non renderne più possibile l'utilizzo.

Questo è purtroppo un limite ancora attuale di molte tecnologie VR il quale nel caso studio qui presentato assume ancora maggiore rilevanza in quanto lo scenario virtuale, come visto, è la rappresentazione di un complesso scolastico comprendente una scuola elementare ed una media, elemento che avrebbe reso particolarmente interessante indagare i parametri fisiologici e i comportamenti adottati da persone di età compatibile con quelle attualmente frequentanti tali strutture.

4.4.3 Simulazione – Parte 1: ambientamento

Prima dell'esperienza virtuale di esodo, al fine di far acquisire dimestichezza con il movimento tramite la pedana Cyberith, ai partecipanti lo studio veniva fatto provare il Virtualizer in una scena Unity di prova.
Così facendo il candidato si sarebbe ambientato alla realtà virtuale e a muoversi in essa affinchè una volta immesso nella simulazione di esodo non fosse impacciato nei movimenti sulla pedana, fattore che sarebbe risultato in una simulazione meno realistica ed immersiva andando di fatto a limitare la validità dei dati registrati.

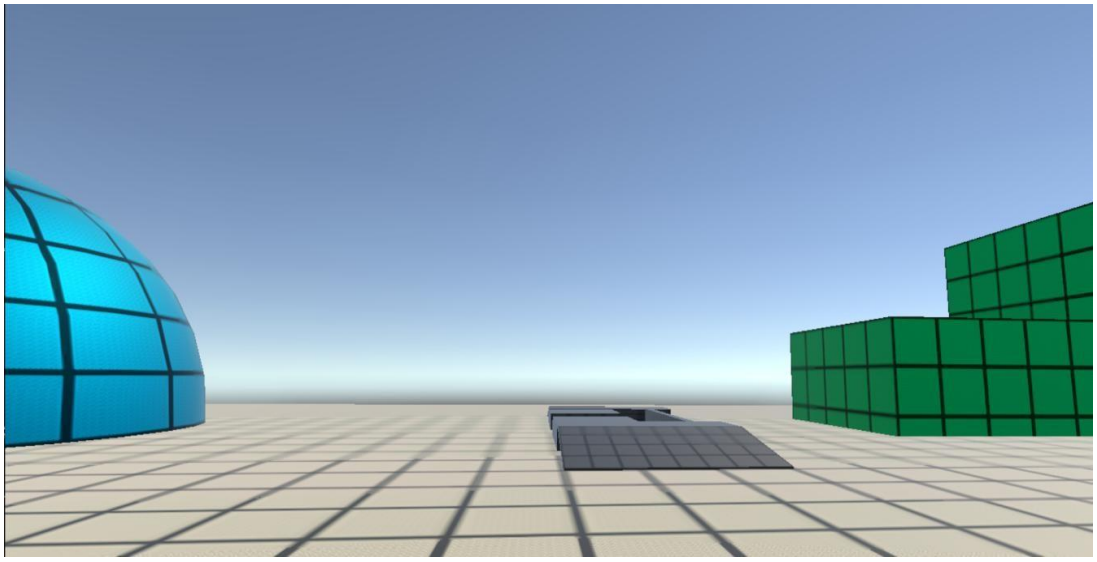

Figura 4.20 - Scena di ambientamento alla VR, Unity 2018.3.3.

La scena di ambientamento alla VR si componeva di un terreno senza ostacoli con la presenza di qualche grosso blocco geometrico, superficie facilmente percorribile che permetteva anche alle persone più inesperte in ambito di realtà virtuale e/o che mai avevano provato un ODT di acquisire subito confidenza con la tecnologia Vive e con il Virtualizer.
Nella scena di prova venivano fatti provare al soggetto una serie di movimenti, dal semplice camminare al compiere una camminata a passo moderato, provare a spostarsi lateralmente e ad accovacciarsi.
Quando non venivano più riscontrati problemi da parte dell'utente ad eseguire i gesti sopra citati la persona veniva ritenuta idonea ad affrontare la simulazione di esodo nella scuola.
Importante ai fini dell'esperimento è stata la rilevazione dei parametri fisiologici

del soggetto durante l'ambientamento alla VR in quanto essi sono poi stati confrontati con quelli ottenuti nelle successive esperienze virtuali di fuga dal complesso scolastico.
Importanza aggiuntiva dei dati registrati nella simulazione di ambientamento alla VR è data dal fatto che il soggetto andava ad eseguire movimenti molto simili, anche dal punto di vista della fatica, a quelli che avrebbe poi fatto nella simulazione di esodo e quindi, comparandone i valori, sarebbe stato facile vedere se le variazioni dei parametri fisiologici dell'utente nella seconda esperienza VR fossero legate al movimento o fossero invece dovute agli stimoli ansiogeni forniti.
Nella prima eventualità i valori ottenuti sarebbero infatti stati simili, se non addirittura uguali, a quelli ottenuti durante l'ambientamento; nel secondo caso si sarebbero invece registrate delle variazioni rispetto ai dati registrati durante la prova che, per esclusione, avrebbero dovuto rappresentare gli effetti degli stimoli ansiogeni presenti nella simulazione di esodo sui parametri vitali del soggetto.
Prima degli esperimenti si era deciso di non porre un limite di tempo alla simulazione di prova in quanto si riteneva utile procedere con le simulazioni di esodo solo quando il candidato avesse raggiunto uno standard minimo di fluidità nei movimenti sulla pedana Virtualizer.
Il tempo per ottenere il livello di confidenza richiesto, la cui soglia minima era rappresentata dal riuscire a camminare e a girarsi nell'ambiente virtuale senza problemi, non sarebbe stato registrato né tantomeno preso in considerazione per un eventuale confronto fra soggetti poiché ritenuto un valore estremamente dipendente dall'esperienza pregressa dell'utente con la VR e privo di utilità al fine della valutazione dell'insorgenza o meno di uno stato d'ansia nel soggetto.

4.4.4 Simulazione – Parte 2: esodo

In seguito all'esperienza virtuale di ambientamento alla VR si procedeva col sottoporre ai partecipanti la seconda serie di simulazioni, quelle di esodo nel caso di edificio scolastico in fiamme.
Siccome uno dei primi comportamenti adottati in caso di incendio è il cercare di spegnere quest'ultimo, azione rischiosa se le fiamme sono già ampiamente diffuse,

si è deciso di non mettere fiamme ed oggetti che bruciassero all'interno dell'ambiente virtuale ma solo fumo; in questo modo il candidato avrebbe semplicemente dovuto pensare a fuggire e non a cercare di gestire o spegnere l'incendio prima di iniziare l'evacuazione.

Questo è lo stesso motivo per cui all'interno del modello BIM non sono stati inseriti gli estintori né la segnaletica ad essi relativa presenti invece, chiaramente, nella scuola reale.

Cercare di spegnere un incendio ormai troppo esteso comporterebbe infatti nella realtà un ritardo nell'inizio delle manovre di fuga andando così a diminuire le probabilitá di sopravvivenza.

La presenza di dispositivi antincendio avrebbe quindi potuto far propendere i partecipanti allo studio verso comportamenti atti a cercare di spegnere l'incendio virtuale e non a fuggire, condotta che si voleva invece indurre in essi per poter analizzare lo stress causato dall'ansia di dover fuggire da una situazione di pericolo.

Come visto in 4.3.2 anche la presenza di altre persone dentro all'edificio avrebbe potuto indurre i partecipanti a tentare di salvarle rallentando così le manovre di esodo, motivo per cui esse non sono state inserite nell'esperienza virtuale.

Nel modello BIM si è invece implementata la segnaletica di salvataggio cercando di renderla il più fedele possibile a quella presente nella scuola reale, fattore che ha permesso di valutare se sotto stress i soggetti seguissero le indicazioni fornite dai segnali o se nel loro comportamento prevalessero l'ansia e l'emotivitá, fattori associati al panico e spesso causa di atteggiamenti irrazionali che aumentano la permanenza nell'incendio.

Per gli stessi motivi si sono aggiunte delle componenti, chiamati asset in Unity, permettessero di implementare e modellare il fumo in maniera verosimile con un suo possibile andamento reale.

Tali componenti sono state realizzate in modo che fossero poco intense all'inizio della simulazione e che aumentassero di grado col procedere del tempo andando inoltre a limitare la profonditá di visione, ulteriore fattore di stress inserito nelle simulazioni VR.

Il fumo è stato programmato in modo che in tutti i piani e in tutte le stanze partisse nello stesso momento e con la stessa intensitá e che aumentasse in esse con un uguale tasso di incremento; in questo modo qualunque percorso avesse seguito l'utente sarebbe stato esposto alla stessa quantitá di fumo.

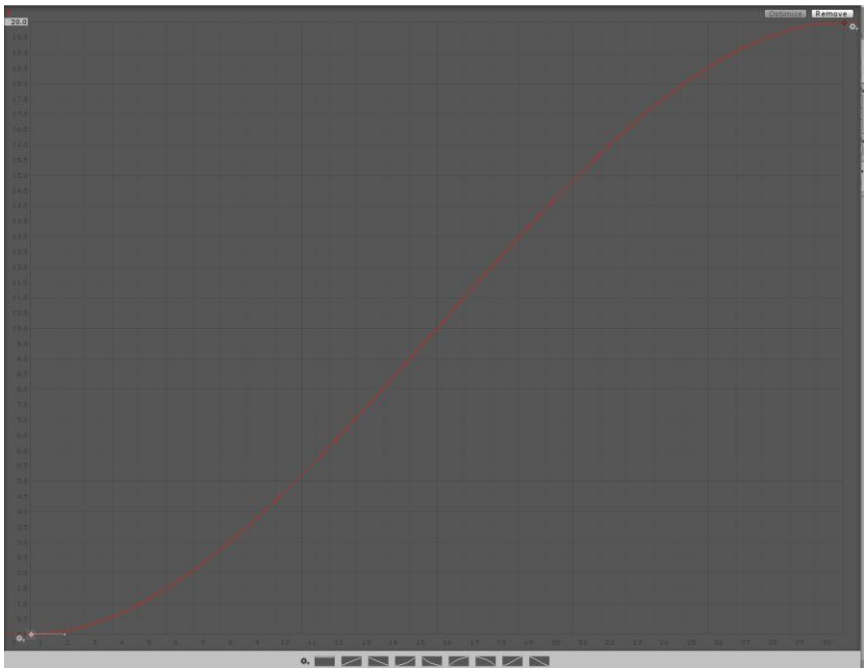

Figura 4.21 - Andamento fumo simulazione di esodo.

Un altro elemento distintivo di questo caso studio è stato la decisione di far partire i vari soggetti sempre dallo stesso punto, un'aula situata circa nel centro del secondo piano del complesso centrale 'Aurora Morelli'; in questo modo se fossero state rispettate sin dall'inizio della simulazione le indicazioni della segnaletica di sicurezza l'utente sarebbe dovuto arrivare alla zona sicura, il cortile esterno, seguendo indifferentemente uno dei due percorsi di esodo interni, ovvero quelli comprendenti le scale interne al complesso scolastico.

Questa doppia possibilità è stata possibile in quanto partendo da quell'aula la distanza totale da percorrere nei due percorsi di esodo era la medesima; anche la segnaletica di salvataggio, essendo l'aula alla stessa distanza sia dalle scale antincendio alla sua destra che da quelle alla sua sinistra, risultava essere seguita correttamente in qualunque caso, a meno che l'utente non avesse sorpassato le scale per poi seguire un'altra via di esodo che ne avrebbe aumentato la permanenza nell'incendio virtuale.

Con il fine di aumentare la mole di dati raccolta durante la sperimentazione si è deciso di ideare uno scenario di esodo alternativo, in cui tutte le scale interne tra pian terreno e primo piano erano rese non percorribili a causa della presenza di macerie.

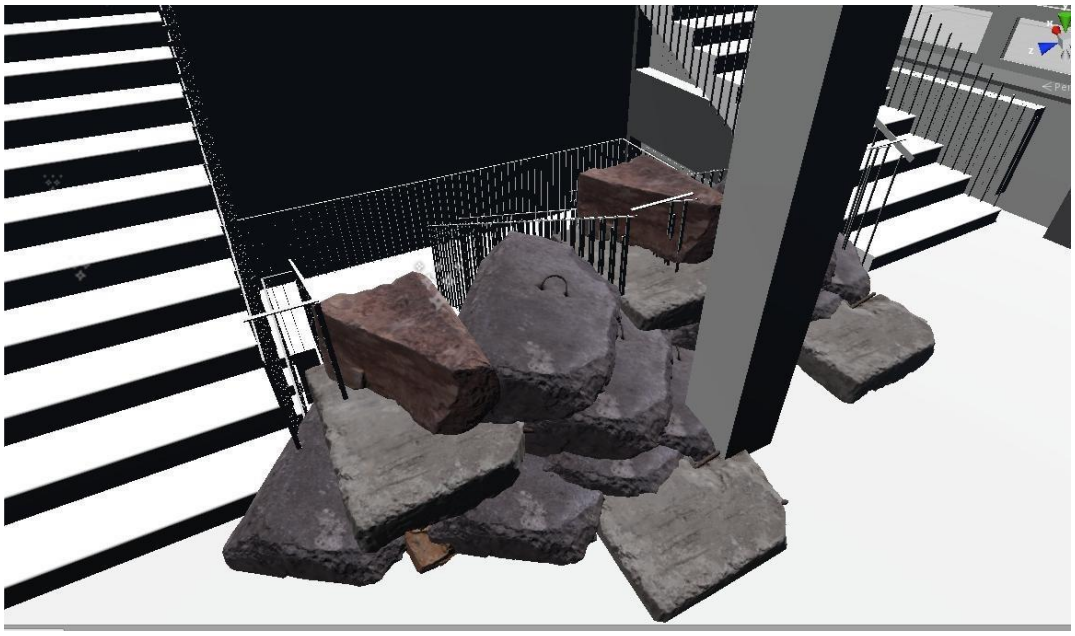

Figura 4.22 - Scala ostruita da macerie: simulazione VR di esodo, Unity 2018.3.3.

In questo caso la via di esodo corretta da seguire sarebbe stata una discesa con le scale interne fino al primo piano per poi uscire dall'edificio tramite una delle due scale antincendio esterne.

Questa variante è stata inserita poiché ritenuta uno stimolo ansiogeno aggiuntivo nonché utile elemento per valutare il comportamento e le scelte compiute dai soggetti sotto stress; questo scenario obbligava infatti i candidati ad abbandonare la via di esodo fino a lì seguita per ricercarne un'altra, in questo caso uno dei due percorsi conducenti alle scale esterne il complesso scolastico.

Durante l'esperienza VR venivano fatte eseguire all'utente le simulazioni di tutte e due le casistiche, misurando in entrambe i parametri fisiologici e valutando eventuali differenze nel comportamento degli utenti indotte dalla presenza delle ostruzioni.

