



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione
a.a. 2020-2021
Sessione di Laurea dicembre 2021

Tesi di Laurea Magistrale
Dati biometrici e biofeedback per la realtà virtuale

Relatori

Prof. Andrea Giuseppe Bottino
Prof. Francesco Strada

Candidato

Rosario Isabel Rauber Mendoza

*A Leonardo,
que seas siempre orgulloso de quien eres
y perseverante con lo que quieres,
lo demás es consecuencia.*

Indice

CAPITOLO 1.....	1
INTRODUZIONE	1
<i>Motivazioni del lavoro di tesi</i>	1
<i>Abstract</i>	2
<i>Organizzazione del documento</i>	2
CAPITOLO 2.....	4
LA REALTÀ VIRTUALE	4
<i>Introduzione</i>	4
<i>Storia della Realtà Virtuale</i>	5
Il Sensorama (1957).....	5
La Spada di Damocle (1965)	6
Stereografia a schermo diviso (1982)	6
Anni '90.....	7
Anni 2000	7
<i>Applicazioni della Realtà Virtuale</i>	9
<i>Elementi della Realtà Virtuale</i>	10
CAPITOLO 3.....	12
DATI BIOMETRICI E BIOFEEDBACK	12
<i>Introduzione</i>	12
<i>Tecnologie e sensori</i>	13
Dati biometrici.....	13
Riconoscimento facciale	14
Termografia del volto.....	15
Impronta digitale	15
Geometria della mano	15
Retina	16
Iride	16
Voce	17
DNA	17
Firma	17
Biofeedback.....	18
Elettroencefalogramma (EEG).....	18
Frequenza cardiaca (HRV) e dilatazione dei vasi sanguigni periferici	18
Respirazione	19
Tensione muscolare (EMG)	19
Conduttanza elettrica cutanea (GSR)	19
Temperatura superficiale.....	19
<i>Campi di applicazione</i>	20
Dati biometrici.....	20
Biofeedback.....	21
CAPITOLO 4.....	23
STATO DELL'ARTE	23
<i>Introduzione</i>	23
<i>Analisi e terapia</i>	23
<i>Training autogeno</i>	33
<i>Intrattenimento</i>	37
CAPITOLO 5.....	43

REQUISITI DI PROGETTO	43
<i>Introduzione</i>	43
<i>Obiettivi</i>	43
<i>Caratteristiche</i>	44
CAPITOLO 6.....	50
TECNOLOGIE	50
<i>Software</i>	50
Arduino IDE	50
Unity	50
Visual studio	51
<i>Hardware</i>	52
Arduino Nano	52
Modulo AD8232.....	53
Monitor TFT SPI	53
Oculus Quest 2	53
<i>Tecnologie aggiuntive</i>	55
Saturimetro	55
CAPITOLO 7.....	56
SVILUPPO E RICERCA	56
<i>Fase 1: Prototipo ECG</i>	56
<i>Fase 2: Prototipo VR</i>	67
<i>Fase 3: Connessione Arduino-Utity</i>	69
<i>Fase 4: Test</i>	70
Esperienza senza audio	72
Esperienza con audio	73
Risultati.....	74
CAPITOLO 8.....	79
CONCLUSIONI	79
RINGRAZIAMENTI	81
CAPITOLO 9.....	83
COPYRIGHT	83
<i>Elenco delle figure</i>	83
<i>Bibliografia</i>	87
<i>Sitografia</i>	89

CAPITOLO 1

Introduzione

Motivazioni del lavoro di tesi

Il presente progetto di tesi è ispirato da un personale interesse nell'approfondimento di quelli che sono i campi di applicazione della realtà virtuale e i suoi metodi di utilizzo.

Durante il percorso universitario ho avuto modo di conoscere e sperimentare in questo settore con piccoli progetti di gruppo, questo mi ha fatto capire che è un campo con grandi possibilità e applicazioni non solamente in ambito ludico. Essendo questo sempre più in crescita e diffusione, permette un livello di sperimentazione che va oltre quelli di campi più tradizionali in ambito audiovisivo, specialmente sul territorio italiano dove questa tecnologia è arrivata con qualche anno di ritardo.

Nonostante la realtà virtuale sia nata per scopi principalmente di intrattenimento, oggi viene utilizzata per mansioni sempre più diverse tra loro, dall'istruzione e addestramento alla realizzazione di percorsi terapeutici in ambito medico e sportivo, e sempre più diffusa è l'integrazione con altre tecnologie per migliorare le esperienze.

Quando si parla di un film o di un videogioco si pensa sempre a come questo è stato ideato e progettato per funzionare in maniera intuitiva e comprensibile per chiunque ne faccia uso, trascurando in parte l'aspetto soggettivo. Si sa però che la percezione dei prodotti, soprattutto in ambiente virtuale, cambia da persona a persona, generando una serie di emozioni e reazioni che non possono essere generalizzate ma che invece si possono sfruttare per migliorare l'esperienza.

È esattamente questo concetto che mi ha spinto ad analizzare l'integrazione tra dati biometrici e realtà virtuale per generare un'esperienza ad hoc per l'utente.

Nella mia tesi, ho preso in esame una delle reazioni più comuni e diffuse nelle persone: lo stress. Tale reazione può essere data da diverse motivazioni e situazioni e, nei casi più gravi, può portare a vere e proprie patologie. La maggior parte dei lavori passati verge a guidare il soggetto verso una gestione dello stress, che può avvenire mediante diverse modalità di biofeedback (respiro, battito cardiaco, sudorazione...), in questo caso si vuole evitare di sottoporre l'utente ad una situazione di stress eccessivo mediante un'azione diretta del programma.

Diverse ricerche ed applicazioni sono state fatte nel corso degli anni, soprattutto in ambiente terapeutico e videoludico, grazie anche alla crescente diffusione ed accessibilità dei visori VR e la loro possibilità di integrazione con tecnologie diverse, come in questo caso un prototipo Arduino.

Nel presente lavoro ho deciso di dimostrare la possibilità di creare questo collegamento mediante tecnologie accessibili, focalizzandomi non tanto sul lato artistico dell'esperienza quanto su quello funzionale ed ingegneristico.

L'approccio adottato sfrutta il segnale rilevato per generare un cambiamento nell'applicazione, lo scopo dunque non è di insegnare all'utente ad interagire con la macchina ma bensì di insegnare alla macchina a reagire alle emozioni dell'utente.

Abstract

Nonostante la realtà virtuale sia nata per scopi principalmente di intrattenimento, oggi viene utilizzata per mansioni sempre più diverse tra loro, dall'istruzione e addestramento alla realizzazione di percorsi terapeutici in ambito medico e sportivo, e sempre più diffusa è l'integrazione con altre tecnologie per migliorare le esperienze.

Quando si parla di un film o di un videogioco si pensa sempre a come questo è stato ideato e progettato per funzionare in maniera intuitiva e comprensibile per chiunque ne faccia uso, trascurando in parte l'aspetto soggettivo. Si sa però che la percezione dei prodotti, soprattutto in ambiente virtuale, cambia da persona a persona, generando una serie di emozioni e reazioni che non possono essere generalizzate ma che invece si possono sfruttare per migliorare l'esperienza.

Nella tesi si è preso in esame una delle reazioni più comuni e diffuse nelle persone: lo stress. Tale reazione può essere data da diverse motivazioni e situazioni e, nei casi più gravi, può portare a vere e proprie patologie. La maggior parte dei lavori passati verge a guidare il soggetto verso una gestione dello stress, che può avvenire mediante diverse modalità di biofeedback (respiro, battito cardiaco, sudorazione...), in questo caso si vuole evitare di sottoporre l'utente ad una situazione di stress eccessivo mediante un'azione diretta del programma. Diverse ricerche ed applicazioni sono state fatte nel corso degli anni, soprattutto in ambiente terapeutico e videoludico, grazie anche alla crescente diffusione ed accessibilità dei visori VR e la loro possibilità di integrazione con tecnologie diverse.

In questo caso si è deciso di portare avanti uno studio applicativo per la gestione e modifica di un'esperienza virtuale in tempo reale basata sul livello di ansia/stress rilevato mediante un ECG realizzato con Arduino.

Una volta realizzato il prototipo di rilevamento del battito cardiaco, lo si è collegato ad un'applicazione il cui obiettivo è quello di presentare alcuni scenari diversi in relazione al livello di stress che generano nell'utente. Questi scenari, video a 360° non interattivi fruibili da seduti con un visore VR, offrono all'utente un'ambientazione diversa, alternando situazioni stressanti ad ambienti di relax. Alcuni di questi sono stati scelti con l'intenzione di aumentare il livello di stress proprio per testare il funzionamento del prototipo e della connessione Arduino-Unity.

I test effettuati su un gruppo campione di utenti aiutano, infine, ad analizzarne il funzionamento e le eventuali problematiche del progetto, valutando così quelle che possono essere le applicazioni future e le migliorie da apportare.

Organizzazione del documento

Il presente documento è strutturato in modo da suddividere per rilevanza e ordine gli argomenti che meglio aiutano a orientare il lettore verso la comprensione della tesi esposta.

Si propone dunque in un primo capitolo (capitolo 2) un'introduzione alla realtà virtuale e alla sua storia, analizzando i principali sviluppi che l'hanno portata all'utilizzo odierno.

Successivamente, nel capitolo 3, si differenziano dati biometrici e biofeedback, spiegando come questi vengano sfruttati in diversi campi di sviluppo e con quali tecnologie, facendo un'introduzione al capitolo seguente.

Nel capitolo 4 si analizzerà lo stato dell'arte, un'analisi di tesi, studi e articoli scientifici che trattano l'argomento in relazione alla realtà virtuale. Un particolare interesse viene posto su studi riguardanti la gestione di ansia e stress all'interno di ambienti virtuali modificabili in tempo reale.

Nei capitoli 5 e 6 si espongono le motivazioni e gli obiettivi della tesi, in maniera più estesa, e si presentano le tecnologie utilizzate per portare a termine il progetto.

Si procede, nel capitolo 7, ad esporre ed analizzare il progetto: come questo è stato sviluppato, quali problematiche sono sorte e come è stata condotta la fase di analisi con il gruppo campione.

Nell'ottavo capitolo, infine, vengono illustrate le riflessioni e conclusioni risultanti dalla ricerca fatta e si considerano le eventuali applicazioni future per il lavoro di laurea.

CAPITOLO 2

La Realtà Virtuale

Introduzione

Sebbene sia stata introdotta negli anni Ottanta, solo recentemente la Realtà Virtuale ha iniziato a raggiungere un considerevole interesse da parte di un pubblico sempre più vasto.

