POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

Sviluppo e validazione di una simulazione in realtà virtuale basata su agenti autonomi a supporto del trattamento psicologico di ansia sociale

Relatori
prof. Andrea Giuseppe Bottino
dott. Francesco Strada

Candidata
Arianna D'Alessandro

Luglio 2021

Sommario

Questo lavoro di tesi, svolto in collaborazione con il dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Torino, si è incentrato sullo sviluppo di un ambiente virtuale realistico e immersivo popolato da agenti autonomi emozionali. La creazione di questa simulazione ha lo scopo di immergere l'utente, attraverso un visore per la realtà virtuale, in uno scenario sociale che può essere più o meno stressante.

Questo studio rappresenta la base per lo sviluppo di un sistema per trattare la Social Anxiety Disorder, ossia l'ansia sociale, uno dei disturbi mentali più comuni, che sia alternativo alla terapia psicologica di esposizione dal vivo, implementandone la variante virtuale (Virtual Reality Exposure Therapy), i cui vantaggi principali sono che sia totalmente controllabile, riproducibile e adattabile al paziente. Il sistema è progettato per essere adattativo, ovvero per modificarsi in base allo stato d'ansia corrente del paziente, che viene determinato attraverso i suoi parametri fisiologici, quali la respirazione, il battito cardiaco e la conduttanza cutanea, rilevati tramite dei bio-sensori. Tuttavia, in questo primo stadio, il modulo di feedback non è implementato e la parte sperimentale si prefigge l'obiettivo di validare se i parametri della simulazione hanno un impatto sui valori di ansia del soggetto e in quale entità.

In primo luogo, si è sviluppato il comportamento autonomo degli avatar nell'ambiente, le cui fattezze sono create, automaticamente, in modo tale da garantire la diversità del loro aspetto e i cui compiti rappresentano azioni che possono svolgere nell'ambientazione prescelta, in questo caso la banchina di una metropolitana. Successivamente, si è voluto testare se alcune variabili del sistema avessero un effetto sullo stato d'ansia dell'utente: le variabili prese in considerazione sono la numerosità degli agenti nell'ambiente, la loro distanza dall'utente e la loro emozione, che si riflette sia sulla loro espressione facciale che sul loro tono di voce. Dalla combinazione di queste, quindi, si è pensato di implementare dodici configurazioni della simulazione, proprio per studiarne al meglio l'impatto. Infine c'è stata la fase di testing su soggetti sperimentali per la raccolta dei loro parametri fisiologici durante l'utilizzo del sistema, che sono stati poi analizzati per validare, da un lato

l'efficacia e immersività dell'ambiente virtuale, dall'altro l'ansia effettivamente generata dalla simulazione sull'utente e, nello specifico, come le variabili influiscano su di essa.

Indice

Elenco delle tabelle 6

Elenco delle figure 7

Acronimi 8

1 Introduzione 10
1.1 Motivazioni 10
1.2 Obiettivi 11
1.3 Struttura della tesi 12

2 Stato dell'arte 13
2.1 Social Axiety Disorder 13
2.2 Virtual Reality Exposure Therapy 15
2.3 Parametri fisiologici 20

3 Implementazione 23
3.1 Architettura software 23
3.1.1 Navigation 24
3.1.2 Finite State Machine 26
3.1.3 Managers 27
3.1.4 Interazioni con l'ambiente 29
3.1.5 Interazione con l'utente 31
3.2 Caratterizzazione degli avatar 31
3.2.1 Unity Multipurpose Avatar 32
3.2.2 Animazioni 33
3.2.3 Espressioni 34
3.3 Variabili della simulazione 34
3.4 Ottimizzazione VR 36

4 Sperimentazione 39
4.1 Protocollo sperimentale 39
4.1.1 Ambientazione 39
4.1.2 Configurazioni 40
4.1.3 Audio 43
4.2 Raccolta dati 44
4.2.1 Setup 45
4.2.2 Questionari 50

5 Analisi dei dati 56
5.1 Risultati 58
5.1.1 Segnali fisiologici 58
5.1.2 Questionario VR 63

6 Conclusioni 69
6.1 Limitazioni del lavoro 69
6.2 Sviluppi futuri 70

Bibliografia 72

Elenco delle tabelle

4.1 ID configurazioni 41
4.2 Log configurazioni 48
4.3 Log sguardo 49
5.1 Risposte questionario VR: fedeltà 64
5.2 Risposte questionario VR: immersione 65
5.3 Risposte questionario VR: presenza sociale 65
5.4 Risposte questionario VR: realismo 66

Elenco delle figure

2.1 Interbeat Interval 21
2.2 Attività elettrodermica 22
3.1 Componenti base del sistema di navigazione 25
3.2 FSM degli avatar 28
3.3 Disposizione degli avatar nello spazio 35
3.4 Espressioni degli avatar 36
3.5 Oculus Rift S 37
4.1 Flusso della simulazione 40
4.2 Stazione affollata con UI 52
4.3 Funzione audio 3D 53
4.4 Esempio di stroop test 53
4.5 Stroop test in VR 54
4.6 Moduli del BIOPAC 54
4.7 Iter sperimentale 55
5.1 Segnali registrati 57
5.2 Risultati EDA distance 58
5.3 Risultati EDA number 59
5.4 Risultati EDA emotion 59
5.5 Risultati ECG distance 60
5.6 Risultati ECG number 61
5.7 Risultati ECG emotion 61
5.8 Risultati RSP distance 62
5.9 Risultati RSP number 62
5.10 Risultati RSP emotion 63
5.11 Grafico fedeltà simulazione 67
5.12 Grafico immersione e presenza 67

Acronimi

BPM	Battiti al minuto
CBT	Cognitive Behavioural Therapy
ECG	Elettrocardiogramma
EDA	Attività Elettrodermica
ET	Exposure Therapy
FSM	Macchina a Stati Finiti
IBI	Interbeat Interval
IK	Inverse Kinematic
LOD	Level Of Detail
SAD	Social Anxiety Disorder
UMA	Unity Multipurpose Avatar
VA	Virtual Agents
VR	Realtà Virtuale
VRET	Virtual Reality Exposure Therapy

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Motivazioni

Ansia è un termine largamente utilizzato per indicare un complesso di reazioni cognitive, comportamentali e fisiologiche che si manifestano in seguito alla percezione di uno stimolo ritenuto minaccioso e nei cui confronti non ci riteniamo sufficientemente capaci di reagire. In molti casi, l'ansia o stress rappresenta la normale reazione del nostro organismo per gestire eventi inaspettati. Tuttavia, reazioni anomale ai normali stimoli quotidiani possono causare ansia patologica. Queste reazioni anomale sono classificate come disturbi d'ansia e includono per esempio fobie, panico e ansia sociale. L'ansia può impattare severamente sulla vita quotidiana di chi ne soffre, scatenando problemi di comunicazione sociale o riducendo la produttività a lavoro e in generale diminuendo la qualità della vita. Oggigiorno i disturbi d'ansia, e nello specifico di ansia sociale, stanno diventando un problema sempre più diffuso, anche a causa delle restrizioni sociali a cui siamo sottoposti in questo particolare periodo storico. In più, tendenzialmente, i disturbi d'ansia sono condizioni croniche e pertanto richiedono un periodo prolungato di trattamento, ma le terapie sono spesso costose e difficili da mettere in atto.

Le nuove tecnologie nel campo della realtà virtuale e i dispositivi sempre più alla portata del grande pubblico, hanno aperto negli ultimi anni nuove prospettive per la terapia virtuale. Per quanto riguarda il trattamento dell'ansia sociale, una valida alternativa alla terapia tradizionale è rappresentata dalla Virtual Reality Exposure Therapy (VRET). Recenti studi hanno mostrato che la VRET può essere equamente efficace rispetto alla exposure therapy dal vivo, che rappresenta lo standard de facto se parliamo di trattamento di ansia sociale. In questo tipo di terapia, l'ansia è indotta per l'appunto tramite stimoli in realtà virtuale. Pertanto,

dati gli alti livelli di ansia e disagio che l'interazione sociale può indurre, in questo progetto si è pensato di sviluppare una simulazione che si svolga in ambienti virtuali sicuri.

Quello che in più potrebbe offrire la VRET sarebbe determinare, o predire, il livello d'ansia del paziente e adattare la terapia di conseguenza, operando sulle variabili del sistema. Ciò significa implementare il cosiddetto *biofeedback loop* e quindi utilizzare i parametri fisiologici del paziente, registrati durante il trattamento, per adattare le caratteristiche della simulazione al suo corrente livello di stress.

1.2 Obiettivi

Questo progetto ha l'obiettivo di indagare i meccanismi alla base dell'interazione sociale e mettere a punto un training riabilitativo che possa facilmente essere utilizzato per migliorare la qualità della vita di chi soffre di ansia sociale. Per fare ciò, il primo passo è indagare i parametri fisiologici che sottendono l'interazione sociale in tempo reale attraverso la costruzione e la validazione di una piattaforma di realtà virtuale immersiva in grado di riprodurre e quantificare la dinamicità dello scambio interpersonale in un ambiente sicuro e controllato. Studiare l'interazione sociale in modo rigoroso può inoltre offrire una più ampia comprensione di patologie che mostrano disturbi nella sfera del comportamento sociale.

L'obiettivo generale è sviluppare un programma riabilitativo per migliorare le difficoltà osservate durante l'interazione sociale con l'obiettivo finale di diminuire i livelli di stress e migliorare la qualità di vita dei pazienti. Per conseguire questo obiettivo è fondamentale che la realtà virtuale sia modulabile in base al soggetto testato e alla sua attivazione fisiologica così da riuscire a cambiare il trattamento in base alle sue difficoltà specifiche e ai suoi progressi. Per questo motivo verrà implementato, all'interno della piattaforma di realtà virtuale immersiva, un sistema di biofeedback loop, ovvero un'informazione fisiologica di ritorno, in grado di modificare in tempo reale gli ambienti e gli agenti virtuali con cui il soggetto interagisce basandosi sui parametri fisiologici del soggetto testato. Questo sistema di biofeedback loop servirà per calibrare e modulare le azioni degli avatar in base ai parametri fisiologici di ogni soggetto, che sono la risposta galvanica, il battito cardiaco e la respirazione, in tempo reale. Lo scopo di registrare i paramenti fisiologici durante la riabilitazione è duplice: usare i valori ottenuti come input per modificare in tempo reale gli ambienti e gli agenti virtuali e monitorare gli effetti dell'intervento riabilitativo sulla singola seduta e la sua evoluzione nel tempo al fine di derivarne dei suggerimenti per ottimizzare le scelte procedurali future.

Inoltre, vista la situazione di emergenza sanitaria causata dal Covid-19, questo paradigma riabilitativo permetterebbe di portare avanti la riabilitazione in modo sicuro permettendo di integrare le nuove disposizioni sanitarie alla riabilitazione lavorando fin da subito e senza rischi per ottenere un miglioramento della condizione del paziente. Tuttavia, in questo primo stadio, il modulo di feedback non è implementato e la parte sperimentale si prefigge l'obiettivo di validare se i parametri della simulazione hanno un impatto sui valori di ansia del soggetto e in quale entità: infatti, il passo fondamentale prima di passare all'effettiva chiusura del loop, consiste nel validare che la simulazione in realtà virtuale, in determinate condizioni, generi effettivamente stress.

1.3 Struttura della tesi

Questa sezione ha lo scopo di descrivere sinteticamente l'organizzazione strutturale di questo documento di tesi. I prossimi capitoli sono stati organizzati come segue:

- il capitolo successivo a questo si occupa di illustrare la letteratura che concerne il disturbo d'ansia sociale, la terapia in realtà virtuale e i parametri fisiologici;
- successivamente, il terzo capitolo comprende tutta la parte di implementazione del framework della folla di agenti autonomi;
- il capitolo 4 riguarda il protocollo sperimentale e la fase di testing e quindi la sperimentazione sui soggetti per la raccolta dei dati fisiologici;
- capitolo 5 si concentra sulla conseguente analisi dei segnali registrati e dei questionari compilati dai partecipanti, traendone i risultati;
- infine, il capitolo 6 tratta le conclusioni e indica i possibili sviluppi futuri del lavoro.

Capitolo 2

Stato dell'arte

Questo capitolo è volto ad approfondire le tematiche principali che sono alla base di questo lavoro di tesi; pertanto si approfondirà il disturbo d'ansia sociale in quanto questo lavoro si indirizza al trattamento di soggetti che soffrono di questo disturbo; successivamente si parlerà nello specifico della terapia in realtà virtuale che si può adoperare come alternativa al trattamento psicologico tradizionale; e infine si approfondirà l'aspetto dei parametri fisiologici che possono indicare uno stato d'ansia in un individuo.

2.1 Social Axiety Disorder

Per Social Anxiety Disorder (SAD) si intende un tipo di disturbo d'ansia che, di base, provoca paura nei contesti sociali. L'ansia sociale si manifesta con profondo stress e malessere durante situazioni sociali con forti ricadute nelle interazioni interpersonali e può quindi portare ad un totale isolamento sociale. Nello specifico, consiste in un'eccessiva paura di una valutazione negativa da parte di altre persone o paura di imbarazzo e umiliazione [Emmelkamp PMG, 2020]. Infatti alla base del disturbo d'ansia sociale sembrerebbe esserci un bias di interpretazione delle situazioni sociali da parte del soggetto, il quale tende ad interpretare in maniera negativa e catastrofica situazioni sociali ambigue o anche leggermente negative [Chen et al., 2020]. Di conseguenza, chi soffre di questo disturbo tenderà a ritrarsi da qualsiasi situazione sociale in quanto la percepirà come potenzialmente nociva per se stesso.

Allo stesso modo, però, anche ricevere una valutazione positiva durante un'interazione sociale potrebbe essere ugualmente una fonte d'ansia per i soggetti affetti da SAD, in quanto i giudizi positivi innescano paura per le aspettative degli altri nei nostri confronti durante l'interazione. Secondo una visione evoluzionistica del

disturbo d'ansia sociale, gli individui ansiosi percepiscono quindi la loro posizione nella gerarchia sociale come relativamente bassa rispetto agli altri. Pertanto, il loro obiettivo principale è mantenere stabile questa posizione evitando sia di ricevere valutazioni negative, come critiche o rifiuti, sia valutazioni positive, come lodi o riconoscimenti [Fredrick and Luebbe, 2020]. Questo aspetto ci spiega ulteriormente perché chi è affetto da SAD cerca di evitare in assoluto qualsiasi contatto sociale, isolandosi completamente. L'isolamento ovviamente ha ricadute pesanti sulla qualità della vita di qualsiasi individuo, per questo è davvero importante che chi soffre di SAD intraprenda un percorso psicologico riabilitativo.

Per poter cercare di far superare questi limiti ai pazienti, è importante capire nello specifico quali sono gli elementi e le dinamiche che più generano stress in queste persone. Si è visto che, durante le interazioni sociali, le espressioni facciali sono la maggiore risorsa d'informazione riguardo ai sentimenti e le intenzioni di una persona. Pertanto l'interpretazione dei volti delle altre persone gioca un ruolo chiave nello scatenare sensazioni negative. È noto, infatti, che le persone affette da SAD sono più sensibili alla percezione di espressioni negative, come per esempio la rabbia, anche se appena accennate, rispetto a quelle neutre o positive più marcate [Gutiérrez-García and Calvo, 2017]. Pertanto le espressioni facciali giocano un ruolo importante nel bias di interpretazione caratteristico di questi individui.

Passando invece ad esaminare le dinamiche ansiogene più in generale, secondo [Heeren and McNally, 2018], tra le situazioni sociali più temute ed evitate in soggetti con SAD troviamo: il contatto oculare con gli estranei, prendere parola durante un meeting, partecipare ad attività di gruppo, incontrare estranei e frequentare feste. Il nucleo centrale che accomuna questi elementi sembrerebbe quindi essere relativo agli incontri con gli estranei, che allora dovrebbero essere il centro anche dell'intervento terapeutico. Un altro dato su cui vale la pena soffermarsi perché importante è rappresentato dal contatto oculare, che quindi sembrerebbe essere una precisa fonte di ansia. Infatti si è visto che il contatto visivo è un elemento di forte stress in persone con ansia sociale: questi pazienti, quando costretti in una conversazione, come difesa tendono ad evitare lo sguardo altrui, poiché causa loro molto disagio [Howell et al., 2016]. Un'altra risposta comportamentale è rappresentata dall'aumentare lo spazio fisico intorno a sé: infatti, percependo gli stimoli sociali così pericolosi, gli individui affetti da SAD mostrano la necessità di aumentare la distanza interpersonale al fine di sentirsi più sicuri [Perry et al., 2013], ponendo una barriera fisica tra se stessi e il prossimo.

Al netto di quanto detto, le ripercussioni sul funzionamento sociale di queste persone sono immense, infatti l'evitare costantemente il prossimo, contribuisce

al mantenimento dei sintomi dell'ansia sociale, impedendo di uscire da questa situazione [Heimberg et al., 2014]. Non è un caso, infatti, che la terapia psicologica più efficace mira a porre il paziente nella situazione di affrontare gli scenari temuti, ma ne parleremo più approfonditamente più avanti.

È importante parlare di SAD anche perché non è un problema che affligge pochi individui: purtroppo, infatti, queste difficoltà in ambito interpersonale non colpiscono solo la porzione di popolazione clinica ma anche persone sub-cliniche con tratti di ansia sociale. Ciò comporta che un numero maggiore di persone intorno a noi rifuggono da ogni incontro con il prossimo. Infatti, l'ansia sociale è uno dei disturbi mentali più comuni e si può manifestare a diversi livelli [Crome and Baillie, 2014]: esistono evidenze in merito al fatto che questo disturbo sia caratterizzato da un continuum, che va da moderata a grave ansia sociale. Per esempio la paura nei confronti dell'esecuzione di azioni in pubblico e parlare durante meeting o lezioni, è emersa come indice di più bassi livelli di ansia sociale, ma essendo il tipo di paura più comune e frequente, molti sono gli studi relativi all'ambito del public speaking e all'ansia da performance [Cláudio et al., 2015, Šalkevicius et al., 2019]. Invece, un alto livello di ansia sociale può essere riscontrato negli individui affetti da disturbo dello spettro autistico, che mostrano dei deficit importanti nell'ambito dell'interazione sociale [Krishnappa Babu et al., 2018].

Dopo questa panoramica sugli aspetti fondamentali che caratterizzano il disturbo che stiamo trattando, possiamo passare ad esaminare un particolare ed innovativo tipo di trattamento a cui i pazienti si possono sottoporre.