Per quanto riguarda il fattore tempo nelle simulazioni svolte si è deciso di misurare tale elemento sia per l'esodo in presenza di macerie sia in quella priva di ostruzioni.

La durata dell'esodo nella VR sarebbe dipesa in maniera preponderante dalla velocità del passo del soggetto e dalla tendenza o meno a seguire la segnaletica di salvataggio inerente le indicazioni delle vie di esodo.

Come detto in precedenza i percorsi antincendio nella scuola reale hanno una durata di percorrenza di circa 75 secondi, valore che poteva essere rispettato anche nella simulazione VR senza la presenza di macerie seguendo correttamente la segnaletica

antincendio e procedendo a passo moderato.
Per la prova di esodo con presenza di macerie ed ostacoli, non essendo stato possibile per ovvi motivi misurarlo nel mondo reale, non viene fornito alcun tempo di riferimento, mentre nella simulazione VR l'esodo in tale circostanza avrebbe dovuto richiedere all'incirca 3 minuti, tempo misurato prima di procedere con la sperimentazione camminando ad andatura media.
Variazioni consistenti delle durate elencate avrebbero potuto essere dovute a due motivi diametralmente opposi: la marcata propensione a non seguire la segnaletica di salvataggio o l'assunzione di un comportamento dominato dall'ansia che non permetteva al soggetto di ragionare lucidamente e prendere quindi decisioni finalizzate al raggiungimento della salvezza.
Per riconoscere fra le due la casistica di appartenenza di un candidato si sarebbe fatto ricorso ai parametri fisiologici registrati durante le simulazioni: un tempo elevato per terminare l'esodo senza variazioni rilevanti nei parametri vitali sarebbe stato considerato come indice della scarsa propensione del soggetto a seguire le indicazioni della segnaletica di salvataggio mentre ampie oscillazione nell'andamento della variabili fisiologiche del soggetto in parallelo ad una durata temporale eccessiva dell'esodo sarebbero state specchio di scarsa lucidità mentale e quindi di un forte stress psicofisico.
Tutti e due gli scenari di esodo, con via di fuga interrotta o meno dalle macerie, terminavano nel cortile esterno adiacente alla scuola, zona identificata come area sicura e che, una volta raggiunta, avrebbe sancito il raggiungimento della salvezza e quindi la fine della simulazione.

4.4.5 Punti di forza e valore aggiunto dell'esperienza

Prima di andare a sottoporre ai partecipanti al caso studio le esperienze virtuali si è eseguita un'attenta ricerca bibliografica per andare a cercare esperimenti simili a quello qui proposto ed i relativi risultati.
Poiché molti casi studio precedenti avevano dimostrato la difficoltá nel far variare i parametri fisiologici nei soggetti esposti a simulazioni VR (Blakendaal *et al.,* 2015) per cercare di incrementare tali discostamenti si sono aggiunte ai test delle

componenti esterne non visive di stress: durante le prove infatti, una volta che il soggetto aveva indossato il visore e quindi senza che se ne accorgesse, gli veniva avvicinata al volto una stufetta elettrica emettitrice di un calore intenso.
Quanto appena descritto avrebbe dovuto generare uno stress improvviso per l'utente e portare come vantaggio una più efficiente simulazione del calore che durante un incendio viene sviluppato dalle fiamme e dal fumo caldo.
Il calorifero in questione erogava una potenza di 2000 W e si cercava di avvicinarlo il più possibile alla faccia del soggetto, regione corporea maggiormente sensibile al getto di calore e su cui quest'ultimo avrebbe provocato la maggiore sensazione di fastidio e stress.
Al fine di rendere l'esperienza più realistica per tutti i soggetti sottoposti alla sperimentazione si è deciso di usare la stufetta elettrica anche nelle prove dei candidati appartenenti al gruppo 2, i quali sapevano che gliela si sarebbe avvicinata, in modo da non avere condizioni sperimentali diverse fra i due gruppi testati.
A questo fattore di stress ne veniva aggiunto un altro tramite delle cuffie bluetooth indossate dal soggetto nelle quali venivano riprodotti suoni di soffocamento e tosse intensa quando egli si trovava nel fumo, mentre fuori da esso gli venivano fatte ascoltare urla, rumore di un cuore che batte molto velocemente e la sirena di un allarme antincendio.
Tutti gli elementi menzionati fino ad ora hanno portato come vantaggio la multisensorialità delle simulazioni, fattore decisivo per cercare di garantire un'esperienza realistica ed immersiva.
Il tatto infatti era in parte sollecitato dalla pedana, l'udito veniva attivato dai suoni riprodotti nelle cuffie, l'olfatto veniva innescato con il lieve odore di bruciato emesso dal calorifero e dal calore che penetrava nelle narici e chiaramente la vista, senso maggiormente sollecitato visto l'utilizzo del visore dell'HTC Vive.
Molti degli elementi qui elencati che contribuivano alla multisensorialità delle simulazioni sono stati implementati prendendo ispirazione dal caso studio "The persuasive power of virtual reality: effects of simulated human distress on attitudes towards fire safety", ricerca condotta nel 2010 da Luca Chittaro e Nicola Zangrando presso l'università di Udine.
Tale elaborato esaminava tramite la VR stress e panico nel caso di un incendio, obiettivo anche di questa tesi, e lasciava aperte delle domande a cui si è cercato di rispondere con questo lavoro.

In particolare Chittaro e Zangrando lasciavano come interrogativi come varino determinati parametri fisiologici in una simulazione VR altamente stressante e se livelli di ansia maggiori di quelli da loro rilevati facessero emergere reazioni di tipo attacco o fuga anche nella realtá virtuale.

Rispetto al loro caso studio si riscontrano però sostanziali differenze, tutte appositamente ideate al fine di cercare di innalzare il livello di stress durante l'esperienza virtuale.

Nel caso studio esaminato il maggiore livello di condizionamento del soggetto veniva eseguito tramite l'approccio Highemo, il quale prevedeva per gli utenti una visione via via più sfocata passando tempo nel fumo, versi di soffocamento e rumore di battito accelerato nelle cuffie da questi indossate.

Tutti gli stimoli ansiogeni fino a qui elencati sono stati riprodotti anche nel presente lavoro andando inoltre, come visto, ad aggiungerne altri, tra cui il riscaldamento del soggetto tramite la stufetta elettrica portatile; a questo si aggiungeva anche il fatto che parte dei candidati, quelli appartenenti al gruppo 1, non sapevano a cosa sarebbero stati sottoposti fino a che non iniziava la simulazione, fattore che avrebbe reso maggiormente stressante il trovarsi di fronte alla situazione di pericolo in VR.

Per rendere ulteriormente realistiche le esperienze virtuali in esse ci si muoveva grazie al Virtualizer mentre in quelle realizzate da Chittaro e Zangrando per il movimento venivano utilizzati dei joystick, strumenti che permettono un realismo ed un'immersività delle simulazioni VR decisamente inferiori rispetto a quelli ottenibili con l'ausilio dell'ODT della Cyberith.

Due altre differenze molto importanti fra le condizioni sperimentali sono che nel caso studio qui presentato il soggetto esce sempre vivo dalla simulazione mentre in quello tenutosi nell'universitá friulana non era possibile sopravvivere e che nel presente elaborato si è valutato il livello di stress tramite la variazione dei parametri fisiologici mentre nello studio dell'ateneo di Udine quest'ultimo veniva quantificato attraverso il questionario STAI(State Trait Anxiety Inventory), fatto compilare ai candidati sia prima che dopo l'esperienza virtuale.

Altra differenza sostanziale è rappresentata dal fatto che degli utenti coinvolti nelle simulazioni di esodo solo una piccolissima parte aveva esperienza di gaming 3D mentre nella ricerca di Chittaro e Zangrando tutte le persone coinvolte nello studio avevano una confidenza pregressa con il mondo della VR.

Figura 4.23 - Tunnel vision in approccio Highemo, [Chittaro e Zangrando, 2010].

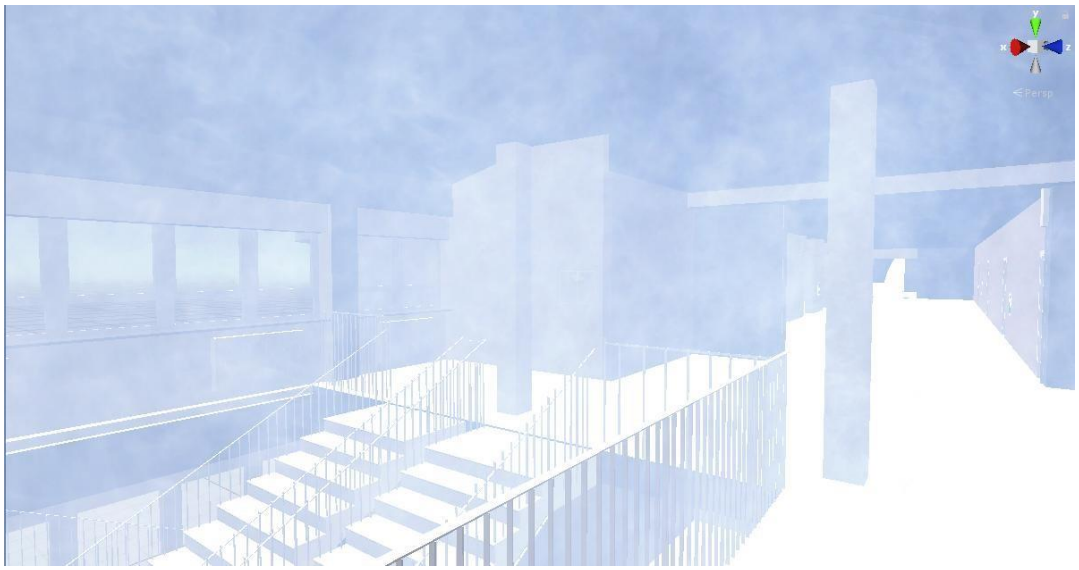

Figura 4.24 - Visione offuscata dal fumo: simulazione di esodo, Unity 2018.3.3.

Altre ricerche che si sono occupate dello studio dei parametri fisiologici in soggetti esposti a simulazioni di realtà virtuale o di verificare la possibilità di riprodurre in essa incendi e/o scenari di esodo (Chen et al, 2008) sono state analizzate e di ognuna si sono cercati di riprodurre ed implementare nel presente esperimento gli aspetti ritenuti maggiormente utili al fine degli obiettivi qui perseguiti.

Un esempio di ciò è rappresentato dall'andamento del fumo, materiale i cui movimento ed evoluzione temporale per essere ritenuti sufficientemente realistici devono avere determinate caratteristiche (Chen et al, 2013), le quali sono state

opportunamente implementate in Unity al fine di poterle immettere anche nel fumo delle simulazioni VR proposte nel presente caso studio.
Queste particolarità riguardavano tanto l'andamento quanto l'estensione del fumo, il quale nell'ambiente virtuale veniva distribuito nell'intera scena ed aumentava di intensità nel tempo seguendo lo stesso andamento in tutte le stanze.
In aggiunta a quanto detto fino ad ora l'iter sperimentale, come visto precedentemente, presentava una delle due simulazioni sottoposte al candidato in cui la via di esodo da seguire veniva interrotta dalla presenza di macerie comportando così per il soggetto la necessità di una rapida elaborazione mentale della situazione al fine di trovare una via di fuga alternativa.
Questo tipo di variante alle simulazioni di esodo classiche non è stata riscontrata nella letteratura scientifica indagata e si è quindi ritenuto interessante andare ad analizzare come essa andasse ad influire psicofisicamente sugli utenti esposti a tale situazione, ulteriore parametro distintivo di questa ricerca rispetto a quelle precedentemente condotte.

4.4.6 Questionario di valutazione dell'esperienza virtuale

Al termine dell'esperienza virtuale al soggetto veniva sottoposta una serie di domande atte a valutare e quantificare il grado di immersione e l'entità dell'ansia da esso sperimentati durante le simulazioni.
Il questionario veniva fatto compilare tramite Google Forms, piattaforma software che permette di eseguire sondaggi e, tramite le risposte fornite, di fare l'analisi dei risultati sia realizzando grafici e tracciando gli andamenti qualitativi e quantitativi dei dati sia calcolando le percentuali di persone che forniscono la stessa risposta ad una o più domande.
Viene di seguito proposta la lista di quesiti a cui i soggetti erano tenuti a rispondere terminata l'esperienza virtuale.

Esodo VR

*Campo obbligatorio

Prima volta che usi VR? *

- SI
- NO

Hai mai sofferto di attacchi di panico? *

- SI
- No

Hai trovato la simulazione realistica? *

- SI
- NO
- Più si che no
- Più no che si

Hai capito subito cosa dovevi fare? *

- Si
- No

Cosa ti ha fatto capire di dover evacuare dall'edificio? *

- Fumo
- Campanella antincendio
- Entrambe

Durante l'esodo hai seguito la segnaletica antincendio? *

- Si
- No

Fonte di maggiore stress? *

- Essere avvolti da fumo
- Scale ostruite da macerie
- Udire versi di soffocamento
- Nessuno in particolare
- Altro: _____

INVIA

Figura 4.25 – Questionario sull'esperienza virtuale, Google Form.

In base alle risposte fornite si poteva subito avere un riscontro su quanto il candidato avesse reputato realistiche ed immersive le simulazioni virtuali.
La domanda 'Cosa ti ha fatto capire di dover evacuare dall'edificio?' é stata usata per valutare se la semplice visone del fumo fosse sufficiente a far capire all'utente la necessità di evacuare l'edificio oppure se l'aggiunta di stimoli esterni come il suono della campanella antincendio fosse risultata utile, se non addirittura necessaria, per conseguire tale risultato.
La domanda riguardante la fonte di maggiore stress è stata fatta per indagare quali siano gli elementi che trasposti virtualmente creano il disagio maggiore; questo è stato utile per verificare se nel momento identificato dalla persona come maggiormente ansiogeno si avessero effettivamente le maggiori variazioni dei parametri fisiologici o se quest'ultimi si presentassero in un momento non reputato come particolarmente stressante dagli utenti.
Chiaramente le domande 'Cosa ti ha fatto capire di dover evacuare dall'edificio?' e 'Durante l'esodo hai seguito la segnaletica antincendio?' non sono state sottoposte alla parte di candidati che conosceva a priori l'obiettivo dell'esperimento.
Come spiegato in 3.4 quella che per la facilità interpretativa degli utenti viene chiamata segnaletica antincendio è in realtà la segnaletica di salvataggio a sfondo verde e non quella a sfondo rosso, accortezza che avrebbe dovuto limitare possibili incomprensioni della domanda.
Una volta terminato il questionario il candidato veniva congedato e l'esperimento poteva ritenersi concluso.