La Realtà Virtuale è la simulazione generata dal computer in un ambiente 3D che si distingue da qualsiasi altra simulazione programmata in precedenza per un realismo maggiore e che permette di entrare in contatto con un ambiente virtuale utilizzando apposite apparecchiature elettroniche.

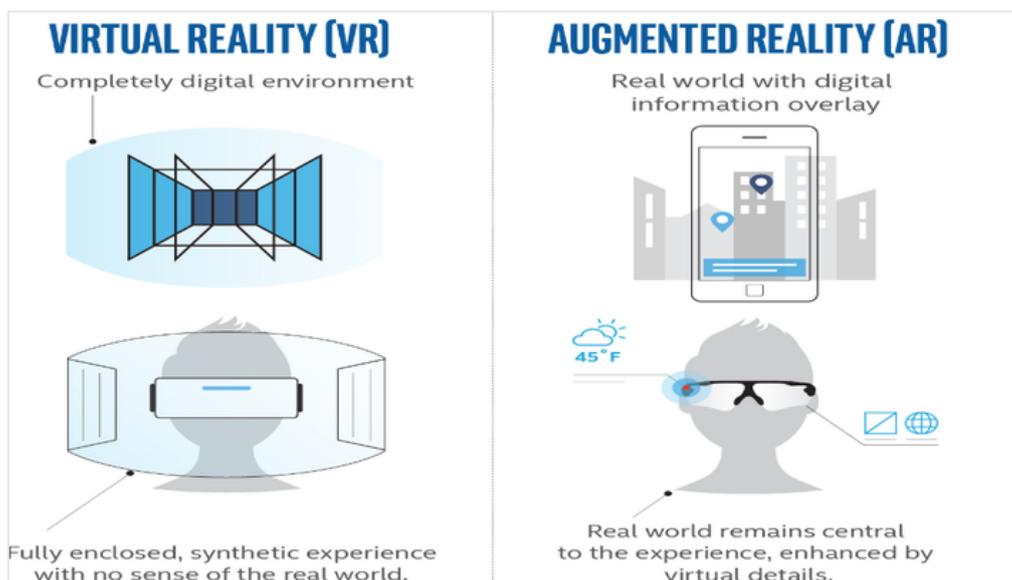
Per entrare nell'ambiente virtuale è necessario un HMD (Head Mounted Display ovvero occhiali con visiera montata sulla testa) munito di display di Realtà Virtuale che permette di visualizzare scene 3D stereoscopiche. Per interagire con la simulazione ci si avvale, inoltre, di controlli manuali o sensori di movimento.

Grazie a dispositivi di input, in grado di percepire le reazioni e i movimenti del soggetto, il computer può modificare l'ambiente sintetico in relazione a questi, creando l'illusione di interagire con ciò che ci circonda, e quindi di essere immersi nell'ambiente.

Usando dispositivi visivi, auditivi o tattili, il soggetto sperimenta l'ambiente grafico come se fosse reale. Un sistema VR è la combinazione di hardware e software che consente lo sviluppo di ambienti virtuali. I componenti hardware ricevono input da dispositivi controllati dagli utenti e trasmettono output multisensoriali per creare l'illusione di un mondo virtuale. Il componente software gestisce l'hardware che costituisce il sistema VR. Le applicazioni VR separate sono quindi responsabili della creazione di specifici mondi virtuali.

È importante inoltre distinguere Realtà Virtuale da Realtà Aumentata, sebbene l'origine della tecnologia AR sia comune a quella della VR, queste due si basano su principi completamente diversi.

La tecnologia della Realtà Aumentata si basa sull'arricchimento della percezione sensoriale umana mediante informazioni, generalmente convogliate elettronicamente, che altrimenti non verrebbero percepite con i cinque sensi. Infatti, i visori AR non prevedono l'isolamento totale dall'ambiente circostante, al contrario necessitano invece che l'utente continui a mantenere il contatto visivo con la realtà sensibile, mentre il visore sovrappone alla realtà tangibile informazioni aggiuntive e di valore.



Storia della Realtà Virtuale

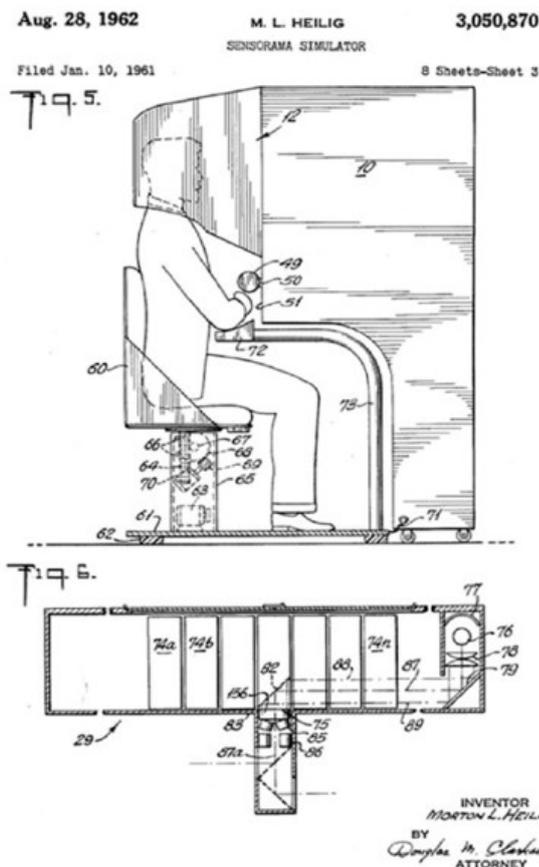
Il termine “realtà virtuale” viene usato per la prima volta da Damien Broderick, uno scrittore di fantascienza, in “The Judas Mandala” nel 1982. Ma la nascita di questa tecnologia può essere ricondotta ad una serie di dispositivi creati nei primi anni '60 che, seppur non pensati con questo scopo, utilizzavano molti dei concetti della moderna VR.

Il Sensorama (1957)

Il Sensorama, ideato nel 1957 da Morton Heilig, considerato il “padre” della realtà virtuale, è il prototipo di un dispositivo in grado di stimolare in modo attivo le percezioni sensoriali.

Questo consisteva in un cabinato dalla cui postazione si effettuava una simulazione di guida in moto nella città di New York. Attraverso l'uso di diversi dispositivi l'esperienza poteva essere particolarmente realistica ed immersiva: oltre all'uso di immagini stereoscopiche, era possibile sentire musica e odori grazie a diversi meccanismi. Adirittura, si aumentava o diminuiva l'intensità di aria che veniva soffiata sul giocatore per simulare la velocità e vibravano delle leve per far credere di stare davvero guidando la moto. Per la prima volta vengono coinvolti più sensi, non solo la vista come percezione visiva della spazialità, ma anche l'udito, il tatto e gli odori fanno parte di una esperienza della realtà virtuale.

Il prototipo a causa della mancanza di investimenti non venne mai realizzato, ma rappresenta oggi una pietra miliare ed il primo sviluppo della Realtà Virtuale.



Introducing . . .

sensorama

The Revolutionary Motion Picture System that takes you into another world with

- 3-D
- WIDE VISION
- MOTION
- COLOR
- STEREO-SOUND
- AROMAS
- WIND
- VIBRATIONS

Patented

SENSORAMA, INC., 855 GALLOWAY ST., PACIFIC PALISADES, CALIF. 90272
TEL. (213) 459-2162

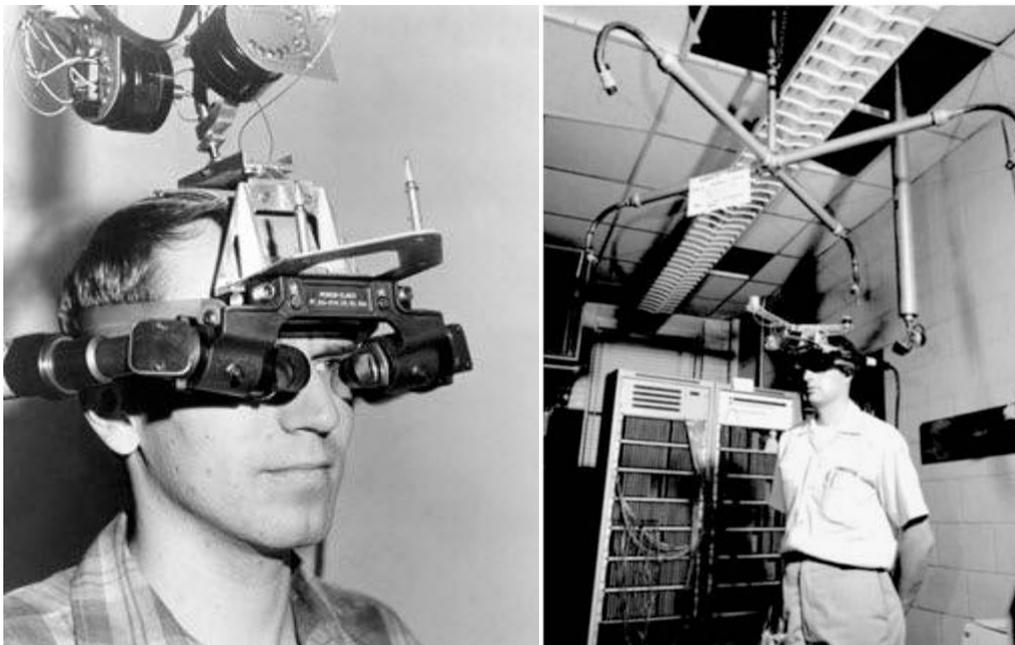
The advertisement features a black and white photograph of the Sensorama machine. A person is seated in a chair inside the machine, which is designed to look like a car's interior. The machine has a large screen at the front and a control panel on the right side. The text above the machine lists the features of the system, and the bottom of the advertisement provides the company name, address, and phone number.

La Spada di Damocle (1965)

Il primo HMD fu la cosiddetta “The Sword of Damocles” (la Spada di Damocle), inventata nel 1965 dall’informatico statunitense Ivan Sutherland, considerato il pioniere della computer grafica. Attraverso due tubi a raggi catodici venivano proiettate da un visore delle immagini tridimensionali che si sovrapponevano ad oggetti reali, creando così la prima forma di realtà aumentata.

Inizialmente, gli strumenti realizzati da Sutherland per interagire nella realtà virtuale, erano pesanti e di grosse dimensioni. Tra i vari elementi vi era un braccio meccanico che doveva essere appeso al soffitto ed è per questo motivo che venne scelto il suo particolare nome.

Questa ingombrante struttura rendeva l’esperienza poco confortevole, stimolante e di breve durata. Per questo motivo, ma anche per il prezzo elevato delle apparecchiature informatiche, negli anni successivi gli sforzi per portare sul mercato i prodotti di realtà virtuale, vennero rallentati se non addirittura annullati.