2.2 Virtual Reality Exposure Therapy

Il trattamento psicologico più efficace per intervenire sul Social Anxiety Disorder è l'Exposure Therapy (ET) [Geraets et al., 2019] e fa parte della più ampia categoria della Cognitive Behavioural Therapy (CBT) [Cláudio et al., 2015, Emmelkamp PMG, 2020]. La CBT ha l'obiettivo di cambiare i pattern cognitivi e comportamentali del paziente quando sottoposto agli stimoli che gli provocano paura, insegnandogli nuove tecniche per gestire queste situazioni. Si va quindi ad agire sulle risposte abituali che il nostro cervello ci da in determinate situazioni per dirigere il comportamento verso forme più costruttive di gestione dell'ansia. Un'importante distinzione all'interno della famiglia della CBT va fatta per quanto riguarda il modo in cui il paziente affronta l'oggetto della sua paura: infatti la terapia può essere fatta sia *in vitro*, quando gli stimoli sono solo immaginati e descritti, oppure *in vivo*, quando gli stimoli sono concreti e affrontati nella vita reale. L'ET ricade in questa seconda categoria, infatti si può dire che il fatto di essere

in vivo è la sua caratteristica principale; come già detto, per la sua efficacia, questo tipo di terapia è considerata uno standard per il trattamento dell'ansia sociale [Šalkevicius et al., 2019]. Nello specifico, essa consiste nell'immergere il paziente in uno scenario reale che gli provoca ansia e, messo di fronte alla sua paura, insegnarli tecniche per superarla: se il trattamento sortisce l'effetto desiderato, il paziente si rende conto che le reazioni spesso catastrofiche che si immaginava accadessero, in verità non si verificano e pertanto riconosce che, comportandosi allo stesso modo nella vita di tutti i giorni, otterrà la stessa risposta. Tuttavia, mirando l'ET a ricostruire uno scenario reale, può essere davvero costoso e difficile ricreare e controllare una situazione che generi esattamente lo stimolo temuto dal paziente.

Per risolvere questo problema, come alternativa si è pensato di ricorrere alla realtà virtuale. La realtà virtuale immersiva, o VR, consente agli utenti di provare un senso di presenza in un ambiente tridimensionale generato dal computer e di sentirsi quindi davvero lì. Le informazioni sensoriali vengono fornite attraverso dispositivi di interfaccia specializzati e un visore posizionato sulla testa con un display che copre il campo visivo umano e isola l'utente dall'ambiente fisico per immergerlo in quello digitale. Questi dispositivi tracciano i movimenti della testa in modo che i movimenti e le immagini cambino in modo naturale con il movimento dell'utente, consentendo un senso di immersione [Maples-Keller et al., 2017]. Tipicamente la computer grafica è utilizzata per creare un mondo che sia visivamente realistico per facilitare la percezione del mondo virtuale come reale e la sensazione di appartenervici. In questo senso, l'aumento delle prestazioni dei dispositivi negli ultimi anni sta permettendo di raggiungere una qualità grafica sempre più alta, così da permettere all'utente di immergersi sempre di più.

La Realtà Virtuale è uno strumento già applicato alla pratica clinica, per esempio come mezzo per superare fobie come la paura dell'altezza o l'aracnofobia [Parsons and Rizzo, 2008], e può essere applicata anche per trattare l'ansia sociale. La variante in realtà virtuale dell'exposure therapy è detta Virtual Reality Exposure Therapy: questo tipo di terapia espone il paziente ad uno scenario stressante, ma virtuale [Cláudio et al., 2015], cercando di ricalcare il più fedelmente possibile la situazione reale temuta; diversi studi hanno evinto che la VRET produce risultati simili all'esposizione dal vivo tradizionale [Cláudio et al., 2015, Carl et al., 2018] e che pertanto è efficace per scopi terapeutici[Carl et al., 2018, Emmelkamp PMG, 2020]. Come per l'ET in vivo, la terapia ha effetto se il paziente nota che ciò che temeva accadesse non si verifica e pertanto capisce che sarà così anche nella vita di tutti i giorni.

I vantaggi dell'utilizzo della VRET per il trattamento della SAD rispetto alla terapia tradizionale sono molteplici, se ne elencano alcuni di seguito.

- Lo scenario e le interazioni possono essere configurati in base ai bisogni specifici del paziente [Cláudio et al., 2015, Geraets et al., 2019]: uno dei maggiori punti di forza della VRET è infatti il fatto che fornisca l'opportunità per uno psicologo di interagire con l'ambiente virtuale e modificare gli scenari per la terapia secondo i bisogni individuali di ciascun paziente [Šalkevicius et al., 2019].
- Il livello di intensità della simulazione può essere gestito e controllato in ogni momento dal terapeuta, così che non vi sia il rischio di sopraffare il paziente con uno stimolo troppo intenso o viceversa di rendere la seduta poco utile se lo stimolo non provoca le reazioni ricercate [Streck et al., 2019, Cláudio et al., 2015, Geraets et al., 2019].
- La terapia si svolge in un ambiente controllato [Cláudio et al., 2015], circoscritto [Geraets et al., 2019] e protetto [Botella et al., 2017]: questi elementi dovrebbero conferire al paziente un maggiore senso di sicurezza, che lo spinga più volentieri a intraprendere un percorso di riabilitazione.
- Garantisce la privacy del paziente, in quanto non necessita la presenza di altre persone al di fuori del terapeuta [Cláudio et al., 2015];
- Il trattamento è facile da riprodurre più volte esattamente uguale a se stesso, così che il paziente possa provare tutte le volte di cui ha bisogno ad affrontare uno stesso scenario o anche è utile per tracciare i suoi progressi confrontando nel tempo le sue risposte ad uno stesso stimolo [Emmelkamp PMG, 2020, Geraets et al., 2019].
- I sistemi VRET possono offrire ambienti 3D riutilizzabili e scenari interattivi per gli stimoli temuti che possono essere difficili da replicare nella vita reale.
- L'exposure therapy dal vivo è spesso evitata dai pazienti perché troppo intensa [Geraets et al., 2019]: si registrano spesso anche alti tassi di abbandono della terapia in atto; in questo senso, la VRET può essere anche vista come uno step preliminare per preparare il paziente ad affrontare uno scenario reale.
- Permette di avere un feedback diretto e immediato del terapeuta [Geraets et al., 2019], che ha potuto supervisionare attentamente il comportamento del paziente per tutta la durata della simulazione;
- È una terapia sicura da effettuare in scenario Covid-19, poiché evita il contatto con altre persone
- Ha tipicamente un costo molto inferiore alla psicoterapia tradizionale [Streck et al., 2019, Carl et al., 2018], grazie anche al massiccio calo dei prezzi dei dispositivi per la realtà virtuale che si è verificato negli ultimi anni.

Data la natura sociale del disturbo, questa terapia si serve spesso di Virtual Agents (VA), ovvero persone ricreate in computer grafica per sostituire quelle vere, che si è visto provocano risposte sociali simili a quelle degli umani [Volante et al., 2016]. Le caratteristiche dei VA non sono unificate, anzi da progetto a progetto possono variare notevolmente. I VA spesso non sono autonomi ma possono essere controllati dal terapeuta che, attraverso un'interfaccia, può regolare il loro comportamento. Tuttavia la loro interazione vocale spesso si limita a versi, come una risata, o alla riproduzione di qualche frase preregistrata o addirittura è proprio il terapista a parlare al posto loro [Streck et al., 2019, Cláudio et al., 2015, Geraets et al., 2019]. In alcuni casi, per rendere più naturali i VA, si è lavorato sui movimenti degli elementi del volto, permettendo di, per esempio, sbattere le palpebre, muovere gli occhi, muovere le labbra in base alle parole che si stanno pronunciando e conferire un'espressione che rimandi ad un'emozione Streck et al. [2019]. Per rendere i loro movimenti più realistici, c'è anche chi ha ricorso all'uso della motion capture [1] per creare le animazioni degli agenti [Streck et al., 2019, Fusaro et al., 2020]. In generale, un punto su cui c'è ancora sicuramente da migliorare è il realismo dei VA e nello specifico delle loro espressioni facciali [Emmelkamp PMG, 2020]. La riproduzione digitale fedele del corpo umano è ancora un obiettivo difficile da raggiungere. Talvolta al terapeuta è lasciata la possibilità di manipolare l'ambiente virtuale e alcune variabili su cui si può intervenire possono essere per esempio: l'affollamento dell'ambiente, l'etnia e il genere degli agenti, la frequenza di occhiate ostili o staring da parte dei VA oppure distanza interpersonale tra gli avatar e il paziente [Geraets et al., 2019].

Spostando ora l'attenzione invece sul paziente nel mondo virtuale, la Realtà Virtuale Immersiva permette di sostituire il corpo del soggetto con un avatar digitale con le stesse dimensioni, forme e sesso. Esemplari sono gli studi di Aglioti e collaboratori [Fusaro et al., 2016, 2020] che hanno dimostrato come guidare un avatar, con una visione in prima persona, sia sufficiente per percepire gli stimoli somatosensoriali vissuti dall'avatar, sia positivi sia negativi, come reali e sul proprio corpo, sviluppando il cosiddetto Feeling of Ownership indotto. Una frontiera di sviluppo è quindi sicuramente esplorare le potenzialità del tocco virtuale nel contesto della VRET. Per quanto riguarda le ambientazioni più utilizzate, ovviamente parliamo di luoghi reali tipicamente frequentati dai pazienti che permettano interazioni sociali e quindi la presenza di altre persone. Alcuni esempi sono: una strada, un autobus, un bar o ristorante, un supermercato, un'aula o auditorium oppure una biblioteca.

[1] La motion capture è la registrazione del movimento del corpo umano spesso al fine di trasporre i dati catturati su un soggetto digitale, così che esso riproduca esattamente il movimento effettuato.

Spesso, durante la terapia, è importante monitorare lo stato d'ansia del paziente e per fare ciò ci si serve di biosensori per misurare e mostrare lo stato fisiologico del paziente in real time. Tra i parametri che si possono registrare troviamo la temperatura corporea, la conduttanza cutanea, frequenza cardiaca e infine la dilatazione e movimento della pupilla [Streck et al., 2019, Krishnappa Babu et al., 2018, Emmelkamp PMG, 2020, Volante et al., 2016, Šalkevicius et al., 2019]. Quest'ultimo dato è possibile ricavarlo utilizzando un sistema di eye tracking, che può essere integrato oppure no con il visore per verificare anche per esempio se il paziente guarda negli occhi i VA o semplicemente monitorare il suo focus . Spesso è il terapeuta che reagisce in real time al variare dei parametri fisiologici del paziente, per modificare le caratteristiche della simulazione. La direzione che si sta cominciando a intraprendere però va verso l'implementazione di un biofeedback loop completo. Il biofeedback è un sistema a circuito chiuso che traduce i bio-segnali in segnali audiovisivi [Yu et al., 2018], quindi nel contesto della VRET, l'obiettivo sarebbe Creare Virtual Environment che siano influenzati direttamente dai valori dei biosensori [Streck et al., 2019].

Tuttavia questa terapia presenta anche dei limiti, infatti molti fattori possono impattare sull'affidabilità di un sistema di VRET: è difficile discriminare tra emozioni simili, questo rappresenta attualmente una sfida nel campo della ricerca, perché alcuni segnali fisiologici, come il battito cardiaco per esempio, può presentare segnali simili per emozioni differenti; artefatti dai movimenti durante la registrazione [Šalkevicius et al., 2019] Nella maggior parte degli studi che utilizzano ambienti virtuali per l'esposizione a situazioni stressanti per soggetti con SAD, si utilizzano situazioni con interazione sociale minima, per esempio il dover effettuare un discorso in pubblico. Inoltre viene considerato solo il senso di presenza fisica, ovvero il coinvolgimento con l'ambiente e sensazione di trovarsi fisicamente nell'ambiente, ma non il senso di presenza sociale, cioè l'impressione di essere con un altro essere senziente, che comporta un maggiore livello di coinvolgimento cognitivo ed emotivo con l'altro. La social presence sembra essere però un miglior indicatore, rispetto alla physical presence, delle risposte d'ansia nel VE in soggetti con SAD. Nonostante tutto, però, è stata confermata l'efficacia dell'esposizione tramite virtual reality confrontata con l'esposizione in vivo [Bouchard et al., 2017, Clemmensen et al., 2020].

Come abbiamo visto, la VRET spesso si serve di biosensori per tracciare i parametri fisiologici del paziente durante la terapia; la prossima sezione è volta proprio ad approfondire le misure che sono più utilizzate.

2.3 Parametri fisiologici

Il sistema nervoso autonomo regola i processi fisiologici involontari ed è suddiviso in simpatico, parasimpatico ed enterico. Il sistema nervoso simpatico (SNS) si occupa di preparare il corpo all'emergenza o a situazioni stressanti, mettendo in atto la cosiddetta risposta *fight or flight*, ovvero combatti o fuggi. Una sua attivazione comporta dilatazione pupillare, dilatazione dei bronchioli, vasocostrizione, secrezione di sudore e aumento del battito cardiaco. Al contrario, il sistema nervoso parasimpatico (SNP) rallenta il battito cardiaco e restringe la pupilla [Gordan et al., 2015]. I segnali fisiologici, rispetto ad altre fonti di informazione emotiva, come linguaggio, gesti ed espressioni facciali, hanno due principali vantaggi: sono involontari, quindi di conseguenza manca la componente di inganno, e le reazioni fisiologiche possono essere osservate già 200 millisecondi dopo rispetto allo stimolo emotivo [Chanel and Mühl, 2015].
Tra i parametri fisiologici più utilizzati per determinare il livello d'ansia di una persona troviamo il battito cardiaco, la conduttanza cutanea e la respirazione.

Battito cardiaco
Il battito cardiaco è, su tutti, il segnale più usato per misurare il livello di arousal o stress, in quanto una attivazione del sistema nervoso simpatico, e quindi una riduzione di attività del sistema nervoso parasimpatico, si riflette nell'aumento dei battiti. Più specificamente sembra che i cambiamenti rapidi nel battito cardiaco siano di esclusiva competenza del parasimpatico poiché ha un effetto più istantaneo, dell'ordine dei millisecondi, rispetto al simpatico che ha tempi più lunghi, dell'ordine dei secondi [Saul, 1990]. Una misura quantitativa di ciò può essere data dai Beats Per Minute (BPM), ovvero i battiti al minuto. A riposo la frequenza cardiaca di un essere umano adulto è di circa 70 bpm nell'uomo e di circa 75 bpm nelle donne, tuttavia questa è una misura che può variare da persona a persona, quindi per determinare un aumento nei BPM è sempre bene confrontare il valore sotto stress con quello dello stesso individuo a riposo. L'Heart Rate Variability, ovvero la variabilità dell'intervallo tra due battiti consecutivi, invece, diminuisce all'aumentare dell'attività simpatica [Wearne et al., 2019]. Sono consigliati i valori temporali piuttosto che quelli di frequenza, infatti spesso si utilizza l'InterBeat Interval (IBI), ovvero il tempo in millisecondi che trascorre tra un battito e l'altro. L'IBI è illustrato in figura 2.1.

Conduttanza cutanea
La conduttanza cutanea è la seconda misura più usata, poiché controlla una serie di processi corporei che possono influenzare i comportamenti cognitivi ed emotivi. La conduttanza cutanea o risposta galvanica della pelle (GSR), anche chiamata

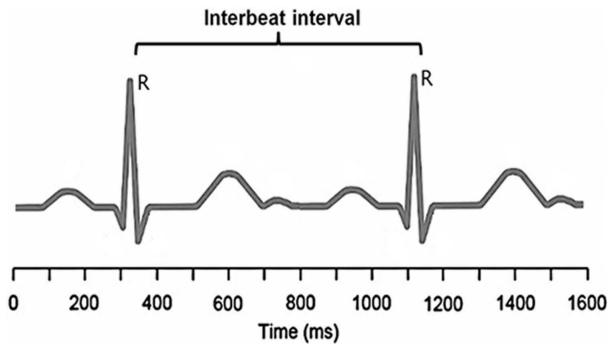

Figura 2.1. Rappresentazione grafica dell'interbeat interval

Attività Elettrodermica (EDA), è la misura delle variazioni continue nelle caratteristiche elettriche della pelle, come ad esempio la conduttanza, a seguito della variazione della sudorazione del corpo umano. Esclusivamente controllata dal sistema nervoso simpatico, è un ottimo parametro per la misurazione dell'ansia e della risposta di paura. Può essere suddivisa in Skin Conductance Level (SCL) e Skin Conductance Response (SCR), che corrispondono rispettivamente alla variazione tonica e fasica del segnale. L'attività tonica esprime il valore assoluto della resistenza elettrica cutanea e costituisce un indice dello stato generale di attivazione del sistema nervoso dell'organismo: il valore tonico è più alto se l'individuo è tranquillo e rilassato, se invece è agitato e nervoso, aumenta la sudorazione cutanea e si abbassa la resistenza elettrica della pelle; L'attività fasica invece indica le rapide risposte provocate da stimoli emozionali o sensoriali. Secondo diversi studi, l'ampiezza della SCR aumenta quando le attivazioni simpatiche sono maggiori [Koenig et al., 2011]. In 2.2 è possibile vedere un tipico segnale di SCR [Giannakakis et al., 2019].

Respiro

Per quanto riguarda il respiro, i parametri più comuni sono il respiratory rate (RR) o frequency, ovvero la frequenza respiratoria, che corrisponde a riposo a circa 12-18 respiri al minuto, e l'ampiezza del respiro, o tidal volume, che corrisponde alla quantità di aria inspirata in un ciclo respiratorio. Il respiro è intrinsecamente legato al battito cardiaco: infatti, inspirare inibisce il SNP che, di conseguenza, aumenta la frequenza cardiaca; espirare aumenta l'attività del SNP che al contrario riduce la frequenza cardiaca [Rockstroh et al., 2019]. Il RR è maggiore e meno stabile durante fasi di stress rispetto a quelle di rilassamento, rendendolo uno degli indici più validi per discriminare lo stato di stress [Giannakakis et al., 2019].

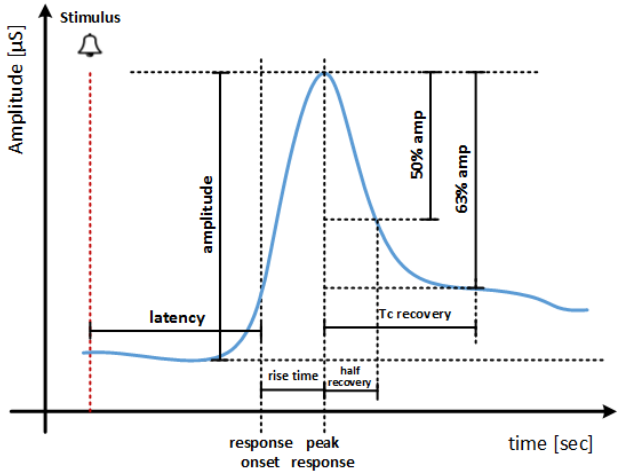

Figura 2.2. Rappresentazione grafica del segnale della conduttanza cutanea

Capitolo 3

Implementazione

Per rendere più facilmente leggibile il documento, si è pensato di rimuovere il capitolo dedicato agli strumenti e asset utilizzati, preferendo introdurli man mano, data la diversità dei loro utilizzi.