CAPITOLO V

RISULTATI SPERIMENTALI

In questo capitolo conclusivo vengono riportati i risultati ottenuti dalla registrazione e dalla successiva analisi dei dati psicofisici dei soggetti che si sono offerti di partecipare alla sperimentazione di questo lavoro di tesi.
Gli esiti ottenuti sono stati indagati e motivati a partire dalle ipotesi di partenza fatte ed in base a queste si è fornita una valutazione sia dell'utilità del dato raccolto sia della sua validità o meno nell'ambito della ricerca scientifica.
Come visto nel capitolo precedente i dati raccolti sono sia di natura medica, con particolare enfasi sui tre parametri fisiologici registrati, sia di natura psicologica, come nel caso del comportamento assunto dal candidato nei momenti maggiormente stressanti delle simulazioni.
Per quest'ultimi si è dimostrato molto utile al fine dell'interpretazione dei risultati il questionario sottoposto ai candidati sotto forma di Google Forms, poiché univa ai dati prettamente oggettivi sopra descritti una valutazione maggiormente soggettiva dell'esperienza virtuale.
Nel finale del capitolo, una volta evidenziate le potenzialità ed i limiti attuali della ricerca scientifica rappresentata da questo caso studio, si sono elencati quelli che potrebbero essere gli spunti per ricerche future.
Nel particolare vengono elencate quelle che sono ancora le domande aperte lasciate da questa argomentazione e a cui è auspicabile che studi successivi possano trovare una risposta, magari prendendo spunto o facendosi ispirare da quanto riportato in questo lavoro di tesi.

5.1 Comportamento sotto stress

Il comportamento dei soggetti durante le simulazioni VR è stato indagato per due motivi principali: vedere se in condizioni stressanti dal punto di vista psicologico simulate virtualmente il candidato mantenesse il giusto grado di lucidità mentale e

capire quanto l'immersività ed il realismo della simulazione VR influissero sulle decisioni del soggetto.

Per prima cosa si è valutato il tempo richiesto dall'inizio della simulazione per capire che l'obiettivo dell'esperienza virtuale fosse un'evacuazione d'emergenza dall'edificio.

Per il gruppo 1, l'unico per cui ha senso questo dato in quanto ignoto ai suoi componenti l'obiettivo della prova, tale tempo è sempre stato di qualche secondo; in particolare dalle risposte dei candidati ai questionari è emerso che il fumo ed il rumore della campanella antincendio abbiano fatto subito intuire la necessità di evacuare l'edificio.

Questo dato permette di trarre come conclusione che maggiore il grado di realismo della simulazione virtuale maggiore sarà la probabilità di indurre comportamenti simili a quelli che si avrebbero nella realtà da parte del soggetto se esso vivesse la stessa esperienza simulata virtualmente, risultato intuitivo ma per nulla banale.

Il fatto di aver aggiunto realismo all'esperienza virtuale tramite stimoli acustici, visivi e termici o, in altre parole, l'aver reso la sperimentazione multisensoriale ha fatto sì che si raggiungesse un'immersione nell'ambiente VR molto maggiore di quello che si potrebbe avere in simulazioni con modelli 3D curati nei minimi dettagli ma che, come spesso accade, sono limitati al solo senso della vista.

Dopo i primi secondi all'interno dello scenario di esodo veniva valutata la capacità del soggetto di individuare e seguire correttamente la segnaletica di salvataggio; questo dato è stato analizzato in entrambi i gruppi di studio in quanto anche per il gruppo 2 il percorso di esodo da seguire era incognito.

Tutti e venticinque i candidati testati hanno rispettato le indicazioni fornite dalla segnaletica di sicurezza ed infatti i tempi di esodo sono coerenti con quanto misurato nella scuola reale, risultato che verrà spiegato nel dettaglio in 5.2; in particolare si sono riscontrati tempi poco differenti per i due gruppi, risultato che porta a concludere che l'ansia e lo stress psicologico vissuti dai soggetti non fosse tale da scaturire in comportamenti irrazionali e/o poco lucidi.

Quanto appena detto è vero per la prima simulazione virtuale di esodo sottoposta ai soggetti, ovvero quella con percorsi di fuga liberi e non ostruiti da macerie.

Nella seconda simulazione di esodo invece, quella con presenza di macerie, si sono viste marcate differenze nelle scelte e nel comportamento fra i due gruppi ma anche fra soggetti appartenenti allo stesso gruppo.

La sfida rappresentata da questa seconda esperienza virtuale risiedeva nel fatto che per riuscire a fuggire bisognasse andare contro le indicazioni fornite dalla segnaletica di esodo seguita fino al momento in cui si incontrava l'ostacolo; ciò ha reso possibile valutare con maggiore veridicità la lucidità delle decisioni dei partecipanti al caso studio.

Il tempo medio di esodo si è incrementato notevolmente per entrambi i gruppi, come da previsione, ma solo nel primo gruppo si sono avuti dei candidati con un tempo anomalo per raggiungere la salvezza.

In particolare nel caso di percorso di esodo bloccato da macerie il limite inferiore del range del tempo di fuga per i due gruppi risulta identico mentre nel gruppo 1 il limite superiore è superiore di oltre il 50% a quello misurato per il gruppo 2.

La conclusione che si può trarre da quanto appena visto è che l'elemento sorpresa, ovvero trovarsi all'improvviso in uno scenario virtuale ansiogeno, unito al fatto di trovarsi inaspettatamente di fronte ad un ostacolo renda il comportamento umano molto più soggetto all'ansia rispetto al trovarsi di fronte le macerie ma sapendo a priori che ci si sarebbe trovati in una situazione di pericolo.

Un altro fattore di valutazione del comportamento era il fatto che i partecipanti prendessero o meno la decisione, sempre errata in caso di incendio, di salire per le rampe di scale invece che scendere; dei venticinque soggetti monitorati solo due persone, una per gruppo, sono saliti di un piano nell'edificio.

In entrambi i casi tale errore si è verificato durante la simulazione con macerie, fattore che farebbe supporre una scarsa lucidità mentale, sintomo iniziale di una emergente condizione di panico.

Sia per il primo che per il secondo soggetto saliti di piano durante l'esodo simulato tale avvenimento non è però stato seguito da un incremento marcato né del battito cardiaco né della pressione arteriosa ma soprattutto dopo l'ascesa le decisioni prese dai due candidati tornavano ad essere razionali e ponderate.

Questi due motivi lasciano presumere che la scelta di salire durante l'incendio virtuale fosse maggiormente dettata da una scarsa conoscenza delle regole da seguire durante tali calamità piuttosto che da ansia e/o da panico.

Quanto appena visto porta alla conclusione che la VR posso essere utilizzata per evocare nell'utente emozioni forti ed indurre lievi variazioni nel comportamento ma non abbastanza da far sì che emerga un modo di agire totalmente irrazionale e dominato dall'affanno.

In futuro bisognerà quindi lavorare per capire fino a che punto la tecnologia VR possa essere utilizzata per simulare ed indagare i processi psicofisici umani in condizioni fortemente ansiogene, in quanto con i mezzi e le conoscenze attuali, messe in campo al massimo delle loro potenzialità in questo lavoro di tesi, si riesce solo ad avere un avvicinamento degli indicatori di stress, tra cui ad esempio affanno e battito accelerato, ad una condizione che rappresenti effettivamente quella che si verificherebbe in un incendio, od una simile situazione, nella realtà.

5.2 Durata esodo

In tutte le simulazioni di esodo si sono misurati i tempi impiegati dai partecipanti al caso studio, i quali venivano fatti partire tutti dalla stessa aula al secondo piano dell'edificio centrale del complesso scolastico, per trovare e percorrere la via di esodo fino al raggiungimento della zona sicura situata all'esterno della scuola virtuale.

Questa procedura è stata eseguita sia nel caso della normale evacuazione sia nel caso precedentemente descritto in cui la via di esodo era ostruita da delle macerie e in cui al soggetto veniva quindi richiesto di ragionare lucidamente al fine di trovare un nuovo percorso di esodo anche a costo di andare contro alle indicazioni fornite dalla segnaletica fino a lì seguita.

Nella prima condizione, quella senza macerie, il tempo misurato nella scuola reale per evacuare dall'aula era di poco meno di 80 secondi, tempo che seguendo pedissequamente la segnaletica di sicurezza e procedendo con un'andatura moderata aumentava di poco nella simulazione virtuale.

Per la simulazione con presenza di macerie invece non è stato possibile, come facilmente intuibile, misurare nella realtà un tempo di riferimento.

I risultati ottenuti per i due diversi scenari di fuga sono molto differenti fra loro ed i valori ottenuti differiscono in maniera marcata anche in base al gruppo di partecipanti considerato.

Il gruppo 1, come spiegato in 4.4.2, era formato dai 15 candidati che non sapevano a priori né l'obiettivo né la scena virtuale nella quale si sarebbero trovati mentre il gruppo 2 era composto dai 10 soggetti che conoscevano tali componenti

dell'esperimento del quale ignoravano solo il percorso da seguire durante l'esodo.
Il primo gruppo presenta durate di esodo, nel caso senza ostruzioni, comprese nel range [80, 120] secondi, con una durata media delle simulazioni di 100 s mentre nel caso di evacuazione con macerie tale durata aumenta a [120, 480] secondi con una media di 273 s.
Il gruppo 2 presenta invece i seguenti range per le stesse simulazioni: [60, 120] secondi senza macerie e [120, 300] secondi nel caso di detriti ostruenti la via di fuga con rispettivi tempi medi di percorrenza di 90 e 232,5 s.

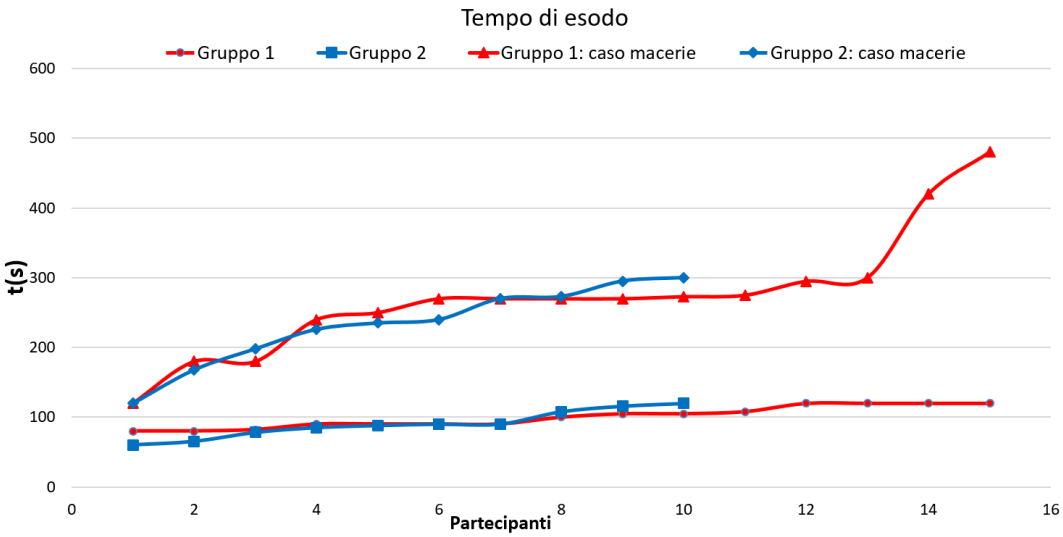

Figura 5.1 – Tempi di esodo dei partecipanti dei gruppi 1 e 2: confronto simulazioni con e senza macerie.

Le ipotesi da cui si era partiti avevano ipotizzato che una durata anomala dell'esodo simulato avrebbe potuto essere causato dalla scarsa lucidità delle scelte del soggetto dovute ad uno stato psicologico dominato dall'ansia e dal panico.
Andando in seguito ad analizzare i parametri fisiologici registrati nelle simulazioni con un tempo molto elevato rispetto a quanto effettivamente necessario si è notato che i parametri vitali aumentavano in maniera maggiore rispetto a quelle con un tempo normale; questa differenza tuttavia, sebbene non trascurabile, non rappresenta un valore abbastanza marcato da giustificare comportamenti irrazionali e dominati dall'affanno nei candidati.
Tempi esageratamente elevati potrebbero quindi essere dovuti alla scarsa predisposizione di alcuni soggetti a prendere velocemente decisioni efficaci in condizione di stress.
Interessante da evidenziare è la differenza nei due gruppi di candidati: le medie

risultanti distano solo di 10 e 40 secondi per le due simulazioni, tempi piccoli se confrontati al range di appartenenza, mentre sono proprio quest'ultimi, nel caso di esodo con presenza di macerie, a differire molto.
Nel caso di esodo senza ostruzioni il tempo massimo misurato risulta identico, mentre il tempo minimo si riduce del 33% passando dal primo al secondo gruppo.
Nelle simulazioni con presenza di macerie invece è l'estremo inferiore del range a rimanere inalterato per i due gruppi mentre l'estremo superiore dal primo al secondo gruppo presenta una diminuzione del 37,5%.
In particolare nel gruppo 1 il limite superiore è superiore di oltre il 50% a quello misurato per il gruppo 2, differenza che porta con sé una serie di riflessioni.
Quest'ultimo risultato fa infatti ipotizzare che sapendo a priori l'obiettivo della simulazione virtuale i soggetti siano maggiormente inclini a ragionare lucidamente e a prendere decisioni con la calma necessaria a non fare scelte avventate e controproducenti.
Quanto appena detto è la prova che il fattore sorpresa sia uno dei fattori più importanti per indurre uno stato d'ansia del soggetto in simulazioni VR: questo potrebbe essere interpretato come un limite all'immersività delle simulazioni ansiogene VR le quali da sole non sarebbero in grado di indurre nel soggetto variazioni psicofisiche importanti.
In conclusione si può quindi affermare che le simulazioni di realtà virtuale, sebbene in grado di provocare variazioni nei parametri fisiologici dei candidati in base agli input stressanti in esse presenti, necessitano di elementi esterni per fare aumentare il valore di tali discostamenti.
Una volta compreso quanto appena detto si può quindi lavorare in un'ottica non tanto di potenziamento dell'ansiogenicità delle simulazioni virtuali bensì su tutta una serie di fattori esterni atti ad indurre le stesse variazioni dei parametri fisiologici che si avrebbero nella realtà vivendo la stessa esperienza sperimentata virtualmente.
Nel caso studio qui presentato tali elementi erano rappresentati dal fattore sorpresa, dai suoni fatti ascoltare con le cuffie e dalla stufetta elettrica avvicinata al soggetto.
Le domande aperte lasciate da questo lavoro di tesi non riguardano quindi quali siano gli elementi maggiormente ansiogeni da inserire nelle simulazioni virtuali ma quali stimoli atti ad aumentare la multisensorialità delle esperienze VR siano i più efficaci, in quanto fino ad ora hanno dimostrato di essere quest'ultimi le maggiori cause di stress nei casi studio finora condotti.

5.3 Variazioni parametri fisiologici

In questa sezione vengono presentati i risultati ottenuti dai tre dispositivi di rilevazione dei parametri fisiologici utilizzati durante la sperimentazione; in particolare vengono analizzati sia i dati raccolti durante le simulazioni di ambientamento alla VR e quindi prive di stimoli ansiogeni sia quelli registrati durante le esperienze virtuali di esodo.