Stereografia a schermo diviso (1982)

La prima forma di tecnologia che ha permesso la visione tridimensionale di un’immagine è stata la stereografia a schermo diviso elaborata nel 1982 dal fisico britannico Sir Charles Wheatstone. La stereoscopia da lui inventata consiste in un sistema di specchi e prismi leggermente sfalsati con obiettivi separati per occhio destro e sinistro con due diverse viste che creano l’effetto tridimensionale. Grazie all’introduzione di questa tecnica e della fotografia, per la prima volta fu possibile quindi assistere ad una visione realistica e tridimensionale della realtà, pur avendo un campo visivo ridotto e non immersivo.



Anni '90

A partire dagli anni Novanta la Realtà Virtuale inizia ad essere utilizzata nel campo dei videogiochi. Tra gli esempi del tempo troviamo il dispositivo Virtuality 1000CS, che si avvaleva di un visore simile a quelli moderni ed un joystick per interagire nel mondo virtuale, e il visore SEGA VR con schermi LCD integrati.

Nintendo lanciò nel 1995 Virtual Boy, una console a forma di elmetto che venne presto ritirata dal mercato a causa della nausea che provocava ai giocatori. Per questo motivo, ma anche a causa dei costi di produzione che continuavano ad essere piuttosto elevati e per la resa ancora non ottimale, gli innumerevoli tentativi rivolti nello sviluppo della realtà virtuale non ebbero, durante questo decennio, particolare successo sul mercato.



Anni 2000

Negli anni successivi lo sviluppo tecnologico e l'introduzione di piattaforme come Xbox cineteca e Wii, hanno contribuito a riaccendere l'interesse del vasto pubblico nei confronti della realtà virtuale.

Nel 2014 gli ingegneri Google, David Coz e Damien Henry, hanno creato la piattaforma Google Cardboard. Questa operazione aveva come obiettivo quello di creare un visore ed applicazioni per realtà aumentata a basso prezzo ed accessibile a tutti. Il visore viene prodotto con materiali a basso costo quali cartone, magneti e lenti, ed è lo stesso utente che, grazie a brevi e semplici istruzioni, può montarlo da sé. Le applicazioni da usare con il visore sono facilmente reperibili tramite il Google Store. Grazie al suo successo il grande pubblico ha potuto sperimentare per la prima volta la realtà virtuale che precedentemente era rivolta esclusivamente alla fascia alta della popolazione.

Mark Zuckerberg, titolare del social network Facebook, nello stesso anno, acquista l'azienda Oculus VR per 2 miliardi di dollari. In questo periodo altre aziende lavorano su questa tipologia di prodotto quali HTC VIVE di Steam, Google Daydream, Sony PlayStation VR, Samsung Gear VR, Mixed Reality immersiva di Microsoft e altri ancora.

Nuove innovazioni e dispositivi che migliorano l'esperienza VR continuano ad essere introdotte. La maggior parte della ricerca di base è già stata effettuata e la tecnologia è ora accessibile ad un pubblico sempre più vasto attraverso l'adozione di dispositivi che funzionano sulla tecnologia mobile.



Applicazioni della Realtà Virtuale

La diffusione della VR a livello consumer inizia principalmente in ambito ludico, attraverso i videogames. La produzione di massa di console di gioco ed i componenti basati su PC portano allo sviluppo di sistemi dalle prestazioni sempre più elevate, mentre i videogamer sviluppano esperienze in ambienti 3D che risultano essere sempre più iperrealisti e altamente interattivi.

Le meccaniche di gioco nella Realtà Virtuale possono includere puzzle, strategia, tempismo o memoria muscolare. I giochi VR possono avere gli stessi elementi meccanici di un normale videogioco, ma potrebbe essere necessario adattarli all'ambiente virtuale. Ad esempio, un personaggio in prima persona che cammina in un videogioco di console probabilmente è circa 1,5 volte più veloce del suo ritmo normale nella vita reale. Se così non fosse, il giocatore sentirebbe che il gioco troppo lento e noioso provando un alto livello di frustrazione. Allo stesso modo, un personaggio in una scena VR troppo veloce potrebbe innescare un senso fastidioso di nausea al giocatore, meglio conosciuta come *motion sickness* (nausea da movimento).

Oggi il senso di presenza immersiva offerto dalla Realtà Virtuale può migliorare tutte le comuni esperienze online non solo nei videogiochi, ma anche in campi diversi come quelli dell'ingegneria, del social networking, dello shopping, del marketing, dell'intrattenimento, della medicina e dello sviluppo del business.

Di seguito si considerano alcune applicazioni della Realtà Virtuale in ambiti diversi da quello ludico:

- **Turismo:** grazie alla Realtà Virtuale è possibile viaggiare e visitare luoghi lontani senza uscire di casa. Si possono visitare musei d'arte e siti storici fedelmente ricostruiti oppure si può viaggiare in luoghi inventati e immaginari.
- **Ingegneria meccanica e progettazione industriale:** software di progettazione assistita da computer come AutoCAD e SOLIDWORKS sono stati pionieri nella modellazione, simulazione e visualizzazione tridimensionale. Attraverso la VR, ingegneri e progettisti possono sperimentare direttamente il prodotto finale prima che sia effettivamente costruito e giocare con scenari ipotetici ad un costo molto contenuto.
- **Architettura e ingegneria civile:** Architetti e ingegneri possono costruire modelli in scala dei loro progetti per convalidare le molte ipotesi del loro design. Attualmente, il software di modellazione rendering è comunemente usato per costruire modelli virtuali di piani architettonici.
- **Medicina:** giornalmente negli ospedali si utilizzano la risonanza magnetica ed altri dispositivi di scansione per produrre modelli delle ossa e degli organi per la diagnosi medica oppure per la pianificazione preoperatoria. L'uso della VR permette di migliorare la visualizzazione e fornire un'analisi più intuitiva. La Realtà Virtuale viene anche utilizzata per la simulazione nel settore della chirurgia per formare studenti di medicina.
- **Psicologia:** le esperienze di Realtà Virtuale si sono dimostrate efficaci in un contesto terapeutico per il trattamento del disturbo da stress post-traumatico in quella che viene chiamata terapia di esposizione, dove il paziente, guidato da un terapeuta esperto, affronta i ricordi traumatici attraverso il rivedere dell'esperienza. Allo stesso modo, la VR viene usata per trattare fobie specifiche.

- **Istruzione:** le opportunità educative per la realtà virtuale sono quasi troppo ovvie per essere menzionate. Nella scienza, nella storia, nelle arti e nella matematica, la realtà virtuale è di grande aiuto agli studenti di tutte le età. In effetti le visite sul campo sono sicuramente molto più efficaci di qualsiasi libro di testo.
- **Formazione:** la casa automobilistica Toyota ha sviluppato una simulazione VR per insegnare ai ragazzi i rischi di guida distratta. Attraverso un altro progetto di simulazione, gli studenti delle scuole professionali hanno potuto sperimentare il funzionamento di gru e di altre attrezzature per l'edilizia pesante. La formazione per i soccorritori, la polizia e gli addetti ai lavori antincendio e di soccorso può essere migliorata attraverso la Realtà Virtuale con simulazione di situazioni altamente rischiose e scenari virtuali alternativi. La National Football League (NFL) ed alcune delle squadre universitarie più avanzate, si avvalgono della VR per migliorare la strategia di gioco e di allenamento atletico.
- **Intrattenimento e giornalismo:** attraverso l'ausilio della VR si può partecipare a concerti rock ed eventi sportivi, guardare video musicali, immergersi nel mondo dell'erotismo. Si possono rivivere eventi importanti come se ognuno di noi fosse stato personalmente presente. Si possono vivere esperienze cinematografiche e artistiche a 360 gradi.

Elementi della Realtà Virtuale

Lo sviluppo che questa tecnologia ha avuto nel tempo ha portato alla definizione di alcune caratteristiche che la definiscono e distinguono dalle altre. Come già anticipato, la Realtà Virtuale comporta dei vantaggi dovuti a queste caratteristiche, per cui i campi di applicazione sono multipli e i mezzi di fruizione sempre più in aumento.

Di seguito elencati i 5 aspetti che caratterizzano principalmente la VR:

1. **Immersività e presenza:** uno degli scopi principali della VR è far credere, a chi la utilizza, di essere del tutto coinvolto all'interno del mondo virtuale. L'immersione è dunque il risultato di un'emulazione ricevuta dal corpo (che può comprendere il senso visivo, uditivo, motorio e così via), mentre la presenza è la sensazione del venire trasportati e di trovarsi materialmente nella realtà virtuale, provando una forte sensazione emotiva o intuitiva.
2. **Esperienza:** un certo numero di tecnologie e tecniche diverse si uniscono per far funzionare l'esperienza VR, le stesse possono essere suddivise in due aree fondamentali: display di visualizzazione 3D e sensori che permettono di visualizzare immediatamente la scena 3D in un preciso punto di vista stereoscopicamente. Questi permetteranno, ovunque e ogni volta che si navigherà nell'ambiente, di vedere la scena virtuale esattamente come deve essere vista. In questo modo l'esperienza VR visiva risulta quasi perfetta.
3. **Immagine:** l'immagine della VR deve presentarsi il più nitida e chiara possibile, è dunque di particolare importanza avere una buona risoluzione dello schermo per ottenere una visione convincente. Se lo schermo è a bassa risoluzione e si possono intravedere i pixel, l'immersione da parte del soggetto diventa di difficile realizzazione. La larghezza e l'altezza del pixel del display è una specifica spesso citata quando si confrontano gli HMD, così come il valore dei pixel per pollice. Quando si sperimenta una scena 3D in VR, è necessario considerare anche gli fps (Fotogrammi per secondo) in quanto determinano la velocità dell'animazione. Se il valore degli fps è troppo basso (animazione più lenta), l'animazione sembrerà mossa influenzando negativamente sull'esperienza di simulazione virtuale.

4. **Suono:** il suono è un fattore molto importante nell'ottenimento dell'effetto di immersione. Idealmente la realtà virtuale dovrebbe essere sempre vissuta indossando le cuffie stereo. Nei casi in cui l'audio è di ottima qualità, ma la grafica è a bassa risoluzione, è comunque possibile avere una buona esperienza. L'audio infonde ad ogni orecchio la propria visione stereo di una sorgente sonora in modo tale che il cervello possa immaginare la sua posizione all'interno dello spazio 3D. Le cuffie normali assolvono perfettamente lo scopo senza essere necessari dispositivi di ascolto speciali.