Questo capitolo è volta a spiegare come si è implementato il framework di una folla di agenti generici in un ambiente, focalizzandosi, dal punto di vista del software, sulle logiche di navigazione autonoma e interazione con l'ambiente e l'utente, poi sulla loro caratterizzazione fisica e diversificazione dell'aspetto e infine sulla gestione delle variabili del sistema.

Il framework e la simulazione in realtà virtuale sono stati sviluppati utilizzando **Unity 3D** (Unity Technologies, San Francisco, CA, USA), la piattaforma leader per la creazione di contenuti interattivi in tempo reale. Unity è un motore grafico multi-piattaforma che è in grado di gestire rendering, scripting, simulazione fisica, audio, intelligenza artificiale (AI) e animazioni. Unity supporta la programmazione in linguaggio C#, che è un linguaggio orientato agli oggetti e i si è avvalsi di Microsoft Visual Studio come editor per gli script, in quanto integrato con Unity. Unity supporta lo sviluppo per diverse piattaforme, incluse quelle di realtà virtuale, pertanto sia adattava anche in questo aspetto con il nostro progetto. Data la mole del sistema, ci siamo avvalsi del supporto di GitHub per il controllo delle versioni.

3.1 Architettura software

Il primo passo è stato la creazione di un framework che gestisse una folla di agenti in un ambiente. Di seguito vengono trattati alcuni dei blocchi fondamentali dell'architettura realizzata e descritte le principali funzionalità.

L'unità base di una folla di agenti è l'avatar. Ogni avatar ha come classe fondamentale `Avatar`, che contiene le caratteristiche fondamentali di ognuno. Il loro movimento segue una logica ad obiettivi, in quanto ad ogni avatar, sin dal momento della sua nascita, vengono assegnati casualmente e iterativamente dei compiti, o *task*, che rappresentano azioni che può svolgere, legati agli oggetti dell'ambiente con cui può interagire; la sequenza di azioni associata all'interazione con ogni oggetto corrisponde a delle animazioni.

Di base, un agente può definirsi tale se si muove autonomamente: per implementare ciò ci si è serviti della libreria di intelligenza artificiale (AI) *Navigation* di Unity, che andiamo nel prossimo paragrafo ad approfondire.

3.1.1 Navigation

Il sistema di navigazione di Unity consente di creare personaggi che possono muoversi in modo intelligente nel mondo virtuale, utilizzando mesh di navigazione che vengono create automaticamente dalla geometria della scena.
Di seguito di descrivono gli elementi base da cui è composto il sistema di navigazione standard.

- **NavMesh**, abbreviazione di Navigation Mesh, è una struttura dati che descrive le superfici percorribili del mondo di gioco e consente di trovare il percorso da una posizione percorribile a un'altra. La struttura dati viene creata automaticamente dalla geometria delle mesh della scena. Pertanto, visivamente, la navmesh è un'area, tendenzialmente sul pavimento, percorribile dagli agenti. All'interno di una stessa navmesh, poi, è possibile specificare delle aree che abbiano un costo maggiore per essere percorse: questo serve per implementare delle zone in cui sia meno probabile che un agente passi, a meno che non sia costretto o abbia la propria destinazione al suo interno.

- Il componente **NavMesh Agent** aiuta a creare personaggi che si evitino a vicenda mentre si muovono verso il loro obiettivo. Gli agenti calcolano il loro percorso basandosi sui dati della navmesh e riescono anche ad evitarsi a vicenda ed evitare gli ostacoli, che siano fermi o in movimento.

- Il componente **Off-Mesh Link** consente di incorporare scorciatoie di navigazione che non possono essere rappresentate utilizzando una superficie calpestabile. Ad esempio, saltare un fossato o una recinzione o aprire una porta prima di attraversarla possono essere descritti come collegamenti di questo tipo; nel nostro caso, sono utilizzati dai VA per salire sul treno.

- Infine, il componente **NavMesh Obstacle** consente di descrivere gli ostacoli in movimento che gli agenti dovrebbero evitare durante la navigazione nel mondo. Mentre l'ostacolo si muove, gli agenti fanno del loro meglio per evitarlo, ma una volta che l'ostacolo si ferma, esso creerà un buco nella navmesh in modo che gli agenti possano cambiare percorso per aggirarlo, o se l'ostacolo sta bloccando il percorso percorribile, gli agenti possano trovarne uno alternativo.

In Figura 3.1 sono visualizzati i componenti appena descritti: nello specifico, la NavMesh è rappresentata dalla parte blu del pavimento.

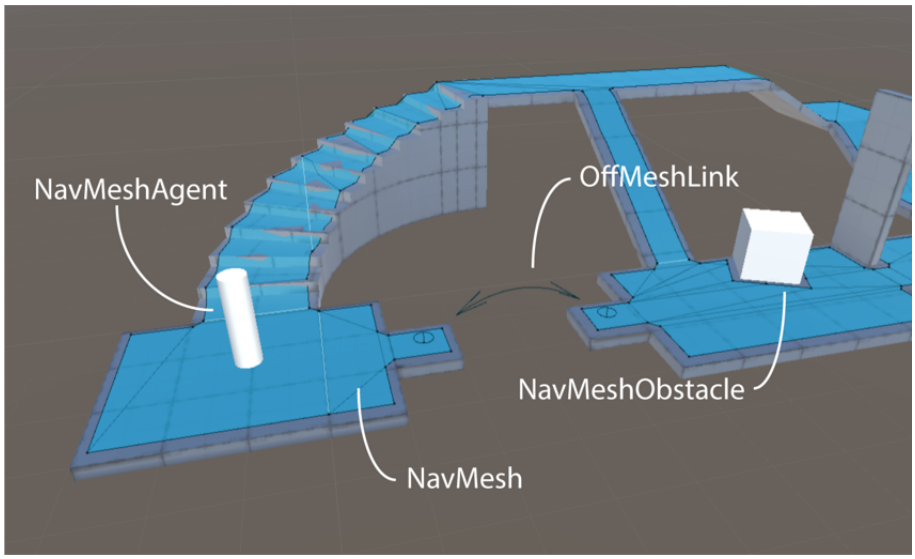

Figura 3.1. Visualizzazione dei componenti base del sistema di navigazione [UnityTechnologies]

Pertanto tutti gli avatar all'interno della simulazione presentano il componente Navmesh Agent. Sebbene questo sistema di navigazione sia molto utile per quanto riguarda il calcolo del path dalla posizione corrente dell'agente fino all'obiettivo e la gestione dell'avoidance tra agenti, per quanto riguarda il movimento vero e proprio si è preferito utilizzare la root motion dell'animazione della camminata, quindi dall'animator, per far effettivamente spostare i VA. Pertanto la voce del componente che riguarda la velocità dell'agente è stata ignorata.
Inoltre, per implementare ancora meglio l'avoidance tra agenti, dato che in questo progetto ce ne sono tanti, e per evitare che due avatar si fermino troppo vicini l'uno all'altro, si è fatto uso sugli avatar anche della componente NavMesh Obstacle: nel momento in cui un VA si ferma, quindi per esempio se si trova in uno stato

di attesa o se sta interagendo con un elemento, esso abiliterà la componente di Navmesh obstacle e disabiliterà temporaneamente quella di agent così da bucare la navmesh ed essere considerato un ostacolo a tutti gli effetti, così che il percorso calcolato dagli altri avatar non posso passare da dove lui è.

Per gestire correttamente l'avoidance, inoltre, il sistema di navigazione ha bisogno che venga specificato un raggio attorno all'agente; per questo progetto, essendo gli avatar molto diversi tra loro anche per quanto riguarda la forma del corpo, il raggio dei nav agents è parametrizzato in base alle loro caratteristiche fisiche: quindi un agente magro avrà un raggio di navigazione più piccolo rispetto ad uno più muscoloso per esempio.

3.1.2 Finite State Machine

Per gestire la sequenza di azioni che un avatar può compiere autonomamente si è pensato di implementare una macchina a stati finiti[1]. Ogni stato implementa l'interfaccia di base `IState` che comprende i tre metodi fondamentali: `OnEnter()`, che viene eseguito ogni volta che si entra nello stato, `OnExit()` che viene eseguito ogni volta che si esce dallo stato, e infine `Tick()` che viene chiamato ad ogni frame per tutto il tempo che si è nello stato; Oltre a questo metodi, ogni stato ha un costruttore diverso, con le informazioni che gli servono. Ogni nuovo stato viene creato dalla classe `Avatar`.

In Figura 3.2 è rappresentato il diagramma della FSM di un avatar, in cui sono specificate anche le condizioni di passaggio da uno stato ad un altro. Ora vediamo in dettaglio gli stati più importanti e le loro funzioni.

- `ChooseTarget`: è lo stato di default, assegna all'agente come compito base quello di camminare e genera un punto destinazione che sarà il target;
- `FindNearestInteractable`: questo stato viene chiamato se l'avatar ha un task la cui azione coinvolge anche un oggetto della scena, pertanto questo stato ha lo scopo di trovare l'oggetto che risponde al task che sia più vicino all'avatar degli altri e segnarlo come *target* per fargli portare a termine l'azione;
- `ReachTarget`: è lo stato che permette agli agenti di muoversi nell'ambiente: infatti assegna come destinazione del navmesh agent la posizione del target; l'avatar resta in questo stato finché non raggiunge l'obiettivo;

[1]Una FSM è un semplice modello teorico che può essere applicato alla gestione di agenti autonomi. È caratterizzato da stati e transizioni: la funzione di transizione definisce le condizioni che determinano il passaggio da uno stato ad un altro, mentre lo stato in cui si trova l'agente determina le azioni che deve compiere.

- `Interact`: in questo stato l'avatar può interagire con l'oggetto raggiunto tramite l'animazione corrispondente e di conseguenza attiva il navmesh obstacle; nel frattempo, richiede un nuovo task;
- `Wait`: fa fermare l'avatar e abilita il navmesh obstacle per la durata dello stato; questo stadio è utilizzato per gli avatar che si devono mettere in fila e aspettare il proprio turno per interagire con l'oggetto;
- `Idle`: ferma l'agente, attiva il Navmesh obstacle e fa partire una delle animazioni di Idle, la cui scelta casuale è delegata ad uno StateMachineBehaviour[2]all'ingresso della sotto-FSM che gestisce la libreria di animazioni di tipo Idle;
- `Proximity`: rappresenta lo stato di interazione dell'avatar in prossimità dell'utente, per esempio una telefonata al cellulare;
- `Die`: quando un avatar deve essere rimosso, cerca lo spawn point più vicino a lui e glielo setta come destinazione dell'agent; logica delle porte del treno; all'arrivo nel punto, quindi all'uscita dallo stato, distrugge l'avatar e decrementa il conteggio totale, se l'avatar non è alla vista dell'utente; altrimenti trova un altro punto dove indirizzarlo per rimuoverlo.

Il passaggio da uno stato all'altro è effettuato dalla classe `StateMachine`, che implementa effettivamente la FSM che abbiamo descritto. La classe `Avatar` contiene invece le funzioni delle condizioni di passaggio e pertanto, se una condizione viene soddisfatta, passa alla `StateMachine` una nuova transizione.

3.1.3 Managers

Di seguito si analizzano invece le classi Manager, ovvero quelle che si occupano di gestire gli altri elementi e sono quindi il cuore della logica del sistema.

- `Avatar Manager`: è il gestore di tutti gli avatar, di cui ha una sempre una lista aggiornata; ha il compito di inizializzare ogni nuovo avatar; quindi per esempio settare il raggio del navmesh agent per l'avoidance in base alla sua struttura fisica, dargli una velocità iniziale, un task iniziale, un'emozione iniziale; gestisce anche la rimozione degli avatar, scegliendo chi deve lasciare l'ambiente, rendendo scaglionato il loro raggiungimento del die point; sceglie

[2]Uno StateMachineBehaviour è una classe speciale di script che è possibile allegare a un singolo stato all'interno di una macchina a stati, come per esempio l'animator, che gestisce le animazioni . Ciò consente di scrivere codice che verrà eseguito quando la macchina a stati entra, esce o rimane all'interno di un particolare stato

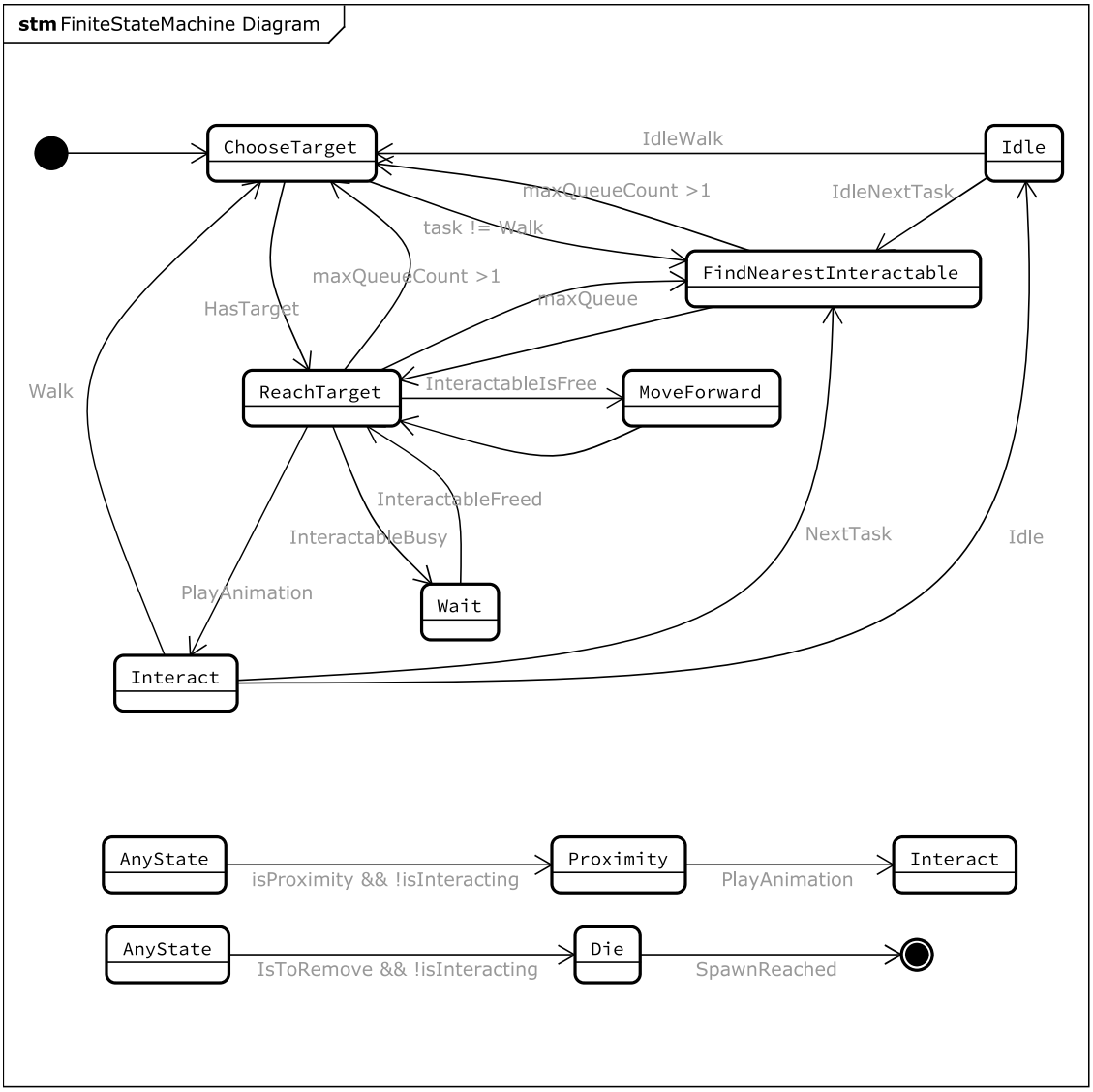

Figura 3.2. Rappresentazione grafica della macchina a stati finiti degli agenti

anche gli avatar che deve interagire con l'utente (es. fare la telefonata, girarsi a guardarlo).

- `Target Manager`: gestisce i punti in cui gli avatar devono sostare in Idle, in base alla variabile della distanza e quindi ai raggi e in base all'area Walkable della navmesh.

- `Interactables Manager`: gestisce tutti gli oggetti con cui si può interagire,

associando ad ognuno il task corrispondente, assegna il nextTask ad ogni avatar, comportandosi da scheduler, tenendo conto di quali task sono ripetibili e quali no; infatti, un'altra funzionalità implementata, è la possibilità di rendere un task non ripetibile, quindi effettuabile una sola volta da uno specifico avatar: un esempio potrebbe essere fare il biglietto del treno, perché tendenzialmente è un'azione che si compie una volta sola; gli *Interactable* stessi, che sono gli oggetti con cui gli avatar possono interagire, invece, tengono traccia in ogni momento se qualche VA sta interagendo con esso, per gestire se l'oggetto è occupato oppure no.

- `Queue Manager`: gestisce la fila di avatar per interactables che la prevedono; pertanto quando un avatar con il task corrispondente si avvicina, se l'oggetto è occupato, viene smistato sul primo punto della fila che è libero, se invece la fila è piene (ogni oggetto ha un numero massimo di avatar che possono mettersi in fila); quando il primo della fila ha finito, il manager ricalcola i punti target su cui indirizzare gli avatar per farli scorrere; tiene traccia di tutti quelli che sono in fila; se una fila è piena, si cerca un altro interactable associato allo stesso task per mandarvici l'avatar; se sono tutti con le file piene, si cambia task.

- `Spawn Manager`: gestisce la nascita degli avatar, ovvero ogni quanto e da dove nascono, controllando se l'utente non sta guardando , fin quando non si raggiunge la soglia del numero massimo di avatar che possono essere presenti; infatti gli avatar compaiono nella scena attraverso degli*spawn points*; lo spawning avviene ogni secondo da uno qualsiasi degli spawn point attivi; allo stesso modo per quando gli avatar devono essere rimossi perché è cambiata la soglia; crea effettivamente i VA e dice all'Avatar Manager di inizializzarli.

- `PhoneAudio Manager`: gestisce le clip audio associate agli avatar e, quando chiamato, sceglie la clip corretta in base alle caratteristiche del VA e dalle condizioni.

3.1.4 Interazioni con l'ambiente

Ci sono due tipi fondamentali di interazione di un avatar con un oggetto presente in scena: la prima prevede che se più avatar vogliono interagire con lo stesso oggetto, si formi una fila di avatar in prossimità dell'elemento, mentre la seconda, nelle stesse condizioni, prevede che gli avatar si dispongano attorno all'elemento e possano quindi interagire anche contemporaneamente. Per il primo caso esemplificativa è l'interazione con un distributore automatico, mentre per il secondo, un esempio è dato dall'andare a buttare qualcosa in un cestino dell'immondizia; questo comportamento quindi si applica bene agli elementi interagibili che sono

circolari.