A questo confronto si aggiunge anche quello fra i parametri fisiologici del soggetto durante la simulazione di prova e quelli che egli presentava a riposo; in questo modo si è quantificato quanto la semplice introduzione del candidato nell'esperienza virtuale ne facesse variare i parametri vitali.

Per meglio comprendere le effettive potenzialità della VR si propone inoltre il calcolo delle variazioni percentuali che i parametri fisiologici presentano passando dallo stato a riposo alle simulazioni di esodo; questo confronto ha permesso di quantificare il limite dello stress psicofisico inducibile in soggetti sottoposti ad esperienze virtuali ansiogene.

Così facendo si è potuto valutare, andando a paragonare i risultati delle due simulazioni VR, quanto la variazione percentuale dei parametri fisiologici fosse dovuta al semplice trovarsi in uno scenario virtuale e quanto invece fosse causata dagli stimoli ansiogeni sottoposti al soggetto.

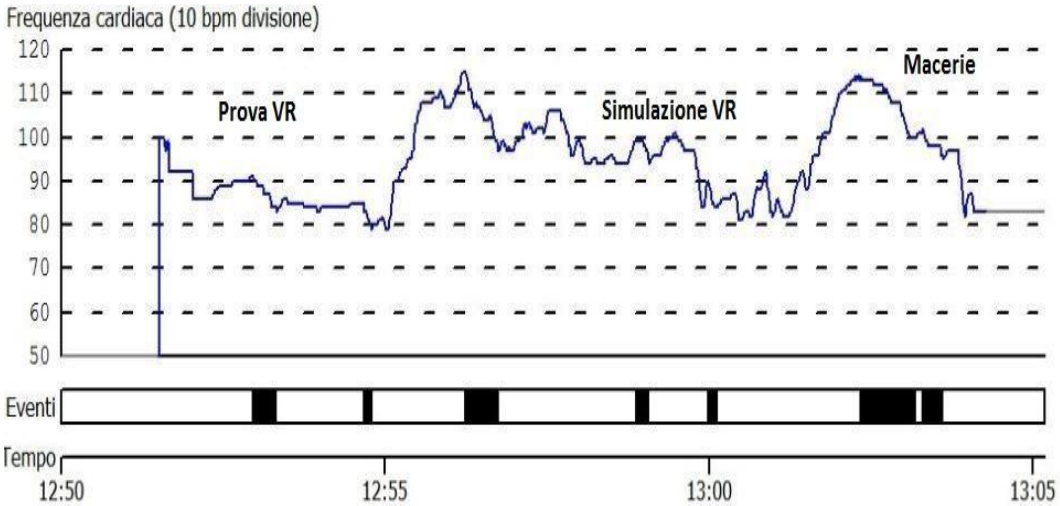

Figura 5.2 - Esempio di dati registrati durante le esperienze virtuali: frequenza cardiaca.

Le conclusioni tratte dall'analisi sperimentale dei tre parametri vitali indagati vengono presentate nel seguito di questo capitolo esponendo per ognuno di essi le

supposizioni fatte sulle cause che ne hanno determinato le variazioni percentuali.
Nonostante quanto appena detto, essendo la pressione arteriosa ma soprattutto la saturazione parametri ancora molto poco indagati nell'ambito della ricerca scientifica in VR, gli esiti di seguito esposti non possono essere validati tramite confronto con quanto ottenuto da casi studio simili a questo.
I dati raccolti per tali parametri possono comunque essere ritenuti utili ai fini sia della valutazione dello stato di ansia dei soggetti sia per essere usati come possibile spunto per possibili ricerche future atte a validarne o meno la legittimità.

5.3.1 Pressione arteriosa

Come accennato in precedenza nell'analisi dei dati registrati di pressione arteriosa non si è posto particolare risalto sul valore assoluto ottenuto di tale parametro bensì sulle variazioni percentuali che esso presentava fra le varie prove a cui veniva sottoposto il candidato.
I confronti sono quindi stati eseguiti andando a calcolare il discostamento percentuale utilizzando la seguente formula:

$$\frac{X-Y}{Y} \cdot 100 \tag{5.1}$$

con Y che a seconda del confronto considerato è il valore in mmHg a riposo o di picco durante la simulazione di prova mentre X rappresenta rispettivamente la pressione arteriosa massima registrata durante l'ambientamento alla VR o durante le simulazioni di esodo.
Questo procedimento è stato seguito sia per quanto riguarda la pressione sistolica che quella diastolica i cui valori dei discostamenti percentuali sono stati calcolati separatamente; l'equazione (5.1) è stata utilizzata per quantificare le variazioni percentuali della pressione arteriosa, sia diastolica che sistolica, fra il valore ottenuto con soggetto a riposo e quello di picco registrato durante la simulazione virtuale di adattamento alla VR.
Quanto appena visto veniva poi ripetuto anche per valutare la differenza fra i valori pressori massimali sistolici e diastolici rilevati nell'esperienza virtuale di prova e

nelle simulazioni di esodo.

Al fine di fornire una rappresentazione maggiormente esaustiva dei risultati si sono considerati separatamente i due gruppi di candidati testati facendo poi un confronto fra le conclusioni tratte per ognuno di essi.

Le variazioni percentuali nel valore di pressione massimale fra valore a riposo e quello ottenuto nella simulazione VR di prova rappresentano l'unica eccezione a quanto detto in precedenza poiché sono state calcolate unendo i risultati dei due gruppi; la simulazione di adattamento alla VR veniva infatti sottoposta a tutti i candidati con le stesse modalità e ai fini della sperimentazione il fatto che essi sapessero o meno cosa avrebbero trovato nella prova, non essendoci in essa stimoli ansiogeni, non avrebbe influenzato i risultati.

Vengono di seguito presentati gli esiti dei calcoli fatti per pressione sistolica e diastolica, delle quali è stato calcolato il range di variazione.

Il confronto fra i valori massimi di pressione sistolica e diastolica ottenuti fra la simulazione di prova e con soggetto a riposo, per i quali come visto si sono considerati insieme i due gruppi di candidati, ha condotto ai seguenti risultati.

L'equazione precedente applicata alla differenza fra i valori massimi di pressione sistolica fornisce il range di variazione [0%, 25%] mentre per la diastolica [0%, 26%], con rispettivi discostamenti medi di 11.4% e 9.41%.

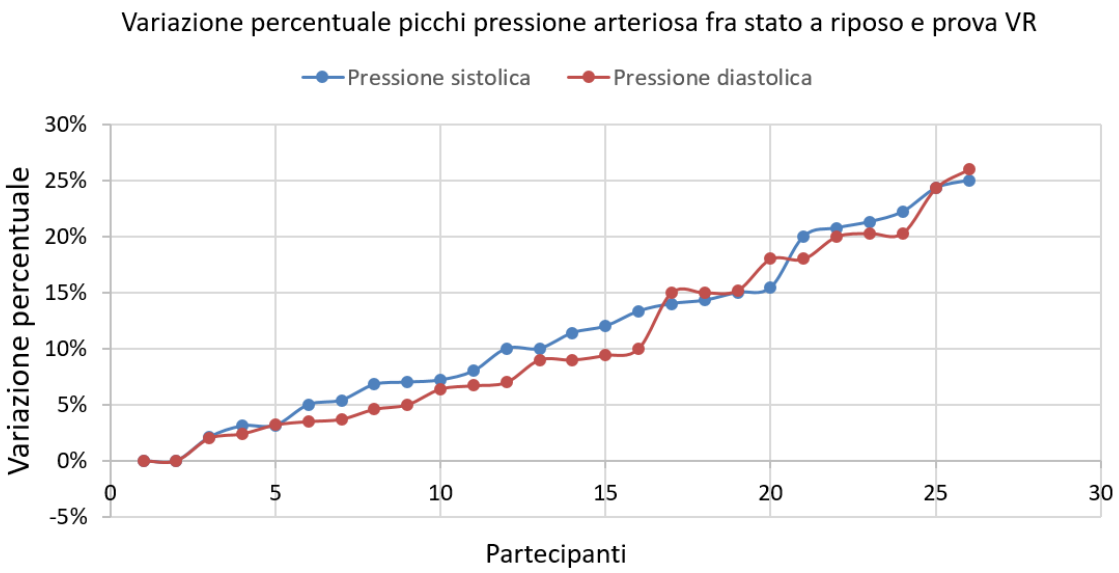

Figura 5.3 – Variazione percentuale dei valori di picco della pressione arteriosa sistolica e diastolica passando da soggetto a riposo alla simulazione VR di prova.

I range per la pressione sistolica e diastolica sono molto simili ed anche i valori delle variazioni percentuali medie differiscono solo di qualche punto percentuale; in particolare per la sistolica si ottengono sia range che discostamenti medi con valori leggermente maggiori.

Di grande interesse per il lavoro di tesi qui proposto sono stati poi i confronti fatti per valutare le differenze fra l'andamento delle pressioni sistolica e diastolica massimali registrate fra la simulazione di prova e quelle di esodo.

Per una migliore e maggiormente intuitiva analisi dei risultati si sono considerati insieme i valori ottenuti per le due prove di evacuazione, rispettivamente con e senza macerie, mentre sono stati calcolati separatamente i risultati per i due gruppi di candidati, divisione che avrebbe permesso di valutare quanto l'andamento pressorio fosse influenzato dalla conoscenza a priori di obiettivi e scenari virtuali.

In particolare i discostamenti medi per le pressioni sistolica e diastolica massime degli appartenenti al gruppo 1 valgono rispettivamente 7.9% e 5.9%, inferiori a quanto riscontrato passando da soggetto a riposo alla simulazione VR di prova ma comunque consistenti.

Per il gruppo 2 invece i risultati le variazioni percentuali decrescono ulteriormente, diventando 3.1% per la sistolica e 3.7% per la diastolica.

Risulta subito evidente come conoscere in precedenza gli stimoli ansiogeni a cui si viene sottoposti virtualmente limiti in maniera significativa l'innalzamento del valore della pressione arteriosa, facendo di fatto supporre che per quanto riguarda gli stimoli ansiogeni virtuali il fattore sorpresa sia determinante per indurre variazioni degne di nota.

Si può quindi affermare che il fattore sorpresa sia una delle se non addirittura la maggiore causa degli incrementi nel valore delle variabili fisiologiche in condizioni simulate di stress.

I range dei discostamenti percentuali dei valori massimali di pressione fra le simulazioni VR di prova e di esodo risultano anch'essi molto differenti fra gruppo 1 e gruppo 2, con valori compresi nell'intervallo [0%, 15.8%] e [0%, 14.4%] per le pressioni sistolica e diastolica del gruppo 1.

Per il gruppo 2 si sono invece ottenuti range pari a [-4.8%, 13.9%] per la pressione sistolica e [-5.1%, 9.9%] per quella diastolica.

Il gruppo 2 presenta per entrambi i range l'estremo inferiore negativo, fattore che porta a supporre che l'ipotesi sul fattore sorpresa descritta poco fa sia corretta.

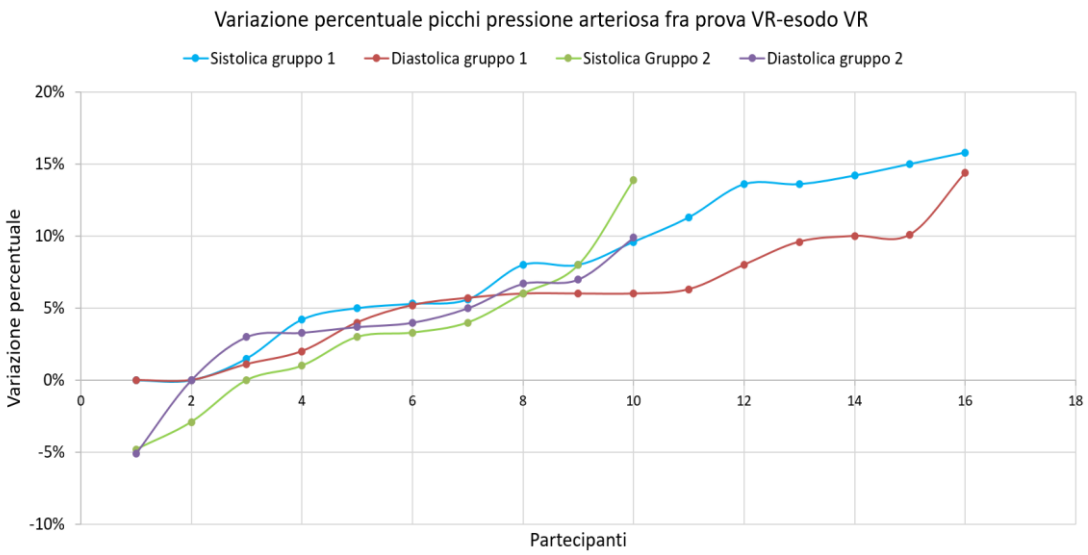

Figura 5.4 – Variazioni percentuali delle pressioni sistolica e diastolica massimali fra le simulazioni VR di prova e di esodo.

Dall'analisi dei risultati graficati appare chiaro un trend risultante dal calcolo dei discostamenti percentuali per le pressioni massimali e valido tanto per le variazioni fra le pressioni con soggetto a riposo e simulazione VR di prova quanto per quelle fra prova e simulazioni di esodo.

Questo trend altro non è che quanto visto fino ad ora per ogni caso analizzato, ovvero la tendenza, per entrambi i gruppi, a presentare variazioni minori nei valori di pressione passando dalla prova alle esperienze virtuali di esodo rispetto a quelle dovute alla semplice applicazione di uno scenario virtuale non ansiogeno.

Quanto appena visto sembrerebbe provare la scarsa funzionalità della realtà virtuale nell'andare a simulare in maniera verosimile alla realtà situazioni stressanti dal punto di vista psicofisico e/o pericolose per l'incolumità dei candidati; in altre parole i risultati fanno ipotizzare che le potenzialità degli attuali strumenti per la VR si limitino, pur riproducendo in maniera dettagliata scenari ansiogeni, ad indurre uno stato di stress emotivo minore di quello che si avrebbe vivendo la stessa esperienza nella realtà.

Bisogna però sottolineare che nella sperimentazione condotta in questo lavoro di tesi invece di misurare il semplice incremento nel valore di pressione arteriosa venivano eseguiti due confronti, fattore che avrebbe potuto rendere i risultati del secondo paragone, quello fra le simulazioni VR di prova e di esodo, influenzati dal primo confronto, quello fra VR di prova e soggetto a riposo.

La pressione del soggetto per il secondo confronto non partiva infatti dal livello

misurato a riposo ma da un valore più elevato e, visto che la pressione non può aumentare oltre un certo limite solo applicando stimoli ansiogeni, il range di variazione per i secondi confronti si suppone esser stato in parte mascherato dal primo aumento.