5. **Monitoraggio della testa:** nella VR muovendo la testa anche il mondo virtuale circostante si muove insieme ad essa. L'auricolare VR ha un sensore di movimento che rileva all'interno l'accelerazione spaziale e le velocità di rotazione su tre assi, fornendo i cosiddetti sei gradi di libertà. Questa tecnologia è la stessa che viene utilizzata comunemente nei telefoni cellulari e in alcuni controller di console. Montato sull'auricolare, quando si sposta la testa, il punto di vista corrente viene calcolato ed utilizzato quando viene disegnata l'immagine del fotogramma successivo. Questo è indicato come rilevamento del movimento.

CAPITOLO 3

Dati biometrici e biofeedback

Introduzione

Si tende spesso a confondere o unire questi due termini, ma la verità è che differiscono non soltanto nel significato ma, soprattutto, nel tipo di utilizzo che se ne fa.

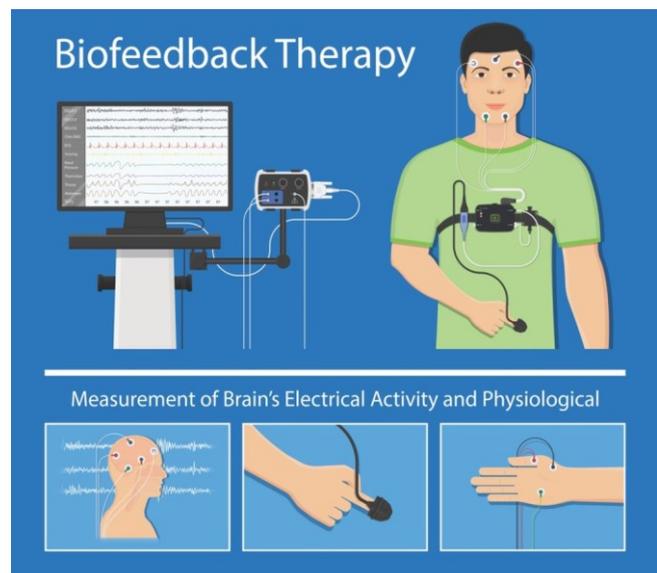
L'art. 4, par. 1, n. 14, del GDPR, definisce i **dati biometrici** “*dati personali ottenuti da un trattamento tecnico specifico, relativi alle caratteristiche fisiche, fisiologiche o comportamentali di una persona fisica e che ne consentono o confermano l'identificazione univoca, quali l'immagine facciale o i dati dattiloscopici*”.

La raccolta di tali dati avviene tramite componenti hardware e software che acquisiscono le informazioni e le analizzano confrontandole con dati acquisiti in precedenza e conservati in un database. Questi vedono il loro maggiore utilizzo in ambito di sicurezza e identificazione e tutela della persona mediante *sistemi di riconoscimento biometrico* (e.g., riconoscimento vocale, facciale, d'impronta...), ciò nonostante i campi di applicazione si ampliano sempre di più.

Il **biofeedback**, invece, è un metodo d'intervento mediante il quale l'individuo impara a riconoscere, correggere e prevenire le alterazioni fisiologiche alla base di diverse condizioni patologiche con conseguente loro riduzione o eliminazione.

Il biofeedback (o retroazione biologica) è il campo di ricerca in cui vengono utilizzate apparecchiature di registrazione elettronica per ottenere informazioni immediate e continue su risposte fisiologiche quali frequenza cardiaca, risposta cutanea e temperatura o pressione sanguigna. Questo è stato riconosciuto come una “terapia” a partire dalla fine degli anni '60, per migliorare la salute e le prestazioni fisiche della persona da un punto di vista fisiologico, emotivo, sociale e di auto-controllo.

Gli studi relativi al biofeedback hanno riscontrato negli anni risultati particolarmente positivi e non-invasivi nella gestione di problemi di salute fisica e mentale, tra cui ansia o stress, mal di testa, ipertensione e ADHD (disturbo da deficit di attenzione/iperattività) e altro ancora.



Tecnologie e sensori

Mentre il biofeedback sfrutta quelle che sono le caratteristiche fisiologiche dell'uomo, le applicazioni basate su dati biometrici spesso si servono di caratteristiche comportamentali.

La differenza tra queste due caratteristiche è che le prime, caratteristiche fisiologiche, sono soggette a piccole variazioni nel tempo, alcune delle quali possono essere controllate, con la giusta preparazione, dall'individuo mediante il biofeedback. Mentre le seconde, caratteristiche comportamentali, tendono ad essere influenzate unicamente dallo stato emotivo e psicologico dell'individuo, rendendoli dunque univoci.

Dati biometrici

Come già anticipato, i sistemi basati su dati biometrici sfruttano dei database di dati raccolti sui quali viene fatto un confronto a distanza di tempo per garantire l'identificazione di un soggetto. Tra questi dati rientrano:

Caratteristiche fisiologiche

- impronte digitali,
- altezza e peso,
- colore e dimensione dell'iride,
- retina,
- sagoma e palmo della mano,
- la vascolarizzazione,
- la forma dell'orecchio,
- la fisionomia del volto.

Caratteristiche comportamentali

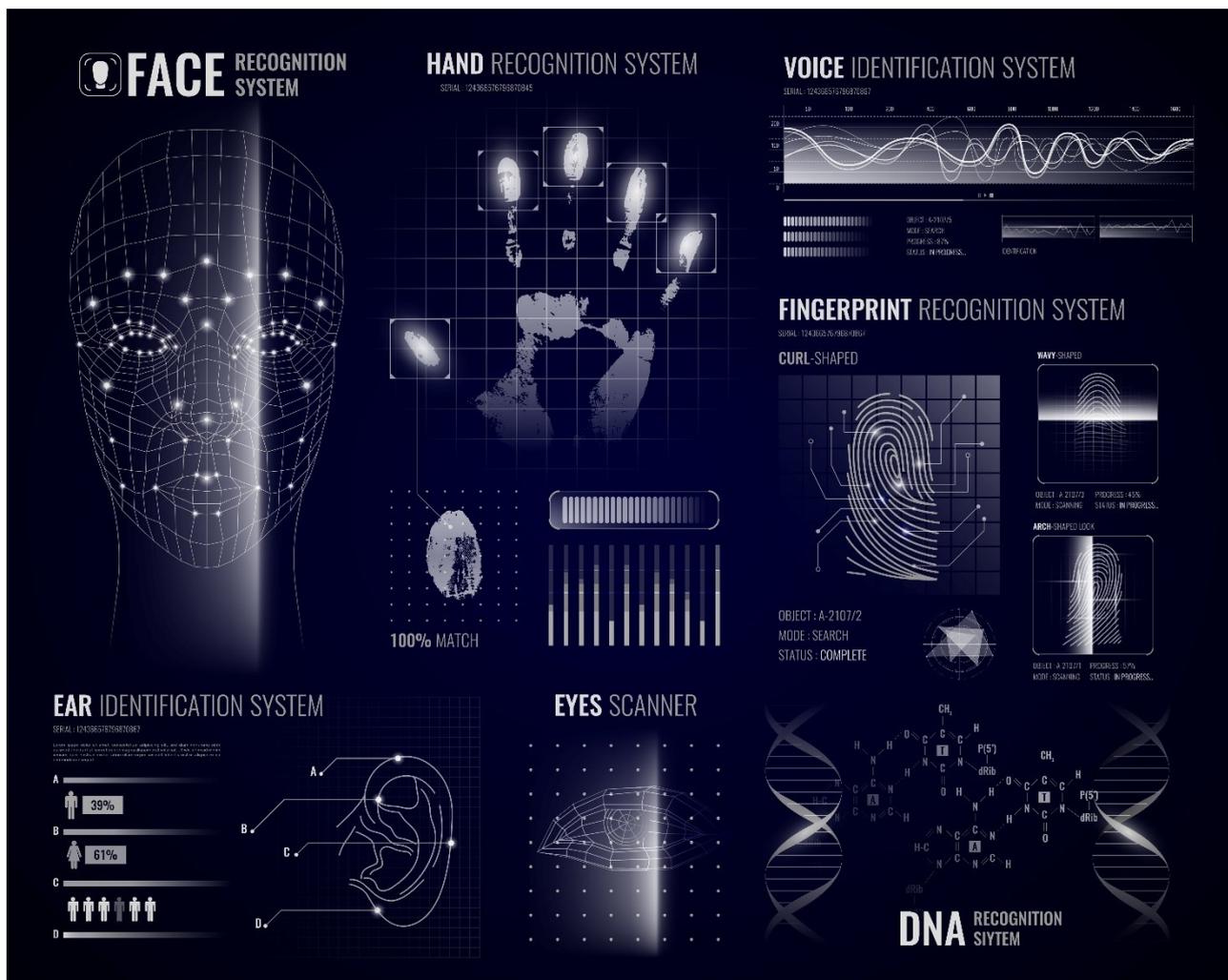
- impronta vocale,
- scrittura grafica e firma,
- stile di battitura sulla tastiera,
- movimenti del corpo.

Le applicazioni biometriche possono essere utilizzate da sole o integrate con altre tecnologie, come ad esempio smart card, chiavi crittografiche, RFID e firma digitale, per un riconoscimento più preciso e la diminuzione del *failure-to-enroll rate*, ovvero il tasso di errore.

Ad ognuno di questi dati, corrisponde un sistema di rilevamento specifico più o meno complesso che si basa essenzialmente su due tipologie di errore:

- **FRR** (*False Rejection Rate*) è la percentuale di falsi rifiuti, utenti autorizzati ma respinti per errore, in pratica il sistema non riesce a riconoscere le persone autorizzate.
- **FAR** (*False Acceptance Rate*) è la percentuale di false accettazioni, utenti non autorizzati ma accettati per errore, il sistema quindi accetta le persone che non sono autorizzate.

Qualunque sistema biometrico permette di aumentare e diminuire la sensibilità, regolando il rapporto tra i falsi rifiuti e le false accettazioni. Si analizzano di seguito i principali tipi utilizzati.



Riconoscimento facciale

Questo tipo di tecnologia prende in considerazione macro-elementi (bocca, naso, occhi, orecchie, fronte, mento, struttura ossea) e micro-elementi (distanza tra macro-elementi o tra macroelementi e punti di riferimento, e dimensione dei macro-elementi) del viso.

Durante la rilevazione dei dati, un sensore cattura un certo numero di immagini in 2D o in 3D del volto di un individuo, che vengono poi conservate in formato digitale e, mediante un algoritmo che ne registra le caratteristiche rilevanti, possono essere memorizzate e utilizzate per eventuali processi di verifica dell'identità.