Per rendere più naturale l'interazione degli avatar con gli oggetti, è stato programmato che essi si girino verso l'elemento prima di eseguire l'animazione associata all'azione. Questo è garantito tramite un collider trigger posto attorno all'oggetto: quando l'avatar è vicino a sufficienza da urtare il collider, egli si ferma gradualmente e ruota verso l'oggetto.

Fila

Vediamo più nel dettaglio la logica dietro il tipo di interazione *"a fila"*. Un oggetto dell'ambiente che prevede la formazione di una coda, ha davanti a sé un certo numero di punti in cui un avatar può disporsi per attendere il suo turno per interagire.
Quando un agente si avvicina all'oggetto in questione, il primo passaggio è controllare se esso ha come obiettivo effettivamente quell'oggetto; in caso affermativo, se l'oggetto non è occupato, l'avatar può tranquillamente avanzare e interagire con esso; se invece l'oggetto è occupato da un altro agente che vi sta interagendo, l'avatar viene smistato, dal `Queue Manager`, sul primo punto della fila che è libero; quando il primo della fila ha finito, il manager ricalcola i punti target su cui indirizzare gli avatar per farli scorrere; se, ancora, la fila è piena, l'avatar viene reindirizzato verso un altro interactable associato allo stesso task; infatti, ogni tipologia di oggetto che prevede la fila ha un numero massimo di avatar che possono mettersi in fila;

Treno

Il treno riparte quando sono saliti tutti gli avatar che dovevano lasciare la banchina. Gli agenti per riuscire ad entrare nel treno, esseno staccato dalla navmesh, sfruttano degli off-mesh link che collegano il pavimento della banchina con l'interno del treno.
Per evitare calca per salire sul treno, si è implementata una logica per le porte: ad ogni avatar che deve salire viene assegnato il vagone più vicino, ma poi tutti quelli che hanno uno stesso target vengono smistati sulle varie porte, e quindi per raggiungere il punto d'arrivo dovranno necessariamente passare dalla porta assegnata. Ogni destination point sul treno ha associate due o tre porte attraverso le quali un avatar lo può raggiungere. Questo comportamento è detto *Patrol Behavioiur*, perché appunto come una sentinella, l'agente deve passare attraverso un punto senza però fermarvici. Inoltre vengono scaglionati randomicamente nel tempo per raggiungere il punto di morte.

3.1.5 Interazione con l'utente

Oltre agli stimoli indiretti che gli avatar possono suscitare al partecipante, per esempio attraverso la loro vicinanza o la loro voce mentre stanno parlando al telefono, vi è un'azione specifica che possono rivolgere esplicitamente all'utente: lo sguardo. È noto infatti che il contatto oculare rappresenta un preciso stimolo stressante per i soggetti affetti da SAD. Pertanto, sebbene questa non sia propriamente una variabile del sistema, vogliamo comunque indagare il suo effetto sull'utente.

Si selezionano tutti gli avatar di una determinata emozione, che non stanno effettuando un'azione, che non sono di spalle all'utente. A questo punto di effettua un'operazione di Inverse Kinematic (IK) per far sì che l'avatar si giri a guardare l'utente, interpolando tra la posizione attuale di testa e occhi e quella finale dove vogliamo che guardi. Una volta passato il tempo stabilito per guardare l'utente, tutto il corpo dell'avatar torna nella posizione originale; tutti questi movimento ovviamente non sono fatti repentinamente ma in maniera fluida.

3.2 Caratterizzazione degli avatar

Vi erano diverse alternative per la creazione dei VA. Una soluzione poteva essere creare a mano una libreria di avatar: questo si poteva fare creando noi da zero ogni singolo avatar, usando un software di modellazione, ma questo avrebbe richiesto tempi non conciliabili col progetto e la resa grafica probabilmente on sarebbe stata ottimale; si sarebbero potuti usare dei modelli di avatar gratuiti, ma non sono molti e magari non incontravano le nostre esigenze; infine si sarebbero potuti comprare degli avatar già fatti, che sicuramente avrebbero avuto una qualità grafica alta ma il costo era decisamente proibitivo, in quanto a noi serviva un numero elevano di avatar diversi e il prezzo sarebbe stato un migliaio di euro per ogni decina di avatar, e poi comunque si sarebbe dovuto vedere se i modelli non erano troppo pesanti per reggere in tanti in una simulazione real time. Infine, la soluzione da noi scelta è stata utilizzare una libreria gratuita presente sul Unity Asset Store[3] che permette di creare un numero infinito di avatar tutti diversi tra loro e che presenta una resa grafica non ottimale ma sicuramente un buon bilanciamento tra qualità, varietà e costo computazionale, considerando che ci sono tanti avatar contemporaneamente in scena. Permette tra l'altro la creazione real time, senza dover generare preventivamente una libreria.

[3]https://assetstore.unity.com/

3.2.1 Unity Multipurpose Avatar

Unity Multipurpose Avatar (UMA) è un framework open source per la creazione di avatar. Già rigged, con uno scheletro complesso tra l'altro, soprattutto per quanto riguarda il volto.

Race

Una *Race*, ovvero razza, in UMA non è altro che una specifica TPose e un insieme di convertitori di DNA. Ad esempio, ci sono voci RaceData per Umani maschi e Umani femminili, perché hanno TPose leggermente diversi e convertitori di DNA specifici per genere, nonostante condividano gli stessi tipi di DNA. Il DNA di un avatar UMA sono le possibili modifiche o deformazioni che possono essere apportate per personalizzare un avatar.

Wardrobe

Il punto di forza di UMA è il poter combinare diversi capi d'abbigliamento per creare avatar diversi. Gli elementi che possono essere direttamente utilizzabili sugli UMA sono le *Wardrobe recipes*, che sono appunto delle ricette create appositamente per una o più races a partire da un modello di vestito. Nella ricetta si possono poi aggiungere anche varie regole, come per esempio i *Mesh Hide Asset*, che permettono di creare delle maschere per nascondere part del corpo o parti di altri vestiti quando vi è una specifica combinazione: questo è molto utile quando, come nel nostro caso, le combinazioni tra i vestiti sono casuali e quindi può capitare che due capi specifici non essendo stati creati precisamente per stare insieme, si compenetrino in qualche punto soprattutto se l'avatar si muove; grazie alle maschere di esclusione è possibile cancellare le parti di mesh che si sovrappongono e si compenetrano, così da eliminare l'effetto; la cosa intelligente è che grazie e queste regole, questa operazione viene fatta a run time solo all'occorrenza.
UMA, essendo una libreria gratuita, comprende solo un numero limitato di ricette di vestiti o anche capelli. Perciò, per ampliare il guardaroba standard degli UMA, si è acquistato un pacchetto di vestiti dall'Unity Asset Store e lo stesso si è fatto per i capelli.

Shared colors

Sempre volto a conferire varietà agli avatar, i colori condivisi permettono di avere diverse varianti, sempre a run-time, di vestiti o capelli semplicemente pescando da una lista di colori possibile per quell'elemento, diversificando così ulteriormente. Questo vale anche per gli elementi che presentano una texture e non sono quindi a tinta unita.

Randomizer
UMA Randomizer è un componente che permette di creare avatar in modo casuale: le variabili da randomizzare sono il DNA, il guardaroba e i colori. Nello specifico, per quanto riguarda il DNA, si può scegliere quali elementi specifici del corpo dell'avatar vanno resi casuali e in quale intervallo di valori. Per quanto riguarda il vestiario, invece, per ogni parte del corpo si possono inserire diversi elementi di guardaroba, così che ne venga preso uno casualmente dalla lista. Ci sono poi degli elementi che ne sopprimo altri, come per esempio un completo.

3.2.2 Animazioni

Per quanto riguarda le animazioni dei personaggi, abbiamo sfruttato Mixamo. Mixamo è un software gratuito di Adobe che permette di scaricare modelli 3D di alta qualità di personaggi ma soprattutto contiene una ricca libreria di animazioni per personaggi umanoidi. Le tecnologie di Mixamo utilizzano metodi di apprendimento automatico per automatizzare le fasi del processo di animazione dei personaggi, dalla modellazione 3D al rigging e all'animazione 3D. Caricando il proprio modello che si intende usare, Mixamo genera automaticamente uno scheletro umano completo, adatto al tuo modello e pronto per l'animazione Mixamo adatta, ove possibile, l'animazione a quel rig, permettendo poi di esportarla in formato .fbx. Le animazioni sono state create a Mixamo utilizzando il motion capture e ripulite dagli animatori dei fotogrammi chiave. Ogni animazione viene trasferita al tuo personaggio e può essere visualizzata in anteprima e modificata direttamente con Mixamo, in modo da poter controllare l'aspetto di ogni movimento. Le animazioni utilizzate comprendono per esempio diversi stati di Idle, ovvero animazioni che si verificano quando il personaggio non esegue alcuna azione in particolare. Pertanto si è creata una piccola libreria di animazioni di questo genere, per diversificare il comportamento degli avatar, dato che capita spesso che stiano fermi in una situazione di attesa; alcuni esempi possono essere mandare un sms, guardare l'orologio o semplicemente guardarsi intorno o respirare; la scelta di uno qualsiasi è casuale. e azioni semplici come digitare, raccogliere o buttare. Le animazioni di Mixamo non sono raffinatissime, infatti in questa parte dello studio vengono utilizzate più come placeholder per dare l'idle dell'azione, ma vano sicuramente affinate.

Per quanto riguarda le animazioni, come abbiamo già visto per lo sguardo, è possibile affinarle sfruttando le funzioni di cinematica inversa (IK): un'altra applicazione è stata per esempio per posizionare il telefono bene sull'orecchio degli avatar per l'animazione che rappresenta una chiamata al cellulare.

Le animazioni in Unity sono gestite tramite il componente Animator, che altro non è che una macchina a stati finiti che gestisce le transizioni da una clip d'animazione ad un'altra.

3.2.3 Espressioni

Il vantaggio per le espressioni facciali è stato l'avere a disposizione nello scheletro dell'UMA molte ossa della faccia, che hanno permesso di implementare espressioni differenti fra loro e che afferissero a specifiche emozioni.
Come prima cosa, si sono abilitate le funzionalità di *blinking*, ovvero sbattere le palpebre, e di *saccades*, ovvero movimenti casuali della pupilla, in quanto, seppur essendo movimenti impercettibili, donano un enorme senso di naturalezza dello sguardo.
Le espressioni specifiche sono state configurate via script grazie al componente *UMA Expression Player*, che tramite dei valori numerici che si possono assegnare alle varie ossa, permette di modificare vari punti del viso, come la fronte, le sopracciglia, le guance, ecc. Per riuscire a replicare delle espressioni precise sugli avatar, si sono prese delle fotografie come reference. Per rendere realistico e fluido il cambio di espressione sul volto di un avatar, si effettua un blend tra i valori delle singole ossa interessate: in questo modo non si ha uno switch repentino, ma piuttosto un cambio naturale di espressione che non turba l'utente.

3.3 Variabili della simulazione

La simulazione è stata strutturata per essere influenzata da tre parametri, che vanno ad agire nello specifico sugli avatar. Queste variabili scelte si ipotizza possano andare a modificare lo stato d'ansia di un partecipante che prende parte all'esperienza in realtà virtuale. I 3 parametri sono:

- distanza degli avatar dall'utente
- emozione degli avatar
- quantità di avatar presenti

Distanza
Per distanza si intende la distanza degli avatar dall'utente; può assumere due valori che sono *vicino* o *lontano*: il valore *vicino* indica che gli avatar che si devono posizionare in un'animazione di idle davanti all'utente, lo faranno all'interno di un raggio definito r_{min}, che è una semicerchio il cui centro è rappresentato dalla posizione dell'utente e il cui raggio è appunto r_{min}. In questa condizione per l'appunto tutti gli avatar che non stanno eseguendo altri task, si posizioneranno vicino

all'utente. Dalle nostre ipotesi questa condizione dovrebbe essere più stressante dell'altra, che adesso andiamo a illustrare. Viceversa, il valore *lontano*, indica che gli avatar con task Idle devono posizionarsi lontano dall'utente, nello specifico nella semi corona circolare che va da r_{min} a r_{max}, dove $r_{min} < r_{max}$. L'utente avrà perciò attorno a sé una porzione di banchina vuota e gli avatar saranno presenti ad un certo numero di metri da lui. Nella Figura 3.3, si può notare la disposizione degli avatar in base alla variabile della distanza, quindi in base ai raggi.

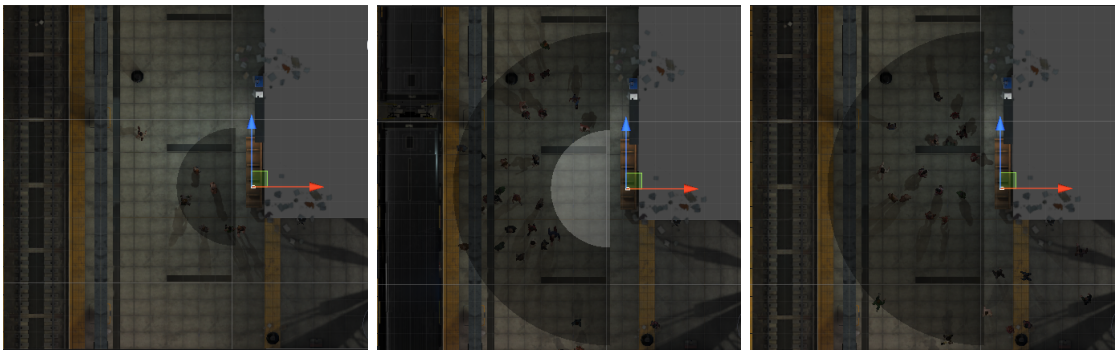

Figura 3.3. Disposizione degli avatar in vari raggi

Quantità
Per quantità si intende il numero di avatar presenti sulla banchina; anche questa variabile può assumere due valori: *tanti* e *pochi*. Quelli che scendono dal treno, anch'esso numero parametrizzato e nel nostro caso pari a massimo 5, non rientrano nel conto.

Mood Il mood indica l'emozione predominante degli avatar: i valori che il mood può assumere sono tre: *felice*, *spaventato* e *arrabbiato*. Nello specifico, in una configurazione caratterizzata da un particolare mood, l'80% degli avatar presenti avrà l'emozione caratterizzante, mentre il restante 20% avrà l'emozione neutra. Il mood degli avatar si manifesta in tre modi principali: la loro espressione, il loro tono di voce e la loro rapidità di movimento. Del tono di voce ne parleremo più approfonditamente nella sezione Audio.
Nella Figura 3.4 si illustra in esempio di espressione per ognuna delle quattro emozioni, su due avatar diversi.

Figura 3.4. Partendo da in alto a sinistra e andando in senso antiorario, un esempio di espressioni corrispondenti alle emozioni rabbia, neutra, felicità e paura

3.4 Ottimizzazione VR

In generale, sorgono problemi di prestazioni perché può essere difficile per le applicazioni e i motori di gioco tenere il passo con la frequenza di aggiornamento di Rift di 90 Hz.
I problemi di prestazioni VR sono generalmente di due tipi: problemi di CPU e problemi di GPU. La CPU tende a essere coinvolta nella logica di simulazione, nella gestione dello stato e nella generazione della scena da renderizzare. La GPU tende a essere coinvolta nel campionamento delle texture e nell'ombreggiatura per le mesh nelle scene. È importante determinare se un problema di prestazioni è dovuto al carico della CPU o del carico della GPU e ottimizzare di conseguenza il codice.

Oculus
Oculus è un'azienda che realizza hardware per la VR. Inizialmente si pensava di utilizzare il modello *Quest* perché senza fili e quindi più flessibile, poi visto che l'utente nel nostro scenario sarebbe stato seduto tutto il tempo, si è preferito sfruttare la potenza del computer grazie al collegamento via cavo e quindi si è passati al modello *Rift S*, che è quello poi usato per la parte di testing.
Oculus Quest è il primo visore 6DOF standalone e all-in-one e offre la libertà della realtà virtuale wireless e autonoma con la potenza e le prestazioni leader del settore. Questo dispositivo include due controller con tracciamento spaziale, audio open-ear integrato e supporto per Oculus Link che consente agli utenti di accedere alla libreria di Oculus Rift dal proprio PC. Oculus Rift S è PC-based, offre un'immersione senza precedenti con la flessibilità del tracciamento inside-out, massimizza il volume di tracciamento senza bisogno di sensori esterni. È corredato da due controller che fungono da input per interagire con l'ambiente virtuale (Fig. 3.5).

Figura 3.5. Oculus Rift S [FacebookTechnologies]

Uno dei problemi principali a sviluppare un'applicazione per la VR è che, per non provocare motion sickness, il framerate deve essere più alto che per una semplice applicazione desktop. Viene da sè che quindi l'ottimizzazione è uno step importante nella pipeline di sviluppo. Ancora più importante è cercare di tenere il framerate costante, evitando page faults.

Environment e texture mesh baker
Avendo a disposizione un ambiente ricco e complesso, il primo passo è stato scartare tute le parti della stazione che non servivano perché fuori dalla portata visiva dell'utente. Perché infatti, anche se non si vedono tolgono tempo. Per ottimizzare

i modelli che invece si vedevano si è utilizzato il plugin texture mesh baker che permetteva di creare cluster di modelli per unirne anche i materiali e quindi le draw call [4]. Ovviamente le mesh avnno unite con criterio perchè se no si possono avere degli errori sulle texture e sull'illuminazione, quindi non si può esagerare sulla dimensione dei cluster. Parla anche dei materiali del treno.

UMA
Un altro aspetto vantaggioso di utilizzare la libreria UMA è che permette la gestione degli avatar secondo la logica di Level Of Detail (LOD)[5], ch permette di regolare la qualità grafica, e quindi il costo computazionale, di ogni avatar. Di base, i VA che sono più vicini all'utente devono avere un alto livello di dettaglio, mentre viceversa, quelli che sono lontai non necessitano di un'altissima qualità perchè comunque non si sarebbe in grado di discernere i piccoli dettagli. Pertanto lavorando sulla variabile *LODDistance* si può determinare a quale di stanza avere il salto di livello di dettaglio.