A priori si era infatti deciso di registrare ed eseguire i confronti anche con i valori pressori registrati durante la simulazione di prova per capire quanto effettivamente l'aumento del valore di pressione fosse dovuto alla VR e quanto agli stimoli ansiogeni, auspicando che quelli dovuti a quest'ultimi sarebbero stati maggiori.

Sebbene l'obiettivo del lavoro di tesi fosse di andare a quantificare l'aumento del valore dei parametri fisiologici dovuti all'esposizione del soggetto a stimoli ansiogeni virtuali si è comunque deciso in fase di analisi dei risultati di effettuare il paragone fra il valore di pressione registrato a riposo e quello massimale rilevato nelle simulazioni di esodo.

In questo modo si sarebbe potuto quantificare quanto un'esperienza virtuale nella sua totalità sia in grado di far variare tale parametro vitale.

Da tale confronto si sono ottenute variazioni medie per il gruppo 1 del 17.35% per la pressione sistolica di picco e del 12.6% per la diastolica, con rispettivi range di variazione di appartenenza pari a [8.67%, 37.9%] e [4.9%, 37.7%].

Il gruppo 2 ha mostrato invece variazioni medie pari a 21.7% per la pressione sistolica e 20.7% per la diastolica, con rispettivi range di variazione di [19%, 28%] e [15%, 28.3%].

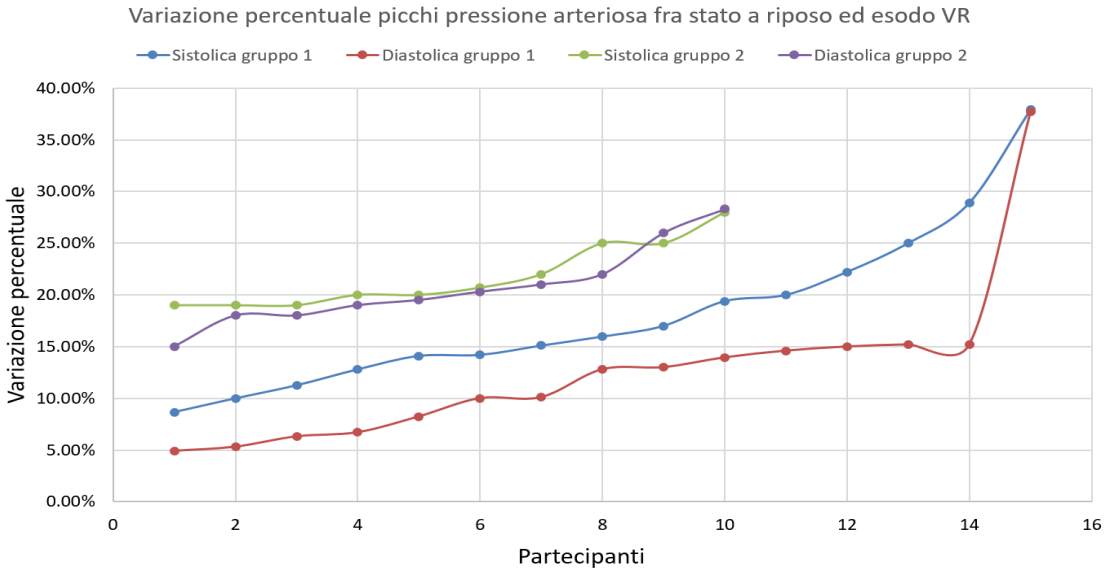

Figura 5.5 – Variazioni percentuali delle pressioni sistolica e diastolica massimali fra stato a riposo e simulazione VR di esodo.

A partire da quanto visto in questo paragrafo è quindi augurabile che, partendo o traendo spunto dai risultati qui esposti altre ricerche con finalità affini a quelle di questo lavoro di tesi vadano a validare quanto qui concluso e/o vadano a misurare con precisione quanto l'aumento del valore di pressione dovuto ad un singolo stimolo ansiogeno simulato virtualmente differisca da quello causato dallo stesso stimolo nella realtà, quesiti che verranno esposti più nel dettaglio in 6.1.

5.3.2 Frequenza cardiaca

Gli stessi procedimenti seguiti per l'analisi dei risultati della pressione arteriosa sono stati ripetuti anche per la valutazione dei dati riguardanti la frequenza cardiaca e le relative variazioni durante le simulazioni virtuali.
Vista l'esaustiva letteratura scientifica presente a riguardo già al momento della stesura di questo elaborato la frequenza cardiaca e le sue modifiche sono state considerate come gli elementi maggiormente rappresentativi, potendo validare la veridicità dei risultati ottenuti confrontandoli con quelli di ricerche precedenti.
Come prima cosa si sono calcolati anche in questo caso i discostamenti percentuali che il valore del battito cardiaco presentava da quando registrato con soggetto a riposo a quando rilevato durante le simulazioni VR, prima quella di ambientamento alla realtà virtuale e poi quelle di esodo.
Esattamente per lo stesso motivo descritto in 5.3.1 anche per la frequenza cardiaca nel confronto fra valore a riposo e valore di picco dell'esperienza virtuale di prova del Cyberith Virtualizer si sono considerati insieme i partecipanti dei due gruppi di studio, mentre per tutti gli altri confronti essi sono stati valutati separatamente.
La formula utilizzata per calcolare l'aumento o la riduzione percentuale del valore dei bpm è sempre (5.1), con Y che a seconda del confronto considerato è il valore in bpm a riposo o quello massimale registrato durante la simulazione di prova mentre X rappresenta rispettivamente la frequenza cardiaca massimale rilevata durante l'ambientamento alla VR o durante le simulazioni di esodo.
Il range di variazione per i 25 candidati passando da soggetto a riposo alla simulazione di prova ha fornito un range di variazione per i valori di picco registrati

pari a [-13.75%, 57.15%], con una media di variazione calcolata uguale al 22.15%. Bisogna sottolineare che l'estremo inferiore negativo si riferisce ad una piccola porzione di candidati, mentre per i 25 partecipanti si sono riscontrate discostamenti medi positivi e consistenti, fattore che lascia presumere che sia la VR sia il fattore movimento legato all'utilizzo del Virtualizer comportino un aumento non trascurabile del valore dei bpm.

L'estremo superiore del range così elevato è anche'esso dovuto ad un ridotto sottoinsieme di candidati ed infatti la variazione media risulta contenuta e con valori che anche a priori si sarebbero ipotizzati come accettabili.

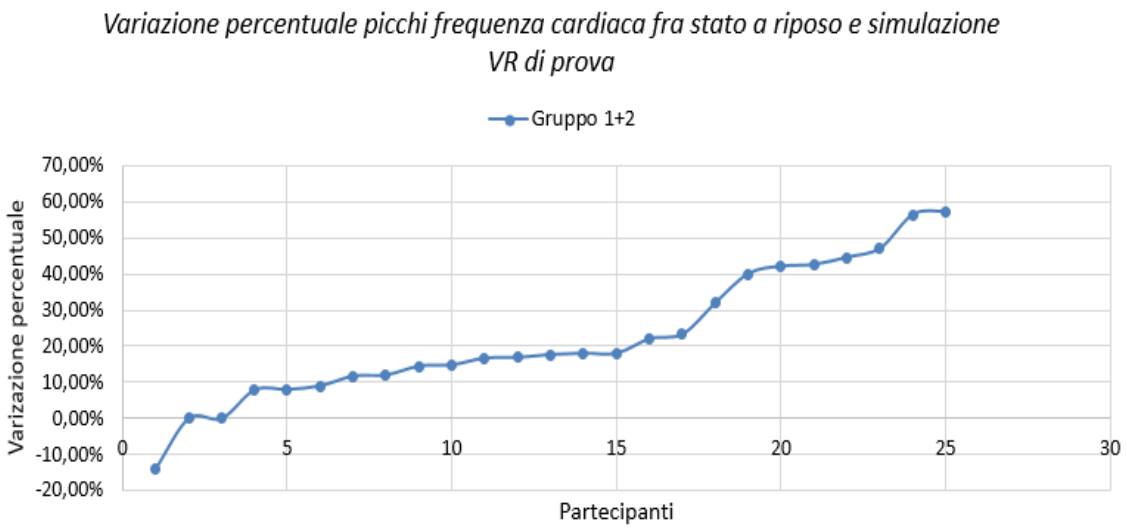

Figura 5.6 – Variazione percentuale del valore di picco della frequenza cardiaca fra stato a riposo e simulazione di ambientamento alla VR.

Confrontando invece i battiti per minuto registrati durante le esperienze virtuali di prova e di esodo si ottengono risultati decisamente diversi per i due gruppi.

Dal confronto dei valori massimali registrati durante le simulazioni si ottengono range di variazioni percentuali pari a [0%, 43.1%] per il gruppo 1 e [-3.64%, 15.94%] per il secondo gruppo, con medie rispettivamente di 13.1% e 7%.

Come auspicabile le variazioni per il gruppo 1 sono state maggiori, risultato che porta a suppore che il fattore sorpresa contribuisca in maniera determinante all'aumento del livello di ansia del soggetto e conseguentemente del valore dell'HR. Inoltre il valore negativo nel range del secondo gruppo di candidati è riconducibile ad un solo candidato, fattore che avvalora tale ipotesi.

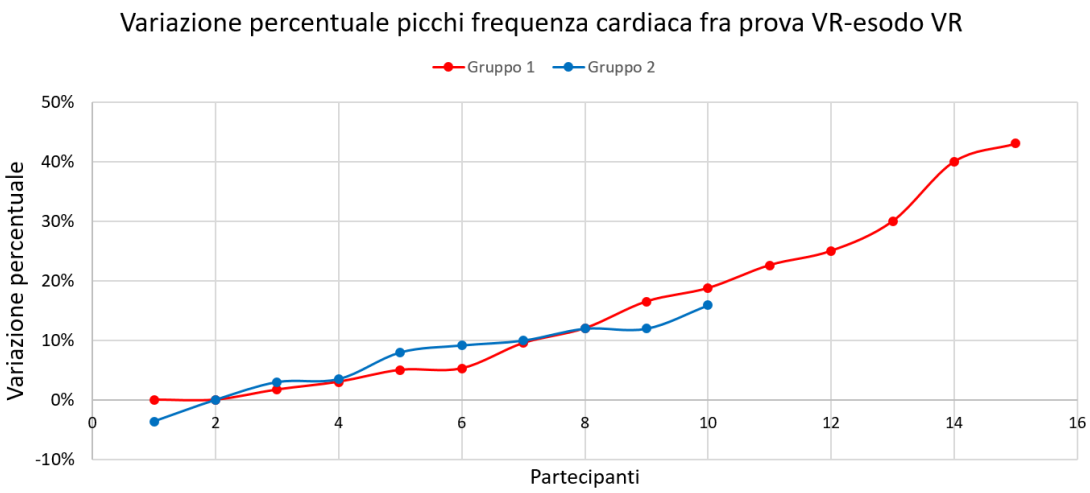

Figura 5.7 – Variazione percentuale del valore massimale di frequenza cardiaca passando dalla simulazione VR di prova a quella di esodo.

Si può quindi ritenere consolidato il fatto che, almeno per la maggior parte dei candidati, sia passando da situazione a riposo all'esperienza di prova sia da quest'ultima alle simulazioni di esodo il battito cardiaco subisca un aumento.

Quanto appena detto, soprattutto nel passaggio dalla prova all'esodo, contribuisce a concludere che sia possibile andare a ricreare, seppur non con variazioni ancora totalmente pari a quelle ottenibili vivendo realmente la stessa esperienza simulata virtualmente, livelli di ansia importanti.

Il fatto che le ultime medie esposte siano inferiori a quelle del confronto riposo-simulazione VR di prova fa ipotizzare che il battito, essendo già aumentato durante la prova e non potendo esso aumentare oltre un certo valore solo a causa dell'ansia, trovasse un limite al suo incremento durante le simulazioni virtuali di esodo.

Per quantificare l'effettiva potenzialità della tecnologia VR e del Virtualizer nell'indurre uno stato ansiogeno negli utenti si è quindi deciso di effettuare, come già fatto per la pressione arteriosa, un ulteriore confronto, quello fra i battiti del soggetto a riposo ed il loro valore massimo durante le simulazioni di esodo.

I range dei discostamenti percentuali sono [14.46%, 63.33%] per il gruppo 1 e [0%, 63.12%] per il secondo gruppo con medie rispettivamente di 37.2% e 32.95%.

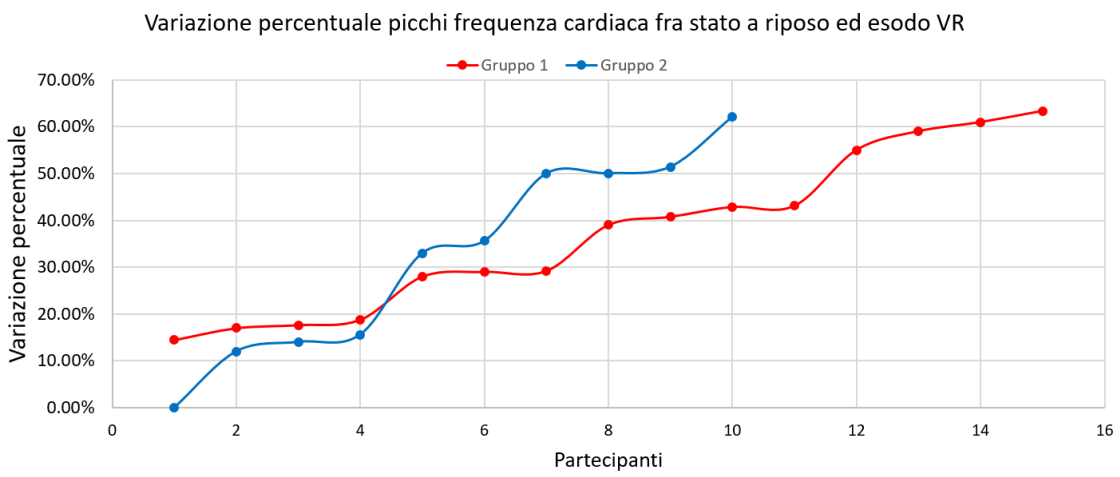

Figura 5.8 – Variazione percentuale del valore massimale di frequenza cardiaca passando da stato a riposo alla simulazione VR di esodo.

Per i candidati di entrambi i gruppi emerge un chiaro trend medio, ovvero quello di un aumento consistente dei battiti per minuto.

Se si sommano infatti gli effetti della semplice esposizione alla VR a quelli dovuti agli stimoli ansiogeni si ottengono risultati soddisfacenti sia con che senza l'aiuto del fattore sorpresa, con medie di variazione che differiscono per i due gruppi solo di qualche punto percentuale.