Questo tipo di tecnologia non necessita di nessun hardware specifico, ma può facilmente essere utilizzato un qualsiasi hardware che consenta la elaborazione di immagini, sul quale può essere installato un software di riconoscimento facciale. Inoltre, i tempi di rilevamento dei dati sono molto rapidi, ed enormi quantità di informazioni possono essere conservati in appositi database. Catturare l'immagine del volto non richiede contatto fisico o collaborazione da parte del soggetto; perciò, si può parlare di una procedura non intrusiva.

Ciò nonostante, questa tecnologia presenta anche degli svantaggi che portano a dubitare della sua efficacia specialmente perché i caratteri del volto sono soggetti a mutamenti e l'accuratezza del sistema è soggetto a una serie di condizioni ambientali (posizione e distanza del sensore, luci, qualità dell'immagine, visibilità del volto).

Termografia del volto

I sistemi biometrici basati sulla termografia facciale misurano la quantità di radiazioni termiche (calore) provenienti dal volto di un individuo mediante un termografo, che funziona attraverso una tecnologia a raggi infrarossi, e che rileva la radiazione elettromagnetica emessa dal viso e la rappresenta in un'immagine in livelli di grigio, che possono essere poi visualizzate in un monitor.

I principali vantaggi di questa tecnologia, come nel caso del riconoscimento facciale, consistono principalmente nel fatto che la raccolta dei dati non è intrusiva, può essere effettuata a distanza e, in aggiunta, in qualsiasi condizione di illuminazione (anche al buio). Inoltre, tale caratteristica è stabile nel tempo: si ritiene che nemmeno la chirurgia plastica sia in grado di alterarla, poiché non modifica il sistema vascolare del soggetto.

Tuttavia, non è ancora stato provato se la termografia facciale è sufficientemente precisa, e soprattutto essa può variare in funzione di una serie di fattori quali lo stato emozionale del soggetto o la temperatura corporea.

Impronta digitale

L'impronta digitale è probabilmente la più utilizzata e accettata forma di riconoscimento biometrico, ed è stata utilizzata sin dai primi decenni del Novecento in ambito della criminologia. L'ampio utilizzo dell'impronta digitale quale tecnologia di riconoscimento biometrico si basa su due principi basilari: l'immutabilità e l'individualità.

Mediante un apposito scanner, i dati biometrici riguardanti le impronte digitali del soggetto vengono riprodotte su un supporto elettronico, per poi essere convertiti attraverso appositi software in forma digitale mediante specifici algoritmi. Il sistema di rilevazione biometrica, successivamente, confronta le fattezze maggiori e minori e consente di ricostruire le particolarità dell'anatomia dell'impronta e individuare l'identità del soggetto.

I vantaggi di questo tipo di tecnologia biometrica consistono nella rapidità e semplicità di rilevamento, che può essere effettuato mediante uno scanner relativamente economico (si parla di un range di 50-100€), nelle migliorie e approfondimenti fatti in oltre un secolo di studi, che ne sottolineano l'affidabilità, e, non di meno, nel fatto che la cattura dell'impronta digitale non è influenzata dalle caratteristiche dell'ambiente esterno.

Tra gli svantaggi, invece, si colloca innanzitutto la difficoltà di accettazione di tale metodo presso l'opinione pubblica, essendo generalmente associato a investigazioni criminali. Inoltre, una piccola percentuale della popolazione potrebbe avere dei deterioramenti cutanei che renderebbero difficile o addirittura impossibile il rilevamento delle impronte digitali (i membri di alcuni gruppi etnici hanno geneticamente le impronte digitali meno marcate, e le impronte di persone che hanno svolto lavori manuali per molti anni sono anch'esse più difficili da identificare)

Geometria della mano

La tecnologia di riconoscimento biometrico basata sull'impronta del palmo della mano è molto simile a quella basata sul rilevamento dell'impronta digitale. I parametri utilizzati per il rilevamento sono fattezze maggiori (quali la lunghezza e la struttura delle dita o la misura del palmo) e fattezze minori (linee, rientranze, venature, rughe e schema creste-valli), che vengono rilevate da sensori che possono essere a ultrasuono, termici o ottici. I dispositivi più utilizzati sono quelli ottici, che acquisiscono mediante una fotocamera un'immagine in 3D, che viene poi confrontata con le immagini presenti nel database.

I vantaggi di questa tecnologia sono assimilabili al rilevamento dell'impronta digitale, aggiungendo il fatto che la superficie del palmo della mano è ben più estesa rispetto a quella del polpastrello; perciò, la geometria della mano ha un carattere identificativo maggiore rispetto alle impronte digitali.

La tecnologia in questione è ormai consolidata e sempre più utilizzata, specie in ambito legale, essendo poco intrusiva e indipendente dalle condizioni ambientali (luce, temperatura, etc.).

Gli svantaggi, invece, di maggiore rilievo sono il fatto che la strumentazione di rilevamento è piuttosto ingombrante, il che limita gli ambiti di applicazione, il fatto che alcune caratteristiche della geometria della mano non sono uniche, e il fatto che alcuni individui non possono essere registrati nel sistema (ad esempio soggetti che abbiano subito una amputazione).

Retina

La retina è una membrana che forma il rivestimento interno del bulbo oculare. Ogni individuo ha, sulla retina, caratteristici pattern formati dai vasi sanguigni sul sottile nervo posizionato sul retro del bulbo oculare che processa la luce che filtra attraverso la pupilla. I sistemi di riconoscimento biometrico basati sulle caratteristiche della retina confrontano appunto il sistema dei vasi sanguigni, il cui pattern è unico.

I vantaggi di questa tecnologia consistono innanzitutto nel fatto che il sistema di vascolarizzazione dell'occhio è unico, e il sistema di rilevamento è estremamente accurato.

Tra i principali svantaggi si colloca il fatto che il processo di acquisizione di un'immagine della retina è piuttosto complesso, essendo la retina una superficie interna; per questo, è necessario utilizzare un hardware specifico e una tecnologia piuttosto costosa. In secondo luogo, è piuttosto complesso anche il sistema di raccolta e informazioni dei dati relativi alla retina.

Dal momento che lo scan della retina è piuttosto invasivo, alcuni hanno sollevato dei dubbi circa la possibilità che esso possa comportare dei reali rischi per la salute del soggetto. Inoltre, per quanto il sistema di rilevamento sia molto accurato, perché esso sia affidabile è essenziale che l'individuo soggetto al rilevamento stia completamente immobile per tutta la durata del processo (circa 4-5 secondi), poiché anche un lieve movimento potrebbe rendere vana l'intera procedura.

Iride

L'iride è costituita da un tessuto connettivo elastico e, avendo approssimativamente 266 caratteristiche distintive, è una preziosa fonte di dati biometrici. Nella tecnologia di riconoscimento irideo, vengono utilizzate circa 173 di queste caratteristiche distintive.

Le caratteristiche dell'iride sono estremamente stabili (anche per la protezione fornita dalla cornea), e dunque rimangono invariate nel corso dell'intera vita di un individuo, nel caso in cui quest'ultimo non abbia malattie oculari o sia soggetto a interventi chirurgici specifici.

I sistemi biometrici basati sulla misurazione matematica dell'iride sono costituiti da un sensore che, appositamente posizionato, illumina l'iride del soggetto sottoposto allo scan con un laser a bassa intensità; una luce infrarossa effettua la scansione dell'occhio e rileva peculiarità della struttura dell'iride, che vengono successivamente rappresentate matematicamente da un algoritmo.

Questo sistema di riconoscimento è ritenuto estremamente accurato, tanto che il FAR (false acceptance rate) e il FRR (false rejection rate) connessi a tale metodo si approssimano molto allo zero.

Come ogni metodo di riconoscimento biometrico, tuttavia, anche questo presenta alcuni svantaggi. Innanzitutto, la accuratezza della misurazione è strettamente correlata al posizionamento del sensore, perciò se l'occhio non viene posizionato esattamente di fronte ad esso i risultati possono essere

compromessi. Inoltre, tale tecnologia è generalmente considerata inclusiva dall'opinione pubblica, che tende a non sottoporsi volentieri a tale tipo di rilevamento. Sono peraltro state avanzate ipotesi secondo le quali questi sistemi potrebbero danneggiare gli occhi, e, infine, in soggetti con patologie oculari o che siano stati soggetti a interventi l'accuratezza del rilevamento è compromessa.

Voce

Il riconoscimento vocale è considerato un sistema di riconoscimento biometrico al tempo stesso fisiologico e comportamentale. Le caratteristiche vocali che vengono registrate dal sistema includono principalmente il tono, la frequenza, l'intensità e l'articolazione nasale, e vengono inoltre presi in considerazione specifici coefficienti e spettri.

Le caratteristiche considerate sono tipiche della voce umana, e non possono essere riprodotte artificialmente, cosa che rappresenta un vantaggio di questa tecnologia. Altri vantaggi sono costituiti dal carattere non intrusivo dei sistemi di riconoscimento vocale, e dal costo limitato della strumentazione necessaria.

Per quanto riguarda invece gli svantaggi consistono prevalentemente nell'elevata variabilità del parametro, che fa sì che un sistema di autenticazione vocale abbia tendenzialmente una scarsa performance e una scarsa accuratezza. Infatti, la voce può modificarsi a seconda delle situazioni sociali all'interno delle quali ci troviamo e anche a seconda dell'ambiente (si pensi a fenomeni come l'eco). Inoltre, nonostante la voce sia una caratteristica distintiva di un individuo, non si può affermare che è un parametro unico e inimitabile, cosicché non consente un adeguato riconoscimento su larga scala.

Non di minore importanza, il fatto che i dati raccolti richiedono un ampio spazio di archiviazione fa venire meno questa tecnologia.

DNA

Il codice genetico presente nel DNA (acido desossiribonucleico) è unico e irripetibile per ogni essere umano. L'analisi del DNA, pertanto, è estremamente accurata, ed è considerata il metodo di riconoscimento biometrico più attendibile. Il principale vantaggio consiste dunque nell'efficienza e nell'attendibilità di questo metodo, che è garantita dalla unicità delle informazioni genetiche contenute nelle sequenze del DNA.

Tuttavia, il riconoscimento non può essere effettuato in tempo reale, ma sono necessarie delle ore perché l'elaborazione dei dati abbia luogo. Inoltre, trattandosi di un procedimento scientifico molto sofisticato, tale metodo è estremamente costoso rispetto ai precedenti e necessita di laboratori scientifici all'avanguardia dotati di un'apposita strumentazione. Per queste ragioni, non è attualmente considerata una reale opzione per il riconoscimento immediato degli individui con finalità di sicurezza.

Firma

La tecnologia biometrica basata sul riconoscimento della firma autografa consente di autenticare l'identità di un individuo mediante la misurazione di specifici parametri, fra i quali la calligrafia, la velocità di firma, il ritmo, l'accelerazione e la pressione.