Illuminazione
Un passaggio fondamentale è rappresentato dal bake delle luci: lasciare tutte le luci real time sarebbe computazionalmente non sostenibile, pertanto la stragrande maggioranza, di quelle non in movimento, si è effettuato il bake, ovvero l'illuminazione diventa come se fosse un materiale/texture. Va da se che questo procedimento non può essere fatto per le luci in movimento, come per il nostro caso quelle del treno, nè per le luci che vogliamo proiettino un'ombra si soggetti in movimento: infatti un numero limitato di luci della banchina principale, nello specifico 3, sono state mantenute *mixed*, ovvero fanno parte del bake ma generano ombre in real time. Così facendo tutti gli avatar che si muovono sulla banchina principale hanno la loro ombra calcolata in tempo reale. Le luci e le ombre sono elementi fondamentali per il realismo di una simulazione.

[4]Una draw call è un comando per la GPU di disegnare una mesh. Bisogna cercare di riurne il più possibile il numero: un modo per farlo è unire le mesh e di conseguenza le texture

[5]Il LOD è il numero di informazioni utilizzate per la rappresentazione di un modello. La gestione del LOD cerca di migliorare la resa della pipeline di rendering selezionando il livello appropriato per i singoli oggetti in base alla distanza

Capitolo 4

Sperimentazione

La parte sperimentale si prefigge l'obiettivo di validare se i parametri della simulazione hanno un impatto sulla risposta fisiologica del soggetto e in quale entità

4.1 Protocollo sperimentale

In questa sezione si parla di quello che è stato implementato al fine della sperimentazione su soggetti. Si è quindi preso il framework descritto nel capitolo precedente e si è applicato ad uno scenario specifico , implementando le configurazioni da testare.

4.1.1 Ambientazione

L'ambientazione prescelta nella quale ambientare la simulazione sociale virtuale, dopo aver vagliato varie ipotesi, è stata una metropolitana. Questa ricade tra gli scenari già utilizzati anche in altri studi perché è un ambiente che si visita frequentemente nella vita di tutti i giorni, permette contatti sociali e permette un flusso di persone variabile, e quindi controllabile. Si era pensato anche di ricreare un ambiente che avesse caratteristiche simili ma che fosse di Torino, come per esempio una delle stazioni, però la resa dal punto di vista del realismo non sarebbe sicuramente stata eccellente e avrebbe richiesto molto tempo per essere realizzata. Pertanto abbiamo utilizzato un asset già pronto preso dallo Unity Asset Store, che ricostruisce una metropolitana Newyorchese molto dettagliata. Gli elementi in particolare dell'asset scelti per ambientare la simulazione sono stati una banchina principale in cui avviene il cuore della simulazione, ovvero dove è virtualmente seduto l'utente e dove si muovono gli avatar autonomi, poi ci sono altre due banchine in lontananza in cui vi sono altri avatar ma fermi e infine un

treno della metropolitana, costituito da quattro vagoni, su cui ci sono altri avatar statici e che si ferma alla banchina principale, apre le porte per far scendere e salire avatar e poi riparte. La banchina principale è corredata da vari oggetti, tra cui panchine, distributori automatici, macchinette per fare i biglietti e per i giornali, cestini dell'immondizia, ecc., che rappresentano degli espedienti per far fare agli avatar delle azioni.

Scenario
L'utente è seduto sulla panchina della banchina come se dovesse aspettare un treno. Ha un task da portare a termine: contare attraverso il controller per la realtà virtuale tutti gli avatar che hanno una determinata caratteristica del volto, per spingerlo a guardare attentamente gli avatar; Ha in mano un cellulare con un'applicazione aperta che serve per comunicare il task e fare da contatore. Pertanto l'utente resterà seduto per tutta la durata della simulazione, non ha necessità di spostarsi perché il suo task principale è quello di esplorare con lo sguardo l'ambiente e gli avatar. Nel mentre è attaccato ai biosensori per determinare il suo livello d'ansia Ci sono degli avatar di sfondo sulle altre banchine che sono in attesa, si è visto però che l'utente presta un'attenzione quasi nulla a loro e quindi sono a bassa risoluzione, anche perché sono lontani, e non hanno compiti da svolgere. Ci sono degli avatar fermi dentro ad ogni vagone, per aumentare il realismo.

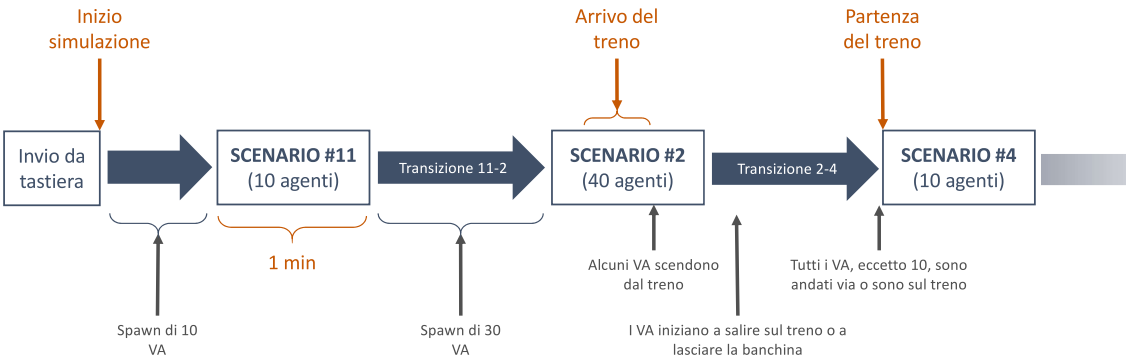

Figura 4.1. Flusso della simulazione

4.1.2 Configurazioni

Per verificare al meglio come i vari parametri della simulazione influissero sul livello d'ansia del soggetto, si è pensato di implementare 12 configurazioni dello stesso scenario. Ogni configurazione è determinata dalla combinazione dei 3 parametri

descritti prima. Un secondo livello di lettura dell'implementazione delle configurazione è che si vogliono ricreare vari livelli di ansia.
Ogni configurazione ha un id univoco così che anche se in ogni trial il loro ordine cambia, grazie ad un sistema di logging è sempre rintracciabile . Gli identificativi e i valori delle variabili sono rappresentate nella tabella 4.1.

Numero	Distanza	Felicità	Paura	Rabbia
alto	vicino	1	5	9
	lontano	2	6	10
basso	vicino	3	7	11
	lontano	4	8	12

Tabella 4.1. Identificativi delle configurazioni in base ai parametri relativi agli avatar.

L'elenco delle configurazioni con le relative caratteristiche è salvato in un file json, che viene poi letto e analizzato per salvare le caratteristiche di ciascuna.

Per far sì che la sequenza delle configurazioni non condizionasse l'effetto generale di stress sul soggetto, si è fatto in modo di randomizzare la sequenza di esse, garantendo però sempre l'alternanza dei due valori della variabile di affollamento. Ogni configurazione ha la durata di un minuto, questo per permettere di rilevare segnali fisiologici rilevanti: infatti se la risposta allo stress della conduttanza cutanea è pressoché istantanea, non si può dire lo stesso del battito cardiaco e del respiro. Durante questo minuto, i valori delle variabili del sistema rimangono costanti. Il passaggio da una configurazione ad un'altra prevede una situazione di *transizione*, che permette agli avatar di arrivare sulla banchina oppure di lasciarla. Le transizioni hanno un tempo variabile, in ogni caso inferiore al minuto. Il tempo di transizione da una configurazione all'altra è variabile perché dipende da quanto tempo ci mettono gli avatar per andarsene/arrivare e raggiungere la numerosità soglia.Durante le transizioni, il raggio su cui possono stanziare gli avatar è rmax: pertanto si possono disporre su tutta la semicirconferenza che ha come centro la posizione dell'utente e come raggio rmax.

Per semplificare il lavoro di monitoraggio della simulazione, a schermo, solo lato pc, non VR, è presente un'interfaccia grafica che mostra i valori delle variabili della configurazione corrente, oltre anche al timer interno del flusso, che si azzera

ad ogni cambio di configurazione o transizione, e infine il conteggio delle configurazioni su 12. In fase di sviluppo, questa UI è servita anche per cambiare manualmente i parametri, prima che il flusso fosse automatizzato: infatti gli elementi dell'interfaccia presentano slider e bottoni che permettono di cambiare le condizioni dell'ambiente. Contiene anche uno slider per far andare la simulazione più velocemente, per velocizzare il debugging.

Una volta che sono state effettuate tutte e 12 le configurazioni, si riporta l'utente nella condizione iniziale: pertanto tutti gli avatar lasciano la banchina, sia salendo sul treno che uscendo dalle uscite principali, il treno poi parte e comincia una dissolvenza a nero che prende tutto il campo visivo dell'utente, fino a terminare con una scritta che ringrazia per la partecipazione. Questo segna la fine della simulazione. La simulazione, esclusa la fase di setup per posizionare bene l'utente sul corpo virtuale ed incluso il minuto di registrazione parametri di baseline, dura circa 20 min

Ora possiamo capire quanto ci è stato d'aiuto UMA perché, se escludiamo gli avatar statici sul treno e sulle altre banchine, durante un ciclo di simulazione vengono creati, se il caso few è 10 e il caso many è 40, abbiamo un totale di 190 avatar che si muovono vicino all'utente. Includendo quelli statici, che sono circa 15 sulle altre banchine e 30 sul treno, arriviamo quindi in totale a circa 240 avatar.

Interazione con l'utente
Ora si descrive in cosa consiste l'interazione con l'utente nei casi in cui la variabile distanza assume i valori *vicino* o *lontano*.

- Caso *vicino*: l'avatar si ferma alla sinistra della panchina dove è seduto l'utente, quindi molto vicino a lui e parla al telefono con tono di voce associato allo stato emotivo dello scenario; una percentuale di avatar guarda l'utente per un certo numero di secondi. Nell'arco di tempo della configurazione gli avatar che guardando l'utente si alternano;
- Caso *lontano*: l'avatar si posiziona davanti all'utente ma oltre la distanza soglia e parla al telefono con tono di voce associato allo stato emotivo dello scenario; una percentuale di avatar guarda l'utente per un certo numero di secondi. Nell'arco di tempo della configurazione gli avatar che guardando l'utente si alternano.

VR body
Virtual body per aumentare il senso di presenza. Due varianti per uomo o donna. Il corpo ha in mano un telefono per il task. Ogni volta che cambia il task l'utente riceve un feedback aptico dal controller corrispondente, ovvero il dentro,

che consiste in una vibrazione: questo è fatto in modo tale che l'utente non debba guardare tutti il tempo il telefono e possa concentrarsi sull'esplorare l'ambiente.

Funzioni aggiuntive quando c'è un cambio di configurazione, è l'avatar manager che ha il compito di cambiare il mood a tutti gli avatar
`Flow Manager`:

4.1.3 Audio

L'audio è una componente fondamentale per il realismo di un'ambientazione ma soprattutto ha una forte carica emotiva, quindi in questo progetto è stato fortemente sfruttato per veicolare informazioni emozionali all'utente.

L'audio all'interno di Unity può essere spazializzato, ovvero, la fonte può essere piazzata all'interno dello spazio 3D in un determinato punto per far avere la percezione all'utente che l'audio provenga proprio da quel punto. In Unity, la simulazione di base del suono 3D si ottiene riducendo l'audio a un singolo canale (mono). Unity quindi lavora sul suono attenuandolo, ovvero alterandone il volume, a seconda della distanza e della posizione dell'ascoltatore. Questo è importante per il realismo dei suoni e quindi si deve applicare a tutti quelli che non sono mero sottofondo ambientale. Infatti, a seconda dell'effetto audio che si sta cercando, si potrebbe non volere una sorgente audio 2D o 3D completa. Fortunatamente, con il cursore Spatial Blend, si può generare un mix di suoni 2D e 3D. Un esempio di una sorgente audio che può utilizzare sia 2D che 3D è un effetto audio che deve essere ascoltato ovunque ma ha anche una sorgente ovvia. La funzione con cui cambia il volume dell'audio in base alla distanza si può modificare; le funzioni di base sono logaritmica o lineare, ma si può anche creare una curva custom per le proprie esigenze, come è stato fatto in questo progetto. Nello specifico, ci interessava che il suono fosse congruente con le aspettative quando un VA parlava a telefono vicino o lontano dall'utente. La curva è stata determinata empiricamente ed è rappresentata in Figura 4.3, dove sulle ascisse troviamo i metri di distanza e sulle ordinate il volume.

Avatar
All'interno della simulazione, una delle azioni che possono compiere gli avatar è una conversazione al telefono. All'interno di ogni configurazione ci sarà un avatar dell'emozione predominante che si andrà a posizionare vicino o lontano dall'utente ed effettuerà una conversazione telefonica. Queste conversazioni sono state ricercate e selezionate in modo che corrispondessero alle tre variabili emotive; per essere sicuri che in una stessa simulazione non si potesse mai ripetere due volte la stessa clip audio, si sono incluse in tutto 24 clip di circa 30 secondi, suddivise per genere

dell'avatar ed emozione: pertanto ogni coppia genere-emozione ha a disposizione 4 clip tra cui scegliere. Questo perché la selezione dell'avatar che andrà a fare la telefonata è casuale, l'unica condizione è che abbia l'emozione caratteristica della configurazione, pertanto può capitare che per esempio in tutte e quattro le configurazioni con emozione *felicità* sia un avatar donna ad essere selezionato, da qui la scelta di arrivare a 24 clip. Questo tipo di fonte audio è 3D, pertanto è anche facile per l'utente rendersi conto quale avatar nello specifico sta parlando perché oltre al segnale visivo, rappresentato dal telefono portato all'orecchio, vi è anche l'aiuto lato audio, che indirizza subito l'utente verso il punto della fonte.
La selezione della giusta clip è delegata all' `Audio Manager`: infatti ogni avatar ha un AudioSource ma senza clip; in base alle caratteristiche del VA che richiede la clip, l'Audio Manager seleziona e passa quella corretta da riprodurre.

Ambiente
Altro tipo di audio è invece quello ambientale, che rappresenta il sottofondo che si avrebbe in una stazione della metropolitana: pertanto vociare di persone, rumore di passi, ma soprattutto rumore di treni che passano sulle rotaie e annuncio dell'arrivo del treno alla banchina principale. Oltre questo c'è un altro livello di vociare, il cui volume è in funzione di quanti avatar ci sono nella scena, per rendere il sottofondo più realistico: infatti il volume è proporzionale al numero di avatar presenti sulla banchina. In concomitanza con l'arrivo del treno abbiamo detto c'è l'annuncio, ma anche il rumore dei freni per quando si ferma, il suono dell'apertura e chiusura delle porte, e il rumore di accensione del motore per la ripartenza.

4.2 Raccolta dati

Per partire con la fase di test vera e propria su dei soggetti sperimentali si sono preparati i questionari da sottoporre e creato i file eseguibili delle applicazioni di realtà virtuale. I segnali fisiologici di baseline sono raccolti quando il partecipante è in uno stato di calma e relax; in questo caso specifico è seduto sulla panchina immerso nell'ambiente virtuale della metropolitana ma la simulazione non è ancora partita: la banchina e vuota, c'è solo l'audio ambientale.

Lo scopo è la raccolta degli indici fisiologici durante paradigmi di interazione sociale, tramite lo scenario della metropolitana, oppure sforzo cognitivo, tramite lo stroop test; di questa seconda parte ne parliamo nel paragrafo seguente

Stroop test
Lo stroop test è uno dei metodi più utilizzarti per indurre stress in laboratorio. Generalmente consiste nel leggere il colore della parola e non il significato; un

esempio è illustrato in Figura 4.4 La nostra è una versione in VR leggermente diversa, infatti si tratta di uno stroop inverso: dovendo il soggetto prendere un bottone colorato, è più difficile associare il significato, pertanto non bisogna associare il colore ma la semantica. L'ambientazione è un semplice ufficio, quindi una stanza tendenzialmente asettica, con uno schermo di fronte all'utente dove appaiono sequenzialmente le parole e davanti a sè 6 bottoni di diversi colori. I bottoni si premono avvicinando il cotroller destro fisicamente ai pulsanti. Stroop test strutturato a livelli di crescente difficoltà, dettata dal numero di parole congruenti col colore, dal tempo a disposizione per rispondere , dal cambio di posizione dei bottoni colorati e nell'ultimo livello dalla presenza di distrattori (Fig. 4.5).
Per ogni livello, esclusa la familiarizzazione, ci sono 80 trial. Self report di ansia percepita, tramite Subjective Units of Distress Scale (SUDS) rappresentato da un termometro, tra un blocco e l'altro, seguito da un minuto di pausa. Anche lo stroop dura circa una ventina di minuti.

Soggetti
Dato che la fase di sperimentazione si è svolta presso il Dipartimento di Psicologia, e questo per via della situazione pandemica non è aperto al pubblico, i soggetti che hanno partecipato sono stati individui che aveva l'autorizzazione ad accedere al dipartimento. Per questo stesso motivo e perché comunque tutto il ciclo sperimentale durava all'incirca un'ora e mezza, il numero di soggetti che hanno preso parte alla sperimentazione è stato di 14,che comunque è un buon numero se si considera che è uno studio preliminare. IL range di età è stato dai 20 ai 30 anni, maggioranza di donne rispetto agli uomini e con variegata esperienza di realtà virtuale o di videogiochi, quindi tutto sommato un campione di soggetti vario. Hanno tutti firmato un consenso informato prima della partecipazione.

4.2.1 Setup

Prima di far partire l'applicazione, è possibile cambiarne alcune caratteristiche grazie ad un file di configurazione. Eccone di seguito alcuni.

- numero massimo di avatar nell'ambiente: questo va ad influenzare il valore numerico della variabile *Numero* nel caso *tanti*; per la sperimentazione si è assegnato il valore 40;
- r_{max}: questo va ad influenzare il valore numerico della variabile *Distanza* nel caso *lontano*; per la sperimentazione si è assegnato il valore 9.6 metri;
- r_{min}: questo va ad influenzare il valore numerico della variabile *Distanza* per entrambi i casi *lontano* e *vicino*; per la sperimentazione si è assegnato il valore 3.6 metri;

- tempo di sguardo: questo rappresenta il tempo in secondi in cui gli avatar fissano l'utente, quando hanno l'input di girarsi a guardarlo; per la sperimentazione si è assegnato il valore 3 secondi;

- task per l'utente: qui si possono scrivere le stringhe che appariranno come task all'utente sull'applicazione del cellulare virtuale che tiene in mano durante la simulazione;

- genere dell'utente: se il soggetto è uomo o donna andrà ad influenzare quale modello di corpo virtuale sarà posizionato in corrispondenza del corpo reale dell'utente per la durata della simulazione.