Per quanto riguarda lo studio dell'ansia a partire dalle variazioni dei parametri fisiologici si può quindi affermare che, almeno per quanto riguarda il battito cardiaco, esso presenta un aumento notevole in simulazioni con stimoli fortemente ansiogeni; quanto appena detto di fatto validerebbe la VR come un mezzo in grado di simulare con soddisfacente verosimiglianza esperienze potenzialmente pericolose e quindi non possibili da studiare al di fuori di essa.

5.3.3 Saturazione

Dalle prove effettuate è emersa una generale tendenza per quanto riguarda la saturazione a non presentare oscillazioni importanti del proprio valore sia durante la simulazione virtuale di prova sia durante quella di esodo.

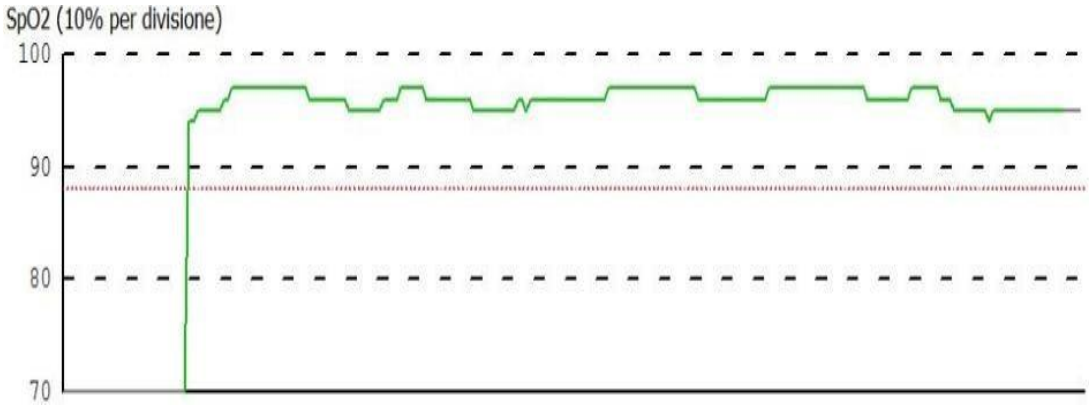

Figura 5.9 – Esempio di dati di saturazione rilevati tramite Beurer PO 80 durante le simulazioni. VR.

Come accennato in precedenza già a priori della sperimentazione si era supposto che la SpO_2 sarebbe stato il parametro fisiologico fra i tre rilevati a presentare le minori variazioni percentuali, in quanto valori minori del 95% possono già essere sintomo di ipossia ed addirittura sotto al 90% di ipossia grave.

Proprio a causa di questo range ridotto di valori non patologici le variazioni registrate durante le esperienze virtuali risultano essere assai piccole e non particolarmente utili ai fini della ricerca scientifica; come spiegato in 4.4.1 infatti la saturazione sarebbe stata usata principalmente per valutare le durante simulazioni virtuali nei partecipanti venisse indotto uno stato di iperventilazione.

Se da un lato questo potrebbe essere visto come un limite alla tecnologia VR e dell'esperimento condotto dall'altro sancisce la già ipotizzata conclusione che la saturazione sia un parametro utile da monitorare solo in casi pazienti affetti da patologie dell'apparato respiratorio, malati lungodegenti o persone che si trovano in situazione in cui la quantità di ossigeno si riduce drasticamente, come nel caso di incendi reali.

Per quanto riguarda l'iperventilazione bisogna sottolineare che un'eventuale comparsa di quest'ultima avrebbe comportato un aumento della SpO_2 talmente piccolo da poter essere confuso con le oscillazioni fisiologiche del valore di tale parametro.

Vengono di seguito presentati i risultati ottenuti per i due diversi gruppi di candidati che hanno preso parte alla sperimentazione.

Figura 5.10 – Saturazione durante le esperienze virtuali dei candidati appartenenti al gruppo 1.

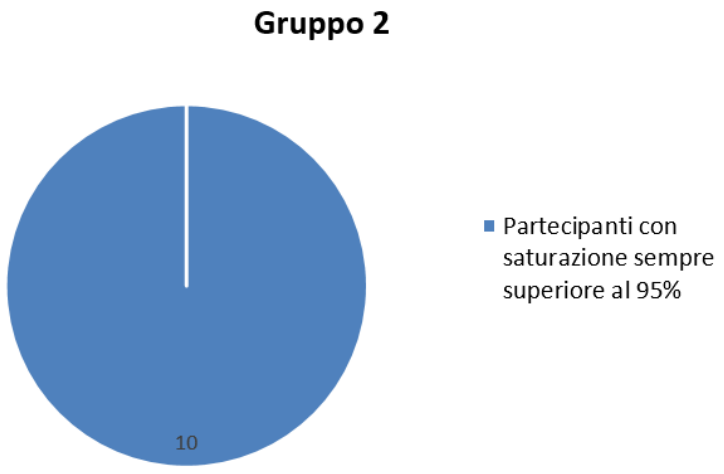

Figura 5.11 – Saturazione durante le esperienze virtuali dei candidati appartenenti al gruppo 2.

I grafici proposti compendiano i valori di saturazione registrati sia durante la simulazione VR di prova sia in quelle di esodo.

I risultati proposti non sono stati divisi per le due esperienze virtuali in quanto durante l'ambientamento alla realtà virtuale per nessuno dei soggetti testati il valore di saturazione registrato è sceso sotto il 95%, primo valore assunto come indice di ipossia lieve.

Nel gruppo 2 nessuno dei candidati ha mai presentato una saturazione inferiore al 95% neppure nel momento fortemente ansiogeno della via di esodo trovata ostruita dalle macerie.

Il gruppo 1 presenta per buona parte risultati simili a quelli ottenuti per il secondo, in particolare il 67% dei soggetti non ha mai raggiunto valori inferiori al 95%; la restante percentuale di persone, il 33%, ovvero 5 candidati su 15, ha mostrato durante la simulazione di esodo una riduzione maggiore della SpO_2 con valore minimo registrato, anche se per un solo caso e per pochi secondi, del 90%.

Da questi risultati si evince subito che la saturazione non sia il parametro migliore per andare a studiare lo stato di ansia di soggetti sottoposti ad esperienze stressanti di realtà virtuale in quanto, come evidenziato in precedenza, le variazioni percentuali di tale parametro sono davvero ridotte.

L'utilità della saturazione si presenta però nell'analisi della diversità dei dati ottenuti per i due diversi gruppi: risulta graficamente facile da vedere che solo nel primo gruppo si sono avuti valori di ipossia lieve, tutti comunque durati pochi secondi e subito rientrati in valori di saturazione normale.

Questo fa ipotizzare che l'effetto sorpresa di trovarsi all'improvviso in una simulazione molto stressante dal punto di vista psicofisico possa alterare la respirazione del soggetto, facendo calare la percentuale di ossigeno presente nell'organismo; il fatto però che questo si verifichi solo per un terzo dei candidati del gruppo 1 lascia forti dubbi sull'effettiva validità dei risultati, i quali per essere validati avrebbero bisogno di essere comparati con quelli ottenuti da altre ricerche simili ad oggi purtroppo non disponibili.

Il fenomeno opposto all'ipossia, ovvero l'iperventilazione, non si è mai verificato durante le simulazioni per nessuno dei due gruppi, fattore che di fatto confermerebbe le teorie che vedono la VR come un dispositivo non ancora in grado di indurre nel soggetto le stesse reazioni emotive che si avrebbero vivendo l'esperienza virtuale nella realtà.

Per quanto riguarda le oscillazioni massime del valore della SpO_2 si sono riscontrate variazioni medie, sia passando da soggetto a riposo alla simulazione di ambientamento alla VR sia da quest'ultima a quelle di esodo, pari al 3%.

I range di variazione percentuale risultano quindi pari a [0%, 8%] per il gruppo 1 e [0%, 4%] per il secondo gruppo.

Si può quindi concludere dicendo che la saturazione non ha dimostrato risultati abbastanza esaustivi da poterne stabilire con assoluta certezza un trend di aumento o diminuzione durante simulazioni VR ansiogene valido per la maggior parte della popolazione, esito che lascia presupporre la necessità di futuri studi in tale ambito.

5.4 Valutazione esperienze virtuali

Come visto nel capitolo precedente alla fine delle esperienze virtuali ad ogni candidato è stato chiesto di rispondere ad un questionario tramite il programma online Google Forms; le risposte da essi fornite sono poi state unite ed analizzate.
Le risposte date sono state di grande utilità sia per comprendere alcuni aspetti fondamentali della psicologia umana sotto stress, come il momento ritenuto maggiormente ansiogeno, sia per fornire spunti di miglioramento per questa e/o per ricerche future inerenti l'ambito della realtà virtuale.
Dei 25 soggetti che si sono offerti di partecipare al caso studio solo cinque avevano utilizzato precedentemente la VR e solo due di essi il Cyberith Virtualizer.
Prima di partire con la sperimentazione si auspicava di ottenere uno stato d'ansia maggiore nei soggetti che per la prima volta si interfacciavano con tale tecnologia, in quanto il trovarsi in una situazione estranea e stressante come un incendio non essendo abituati a vivere esperienze virtuali avrebbe dovuto, almeno secondo le ipotesi di partenza, creare uno stato di disagio elevato nell'utente.
Confrontando i dati rilevati nei soggetti che mai avevano provato dispositivi di realtà virtuale con quelli ottenuti nelle simulazioni dei cinque soggetti sopra menzionati si è però notato un discostamento dalle ipotesi fatte.
Come già accennato in precedenza nel sondaggio erano presenti due domande, rispettivamente "Hai capito subito cosa dovevi fare" e "Cosa ti ha fatto capire di dover evacuare dall'edificio'' a cui solo i partecipanti del gruppo 1 erano tenuti a rispondere, poiché solo a loro era sconosciuto a priori l'obiettivo dell'esperimento.
Le risposte ottenute per tali quesiti sono state utili per validare l'immersività della simulazione in quanto solo un soggetto non aveva capito subito cosa dovesse fare, mentre agli altri 14 appartenenti al gruppo 1 sono bastati pochi secondi all'interno della simulazione per capire di dover evacuare il complesso scolastico.
La seconda domanda è stata ideata col principale intento di capire, anche nella realtà, quale/quali siano gli indicatori di pericolo che fanno capire alle persone di dover evacuare un edificio.
Per tale quesito sono state ottenute le seguenti risposte, le quali si spera possano essere validate con ricerche future: 10 candidati hanno risposto che l'elemento principale che ha fatto capire loro di dover evacuare l'edificio era il suono della

campanella antincendio, per 5 è stata la combinazione di vedere il fumo unitamente al suono della campanella mentre per nessuno è stato solo il fumo.
Un altro fattore molto importante per studiare il comportamento umano nel caso di esodo è rappresentato dal fatto che i candidati seguissero o meno la segnaletica antincendio.
Fortunatamente tutti e 25 i soggetti nella simulazione senza macerie ad intralciare le vie di fuga hanno seguito la segnaletica di salvataggio e trovato senza problemi il migliore percorso di esodo, facendo in modo che tutti gli utenti riuscissero a fuggire in un tempo ragionevole.
Nella seconda simulazione, quella con gli ostacoli, tale valutazione non ha senso di essere presa in considerazione in quanto la via di fuga da seguire doveva essere cercata proprio andando per un pezzo contro alle indicazioni fornite dalla segnaletica.
I casi citati nel paragrafo precedente in cui i soggetti salivano di piano andando contro al percorso di esodo da seguire erano tutti nella simulazione con presenza di macerie, fattore che permette di determinare e sancire l'enorme utilità della segnaletica di salvataggio, elemento facilmente comprensibile ed interpretabile da tutti e che consente quindi, se rispettata, di ridurre notevolmente il tempo necessario per fuggire da un edificio in fiamme.
Nel questionario venivano fatte anche altre domande utili a comprendere quali siano i fattori di maggiore stress in una simulazione VR di esodo, nel particolare gli utenti dovevano eleggere quale, secondo loro, fosse il momento maggiormente stressante dell'esperienza virtuale appena vissuta.
Dalle risposte fornite è emerso un chiaro responso: l'elemento che causa maggiore stress psicologico è rappresentato dal trovarsi un ostacolo che ostruisce la via di fuga, nel presente caso studio rappresentato dalle macerie che bloccavano i percorsi di esodo.
Quanto appena detto è infatti stato vero per quasi la metà dei candidati che hanno preso parte alla sperimentazione, con ben 12 soggetti su 25 che hanno identificato nelle scale ostruite da macerie l'elemento di maggiore stress.
Al fine di creare stress psicologico negli utenti particolare rilevanza è stata riscontrata anche nel non trovare l'uscita; ciò assume maggiore importanza nel caso della seconda simulazione, dove a causa degli ostacoli introdotti risultava

maggiormente difficoltoso scovare un nuovo percorso di esodo che consentisse il raggiungimento di una zona sicura.
Non trovare la via di esodo per uscire si è rivelata la seconda maggiore causa di ansia, con ben 7 soggetti che l'hanno eletta come evento più ansiogeno dell'esperienza virtuale sottopostagli.
Solo una persona ha votato essere avvolti dal fumo come maggiore fonte di stress; lo stesso vale anche per l'udire suoni e versi di soffocamento e di battito accelerato, risultato in contrasto con quanto riscontrato in altri studi inerenti lo stesso ambito (Chittaro e Zangrando, 2010).
Per 4 soggetti su 25 invece nessun momento in particolare è stato identificato come il più stressante psicologicamente; nonostante questa risposta bisogna dire che tutti e 4 i candidati che hanno fornito questo responso hanno subito un incremento del battito cardiaco in linea con quello degli altri individui, fattore che lascia ipotizzare che essi non abbiano trovato un elemento di stress maggiormente ansiogeno rispetto ad un altro ma che l'unione di questi fosse comunque in grado di suscitare uno stato di ansia non trascurabile.
Le conclusioni che si possono trarre da questa domanda sono quindi da vedere in un'ottica di sviluppo futuro delle tecnologie di simulazione VR per studiare il comportamento umano in situazioni psico-emotivamente stressanti.
Quanto ottenuto in questo lavoro di tesi fa infatti pensare che gli elementi principali di stress possano essere identificati in tutto ciò che, improvvisamente, fa cambiare la condotta adottata dai soggetti, come nel caso di vie di esodo ostruite da macerie.
Tale risultato si auspica che possa essere validato in lavori di ricerca futuri sia per averne una definitiva conferma sia per stabilire in maniera risolutiva se effettivamente elementi di disturbo visivi e/o psicologici siano maggiormente ansiogeni di quelli uditivi.

Figura 5.12 – Risposte alla domanda del questionario: 'Fonte di maggiore stress?'.

Ai candidati veniva anche chiesto, essenzialmente per poter valutare il grado di realismo ed immersività della simulazione sottoposta loro, se avessero trovato la simulazione realistica.