L'accettazione dei sistemi basati sul riconoscimento della firma è alta in quanto gli utenti sono abituati ad apporre la propria firma e quindi non trovano praticamente differenza fra metodo tradizionale e biometrico. La vulnerabilità del sistema, inoltre, è considerata molto bassa ed i dispositivi per l'acquisizione sono ragionevolmente poco costosi (da 100 a 1000 euro).

Il principale svantaggio però che questa tecnologia comporta sta nel fatto che la maniera di apporre la propria firma può variare nel tempo, pertanto, il campione di dati nel database tende ad essere poco stabile.

Biofeedback

Il biofeedback è un processo finalizzato all'apprendimento dell'autoregolazione e attraverso di esso un soggetto può imparare ad influire in modo significativo sia sulle risposte fisiologiche che sono solitamente al di fuori del controllo volontario, sia su quelle che, generalmente facilmente controllabili, sono tuttavia sfuggite ai meccanismi regolatori, a causa di una malattia o di un evento traumatico.

Con il biofeedback, dunque, una certa funzione corporea viene monitorata con l'uso di elettrodi o di trasduttori applicati sulla pelle, i segnali captati vengono amplificati e restituiti, in tempo reale, al soggetto sotto forma di segnali acustici o visivi, affinché la persona diventi consapevole dei propri stati interni e possa adottare strategie di controllo per entrare volontariamente nello stato desiderato e mantenerlo.

Il soggetto, quindi, ha la possibilità di controllare svariate attività fisiologiche e soprattutto quelle dipendenti dal sistema nervoso autonomo, ossia quelle funzioni biologiche che di norma non si trovano sotto il controllo volontario.

Il monitoraggio della funzione è costante e mediante la rilevazione e l'osservazione del suo andamento, è possibile individuare quali atteggiamenti fisici e/o emotivi siano associati alle modificazioni delle attività biologiche analizzate. Diviene così possibile modificare tale funzione agendo indirettamente e volontariamente sui fattori ad essa associati.

Le funzioni fisiologiche su cui è possibile lavorare possono essere indici di specifici stati o funzioni psicologiche (come ansia, concentrazione, rilassamento), oppure possono essere coinvolte in precise patologie fisiche (come tachicardia, epilessia, ipertensione).

Si elencano di seguito gli indicatori psicofisiologici misurabili attraverso il biofeedback più comunemente utilizzati.

Elettroencefalogramma (EEG)

Monitora alcuni ritmi dell'attività elettrica del cervello, verificano le variazioni delle onde EEG per determinate situazioni di coinvolgimento emotivo. I sensori per l'EEG amplificano le scariche elettriche generate dai neuroni nel momento in cui questi si attivano. Si compone principalmente di 3 elettrodi: due posizionati in corrispondenza dei lobi delle orecchie e uno sul cranio.

La registrazione dell'attività elettrica del cervello consente di identificare l'andamento (puntuale, sequenziale, globale) di alcuni indici di coinvolgimento emotivo rappresentato da onde, e corrispondenti ad indicatori psicofisiologici e statistici di grande utilità per lo studio dell'impatto delle comunicazioni e delle altre forme di stimolazione sensoriali.

Frequenza cardiaca (HRV) e dilatazione dei vasi sanguigni periferici

Fornisce indicazioni in merito alla variazione del flusso sanguigno nei capillari. Questo parametro può essere monitorato facilmente utilizzando sistemi foto-ottici che si applicano al dito di una mano per registrare le onde sfingiche sistoliche (foto-pletismografia - PPG).

Le apparecchiature più moderne permettono di ricavare due parametri: la frequenza cardiaca e lo stato di vasodilatazione periferica in base all'ampiezza del segnale registrato. Se l'ampiezza è bassa, c'è vasocostrizione e bassa temperatura delle mani, mentre se l'ampiezza è alta, c'è vasodilatazione. I

parametri fisiologici come la frequenza cardiaca possono essere considerati una chiave di lettura per l'interpretazione a livello encefalografico (EKG/ECG) dei valori più strettamente connessi al coinvolgimento emotivo del soggetto.

Respirazione

Misurata attraverso una banda elastica che registra l'espansione dell'addome o del torace. Considerando che la frequenza respiratoria in un soggetto adulto sano è di 16-20 atti respiratori al minuto, si può valutare lo stato emotivo a partire dai risultati di rilevamento e dalla loro variazione nel tempo.

Alla frequenza respiratoria si associa spesso la misurazione della saturazione sanguigna, che indica la percentuale di emoglobina presente nel sangue al momento della rilevazione. In questo caso si parla di valori normali nei soggetti adulti sani intorno al 95-100 %. Per misurare tale parametro si utilizza il saturimetro, un dispositivo leggero e portatile in grado di rilevare sia la percentuale di ossigeno nel sangue che la frequenza cardiaca.

Questo rientra tra i dispositivi non invasivi utilizzati per il biofeedback, viene applicato all'orecchio o al dito del soggetto.

Tensione muscolare (EMG)

Più comunemente nota come elettromiografia, fornisce informazioni sullo stato di tensione di determinati gruppi muscolari e indica il livello di tensione elettrica generato dalle fibre nervose motorie che è proporzionale al tono del muscolo. I soggetti che ricevono un feedback acustico del grado di tensione muscolare possono riuscire ad abbassare in poche sedute il livello di micro-voltaggio e quindi il tono muscolare in esame, conseguendo un livello di rilassamento psico-fisico generale.

I muscoli più frequentemente monitorati sono il frontale, il trapezio e i muscoli dell'avambraccio, poiché riflettono più di altri il grado globale di tensione dell'organismo e permettono di utilizzare solo pochi elettrodi di misura, anziché molti disseminati su tutto il corpo.

Conduttanza elettrica cutanea (GSR)

Si basa sulla variazione della resistenza elettrica della pelle provocata dai diversi stimoli emozionali, infatti, è anche conosciuta con il nome di elettrodermografia (EDG). Questa variazione deriva sostanzialmente dallo stato di umidità della pelle dovuto dalle ghiandole sudoripare sottostanti.

L'acronimo inglese di questa tecnica deriva dall'espressione galvanic skin resistance. La pelle, infatti si comporta come un resistore: se si applicano due elettrodi sulla superficie cutanea, in genere sulle due dita vicine e si attiva una debole corrente elettrica costante, si genera un voltaggio da cui è possibile rilevare la resistenza apparente della pelle, che può variare tra i 10 k Ω fino a valori prossimi a 1 M Ω . Valori superiori a 200 k Ω sono tipici di individui rilassati; se il soggetto è emotivamente agitato, la resistenza cutanea scende progressivamente.

Stimoli di tipo emozionale esterno (un rumore improvviso, un sospiro, una frase, ecc.) provocano una caduta della resistenza elettrica in alcuni distretti cutanei, in particolare a livello palmare e dalla pianta dei piedi. Lo stesso effetto, tuttavia, può essere ottenuto anche con stimoli emozionali interni.

Temperatura superficiale

Si registra la variazione della temperatura delle mani rispetto alla fase iniziale di assesment, per addestrare il soggetto ad ottenere una diminuzione o un aumento della temperatura cutanea periferica, cui corrisponde rispettivamente un incremento dello stress e del relax fisico.

Ciò che interessa monitorare non è il valore assoluto della temperatura, molto variabile da individuo a individuo, quanto le sue modificazioni rispetto a quello iniziale. Da un punto di vista fisiologico, il parametro che il soggetto tende a modificare è il flusso sanguigno nel distretto circolatorio cutaneo. La rilevazione della temperatura è effettuata mediante una piccola sonda posta a contatto con la pelle.

Campi di applicazione

Come meglio analizzato nel capitolo successivo, queste tecnologie vengono utilizzate in diversi ambiti sia come oggetto di studio e analisi che come parte essenziale per il funzionamento di un progetto o applicazione.

La differenza precedentemente analizzata tra queste due tipologie lascia intendere che, nonostante alcune somiglianze, il tipo di utilizzo che si fa di esse diverge nel fine e che, alle volte, queste tecnologie vadano unite al fine di raggiungere un determinato obiettivo.

Dati biometrici

Oltre che nelle scienze biologiche, la biometria trova applicazioni nel campo della sicurezza: molti sistemi di autenticazione per l'accesso a determinati sistemi sono infatti basati su caratteristiche biometriche degli individui quali le impronte digitali o le caratteristiche morfologiche della retina o dell'iride. Tra queste, le applicazioni maggiormente in uso sono:

- autenticazione degli accessi fisici in locali protetti,
- sicurezza nelle transazioni finanziarie,
- prevenzione delle frodi,
- proteggere e tutelare l'attività bancaria via internet,
- identificazione di soggetti,
- sicurezza negli aeroporti,
- investigazione,
- schedatura dei criminali,
- identificazione e schedatura delle persone migranti;

Al momento la biometria è riconosciuta come la migliore protezione dell'identità: la biometria rientra infatti nella terza categoria di modalità con le quali si certifica l'identità di un soggetto: qualcosa che hai, qualcosa che sai, qualcosa che sei. I dati biometrici non possono essere contraffatti né duplicati e se integrati con i dati comportamentali aggiungono ulteriori livelli di sicurezza, impedendo, ad esempio, l'utilizzo di impronte o registrazioni illecitamente sottratte, mentre, in termini di user experience, aggiungono nuovi aspetti di usabilità e di semplicità.

In ambito di sicurezza sul lavoro, ad esempio, i badge non solo integrano servizi di sicurezza e riconoscimento ma abilitano l'utilizzo di tecnologie come stampanti, ascensori e porte. Altri dispositivi come sono in grado di raccogliere dati biometrici, come battito cardiaco, pressione, sudorazione, livelli di ossigenazione del sangue, non solo con l'obiettivo di monitorare lo stato di salute di chi li indossa, ma per tenere sotto controllo i lavoratori che operano in condizioni rischiose o potenzialmente insalubri.

In ambito sanitario, gli indicatori biometrici possono essere ricondotti a due categorie principali: gli identificatori fisici e quelli comportamentali.

Nel novero degli indicatori fisici troviamo naturalmente viso, impronte, iride, retina, DNA, mentre il ritmo di digitazione, il timbro di voce o l'andatura di una persona fanno parte degli indicatori di tipo comportamentale.

Questi possono aiutare nel raggiungere una maggiore accuratezza nell'identificazione del paziente, mantenendo gli stessi dati come identificatori univoci anche nelle fasi successive di controllo e nel prosieguo della terapia.