L'altezza, posizione e orientamento dell'utente si possono regolare da tastiera, perché dipendono dal setting reale: questa fase di setup è fatta appena l'utente viene immerso nello scenario virtuale, prima di registrare i segnali di baseline.
Gli elettrodi per la rilevazione dei parametri fisiologici sono applicati in siti specifici del corpo per registrare la risposta galvanica, il battito cardiaco e la respirazione. La disposizione dei sensori è stata studiata anche in modo tale da essere comodi anche durante l'uso della VR e viceversa che non siano disturbati dall'interazione dell'utente con l'ambiente virtuale: si è scelto di utilizzare il controller destro come dispositivo di input anche perché i sensori per la risposta galvanica, che sono più sensibili, si trovano sulla mano sinistra. Sulla destra c'è invece uno dei tre sensori per il battito cardiaco, misura che è più stabile. Ovviamente la scelta del controller destro va anche incontro al fatto che la maggior parte dei soggetti è destrorsa e quindi sarebbe stato più facile per la maggior parte di loro utilizzare la mano destra per interagire. In ogni caso, per la prima parte del protocollo sperimentale, ovvero l'esperienza sociale di cui tratta principalmente questa tesi, l'interazione consiste unicamente nel premere un tasto sul controller, senza doverlo muovere, per incrementare il contatore degli avatar con una determinata caratteristica (task dell'utente). Questi ragionamenti sui sensori diventano invece più determinanti per la seconda parte, ovvero lo Stroop test, in quanto per premere i pulsanti colorati che corrispondono al valore semantico delle parole che compaiono a schermo in realtà virtuale, il soggetto deve muovere il braccio destro parecchio. In ogni caso con questa configurazione di sensori, dopo varie prove, i segnali registrati sono risultati stabili e puliti. Ovviamente, come è capitato una volta, se uno degli elettrodi durante l'esperienza si dovesse staccare dalla pelle del soggetto, i dati si sporcano inevitabilmente.

Il setup hardware comprendeva anche delle cuffie collegate al visore per esaltare l'esperienza uditiva, per migliore qualità e senso di immersione e isolare ulteriormente i soggetti dall'ambiente esterno. Essendo la componente audio fondamentale per trasmettere le emozioni degli avatar, era importante che tutte le clip si potessero

sentire chiaramente. Inizialmente si controlla che i dati dai sensori sono acquisiti correttamente, quindi che non ci sia troppo rumore, altrimenti si posizionano meglio i sensori sul soggetto. A questo punto si raccolgono dati di baseline, ovvero i segnali del soggetto a riposo nell'ambiente virtuale, perché i segnali fisiologici di base sono diversi per ogni persona. Per esempio il battito cardiaco. Abbiamo ridotto al minimo i motivi di movimento degli arti del partecipante per non sporcare i segnali, infatti l'unico task previsto si poteva fare semplicemente tenendo nella mando destra, fermo, un controller e premere un pulsante su di esso.

Biopac e iMotions

Per la parte di testing e, nello specifico, per la raccolta dei parametri fisiologici degli utenti, è stato utilizzato un sistema di acquisizione e analisi dati modulare e flessibile che offre molteplici configurazioni per adattarsi alle varie esigenze. I moduli Biopac rappresentano la componente hardware del sistema di acquisizione, mentre iMotion la componente software. Raccolta degli indici fisiologici durante paradigmi di interazione sociale, misurati tramite un sistema di acquisizione ed elaborazione di misure fisiologiche per mezzo della piattaforma di ricerca iMotions I moduli che abbiamo deciso di utilizzare sono tre, ovvero elettrocardiogramma, conduttanza cutanea e respirazione.

1. L'amplificatore dell'elettrocardiogramma registra l'attività elettrica generata dal cuore. La raccolta di questi dati ECG di alta qualità include la misurazione della variabilità della frequenza cardiaca, che può essere associata al livello di stress fisiologico o psicologico, o al contrario di calma, che un individuo sta vivendo. L'acquisizione del segnale avviene tramite due elettrodi posizionati rispettivamente su polso destro e caviglia sinistra, attaccati alla pelle tramite dei dischi adesivi.

2. L'amplificatore per l'attività elettrodermica/risposta galvanica cutanea misura sia il livello di conduttanza cutanea (SCL) che risposta di conduttanza cutanea (SCR), poiché variano con il sudore a causa di stress, eccitazione o emotiva eccitazione. Il nostro livello di eccitazione emotiva cambia in risposta all'ambiente in cui ci troviamo: se qualcosa è spaventoso, minaccioso, gioioso o comunque emotivamente rilevante, la conseguenza diretta è un aumento dell'attività delle ghiandole sudoripare eccrine. Questo è ciò che i dispositivi EDA/GSR catturano quando vengono posizionati sulle mani o sui piedi. Nel nostro caso sono stati posizionati su due dita della mano sinistra.

3. La misurazione fisica diretta dello sforzo respiratorio avviene invece attraverso un fascia da posizionare attorno al torace.

Tra i principali vantaggi che l'utilizzo del software iMotions fornisce troviamo: la possibilità di raccogliere dati da più sensori contemporaneamente, nel nostro caso

ECG, EDA e respiro; la sincronizzazione automatica e in tempo reale di tutti i dati dei sensori; la possibilità di gestire tutto da un singolo PC e in una singola applicazione software; i segnali acquisiti vengono anche ripuliti dal rumore.

File di log
Dall'applicazione si hanno come output due file di log, importanti per dare un senso ai dati fisiologici registrati. Il primo riguarda il flusso delle configurazioni, quindi nello specifico contiene tutti i timestamp relativi all'inizio e fine della simulazione e inizio e fine delle configurazioni e delle transizioni, questo per poter suddividere i segnali fisiologici per configurazione. Per ogni configurazione vengono inoltre stampate tutte le informazioni ad essa relative, ovvero ID e valori dei parametri. È possibile vedere un esempio di output nella tabella 4.2.

Timestamp	Configuration	ID	Volume	Distance	Mood
47,43	start				
57,42	configuration	7	few	near	fear
117,44	transition				
147,44	configuration	2	many	far	happy
207,45	transition				

Tabella 4.2. Esempio di log che presenta due configurazioni

Il secondo, invece riguarda l'azione di contatto oculare degli avatar con l'utente. Infatti, analisi approfondite vogliono investigare la correlazione dello sguardo ad un aumento puntuale di ansia visibile per esempio in un picco di conduttanza cutanea. Si ipotizza infatti, che il contato oculare con un VA possa provocare stress. L'analisi dei feedback dei soggetti sperimentali conferma questa ipotesi. In questo file di log pertanto si tiene traccia del timestamp di tempo di inizio e fine di ogni sguardo, che infatti si può protrarre nel tempo, nel nostro caso 3 secondi, con relativa configurazione, ma anche genere dell'avatar, distanza effettiva in metri dall'utente e soprattutto se l'utente ha nel campo visivo quell'avatar e quindi se lo sta guardando a sua volta. È possibile vedere un esempio di output nella tabella 4.3.

Il contenuto di questi file di log è incrementale, pertanto ad ogni avvio dell'applicazione il file non viene sovrascritto ma vengono aggiunte le informazioni del

StartTime	EndTime	Configuration ID	Distance	Gender	UserLooking
271,86	274,87	3	13,05	HumanFemale	True
279,87	282,87	3	3,82	HumanMale	True
280,87	283,89	3	3,09	HumanFemale	True
283,89	286,90	3	8,20	HumanFemale	False
292,89	295,90	3	14,25	HumanFemale	True
292,90	295,91	3	6,43	HumanMale	False
361,88	364,88	2	5,26	HumanMale	False
363,88	366,90	2	9,97	HumanFemale	True
368,90	371,90	2	6,14	HumanFemale	True
372,90	375,91	2	8,93	HumanFemale	False
376,91	379,93	2	6,13	HumanFemale	True
376,92	379,93	2	10,12	HumanMale	True
384,93	387,93	2	3,39	HumanMale	True
399,02	402,03	2	6,52	HumanFemale	True
401,36	404,36	2	7,14	HumanMale	False
407,97	410,97	2	9,41	HumanMale	True
414,97	417,98	2	4,65	HumanFemale	False

Tabella 4.3. Esempio di log sguardo di due configurazioni

nuovo trial. Questa pratica è utile per scongiurare che i dati di un soggetto vengano per sbaglio cancellati o sovrascritti.

4.2.2 Questionari

Ai partecipanti è stato chiesto di compilare due tipi di questionari, un gruppo volto all'indagine dell'ansia dei soggetti, un altro gruppo volto a valutare l'esperienza in VR. Tutti i questionari sono in italiano e, se non disponibili, sono stati tradotti, per una maggiore comprensibilità del testo, dato che tutti i soggetti erano italiani. I questionari per la VR sono stati creati con Google Form così da avere facilmente le statistiche dei risultati, mentre quelli per l'ansia erano cartacei.
Dobbiamo comunque prendere per veritiere le risposte che i partecipanti danno e quindi fidarci che abbiano compilato i questionari correttamente.

VR

- **VR Use**: È stato progettato per misurare l'usabilità di un sistema VR in base all'attitudine e percezione dei suoi utenti e nello specifico per valutazione di ambienti virtuali [Kalawsky, 1999]. sia per social che per stroop, ma più sezioni per stroop. Per il social le sezioni utilizzate sono state *Fedeltà della simulazione* e *Senso di immersione e presenza*, mentre per lo stroop si è aggiunta anche la sezione di *Input dell'utente*, dato che questo aspetto era molto importante.

- **Virtual Humans**: [Poeschl and Doering, 2013] integrato solo per la simulazione sociale; le sezioni utilizzate sono state *Presenza sociale*, *Realismo del comportamento del pubblico* e *Realismo dell'aspetto del pubblico*
sono state aggiunte anche delle domande ad hoc circa il realismo degli agenti autonomi e della simulazione.

- **SUS**: ovvero System Usability Scale[Brooke, 2013], che è uno standard per valutare l'usabilità di un qualsiasi sistema, ed è stato somministrato solo a seguito dello stroop test

Valutazione ansia
Abbiamo adoperato tre questionari per la valutazione dell'ansia dei partecipanti:

- **SIAS**: il questionario SIAS è volto alla valutazione dell'ansia sociale; nello specifico, il SIAS valuta i timori di un'interazione sociale generale. La scala SIAS è stata progettata per misurare l'ansia da interazione sociale definita come "distress quando si incontra e si parla con altre persone", quindi rivela un disagio relazionale [Mattick and Clarke, 1998]. Il punteggio, o *cutoff*, per

determinare la presenza d'ansia è 36 [Peters, 2000]. Questo questionario è stato somministrato ai partecipanti prima della simulazione, infatti potevano anche compilarlo prima di presentarsi in laboratorio.

- **STAI**: è volto a riconoscere ansia generalizzata Ci sono due forme: per ansia di tratto (STAI Y-2), ovvero abituale, e ansia di stato (STAI Y-1), ovvero momentanea, in un preciso momento [Spielberger, 1970]. Il punteggio, o *cutoff*, per determinare la presenza d'ansia è 40
  - STAI Y-1: essendo volto ad indagare lo stato d'ansia in un preciso momento, questo questionario è stato fatto compilare ai partecipanti subito dopo la fine della simulazione sociale, proprio per capire come questa avesse fatto sentire i soggetti
  - STAI Y-2: questo, come il SIAS, è stato somministrato prima della simulazione, in quanto indaga l'ansia abituale

Si riassume nel diagramma in figura 4.7 la sequenza sperimentale. I riquadri con sfondo blu indicano che il soggetto sta usando la realtà virtuale.

Figura 4.2. Stazione affollata con UI

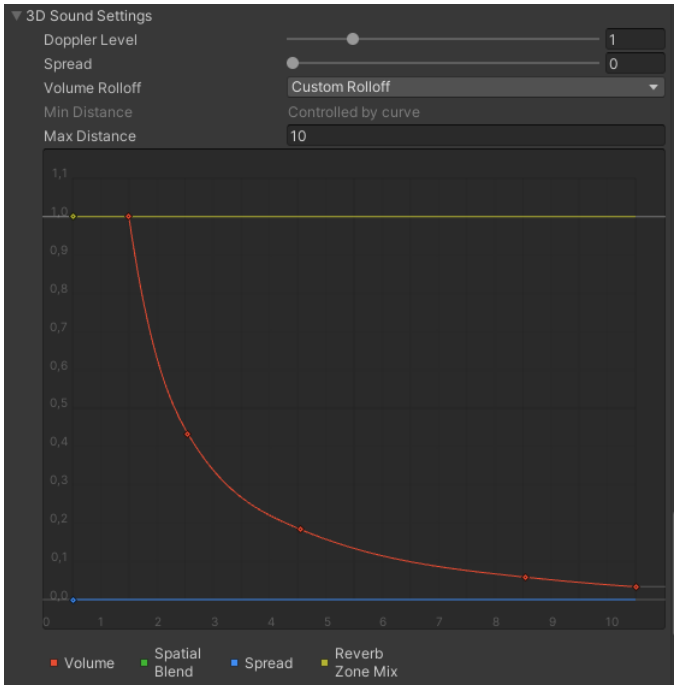

Figura 4.3. Funzione audio 3D

Figura 4.4. Esempio di stroop test

Figura 4.5. Stroop test in VR

Figura 4.6. Moduli del BIOPAC

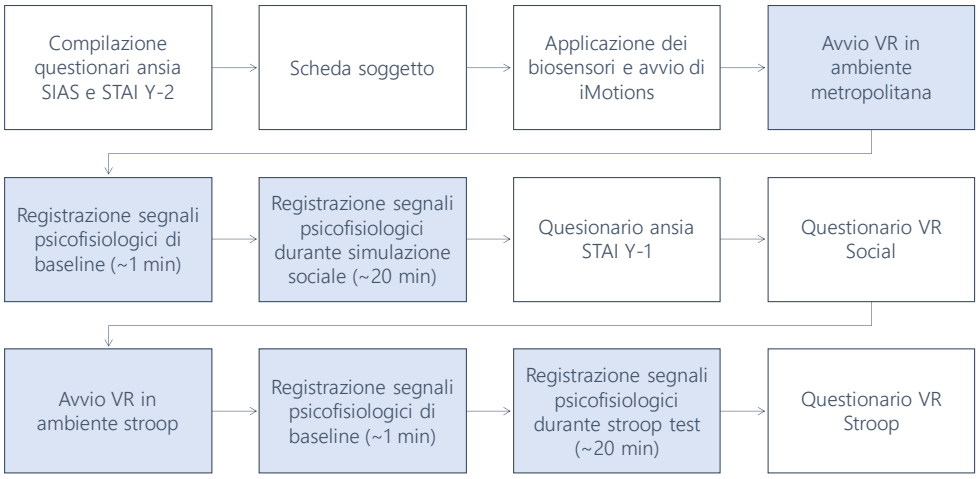

Figura 4.7. Flusso della sessione durante l'esperimento

Capitolo 5

Analisi dei dati

Una volta finito di raccogliere i dati di tutti e 14 i soggetti sperimentali, si è passato ad analizzare i segnali fisiologici dei partecipanti. L'analisi dei segnali registrati va fatta tenendo conto delle caratteristiche specifiche di ognuno: per esempio la risposta galvanica da un feedback immediato di ansia che corrisponde ad picco sul segnale, mentre l'ECG ha bisogno di più tempo per mostrare una variazione, tendenzialmente sulla frequenza dei battiti.

La sensibilità degli strumenti adoperati per la registrazione è molto buona e se ci dovessero essere margini di errore da tenere in conto non dipenderebbero dalla sensibilità, quindi non ci sono margini di errore dipendenti dagli strumenti da tenere in considerazione. Gli strumenti registrano tutto in maniera molto precisa, ma in quel tutto possono rientrare fonti di rumore indipendenti dalla loro sensibilità, ad es. si stacca un elettrodo, il soggetto suda, si muove troppo ecc. Queste fonti di rumore vengono attenuate al meglio nel preprocessing, ed ancora questo può avere un impatto sui dati, ma in maniera uguale per tutte le condizioni sperimentali senza quindi intaccare le differenze relative tra condizioni.

I dati in funzione delle informazioni presenti nel file di log dello sguardo invece li escludiamo dalle analisi perché sono ancora dati molto grezzi e necessitano di un'analisi più approfondita prima di riuscire a trarne informazioni utili. Quindi verranno analizzati solo i dati in funzioni delle tre variabili delle configurazioni.

Per isolare i singoli fattori abbiamo applicato, per ogni soggetto, una media collassata su ogni fattore delle condizioni "miste": ad esempio, su ogni misura fisiologica la media per Near è calcolata come la media di tutte le condizioni che presentano Near, cioè la media di HappyManyNear, HappyFewNear, AngryManyNear, AngryFewNear, FearManyNear, FearFewNear. E così per tutti gli altri fattori (o dimensioni) singoli.

Per l'analisi dei segnali fisiologici si è utilizzato il software MATLAB (The MathWorks, Inc.). MATLAB è una piattaforma di programmazione e calcolo numerico utilizzata per l'analisi di dati, lo sviluppo di algoritmi e la creazione di modelli. Il software è stato utilizzato per analizzare e plottare i segnali fisiologici dei partecipanti alla sperimentazione registrati mentre erano immersi nella simulazione in VR.

In figura 5.1 si riportano esempi dei tre tipi di segnali grezzi registrati, prima di essere processati.

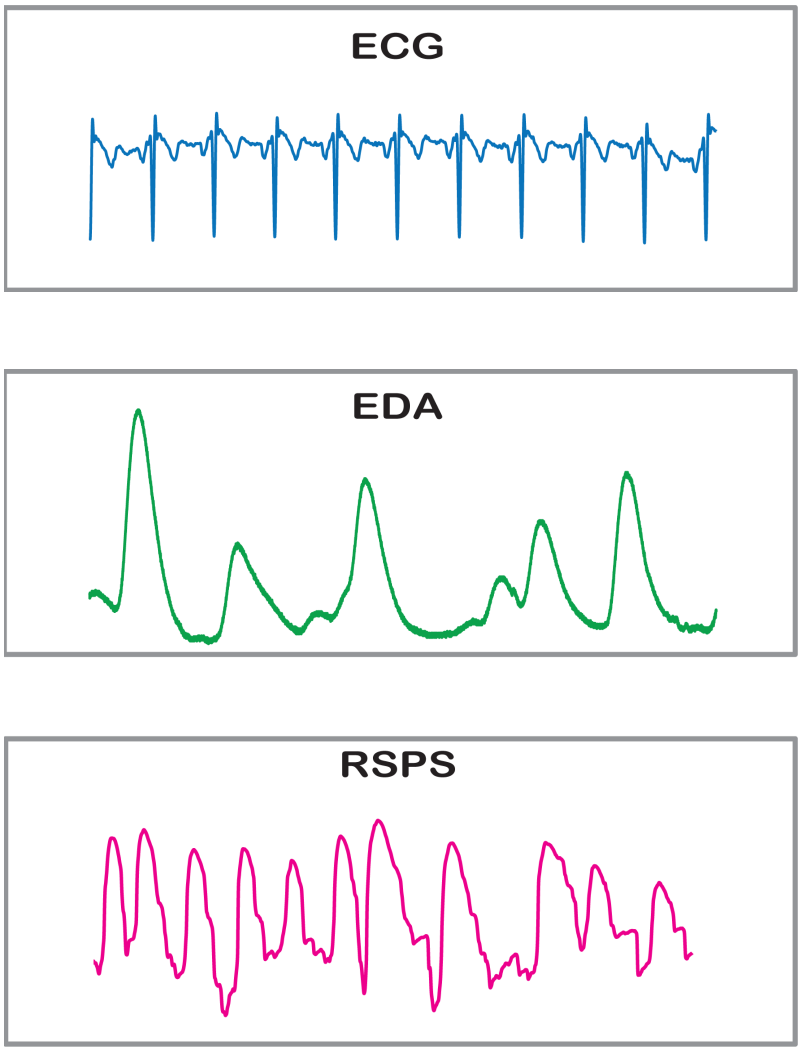

Figura 5.1. Esempi di segnali grezzi di rispettivamente elettrocardiogramma, conduttanza cutanea e respiro

5.1 Risultati

Di seguito si riportano i risultati più significativi dell'analisi dei segnali fisiologici e delle risposte ai questionari.