La verosimiglianza o meno delle simulazioni virtuali con quello che i partecipanti ritenevano sarebbe stato vivere la stessa esperienza nella realtà veniva valutata dai soggetti e si riportano di seguito i risultati ottenuti in forma di grafico: 11 persone hanno ritenuto che le simulazioni virtuali riproducessero fedelmente una situazione di incendio in una scuola; 10 persone, quelle che alla domanda "Hai trovato la simulazione realistica?" hanno risposto più sì che no, hanno invece valutato il realismo dello scenario virtuale come soddisfacente ma ancora migliorabile sotto diversi aspetti.

Quattro persone invece, le quali hanno risposto più no che sì, hanno ritenuto il realismo dell'esodo non abbastanza buono da garantire una totale immersione nell'ambiente virtuale.

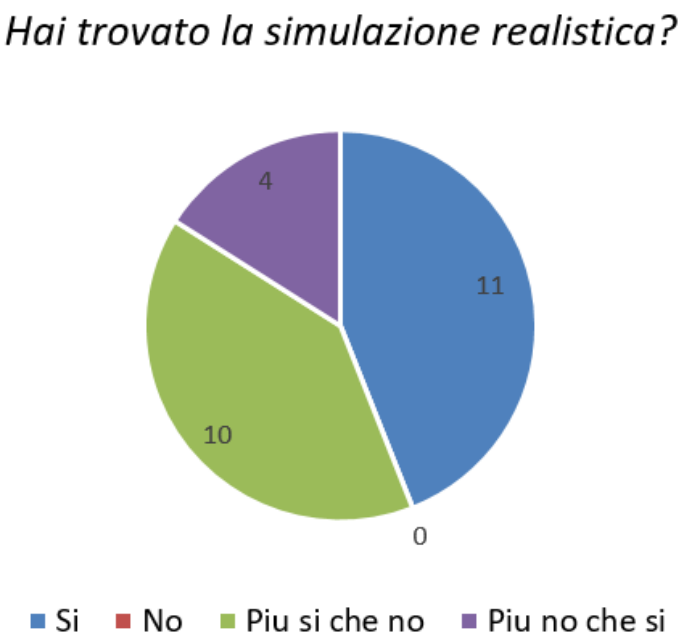

Figura 5.13 – Risposte alla domanda del questionario: ''Hai trovato la simulazione realistica?''.

Bisogna però specificare che mentre in altre ricerche questo dato possa risultare molto utile al fine della valutazione del proprio lavoro in questo caso nessuno dei candidati ha mai provato nella realtà la situazione sottopostagli virtualmente, fattore che potrebbe potenzialmente ridurre il valore delle risposte fornite.

Nonostante quanto appena detto analizzando i responsi forniti dagli utenti emerge quello che già era stato evidenziato nel primo capitolo, ovvero che la tecnologia VR disponibile oggigiorno permetta di fare grandi ricerche nei più disparati ambiti, le quali devono però tenere conto dei limiti ancora attuali di tali dispositivi, soprattutto per quanto riguarda la possibilità di riprodurre un movimento fisiologico realistico ed il realismo stesso delle simulazioni.

Per questi motivi è auspicabile che nei prossimi anni, visto il rapido progredire delle tecnologie di realtà virtuale, ricerche simili a quella qui proposta vengano effettuate per capire quanto effettivamente il realismo delle simulazioni influisca sulle azioni e sulle variabili psicofisiche dei soggetti all'interno di esperienze VR.

CAPITOLO VI
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

6.1 Sviluppi futuri

In questo capitolo vengono affrontati e posti in evidenza quelli che, in base ai risultati ottenuti, sono stati ipotizzati come possibili sviluppi futuri del lavoro rappresentato da questa tesi.
È infatti emersa sin dalle prime esperienze virtuali indagate la necessità di ulteriori studi per approfondire e trovare una spiegazione maggiormente accurata per le criticità riscontrate durante la sperimentazione.
Le difficoltà maggiormente rilevanti per quanto riguarda l'interpretazione dei risultati si sono avute per tutti quei dati registrati per i quali non esiste alcun metro di paragone, ovvero nessun risultato ottenuto in studi analoghi a quello qui discusso con cui validarli.
Per questi parametri, tra cui per questa tesi spiccano, come visto, saturazione e pressione arteriosa, si è vista in fase di analisi dei risultati la necessità di approfondire alcuni aspetti, in particolare la correlazione fra lo stato di ansia del soggetto e l'aumento o diminuzione del valore di tali parametri, fattore che in questa ricerca, seppur con risultati esaustivi dal punto di vista puramente numerico, ha mostrato grandi disparità anche fra candidati appartenenti allo stesso gruppo.
A quanto detto fino ad ora vanno poi aggiunti tutti quei possibili sviluppi futuri che potrebbero prendere in considerazione la validazione dei risultati riguardanti elementi indagati per la prima volta, tra cui il comportamento di soggetti posti di fronte a situazioni che ne stravolgono completamente il modus operandi, come nel caso delle simulazioni di esodo con presenza di macerie ostruenti i percorsi di esodo.
Viene adesso fornita una descrizione schematica delle possibili applicazioni future di questo lavoro di tesi per ognuno dei parametri fisiologici considerati.
La saturazione si è visto essere il parametro con le minori variazioni nel proprio valore e proprio per questo anche quello di più difficile interpretazione in quanto il

suo andamento è risultato totalmente privo di correlazione da quello degli altri due parametri fisiologici indagati e inoltre non esistono ricerche passate che possano dare una mano nell'analisi dei dati di SpO_2 rilevati.

Per questi motivi si propongono come spunti per ricerche future i seguenti temi: lo studio delle variazioni del valore di saturazione durante simulazioni ansiogene di realtà virtuale e l'analisi delle differenze nel valore di saturazione di soggetti esposti agli stessi stimoli virtuali nel caso di respiro normale e di iperventilazione.

Il primo caso studio proposto altro non è che uno dei possibili modi di andare a validare o smentire i risultati ottenuti in questa ricerca mente il secondo sarebbe un'interessante applicazione dei saturimetri durante esperienze VR per capire se, a parità di stimoli ansiogeni forniti al soggetto, uno stato di iperventilazione sia utile per ridurre lo stato di ansia del candidato e quanto esso influisca sul valore di saturazione misurato.

Per la pressione arteriosa si denota invece una situazione diversa, infatti questo parametro ha ottenuto variazioni percentuali molto ampie, in particolar modo, come visto nel paragrafo 5.3.1, si è riscontrato che i valori di pressione sistolica e diastolica massimali variavano maggiormente passando da soggetto a riposo alla simulazione VR di prova rispetto al passaggio da quest'ultima a quelle di esodo con stimoli ansiogeni.

Gli sviluppi futuri proposti saranno quindi possibili spunti per ricerche che tentino di andare a stabilire univocamente quanto l'aumento del valore di pressione dovuto ad un singolo stimolo ansiogeno virtuale differisca da quello causato dalla stessa situazione stressante psicologicamente vissuta però nella realtà.

In quest'ottica si propone un protocollo sperimentale nel quale al soggetto viene fatta vivere una situazione stressante simulata in VR ed in seguito lo stesso scenario gli viene sottoposto realmente misurando in entrambi i casi la pressione e/o altri parametri fisiologici.

Questa possibile applicazione futura potrebbe infatti servire a decretare definitivamente la scarsa potenzialità della realtà virtuale nell'andare ad indurre nel soggetto lo stesso stato di stress psicofisico sperimentabile, a parità di stimoli esterni, nel mondo esterno oppure, nel caso i risultati ottenuti risultassero soddisfacenti. aprire la strada a nuovi possibili utilizzi e sviluppi futuri della VR.

Chiaramente per queste applicazioni la simulazione virtuale non deve rappresentare scenari che se vissuti nella realtà metterebbero a rischio l'incolumità del soggetto,

cosa che sarebbe invece avvenuta nel caso studio qui descritto.

Altri sviluppi futuri per quanto riguarda la ricerca scientifica con l'ausilio della VR potrebbero essere studi che a partire dai risultati ottenuti per la pressione in questo lavoro di tesi vadano a validarne o svilupparne ulteriormente le argomentazioni.

Per vedere invece quanto la verosimiglianza con la realtà delle simulazioni VR influisca sulle variazioni del valore di pressione si prospetta la necessità di future ricerche in cui nelle esperienze virtuali sottoposte ai partecipanti sia presente un minore grado di realismo rispetto a quello degli scenari utilizzati, ad esempio, in questo lavoro di tesi.

Interessante potrebbe infatti essere andare a togliere elementi di realismo e/o multisensorialità alle esperienze virtuali qui condotte, in particolar modo la componente movimento resa possibile dal Cyberith Virtualizer, per vedere se questa diminuzione di verosimiglianza rispetto alla realtà causi una diminuzione nelle variazioni dei valori di pressione passando da una simulazione all'altra o se invece i risultati permangano invariati.

Per quanto riguarda invece la frequenza cardiaca e le relative variazioni durante le simulazioni virtuali si sono riscontrati risultati altamente soddisfacenti e coerenti con quanto ipotizzato a priori; le applicazioni future della tecnologia VR proposte per lo studio di tale parametro non saranno quindi atte a validare i risultati ottenuti in questo lavoro di tesi bensì finalizzate a studiare diversi aspetti di come il battito cardiaco vari in relazione all'ansia del soggetto.

Rilevanza accademica e scientifica potrebbe infatti essere portata da studi che, a partire dai risultati ottenuti in questo caso studio od in ricerche dalle finalità simili, si focalizzino sull'analisi dell'andamento del battito cardiaco in relazione alla diversa situazione ansiogena vissuta dal soggetto.

In questo modo si potrebbe determinare quale sia la situazione che causa il maggiore stress psicofisico nelle persone coinvolte e se, all'aumentare del livello di stress, le decisioni prese da quest'ultime deviino da un comportamento razionale; così facendo si potrebbe inoltre determinare da quale livello di ansia, se esiste, un soggetto inizi a fare scelte non ponderate e controproducenti dovute ad un livello di stress mentale troppo elevato.

Un altro sviluppo dell'utilizzo delle tecnologie VR potrebbero essere l'educazione e l'addestramento di personale specializzato nella gestione delle emergenze, persone per le quali il mantenimento della calma è di vitale importanza.

Una possibile applicazione della realtà virtuale in questa direzione potrebbero essere simulazioni VR di incendio sottoposte a vigili del fuoco nelle quali viene loro monitorato il battito cardiaco al fine di valutare, andando a verificare i momenti in cui vengono raggiunti i maggiori bpm, quali siano gli elementi che creano i maggiori ansia e/o disagio.
Una volta identificati questi generatori di ansia si potrebbe far ripetere ai candidati la sequenza della simulazione virtuale dove sono state identificate le condizioni maggiormente stressanti così da abituarsi a tali situazioni, le quali potrebbero altrimenti generare un eccessivo livello di ansia durante un intervento reale mettendo quindi a rischio l'incolumità dell'operatore e/o delle altre persone.
Anche il tempo di esodo è stato un elemento molto utile ai fini dell'interpretazione dei risultati essendo egli stesso un fortissimo indicatore dello stato di ansia del soggetto.
Purtroppo a causa della scarsa dimestichezza con le tecnologie di realtà virtuale e delle limitazioni nella deambulazione, seppur non eccessive, introdotte dall'utilizzo del Virtualizer, il tempo misurato potrebbe essere stato influenzato da questi fattori.
Per quanto appena detto si rende auspicabile la messa in atto di studi riguardanti la riproduzione virtuale di scenari di esodo andando però a cambiare le condizioni sperimentali; sarebbe infatti interessante studiare come in esperienze virtuali stressanti a livello psicofisico il tempo di esodo vari al variare del livello di stress psicofisico del soggetto facendo però muovere quest'ultimo non più su un omnidirectional treadmill ma normalmente, trasponendo il movimento dell'utente nella VR non più grazie ad un ODT ma grazie all'utilizzo di qualche marker, applicazione tecnologica attualmente in via di sviluppo e che sarà quindi presto commercialmente disponibile.
Siccome in questa ricerca è emersa una decisa correlazione fra gli aumenti di tempo di esodo e stato di ansia del soggetto solo nel caso estremo della simulazione con presenza di macerie si propone anche un altro spunto per studi futuri: sottoporre i candidati ad una medesima simulazione VR di esodo nella quale vengono però aggiunti di volta in volta stimoli ansiogeni di maggiore entità.
Così facendo si otterrebbero molti più tempi di esodo confrontabili tra di loro ed utilizzabili per capire quanto effettivamente lo stato di ansia del candidato vada ad influire sulle sue decisioni e quindi sul tempo necessario a trovare e percorrere la via di esodo corretta.

I possibili sviluppi futuri appena proposti per quanto riguarda la misura del tempo di esodo in simulazioni virtuali potrebbero inoltre portare ad una possibile validazione dei risultati ottenuti in questo caso studio, elemento che potrebbe far partire tali ricerche proprio da quanto qui ottenuto per vedere se cambiando le condizioni al contorno delle esperienze virtuali i risultati rimangano pressochè identici o se venga invece rilevato un andamento differente della correlazione fra lo stato d'ansia del candidato e il tempo di esodo richiesto.

Fino ad ora sono stati esposti sviluppi futuri che potrebbero prendere spunto dalla ricerca qui presentata per quanto riguarda i parametri fisiologici indagati; nel seguito vengono quindi presentate le possibili applicazioni dei risultati ottenuti per i dati la cui interpretazione si basa su un'analisi soggettiva e non quantitativa, in particolare il comportamento dei soggetti sottoposti a simulazioni VR.

Nonostante la ricerca scientifica suggerisca che il comportamento delle persone sia fortemente influenzato sia da fattori esterni sia dallo stato psicofisico del soggetto ancora non è stato possibile stabilire con esattezza da quale livello di ansia si inizino a prendere decisioni controproducenti e/o non razionali e se tale soglia sia la stessa per ogni persona o vari da soggetto a soggetto.

In questo lavoro di tesi il livello di stress psicofisico dei candidati è stato quantificato in base alle variazioni percentuali dei parametri fisiologici dimostrando però ancora un'elevata difficoltà a dare una valutazione esatta al livello di ansia degli utenti.

Per questo motivo si propongono due possibili sviluppi futuri del protocollo sperimentale qui presentato: il primo non prevede simulazioni di esodo ma un trial sperimentale in cui allo stesso soggetto vengono sottoposti stimoli ansiogeni sia nella realtà sia nella stessa condizione riprodotta virtualmente e, per ognuna di esse, al candidato viene chiesto di rispondere a delle domande atte a quantificarne il livello di ansia percepito.

In questo modo si potrebbe valutare se gli stessi stimoli ansiogeni sottoposti realmente o virtualmente causino una diversa condizione di stress psicofisico nel soggetto, cosa che fino ad oggi ha portato risultati poco soddisfacenti per quanto riguarda la VR ma che con la tecnologia attuale potrebbero essere migliorati.

La seconda applicazione proposta riguarda invece il cercare di quantificare l'ansia tramite la registrazione dei parametri fisiologici del soggetto, come fatto in questa tesi, ma andando a modificare rispetto a quest'ultima i parametri considerati.