Anche nell'automotive l'utilizzo dei sensori biometrici non rappresenta una novità. Si può prendere in esempio l'innovazione annunciata da Ford nel maggio 2020 per cui l'integrazione di sensori biometrici nei veicoli non avrà solamente lo scopo di abilitare funzioni "keyless", ma anche e soprattutto per aggiungere nuovi livelli di sicurezza alla guida. Utilizzando gli stessi sensori del mondo medicale, infatti, è possibile monitorare le condizioni del guidatore, prevenendo il classico colpo di sonno. Gli stessi sensori utilizzati in ambito domestico per la rilevazione della qualità dell'aria possono essere installati all'interno dei veicoli per identificare la presenza di un bambino o di un cane nell'auto chiusa e dunque inviare segnali d'allarme prima che la situazione diventi effettivamente pericolosa.

Si pensi infine alle tecnologie biometriche nella smart home. Probabilmente una delle applicazioni più diffuse è la serratura senza chiavi, utilizzabile con la sola impronta digitale. Senza correre pericoli, l'accesso è garantito dall'autenticazione via impronta biometrica, salvata nel sistema di gestione. È possibile applicarlo sia alla porta di ingresso principale della casa, sia alle singole stanze, così come è possibile abilitare impronte temporanee per gli ospiti occasionali.

Biofeedback

Le tecnologie analizzate precedentemente lasciano intendere che il principale utilizzo di questa tecnica sia quello medico. Il biofeedback ha di fatto trovato applicazione terapeutica in vari campi, anche molto diversi tra loro.

Il settore in cui esso ha avuto più ampia diffusione è quello della terapia dell'ansia cronica e dei disturbi psicofisiologici stress-dipendenti, delle cefalee di tipo tensivo e vascolare, dei tic e del bruxismo (digrignamento dei denti). Vi sono poi terapie in ambito neurologico riguardanti principalmente la riabilitazione motoria, ma anche dolori cronici, assistenza al parto e trattamento di disturbi sessuali e dipendenze.

I risultati ottenuti in studi effettuati con vari gruppi di controllo hanno mostrato che il biofeedback ha un'azione superiore all'assenza di trattamento e pari, o in determinati casi superiore, ad altre terapie. Molti terapeuti utilizzano oggi il biofeedback all'interno di trattamenti integrati basati su psicoterapia di tipo cognitivo-comportamentale.

Nel settore sportivo e fisioterapeutico, il biofeedback può essere utilizzato a livello rieducativo o per il miglioramento della prestazione atletica. Infatti, l'uso che se ne fa in questo campo è l'analisi di una disfunzionalità muscolo-tendinea studiando i deficit elettrici, ma anche la gestione del respiro e i livelli di agitazione cardiaca. Il biofeedback risulta molto utile dopo qualsiasi tipo di infortunio poiché il paziente viene a conoscenza della sua effettiva forza muscolare e può vedere i miglioramenti progressivi nel tempo. Può essere molto utile nei trattamenti post-operatori per drenare e disinfiammare i tessuti lesionati, quindi anche e soprattutto in caso di protesi.

Questa tecnologia ha assunto nel tempo anche un particolare utilizzo in ambito artistico, il vantaggio che offre dal punto di vista di manipolazione dei dati e istruzione ha fatto sì che si arrivasse a sfruttare

queste tecnologie per migliorare la fruizione di esperienze e/o installazioni artistiche. Si può dunque parlare in questo caso di un miglioramento della user experience.

Nel capitolo successivo si illustrano degli esempi che hanno sia scopi terapeutici, come la gestione dello stress, dell'ansia o della rabbia, sia scopi ludici. In questi, infatti, sarà possibile notare che lo scopo nello sfruttamento della retroazione genetica è quella di migliorare l'esperienza di gioco rendendola più credibile o accessibile, effetto che viene esaltato anche tramite l'utilizzo di visori per la realtà virtuale.

CAPITOLO 4

Stato dell'arte

Introduzione

Questo capitolo si basa su un'approfondita ricerca e analisi effettuata su 7 diversi database online: IEEE, ACM Digital Library, Elsevier, Scopus, Wiley, Google Scholar e Research Gate.

L'alto numero di risultati rinvenuti su ogni piattaforma ha comportato una scrematura mediante parole chiave e selezione per importanza e rilevanza in relazione all'argomento trattato. Usando, infatti, le parole chiave “*biometrics for/and VR*”, “*biodata in VR experiences*”, “*biofeedback for/and VR*” e “*biofeedback in videogames*”, i risultati ottenuti erano oltre 150.000 per database (impostando una selezione che includesse testi pubblicati tra il 2018 e il 2021, salvo alcune eccezioni riguardanti anni precedenti). Da questi è stata effettuata prima una scrematura per titolo e successivamente per abstract, selezionando quindi solo quelli pertinenti e riducendo il numero di titoli da analizzare a circa 30 per piattaforma.

In seguito alla lettura dei titoli, i quali includevano articoli di ricerca, estratti di libri e/o capitoli, tesi e presentazioni, la selezione finale include un totale di circa 30 testi da cui viene tratta l'analisi di seguito effettuata. Ognuno di essi si distingue per l'approfondimento di uno o più argomenti e/o aspetti inerenti la tesi trattata, con un numero maggiore di risultati riguardanti l'utilizzo del biofeedback in quanto maggiormente sfruttato in ambito VR.

L'analisi dello stato dell'arte viene dunque suddivisa in tre macro-categorie per il tipo di utilizzo che viene dato alle applicazioni esposte ed analizzate nei vari titoli (citati nel cap. 9, sezione *Bibliografia*): Analisi e terapia, Training autogeno e Intrattenimento.

Analisi e terapia

La prima delle tre categorie analizza la principale forma di sfruttamento di queste tecnologie, è stato infatti esposto nei precedenti capitoli come l'ambito medico e terapeutico sia quello di maggiore approfondimento per il biofeedback e lo sfruttamento di dati biometrici.

Il primo studio che si prende in analisi in questa ricerca è quello portato avanti da alcuni studenti dell'Università di Sidney nel 2019 sull'utilizzo e potenzialità della realtà virtuale per la gestione del dolore.

La crescente accessibilità e qualità dei visori portatili per la VR e la continua utilità della terapia del dolore segnalano un futuro entusiasmante per l'uso della VR per l'analgesia.

La terapia del dolore VR è stata resa popolare quando Hoffman e colleghi hanno creato SnowWorld; un gioco VR di lancio di palle di neve a personaggi animati. È interessante notare che la terapia del dolore VR è rimasta efficace anche dopo ripetute esposizioni durante il trattamento delle ustioni (Hoffman et al., 2001) ed era paragonabile agli oppioidi dall'effetto analgesico (Hoffman et al., 2007) sulla base dei rapporti soggettivi sul dolore e sui risultati oggettivi della risonanza magnetica funzionale (fMRI).

Lo studio espone l'utilità, dunque, della VR per gestire diversi tipi di dolore e a diversi livelli grazie al tipo di distrazione che questa genera nel cervello umano permettendo un grado di immersione molto alto, ma resta dubbia l'efficacia a lungo termine che queste applicazioni hanno sui pazienti. Per questo motivo gli autori consigliano di approfondire la ricerca unendo la realtà virtuale a biofeedback di tipo EEG e GSR per studiare la risposta del corpo nel breve e lungo periodo.

Dayne Camara e Richard Hicks, nel loro articolo “*Using virtual reality to reduce state anxiety and stress in university students: an experiment.*”, fanno riferimento al potenziale della realtà virtuale in relazione a terapie e trattamenti:

La tecnologia VR ha il potenziale per aiutare queste persone a superare i problemi mentali in un ambiente relativamente a basso costo. Uno degli attuali usi clinici di questa tecnologia è attraverso la terapia di esposizione VR (VRET), dove il paziente viene esposto gradualmente a uno stimolo negativo in un ambiente controllato e sicuro per ridurre l'ansia e il PTSD (Diemer, Lohkamp, Muhlberger, & Zwanzger, 2016; Maples-Keller et al., 2017). Il primo uso documentato della VR nella terapia di esposizione risale al 1995 e si è concentrato sulla paura delle altezze (Rothbaum et al., 1995). Uno dei maggiori vantaggi dell'uso della VR nella terapia di esposizione è che i pazienti sono consapevoli di essere in un ambiente sintetico e, tuttavia, il corpo e la mente reagiscono ancora come nel mondo reale (Freeman et al., 2017). Questo rende i pazienti più disposti ad affrontare situazioni difficili in VR piuttosto che nella vita reale e a provare diverse strategie di trattamento. La VRET permette un controllo completo sulla progettazione dello stimolo di esposizione e risolve i problemi logistici che sono associati alla terapia di esposizione tradizionale (Lindner et al., 2017), ma la ricerca deve dimostrare che il potenziale può essere raggiunto. Diversi studi hanno sostenuto il valore della VR nel trattamento anche se sono necessarie ulteriori ricerche in contesti specifici.

Si noti come nella seguente analisi si fa spesso riferimento ad una sorta di gamification delle terapie, in questo modo l'utente viene distratto da quello che è l'obiettivo medico per concentrarsi sul raggiungimento di un fine che sembra più semplice.

Lucas Dias, Jorge Barbosa e Henrique Vianna già facevano riferimento a questo nel loro articolo “*Gamification and serious games in depression care: A systematic mapping study*” dicendo:

Secondo Barrios (Barrio et al., 2015) il termine "gamification" è relativamente recente, è stato usato per la prima volta in un documento del 2010 (Inc, 2010), ed è noto per l'uso di dinamiche e meccaniche di gioco in applicazioni informatiche per cambiare il comportamento dell'utente.

Anche se i termini dinamiche e meccaniche di gioco sono strettamente correlati, sono anche usati in modo intercambiabile. Le meccaniche di gioco si riferiscono al gameplay, come il punteggio, i livelli, i dialoghi, i suggerimenti, i progressi, le sfide e la classificazione, mentre le dinamiche di gioco si concentrano sui risultati che le meccaniche di gioco portano, come il senso di ricompensa, il raggiungimento, la competizione e l'altruismo. La gamification è diventata una strategia per motivare e coinvolgere gli utenti di applicazioni educative, aziendali e sanitarie (Brown et al., 2016).

I giochi seri sono un esempio di giochi non di intrattenimento, sono progettati per migliorare qualche aspetto specifico dell'apprendimento o formazione, per essere utilizzati nell'area dell'istruzione o nell'assistenza sanitaria. I loro generi, la complessità e le piattaforme sono vari come nei giochi di intrattenimento.

Già nel 2015, alcuni studenti dell'Università di Louisville portano avanti una ricerca che dimostra l'impatto che può avere l'analisi dei segnali fisiologici dell'utente durante la fruizione di applicazioni VR, riferendosi ad esse come “*serious games*”.

Durante l'esperimento, bambini dai 9 ai 14 anni vengono esposti a tre diversi ambienti VR volti a scatenare determinate emozioni che vengono analizzate grazie al rilevamento del battito cardiaco e della conduttanza cutanea.