5.1.1 Segnali fisiologici

Per ognuno dei tre tipi di segnali registrati, ci sarebbero tanti modi per analizzarli. Pertanto per ognuno si sono selezionate le misure più significative a determinare tratti d'ansia così da analizzarle. Nei prossimi paragrafi, dunque, vengono specificate le misure scelte con i relativi risultati, aggregati su tutti i partecipanti, e il loro significato.

Conduttanza cutanea
Per la conduttanza cutanea, la misura più significativa presa in considerazione è il numero totale di picchi che occorrono durante ogni condizione. La Figura 5.2 mostra il numero medio di picchi di conduttanza per ognuna delle variabili manipolate, ovvero Distanza, Numerosità ed Emozione. Come sottolineato dal grafico, quando la distanza degli agenti virtuali presenti nello scenario aumenta, cioè questi sono più lontani dal soggetto sperimentale, il numero di picchi osservati è minore rispetto a quando sono invece più vicini. Questo risultato indica che una maggiore vicinanza degli agenti al soggetto sperimentale induce uno stato di aumentato arousal fisiologico il quale, a sua volta, è indicatore di uno stato psicofisiologico di stress e/o ansia più marcato.

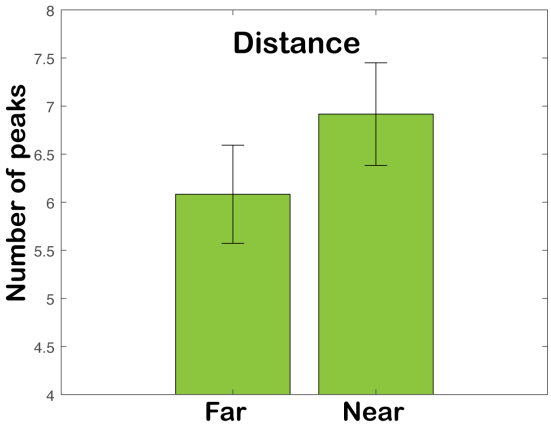

Figura 5.2. Risultati EDA distance

Riguardo il fattore Numerosità degli agenti virtuali, anch'esso sembra influire sul

numero di picchi di conduttanza cutanea e dunque sullo stato psicofisiologico del soggetto sperimentale: infatti, all'aumentare della numerosità degli agenti, aumentano anche i picchi di conduttanza cutanea e di conseguenza lo stress/ansia percepiti dal soggetto (Fig. 5.3).

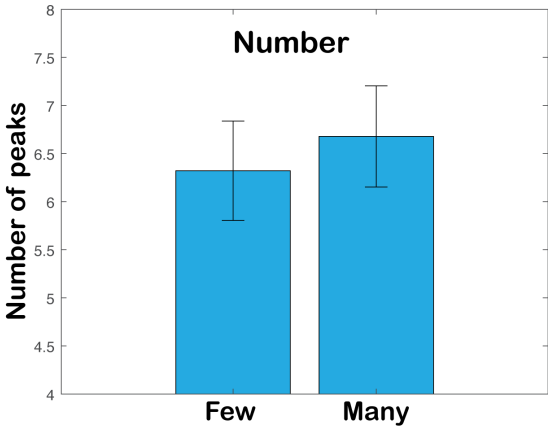

Figura 5.3. Risultati EDA number

Infine, l'analisi del numero di picchi di conduttanza cutanea relativo alle diverse emozioni espresse dagli agenti virtuali (Felicità, Rabbia e Paura), si nota dalla Figura 5.4 una diminuzione di stress ed ansia quando il soggetto sperimentale si trova in presenza di agenti che esprimono Felicità rispetto a quando questi esprimono Rabbia o Paura. In particolare, la Rabbia sembra essere l'emozione che più induce uno stato di ansia nel partecipante.

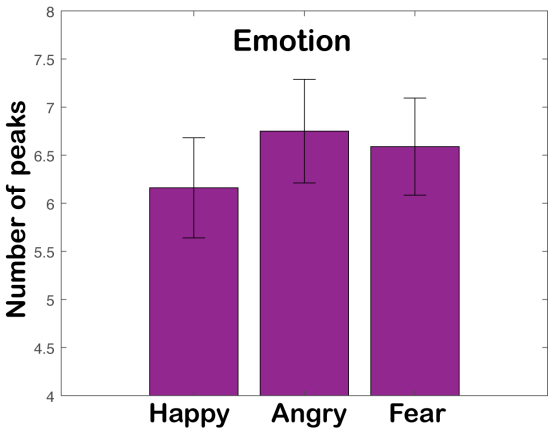

Figura 5.4. Risultati EDA emotion

ECG

Le misure di elettrocardiografia (ECG) prese in analisi sono due: battiti al minuto (Beats-Per-Minute, BPM) e distanza temporale tra i battiti (Inter-Beat Interval, IBI). Queste due misure complementari sono entrambe indicatori di frequenza cardiaca e sono state in grado di fornire un quadro analogo a quello fornito dalle misure di conduttanza cutanea.

Infatti, la frequenza cardiaca aumenta all'aumentare della prossimità spaziale degli agenti virtuali rispetto al soggetto (Fig. 5.5), indicando un maggiore livello di stress/ansia rispetto a quando gli agenti sono lontani rispetto al partecipante.

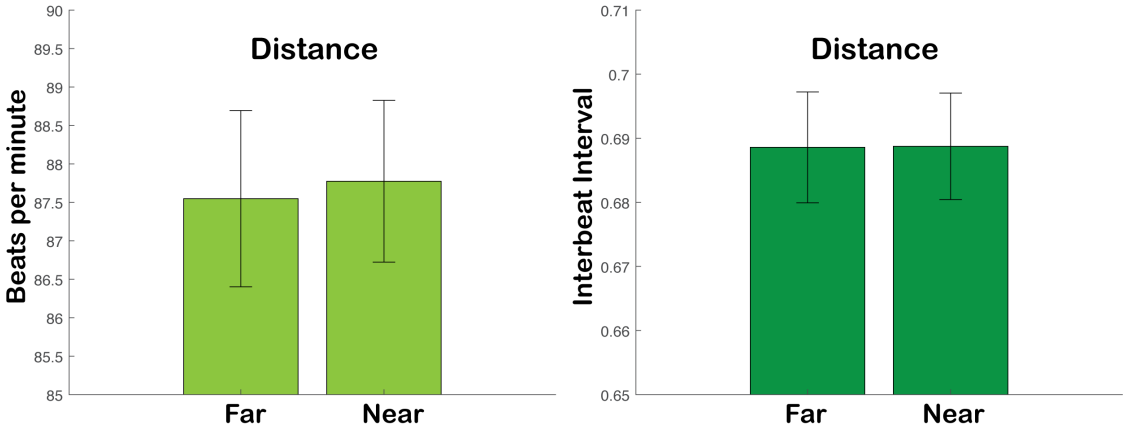

Figura 5.5. Risultati ECG distance

Per la variabile Numerosità, coerentemente coi dati di conduttanza cutanea, l'aumento di stress/ansia percepito dal partecipante si verifica nel caso in cui vi sia una alta numerosità di agenti all'interno dell'ambiente virtuale e si rispecchia in un aumento della frequenza cardiaca così come indicata da BPM ed IBI in Figura 5.6.

Infine, si analizzano i dati ECG riguardo le diverse emozioni espresse dagli agenti virtuali, che non sono perfettamente concordi con i risultati della conduttanza: da un lato confermano che l'espressione di Felicità da parte degli agenti è quella che meno aumenta i livelli di arousal fisiologico nel partecipante e dunque non induce stress/ansia; dall'altro rivelano che non vi è differenza sostanziale tra Felicità e Paura, ma che solo la Rabbia è l'espressione emotiva che induce un aumentato stress/ansia (Fig. 5.7). Questo dato probabilmente riflette una valenza negativa di ostilità che è presente in un'emozione negativa come la Rabbia ma non in una come la Paura, che induce più comportamenti di approccio e non di ostilità.

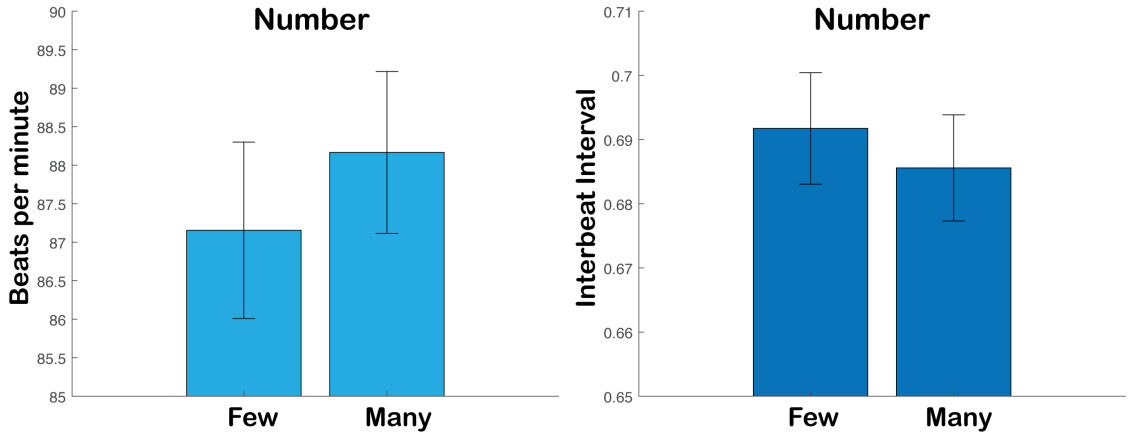

Figura 5.6. Risultati ECG number

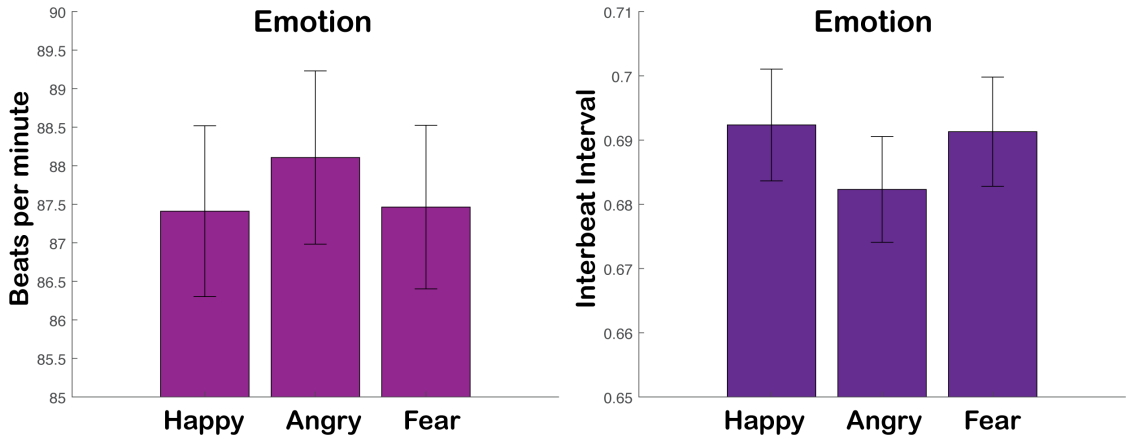

Figura 5.7. Risultati ECG emotion

Respiro

L'ultima misura fisiologica registrata e analizzata nel presente studio è la frequenza respiratoria. I risultati delle analisi ricalcano le osservazioni fatte per le due precedenti misure. Un aumento nella frequenza respiratoria è indicatore di aumento di arousal fisiologico tipico degli stati di stress ed ansia, ed è infatti differenze si notano, come nelle precedenti misure fisiologiche, per ognuna delle variabili manipolate.

Quando gli agenti virtuali presenti nell'ambiente sono più vicini al partecipante, la sua frequenza respiratoria aumenta, denotando un maggiore stato di stress/ansia rispetto a quando la distanza degli agenti è maggiore (Fig. 5.8).

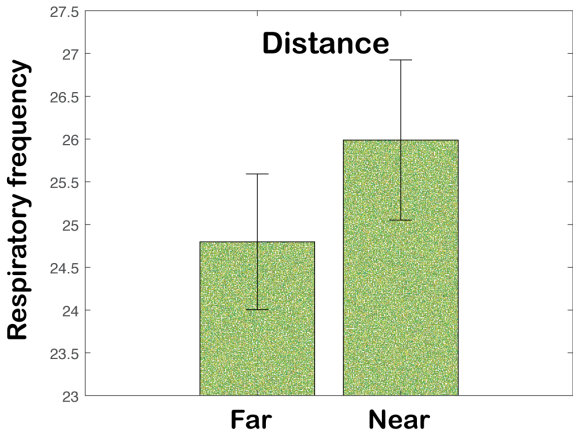

Figura 5.8. Risultati RSP distance

In maniera analoga, la Numerosità degli agenti presenti nella scena influisce sullo stato di attivazione psicofisiologica del partecipante, aumentandone l'arousal e dunque lo stress/ansia quando la scena è dominata da un numero elevato di agenti rispetto a quando questi sono invece in numero più ridotto, come di può vedere dalla Figura 5.9.

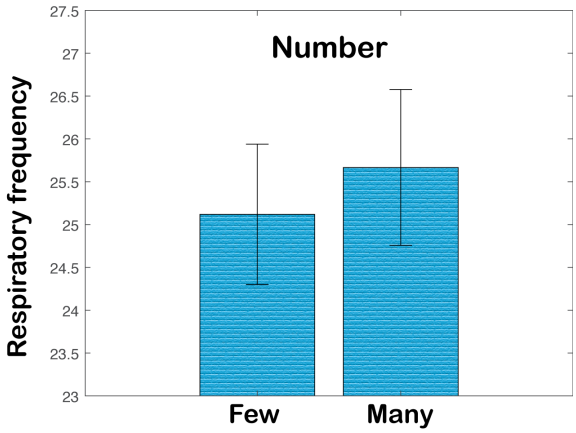

Figura 5.9. Risultati RSP number

Infine, le differenze di stress/ansia indotto dalle diverse emozioni si rispecchiano anche nella frequenza respiratoria: è infatti quando gli agenti assumono un'espressione di Rabbia che il partecipante mostra una maggiore frequenza respiratoria e

dunque sperimenta un maggiore stato di stress/ansia (Fig. 5.10).

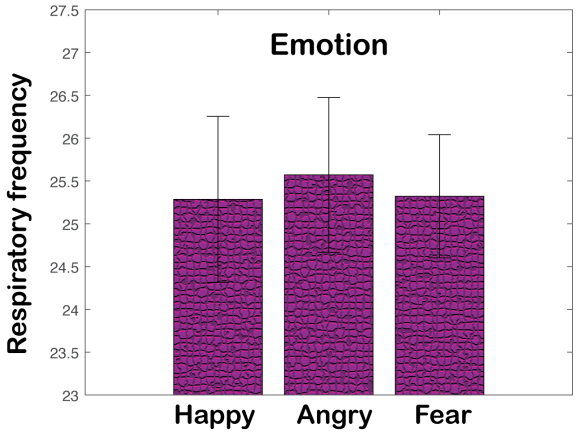

Figura 5.10. Risultati RSP emotion

Pertanto i risultati si sono dimostrati coerenti con le nostre aspettative e analoghi per ogni misura. Infatti, riassumendo, si è riscontrato un aumento d'ansia quando gli agenti virtuali presenti nell'ambiente erano più vicini al partecipante, quando erano più numerosi e quando assumevano un'emozione di *rabbia*.

Purtroppo, non si evince nessuna correlazione significativa sulle misure prese in analisi. Per misure come la correlazione, ci vorrebbe sicuramente più variabilità tra i soggetti e un numero maggiore di questi ultimi.

5.1.2 Questionario VR

Per trarre delle conclusioni circa le impressioni dei partecipanti alla sperimentazione circa la simulazione sociale in realtà virtuale, si è guardato alle risposte in modo aggregato. Si riassumono quindi le risposte date dai soggetti al questionario per la simulazione sociale riportando nella tabelle 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 la media pesata delle risposte ad ogni domanda di tutti i partecipanti. Per tutte le domande, la scala di gradimento è a cinque valori e va da 1 (per niente d'accordo) a 5 (completamente d'accordo), tranne per quelle riportate nella tabella 5.3, dove la scala va da 1 (completamente falso) a 7 (completamente vero). Nelle Figure 5.11 e 5.12 si riportano i grafici delle risposte qualitative circa la fedeltà della simulazione e il senso di immersione/presenza nell'ambiente virtuale.