Vista la grande correlazione fra attività elettrodermica ed attivazione neuronale, la quale è molto utile nella valutazione dello stress psicologico poiché direttamente proporzionale allo stato di ansia della persona, si suggerisce un protocollo sperimentale in cui in simulazioni VR ansiogene e non venga rilevato tale parametro per valutare quanto la semplice applicazione della realtà virtuale influisca sullo stress psicofisico e quanto, sempre per quantificare quest'ultimo, gli stimoli ansiogeni simulati portino ad un aumento del livello d'ansia del candidato.
Chiaramente tali esperienze virtuali non dovranno comprendere la componente movimento del soggetto poiché l'EDA, come visto in 4.4.1, in caso di sudore dovuto ad attività fisica o ad un eccessivo calore perde valore fino a diventare un parametro inutilizzabile a scopo scientifico, motivo per cui si è deciso di scartarla in questo lavoro di tesi.
Molte altre possono essere le possibili applicazioni future di quanto ottenuto nel caso studio qui presentato e/o di ricerche simili, motivo per cui si auspica che grazie al veloce progredire delle tecnologie di realtà virtuale i risultati ottenuti possano essere ripresi e validati o addirittura perfezionati da futuri studi nell'ambito della VR, dell'ansia e di tutto ciò inerente ad esse in un'ottica di continuo miglioramento della ricerca scientifica e di ampliamento delle conoscenze disponibili.

6.2 Conclusioni

Questa tesi è nata con il duplice intento di indagare le risposte psicofisiche che emergono durante situazioni di pericolo virtuali sia di valutare l'efficacia dei dispositivi VR nella simulazione di quest'ultime, finalità perseguita andando ad analizzare due forti indicatori di stress dei soggetti: il comportamento e le variazioni indotte nei parametri fisiologici.
L'idea di trattare queste tematiche si fonda sull'esigenza di determinare quali siano i limiti e le attuali potenzialità di una tecnologia che negli ultimi anni ha trovato un sempre crescente utilizzo sia nella ricerca scientifica sia nell'ambito medico/biomedicale.
Studi precedenti a questo hanno evidenziato come uno dei principali limiti della VR

proprio la difficoltà di far emergere negli utenti le stesse reazioni psicofisiche che essi avrebbero manifestato vivendo la stessa esperienza al di fuori della realtà virtuale.

Grazie alle più moderne tecnologie utilizzate durante il presente caso studio si è cercato di superare tali ostacoli andando ad inserire elementi che garantissero un'esperienza virtuale molto immersiva e quanto più possibile verosimile alla realtà, tra cui la possibilità di trasporre il movimento reale dell'utente nella simulazione VR e l'utilizzo del modello BIM di una scuola reale.

Durante la sperimentazione i partecipanti sono stati divisi in due gruppi: a uno venivano descritti obiettivi e scenari delle simulazioni virtuali a cui sarebbero stati sottoposti mentre per l'altro ciò non avveniva; ciò ha portato a risultati interessanti sia per lo studio del panico sia per la validazione della tecnologia VR come strumento di indagine scientifica.

Nelle simulazioni virtuali di esodo è infatti emerso che il trovarsi all'improvviso in una situazione di pericolo, anche se solamente simulata in VR, influisca in maniera significativa sullo stato di stress dei soggetti: i candidati che venivano a trovarsi inaspettatamente nello scenario di esodo presentano in media incrementi maggiori dei propri parametri fisiologici oltre ad un aumento non trascurabile dei tempi di esodo misurati, risultati coerenti con le ipotesi di partenza fatte.

Vista però la natura intrinsecamente pericolosa degli incendi non esistono dati reali con cui poter eseguire un confronto per vedere se il livello di ansia emerso nei candidati sia uguale o quantomeno paragonabile a quello che si verificherebbe trovandosi ad affrontare tale situazione d'emergenza nella realtà.

Dall'analisi dei risultati è comunque emersa la possibilità di andare a generare condizioni fortemente stressanti per le persone sottoposte a simulazioni virtuali ansiogene.

In particolare si è riscontrato che fra saturazione, pressione arteriosa e frequenza cardiaca il parametro fisiologico che presenta le maggiori variazioni percentuali del proprio valore è il battito cardiaco, il cui aumento percentuale medio del valore di picco passando dallo stato a riposo alla simulazione di esodo è stato, per i partecipanti di entrambi i gruppi, maggiore del 30%, con variazioni massime misurate anche superiori al 60%.

La pressione arteriosa ha anch'essa presentato variazioni percentuali non trascurabili ma mediamente inferiori a quelle registrate per la frequenza cardiaca e

con una variabilità molto marcata anche fra candidati dello stesso gruppo.
La saturazione invece, come ipotizzato a priori, ha mostrato lievi oscillazioni del proprio valore per tutti i partecipanti al caso studio.
In base alle potenzialità della tecnologia VR emerse in questa tesi risulta quindi desiderabile l'utilizzo di tali dispositivi in nuovi ambiti rispetto a quelli in cui essi sono stati impiegati fino ad oggi: tra le possibili applicazioni future quelle che destano il maggiore interesse riguardano la formazione di personale medico qualificato o di esperti nella gestione di situazioni di pericolo, tra cui l'addestramento di vigili del fuoco e/o di appartenenti alle forze dell'ordine.
Questo comporterebbe non solo una riduzione dei costi, potendo tutti effettuare lo stesso addestramento nello stesso luogo, ma anche la possibilità di ripetere quante volte desiderato le parti più critiche delle simulazioni virtuali senza rischi per l'incolumità di nessuno dei soggetti.
Grazie a queste sue potenzialità la VR risulta uno strumento fondamentale per la ricerca scientifica riguardante i processi fisiologici innescati da situazioni che, come nel caso di un incendio, sarebbero troppo pericolose da studiare al di fuori dell'ambiente virtuale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano tutte le persone che hanno collaborato alla realizzazione di questa tesi: le mie relatrici, il cui aiuto è stato fondamentale per la stesura del presente elaborato, i miei colleghi, il cui supporto non si è mai fatto mancare, e tutti coloro che hanno deciso di concedere del tempo prezioso per prender parte a questa ricerca.
Un grande ringraziamento anche ai miei genitori il cui sostegno economico e morale mi ha dato la possibilità di portare a termine un percorso di studi così estenuante ma al contempo gratificante.
Ringrazio anche i miei nonni dei quali i valori trasmessimi sono stati di grande ispirazione non solo nel mio percorso accademico ma in tutta la mia vita, in particolare vorrei dedicare questa tesi a Giovanni Lodo la cui malattia mi ha spinto ad intraprendere questo percorso di studi.

BIBLIOGRAFIA

Abid M.R., Bishop I., *Survey of Locomotion Systems in Virtual Reality*, Lakeland, FL, USA, ACM, p. 152, 2018.

Aggarwal R., Davidson B.R., Gurusamy K.S., Loizidou M., Nagendran M., *Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery (Review)*, The Cochrane Collaboration. Published by John Wiley & Sons Ltd, pp. 14-18, 2013.

Baños R., Botella C., Fernández-Álvarez J., García-Palacios A., Guillén V., *Recent Progress in Virtual Reality Exposure Therapy for Phobias: A Systematic Review*, Spain, Springer science, pp 2-8, 2017.

Barillo D.J., Goode R., *Fire fatality study: demographics of fire, in: Burns Vol.22*, Newark Fire Department and Edwin Albano Institute of Forensic Science, Newark, New Jersey, USA, Elsewer Science Ltd for ISB, pp.85-87, 1996.

Barrett J., Brennan S., Egan D., Murray N., Qiao Y., Timmerer C., *An evaluation of Heart Rate and Electrodermal Activity as an Objective QoE Evaluation method for Immersive Virtual Reality Environments*, I EEE., pp. 2-4, 2016

Beidel D. C., Owens M.E., *Can Virtual Reality Effectively Elicit Distress Associated with Social Anxiety Disorder?*, in: J Psychopathol Behav Assess, USA, Springer, p.296, 2015.

Biocca F., Delaney B., *Immersive Virtual Reality Technology,* in: Communication in the Age of Virtual Reality, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates publishers, 1995.

Bissonnette J., Dubé F., Provencher M.D., Sala M.T., *The effect of virtual training on music performance anxiety*, International Symposium on Performance Science, Laval Univeristy, Canada, Published by the AEC, pp. 586-589, 2011.

Blankendaal R., Bosse T., De Jong T., De Man J., Gerritsen C., *Are Aggressive Agents as Scary as Aggressive Humans?* in: Proceedings of the 14th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Amsterdam, pp. 557-559, 2015.

Bryant R.A., Panasetis P., *Panic symptoms during trauma and acute stress disorder*, in: Behaviour Research and Therapy 39, Sydney, Australia, School of Psychology, 2000.

Burdea Grigore C., Coiffet P., *Virtual Reality Technology*, s.l., Wiley, seconda edizione, 2003.

Cakmak T., Hager H., *Cyberith Virtualizer - A locomotion device for Virtual Reality*, Vienna University of Technology, ACM, p.1, 2014.

Chen C., Guan H., LU X.Z., Ren A.Z., Xu Z., *A virtual reality based fire training simulator with smoke hazard assessment capacity*, in: Advances in Engineering Software 68, pp. 2-7, 2013.

Chen c., Luo y. Ren a., *Simulation of Emergency Evacuation in Virtual Reality*, in: Tsinghua Science and Technology (Volume: 13 , Issue: 5), Beijing, China, TUP, pp.674-679, 2008.

Chittaro L., Zangrando N., *The Persuasive Power of Virtual Reality: Effects of Simulated Human Distress on Attitudes towards Fire Safety*, in: Persuasive Technology, Copenhagen, © Springer-Verlag Berlin Heideberg, pp. 58-68, 2010.

Chuang T.Y., Sung W.H, Lin C.Y., *Application of a Virtual Reality–Enhanced Exercise Protocol in Patients After Coronary Bypass* in: Archives of Physical Medicine and Rehabilitation Volume 86, Issue 10, pp. 1929-1932, 2005.

Coles C.D., Padgett L.S., Strickland D., *Case Study: Using a Virtual Reality Computer Game to Teach Fire Safety Skills to Children Diagnosed with Fetal Alcohol Syndrom*, In: *Journal of Pediatric Psychology*, Volume 31, Issue 1, pp. 65–70, 2006.

Griggs T.R., Manning J.E., *Heart rates in fire fighters using light and heavy breathing equipment: similar near-maximal exertion in response to multiple work load conditions*, J. Occup. Med. 25(3): pp. 215-218, 1983.

Kinateder M., Kobes. M, Mühlberger A., Müller M., Nilsson D., Pauli P., Ronchi E., *Virtual Reality for Fire Evacuation Research*, in: Preprints of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, s.l., pp. 319–327, 2014.

Kuligowski E., *Predicting Human Behavior During Fires*, in: Fire Technology Vol.49, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, Springer Science+ Business Media, LLC, pp. 101-103, 2013.

Lappe M., Li.L., Niehorster D.C., *The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research*, Sage, i-Perception, Sage, pp. 3-20, 2017.

Muscio M., *Elective in Robotics: Module of Locomotion and haptic interfaces for VR exploration*, Hardware and software description of the Cyberith Virtualizer and its possible applications, pp. 3-13, 2016.

Maner J., Schmidta N., Richeya A., Zvolenskyb M*., Exploring human freeze responses to a threat stressor,* Tallahassee, Elsevier Ltd., pp. 292-293, 2007.

Patil A., Sapre A., Sathe M., Singhvi A., Sinha R., Rathi V., *Earthquake Disaster Simulation in Immersive 3D Environment*, in: proceedings of the15th World conference on Earthquake, Mumbai, India, pp. 1-2, 2012.

Wester M., Fight, *Flight or Freeze: Assumed Reactions of the Public During a Crisis*, Journal of Contingencies and Crisis Management, Sweden, Blackwell Publishing Ltd., pp. 207-208, 2011.

SITOGRAFIA

https://appreal-vr.com/blog/virtual-reality-and-its-kinds/ [data di accesso: 13/07/2019].

https://www.beurer.com/web/es/productos/medical/electrocardiografos-y-pulsioximetros/pulsioximetros/po-80.php [data di accesso: 11/06/2019].

https://www.cyberith.com/virtualizer-rd-kit/. [data di accesso: 21/05/2019].

https://ihealthlabs.com/blood-pressure-monitors/wireless-blood-pressure-wrist-monitor/ [data di accesso: 11/06/2019].

https://www.cyberith.com/virtualizer-rd-kit/ [data di accesso: 21/05/2019].

https://microship.com/nolan-bushnell-vpl-eyephone-larry-wall-1988/, [data di accesso: 02/09/2019].

https://www.vive.com/us/comparison/ [data di accesso: 19/05/2019].

Formazione e addestramento in realtà virtuale, 2017, https://www.augmenta.it/formazione-e-addestramento-realta-virtuale/, [data di accesso: 04/09/2019].

Realtà Virtuale – La guida definitiva – Parte 01 – La storia, 2015, universovirtuale.it. http://www.universovirtuale.it/realta-virtuale-la-guida-definitiva-parte-01-la-storia/ [data di accesso: 02/09/2019].

VR- fear of Flying, https://www.biopac.com/application/virtual-reality/advanced-feature/vr-fear-of-flying/ , [data di accesso: 03/09/2019].

Agam S., 2016, *Microsoft sets Windows 10 PC requirements for tethered VR headsets*, https://www.pcworld.idg.com.au, [data di accesso: 06/07/2019].

Barone T., *Prove di evacuazione a scuola: come svolgerle e quante volte* , 2019, https://www.ediltecnico.it/69964/prove-evacuazione-scuola-come-quanto/, [data di accesso:5/09/2019].

Casto P., *Attacchi di panico: cosa sono e quali sono i sintomi*, https://www.attacchidipanico-italia.it/attacchi-di-panico-cosa-sono-e-quali-sono-i-sintomi/ [data di accesso: 4/09/2019].

Cirillo V., Signoretti C., Vertola F., *Annuario statistico del Corpo Nazionale Dei Vigili Del Fuoco*, 2017, http://www.vigilfuoco.it/aspx/page.aspx?IdPage=450 [data di accesso 05/09/2019].

Peters G., 2017, *New clinical and research laboratory features driving simulator to help drivers who face physical and cognitive issues*, http://www.kumc.edu/news-listing-page/driving-simulator-2017.html [data di accesso: 16/07/2019].

Ramsey D., 2010*, Virtual Reality Environment Nominated for First-Ever 'Immy' Awards*, http://www.calit2.net/newsroom/article.php?id=1743 [data di accesso: 21/08/2019].

Salzano C. 2015, *Stress e livelli di testosterone*, https://www.lascienzadelfitness.it/stress-e-livelli-di-testosterone/ [data di accesso: 24/06/2019].

Terkhedkar T, *Introduction to augmented reality*, https://medium.com/@tanmayct/introduction-to-augmented-reality-5e67d0cd1557 [data di accesso: 02/08/19].