Riassumendo, dall'analisi dei questionari è emerso che:

Domande	Risposte
La simulazione era accurata	4.3
La simulazione era troppo semplicistica per essere utile	1.5
Sono rimasto colpito dal modo in cui potevo interagire con la simulazione	3.7
La simulazione si è comportata in una maniera molto inusuale	1.9
Gli elementi dell'ambiente virtuale si muovevano in una maniera naturale	3
Mi sono sentito disorientato nell'ambiente virtuale	2.1
Avevo il giusto livello di controllo sulla simulazione	3.4
L'ambiente virtuale era troppo complicato	1.2
Ho pensato che la qualità della simulazione esaltasse la mia prestazione	2.6
Sembrava che a tratti la simulazione si bloccasse	2.1

Tabella 5.1. Risposte questionario VR: fedeltà della simulazione

Domande	Risposte
Ho avuto la sensazione di essere immerso nell'ambiente virtuale	4.8
Non avevo bisogno di sentirmi immerso nell'ambiente virtuale per eseguire il mio compito	1.6
Ho avuto un senso di presenza (es. essere lì)	4.6
La qualità dell'immagine ha ridotto il mio senso di presenza	2.1
Ho pensato che il campo visivo abbia enfatizzato il mio senso di presenza	3.9
La risoluzione dello schermo ha ridotto il mio senso di immersione	1.9
Mi sono sentito isolato e non parte dell'ambiente virtuale	1.1
Ho avuto un buon senso delle proporzioni nell'ambiente virtuale	4.4
Spesso non sapevo dove mi trovassi nell'ambiente virtuale	1.1

Tabella 5.2. Risposte questionario VR: immersione e presenza

Domande	Risposte
Percepivo la presenza di altre persone nell'ambiente con me	6
Percepivo che le persone mi guardassero e fossero consapevoli della mia presenza	6
Il pensiero che le persone non fossero reali ha attraversato spesso la mia mente	4.1
Le persone mi sono sembrate senzienti, coscienti e vive	4.5
Ho percepito le persone come mere immagini computerizzate, non reali	3.6

Tabella 5.3. Risposte questionario VR: presenza sociale

Domande	Risposte
La postura degli avatar era naturale	3.1
I gesti degli avatar erano naturali	2.9
Il comportamento degli avatar era autentico	2.7
Le espressioni facciali degli avatar erano realistiche	2.6
Il vestiario degli avatar era adeguato	3.7
Gli avatar erano differenti tra loro per quanto riguarda l'aspetto	4
Gli avatar nella loro interezza sembravano adeguati per questo scenario	3.8
Il vestiario degli avatar era naturale	3.5
Ho percepito la camminata degli avatar come naturale	2.3
Potevo sentire chiaramente l'audio di tutte le telefonate	4.7
Le emozioni che le telefonate volevano trasmettere mi sono state chiare	4.2
Ho percepito che le espressioni facciali degli avatar corrispondevano a diverse emozioni	3.1
La simulazione rappresentava una situazione di vita reale	4.5

Tabella 5.4. Risposte questionario VR: realismo agenti autonomi e simulazione

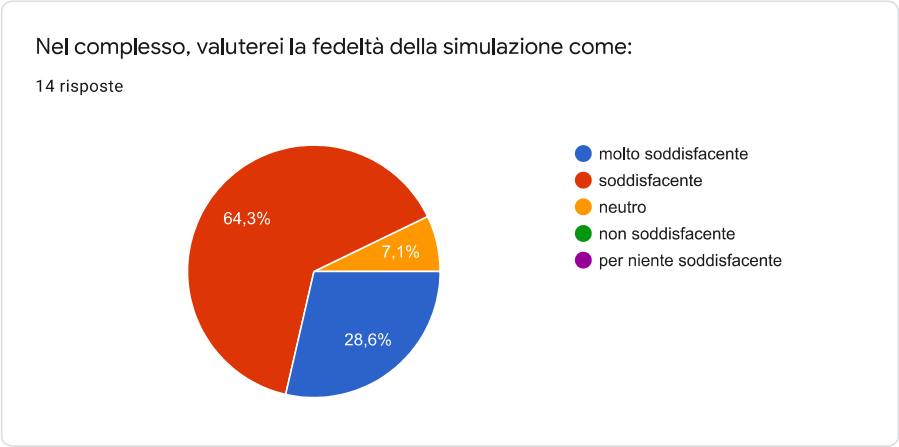

Figura 5.11. Grafico fedeltà simulazione

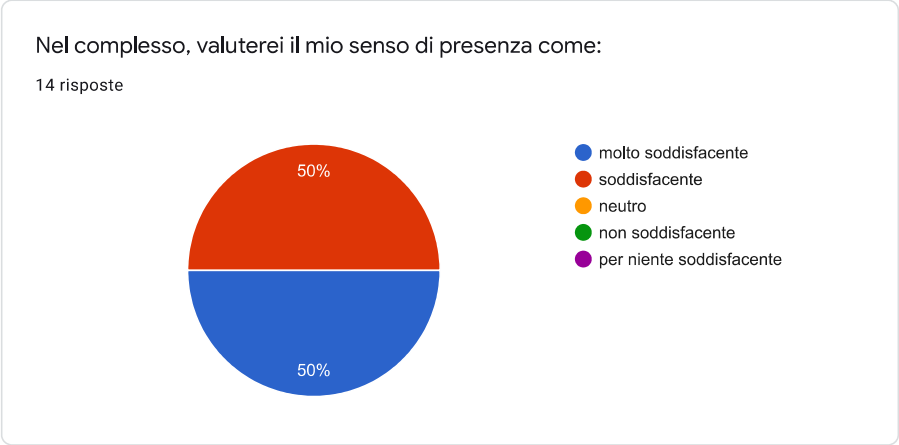

Figura 5.12. Grafico immersione e presenza

- l'obiettivo di presenza e immersione è stato ampiamente raggiunto, infatti i soggetti, si sono sentiti tutti parte dell'ambiente virtuale;
- la simulazione è stata definita accurata;
- gli avatar sono stati valutati adeguati al contesto e la loro presenza, così come il contatto oculare con loro, sono stati percepiti chiaramente;
- ci sono margini di miglioramento per quanto riguarda la qualità grafica degli agenti e il realismo dei loro movimenti, in quanto per questo primo stadio sperimentale si è voluto puntare più sulla loro diversità, dato che in un ciclo di simulazione vengono creati circa 240 avatar; in ogni caso, anche se le

opinioni sono state abbastanza distribuite per quanto riguarda gli avatar, che sicuramente hanno dei limiti, vedendo i dati fisiologici in ogni caso un effetto c'è stato;

- le emozioni che i VA volevano trasmettere con il tono di voce sono state recepite correttamente.

Il punteggio non altissimo riguardo le espressioni facciali degli avatar, in corso d'opera ci siamo resi conto che poteva essere dovuto anche al fatto che alcuni partecipanti si concentravano troppo sul task e non guardavano bene gli avatar.
Dalla breve intervista pre-simulazione volta a compilare la scheda soggetto, abbiamo tra l'altro appreso che un buon numero di partecipanti era abituato ad un livello di grafica molto alto perché consono giocare ai videogiochi e quindi questo può giustificare che siano abituati ad un livello di resa grafica superiore a quello degli avatar della nostra simulazione, per questo i voti non sono stati altissimi; invece la maggior parte ma non usa spesso la VR.

Dal calcolo dei punteggi per i questionari SIAS e STAI si evince che nel nostro campione di soggetti sperimentali una buona parte potrebbe presentare tratti di ansia: questo valida ancor di più il nostro lavoro perché è stato testato anche su persone che potrebbero avere qualcosa in comune con i pazienti target del training riabilitativo. Anche durante le sedute di sperimentazione, era chiaro dalle reazioni dei partecipanti che per alcuni era stata più stressante l'esperienza sociale e per altri invece quella cognitiva dello stroop test.

Capitolo 6

Conclusioni

Questo lavoro aveva come obiettivo sperimentale quello di validare se i parametri della simulazione indagati avessero un impatto sulla risposta fisiologica di un soggetto. Visti i risultati ottenuti del processo di analisi dei dati, possiamo dire non solo che le variabili del sistema hanno avuto un impatto sullo stato d'ansia dell'utente, ma anche che nello specifico si è riscontrato un aumento d'ansia quando gli agenti virtuali presenti nell'ambiente erano più vicini al partecipante, quando erano più numerosi e quando assumevano un'emozione di *rabbia*. In conclusione, i risultati ottenuti da questo primo step di sperimentazione sono incoraggianti per proseguire con ulteriori test e implementare il biofeedback loop per arrivare a mettere a punto un training riabilitativo per l'ansia sociale.

6.1 Limitazioni del lavoro

I risultati sono stati positivi nonostante alcune limitazioni che ci siamo trovati a fronteggiare. Una delle limitazioni che ci siamo trovati a dover gestire riguarda sicuramente il reclutamento dei soggetti sperimentali: infatti, trovandosi l'attrezzatura per rilevare i segnali fisiologici al Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Torino e non potendo muoverla, per via delle restrizioni di accesso dovute al Covid-19, potevano accedere ai locali solamente persone autorizzate esplicitamente, quindi in generale non abbiamo potuto far entrare soggetti esterni al dipartimento. È per questo motivo che il campione sperimentale è stato di sole 14 persone e la maggior parte di queste erano tesisti o tirocinanti del dipartimento.
Il numero esiguo di soggetti ha anche comportato l'impedimento ad effettuare analisi più approfondite: per esempio, indagare una correlazione tra i punteggi dei questionari di ansia con i livelli fisiologici registrati. Per misure come la correlazione, ci vorrebbe sicuramente più variabilità tra i soggetti e un numero maggiore

di questi ultimi.

Inoltre, il non avere a disposizione avatar con qualità grafica eccezionale per problemi di costi ha rappresentato una limitazione sulla resa del realismo e impatto emozionale degli agenti, sebbene comunque anche con le risorse utilizzate per gli avatar, i risultati ci sono stati e sono stati positivi.

6.2 Sviluppi futuri

Questo progetto, essendo partito da zero con questo lavoro di tesi, presenta ampi margini per sviluppi futuri.

È già in programma di effettuare un confronto tra ansia cognitiva con ansia sociale, sfruttando i dati raccolti durante lo stroop test in VR, che dovranno quindi essere analizzati e correlati con i dati raccolti dai questionari sull'ansia.

È già in programma anche di avviare un altro ciclo di testing con un campione di soggetti sperimentali più ampio e diversificato, per analizzare tutti i dati e in maniera più approfondita, soprattutto correlando la fisiologia ai questionari.

Inoltre, visto che lo step di validazione con le configurazioni è stato già fatto, se non serviranno più così tanti avatar si potrà puntare sulla qualità grafica e magari non sulla quantità e diversificazione, valutando di acquistarli per accentuare il realismo.

Altri miglioramenti che si potrebbero fare sono per esempio l'integrazione di un sistema di lip sync, nel caso in cui gli avatar fossero visti parlare dall'utente oppure integrare un sistema di animazioni migliore di quello basico ora utilizzato.

Obiettivo finale
Come abbiamo detto l'obiettivo finale della seconda fase di questo progetto è quello di sviluppare un protocollo riabilitativo portatile ed economico che può essere facilmente utilizzato da ricercatori, clinici, terapeuti, educatori, insegnanti e familiari. Questo intervento riabilitativo potrà aiutare i pazienti a ridurre il disagio psicologico e lo stress vissuti nelle situazioni sociali provando a sperimentare nuovi incontri in uno spazio sicuro che può essere modulato in modo automatico grazie ad un algoritmo di brain-computer interface in base a come il paziente si sente. Inoltre, ci aspettiamo che le nuove strategie apprese saranno riportabili nella vita quotidiana favorendo una migliore qualità di vita e risvolti positivi nel contesto socio-familiare in cui il paziente è inserito.

Sicuramente il lavoro svolto per questa tesi mette delle buone basi per continuare in questa direzione e raggiungere l'obiettivo.

Bibliografia

Cristina Botella, Javier Fernández-Álvarez, Verónica Guillén, Azucena García-Palacios, and Rosa Baños. Recent progress in virtual reality exposure therapy for phobias: a systematic review. *Current psychiatry reports*, 19(7):1–13, 2017.

Stephane Bouchard, Stephanie Dumoulin, Genevieve Robillard, Tanya Guitard, Evelyne Klinger, Helene Forget, Claudie Loranger, and Francois Xavier Roucaut. Virtual reality compared with in vivo exposure in the treatment of social anxiety disorder: a three-arm randomised controlled trial. *The British Journal of Psychiatry*, 210(4):276–283, 2017.

John Brooke. Sus: a retrospective. *Journal of usability studies*, 8(2):29–40, 2013.

Emily Carl, Aliza Stein, Andrew Levihn-Coon, Jamie Pogue, Barbara Rothbaum, Paul Emmelkamp, Gordon Asmundson, Per Carlbring, and Mark Powers. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Anxiety Disorders*, 61, 2018. doi: 10.1016/j.janxdis.2018.08.003.

Guillaume Chanel and Christian Mühl. Connecting brains and bodies: applying physiological computing to support social interaction. *Interacting with Computers*, 27(5):534–550, 2015.

Junwen Chen, Michelle Short, and Eva Kemps. Interpretation bias in social anxiety: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 2020.

Ana Paula Cláudio, Maria Beatriz Carmo, Augusta Gaspar, and Renato Teixeira. Using expressive and talkative virtual characters in social anxiety disorder treatment. In *GRAPP*, pages 348–355, 2015.

Lars Clemmensen, Stéphane Bouchard, Johan Rasmussen, Trine Theresa Holmberg, Jakob Hyldig Nielsen, Jens Richardt Møllegaard Jepsen, and Mia Beck Lichtenstein. Study protocol: Exposure in virtual reality for social anxiety

disorder-a randomized controlled superiority trial comparing cognitive behavioral therapy with virtual reality based exposure to cognitive behavioral therapy with in vivo exposure. *BMC psychiatry*, 20(1):1–9, 2020.

Erica Crome and Andrew Baillie. Mild to severe social fears: Ranking types of feared social situations using item response theory. *Journal of anxiety disorders*, 28(5):471–479, 2014.

Morina N Emmelkamp PMG, Meyerbröker K. Virtual reality therapy in social anxiety disorder. *Curr Psychiatry Rep. 2020*, page 22(7):32, 2020. doi: 10.1007/s11920-020-01156-1.

LLC. FacebookTechnologies. Oculus for developers. URL `https://developer.oculus.com/`.

Joseph W Fredrick and Aaron M Luebbe. Fear of positive evaluation and social anxiety: A systematic review of trait-based findings. *Journal of affective disorders*, 265:157–168, 2020.

Martina Fusaro, Gaetano Tieri, and Salvatore Maria Aglioti. Seeing pain and pleasure on self and others: behavioral and psychophysiological reactivity in immersive virtual reality. *Journal of Neurophysiology*, 116(6):2656–2662, 2016.

Martina Fusaro, Matteo Lisi, Gaetano Tieri, and Salvatore Maria Aglioti. Touched by vision: how heterosexual, gay, and lesbian people react to the view of their avatar being caressed on taboo body parts. 2020.

Chris N.W. Geraets, Wim Veling, Maartje Witlox, Anton B.P. Staring, Suzy J.M.A. Matthijssen, and Danielle Cath. Virtual reality-based cognitive behavioural therapy for patients with generalized social anxiety disorder: a pilot study. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy*, 47(6):745–750, 2019. doi: 10.1017/S1352465819000225.

Giorgos Giannakakis, Dimitris Grigoriadis, Katerina Giannakaki, Olympia Simantiraki, Alexandros Roniotis, and Manolis Tsiknakis. Review on psychological stress detection using biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2019.

Richard Gordan, Judith K Gwathmey, and Lai-Hua Xie. Autonomic and endocrine control of cardiovascular function. *World journal of cardiology*, 7(4):204, 2015.

Aida Gutiérrez-García and Manuel G Calvo. Social anxiety and threat-related interpretation of dynamic facial expressions: sensitivity and response bias. *Personality and Individual Differences*, 107:10–16, 2017.

Alexandre Heeren and Richard J McNally. Social anxiety disorder as a densely interconnected network of fear and avoidance for social situations. *Cognitive Therapy and Research*, 42(1):103–113, 2018.

Richard G Heimberg, Faith A Brozovich, and Ronald M Rapee. A cognitive-behavioral model of social anxiety disorder. In *Social Anxiety*, pages 705–728. Elsevier, 2014.

Ashley N Howell, Devin A Zibulsky, Akanksha Srivastav, and Justin W Weeks. Relations among social anxiety, eye contact avoidance, state anxiety, and perception of interaction performance during a live conversation. *Cognitive behaviour therapy*, 45(2):111–122, 2016.

Roy S Kalawsky. Vruse—a computerised diagnostic tool: for usability evaluation of virtual/synthetic environment systems. *Applied ergonomics*, 30(1):11–25, 1999.

Alexander Koenig, Domen Novak, Ximena Omlin, Michael Pulfer, Eric Perreault, Lukas Zimmerli, Matjaz Mihelj, and Robert Riener. Real-time closed-loop control of cognitive load in neurological patients during robot-assisted gait training. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(4): 453–464, 2011.

Pradeep Raj Krishnappa Babu, Poojan Oza, and Uttama Lahiri. Gaze-sensitive virtual reality based social communication platform for individuals with autism. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 9(4):450–462, 2018. doi: 10.1109/TAFFC.2016.2641422.

Jessica L Maples-Keller, Brian E Bunnell, Sae-Jin Kim, and Barbara O Rothbaum. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders. *Harvard review of psychiatry*, 25(3):103, 2017.

Richard P Mattick and J Christopher Clarke. Development and validation of measures of social phobia scrutiny fear and social interaction anxiety. *Behaviour research and therapy*, 36(4):455–470, 1998.

Thomas D Parsons and Albert A Rizzo. Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 39(3):250–261, 2008.

Anat Perry, Orly Rubinsten, Leehe Peled, and Simone G Shamay-Tsoory. Don't stand so close to me: A behavioral and erp study of preferred interpersonal distance. *Neuroimage*, 83:761–769, 2013.

Lorna Peters. Discriminant validity of the social phobia and anxiety inventory (spai), the social phobia scale (sps) and the social interaction anxiety scale (sias). *Behaviour research and therapy*, 38(9):943–950, 2000.

Sandra Poeschl and Nicola Doering. The german vr simulation realism scale-psychometric construction for virtual reality applications with virtual humans. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, 11:33–37, 2013.

Christoph Rockstroh, Johannes Blum, and Anja S Göritz. Virtual reality in the application of heart rate variability biofeedback. *International Journal of Human-Computer Studies*, 130:209–220, 2019.

Justas Šalkevicius, Robertas Damaševičius, Rytis Maskeliunas, and Ilona Laukienė. Anxiety level recognition for virtual reality therapy system using physiological signals. *Electronics*, 8(9):1039, 2019.

J Philip Saul. Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow. *Physiology*, 5(1):32–37, 1990.

Charles Donald Spielberger. Manual for the state-trait anxietry, inventory. *Consulting Psychologist*, 1970.

Adam Streck, Philipp Stepnicka, Jens Klaubert, and Thomas Wolbers. neomento sad-vr treatment for social anxiety. In *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pages 245–2451. IEEE, 2019.

UnityTechnologies. Unity user manual 2020.3 (lts). URL `https://docs.unity3d.com/Manual/index.html`.

Matias Volante, Sabarish V Babu, Himanshu Chaturvedi, Nathan Newsome, Elham Ebrahimi, Tania Roy, Shaundra B Daily, and Tracy Fasolino. Effects of virtual human appearance fidelity on emotion contagion in affective interpersonal simulations. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 22(4):1326–1335, 2016.

Travis A Wearne, Abbie Lucien, Emily M Trimmer, Jodie A Logan, JacquelineA Rushby, Emily Wilson, Michaela Filipčíková, and Skye McDonald. Anxiety sensitivity moderates the subjective experience but not the physiological response to psychosocial stress. *International Journal of Psychophysiology*, 141:76–83, 2019.

Bin Yu, Mathias Funk, Jun Hu, Qi Wang, and Loe Feijs. Biofeedback for everyday stress management: A systematic review. *Frontiers in ICT*, 5:23, 2018.