Tre scenari VR emotivamente carichi sono progettati e scelti specificamente per indurre stati emotivi generali in un contesto neutro, negativo e positivo. Lo scenario neutro consiste semplicemente nell'esplorare l'ambiente VR; Lo scenario negativo fa uso di audio affettivo e di una serie di eventi che causano paura, disgusto e altre esperienze



scomode; Lo scenario positivo è un insieme di scene felici, tra cui giocattoli interessanti e persone sorridenti, con musica armoniosa.

Uno scenario richiede circa tre minuti per essere esplorato dai soggetti; una sessione richiede l'esplorazione di tutte e tre le scene, il che richiede 20 minuti in totale, incluso il tempo di configurazione e montaggio.



In un articolo del 2017 (*“Exploring pupil dilation in emotional virtual reality environments”*, H. Chen et al.), gli autori analizzano, in maniera simile, come la dilatazione della pupilla possa essere dimostrazione delle emozioni che l'utente prova durante un'esperienza virtuale. Lo studio vuole dunque mostrare come una scena virtuale può generare emozioni in chi la fruisce e come un sensore meno ingombrante, quale quello per l'eye-tracking, può risultare efficace per analizzare tale effetto.

La variazione delle dimensioni della pupilla è un indice involontario dell'attività del sistema nervoso autonomo (ANS) e quindi non può essere controllata volontariamente.

La dilatazione della pupilla è stata studiata per molti anni, e si verifica automaticamente a seconda della quantità di luce che entra nell'occhio. Tuttavia, la dilatazione pupillare può anche essere modificata dal carico cognitivo della persona, dagli effetti delle immagini mentali e da varie forme di stimoli, come immagini e suoni.

Le scene virtuali vengono sfruttate come inneschi emotivi per generare determinate emozioni nell'utente:



Nel nostro studio sono state progettate cinque scene VR emotive e ogni scena aveva cinque segmenti di emozioni: felicità, paura, ansia, tristezza e disgusto. Quando i partecipanti hanno sperimentato le scene VR, la

loro dilatazione pupillare e la luminosità nel visore sono stati catturati. Abbiamo scoperto che entrambi i segmenti di emozioni negative e positive hanno prodotto una dilatazione della pupilla negli ambienti VR.

Infine, per meglio analizzarne l'effetto, gli autori hanno inserito all'interno dell'esperienza un elemento rappresentativo della velocità di battito cardiaco generato da questa:

Nel nostro studio, tre diversi segnali di battito cardiaco sono stati mostrati agli utenti utilizzando una combinazione di tre canali: aptico, audio e visivo. I risultati hanno mostrato che l'indizio aptico-visivo ha causato il cambiamento di dilatazione pupillare più significativo rispetto alla linea di base.

Il feedback visivo era dato dalla visualizzazione di un simbolo di cuore rosso sullo schermo, che cambiava la sua dimensione proporzionalmente al cambiamento della frequenza cardiaca. Il feedback uditivo è stato fornito dal suono del battito cardiaco riprodotto attraverso una cuffia Logitech a cancellazione del rumore. Il feedback aptico è stato fornito sotto forma di vibrazioni attraverso i controller Vive portatili. Le vibrazioni erano sincronizzate con la frequenza cardiaca in tempo reale del partecipante.

I risultati della ricerca lasciano intendere che la dilatazione pupillare possa dunque essere sfruttata in studi futuri per rilevare lo stato emotivo dell'utente e generare un cambiamento, ciò nonostante questa comporta delle complicazioni quali l'attendibilità dei sensori di eye-tracking, specialmente per esperienze più complesse e interattive, e la necessità di un certo livello di illuminazione per generare la dilatazione della pupilla, il che non rende diretto il collegamento tra l'eccitazione emotiva e la dilatazione ma potrebbe dare risultati falso-positivi.

Diversi i risultati di uno studio effettuato l'anno successivo all'Università di Tilburg, Olanda, sull'utilizzo del feedback respiratorio.

Gli esercizi di rilassamento e respirazione possono beneficiare della realtà virtuale, un metodo sempre più applicato nei domini della terapia e della riabilitazione (Bohil et al. 2011; Rizzo e Kim 2005).

Da questo concetto, Angelica Tinga e i suoi colleghi iniziano a studiare come sfruttare il feedback respiratorio per la gestione dello stress mediante delle esperienze di meditazione:

Ai partecipanti è stata presentata una sessione di meditazione in realtà virtuale, mentre l'eccitazione soggettiva e oggettiva è stata misurata tramite ECG ed EEG. Sono state utilizzate tre condizioni: (a) una condizione di biofeedback respiratorio, in cui il feedback visivo era abbinato alla respirazione; (b) una condizione placebo di feedback di controllo, in cui il feedback visivo non era accoppiato alla respirazione; e (c) una condizione di controllo no-feedback, in cui non è stato utilizzato alcun feedback visivo. L'eccitazione soggettiva e oggettiva è diminuita durante la meditazione in tutte le condizioni, dimostrando il recupero dallo stress durante la meditazione in realtà virtuale.

L'aspetto più interessante di questo studio riguarda però la necessità di fornire un placebo all'utente per poter ottenere un maggiore livello di controllo sull'esperienza.

Se gli studi sul biofeedback respiratorio e lo stress o l'ansia avessero incluso una condizione di controllo, sarebbe stata una condizione senza alcun intervento (Yu et al. 2012; van Rooij et al. 2016; Kaushik et al. 2005; Kapitza et al. 2010). Tuttavia, per valutare il valore aggiunto del biofeedback respiratorio, una condizione di controllo placebo, che è diversa da una condizione di biofeedback solo per quanto riguarda la componente specifica del biofeedback, è necessaria (Kapitza et al. 2010).

I risultati ottenuti con la condizione placebo (b) non differiscono da quelli ottenuti con la prima condizione (a), questo dimostra dunque che l'utente non necessita di una caratteristica visiva del biofeedback per migliorare le condizioni di stress durante una sessione meditativa in VR.

Jeff Tarrant e Hanna Cope hanno portato avanti un caso studio ("*Combining frontal gamma asymmetry neurofeedback with virtual reality: A proof-of-concept case study*") per determinare se un sistema di neurofeedback di livello consumer (Muse) può essere utilizzato in combinazione con ambienti di

realtà virtuale (VR) appositamente progettati (*Positivity by Healium*) per avere un impatto sull'asimmetria della gamma frontale e creare cambiamenti positivi negli stati d'animo.

Il modello di asimmetria frontale dell'eccitazione suggerisce che l'iperattivazione nelle aree frontali di sinistra è associata con comportamenti di avvicinamento e umore positivo, mentre l'iperattivazione nelle aree frontali di destra è associata con comportamenti di ritiro e umore negativo (Sutton & Davidson, 1997).

Gli interventi di neurofeedback che spostano questa asimmetria verso l'attivazione sinistra (o la disattivazione destra) hanno dimostrato di portare a miglioramenti dell'umore e ad un'attenuazione dei sintomi della depressione.

Anche loro si sono serviti di esperienze di meditazione guidata in VR al fine di migliorare l'umore dei soggetti in esame. La conclusione dello studio risulta avere esiti positivi, nonostante il basso numero di tester sfruttati, ma resta sottinteso che la semplicità e accessibilità degli strumenti utilizzati ne implicano un uso amatoriale e da sfruttare come base per un approfondimento medico futuro con strumentazione di gamma più alta.

Continuando a parlare, invece, di gestione dello stress, Bernard Maarsingh e Jannah Bos, insieme ad altri colleghi, hanno scritto un articolo riguardante uno studio secondo cui la mentalità con cui si percepisce lo stress ne può cambiare l'effetto.

Lo stress è generalmente percepito come un'esperienza negativa, e diversi studi dimostrano che lo stress può avere effetti negativi sul cervello e può causarne cambiamenti strutturali, con effetti sulla memoria, sulla cognizione e sul modo in cui funziona il sistema di risposta allo stress. Inoltre, l'aumento dello stress può inibire il sistema immunitario, cambiare il battito cardiaco e attivare il sistema nervoso simpatico, causando vasocostrizione, influenzando la pressione sanguigna, i lipidi del sangue e la coagulazione del sangue, e causando anche cambiamenti nelle fibre vascolari. Questi cambiamenti possono portare a disturbi del ritmo cardiaco e, eventualmente, ad attacchi di cuore. Lo stress può anche influenzare l'intestino, per esempio, il morbo di Crohn e la sindrome dell'intestino irritabile sono entrambi associati allo stress, e lo stress può causare varie anomalie nel funzionamento del sistema ormonale.

A parte tutti gli effetti negativi, lo stress ha anche una serie di effetti positivi e l'amigdala sembra giocare un ruolo importante nel modo in cui lo stress emerge. Questo sembra indicare che le emozioni, o più specificamente il modo in cui le persone affrontano lo stress emotivamente è importante. La mentalità di percezione dello stress è definita come la convinzione generale che lo stress sia migliorativo o debilitante e come tale è una variabile distinta dalle variabili tradizionali legate allo stress come la quantità, la valutazione e la gestione dello stress.

Sulla base di queste definizioni, gli autori portano avanti uno studio che vede lo sviluppo di un gioco VR, Stressjam, volto a cambiare la mentalità di percezione dello stress concentrandosi sulla padronanza dello stress, sui cambiamenti ambientali e strategie di *nudging* (concetto che, nel campo dell'economia comportamentale e della filosofia politica, sostiene che sostegni positivi e suggerimenti o aiuti indiretti possono influenzare i motivi e gli incentivi che fanno parte del processo di decisione di gruppi e individui).

Si è ipotizzato che Stressjam possa apportare cambiamenti verso una mentalità che favorisce lo stress facendo capire alle persone che hanno bisogno del loro stress per giocare e avanzare nel gioco. Così, l'utente impara che lo stress può essere utile e talvolta necessario. In questo studio, abbiamo voluto analizzare come questa applicazione VR possa avere il potenziale per influenzare la mentalità dello stress.

Stressjam ha diversi livelli e i partecipanti hanno solo poche vite per raggiungere i loro obiettivi. L'esperienza è personalizzata utilizzando un sensore HRV sul petto. Il gioco e i sensori di biofeedback sono collegati in modo da comunicare in tempo reale per mostrare agli utenti il livello di stress o, piuttosto, la loro capacità di far fronte allo stress, quello che è chiamato in termini di gioco il loro superpotere.

Così il gioco guida l'utente non soltanto verso una maggiore gestione dello stress ma anche verso una percezione diversa della sua utilità, un approccio che potrebbe definirsi innovativo rispetto a quelli precedentemente visti.

Camara e Hicks, nell'articolo già prima citato, portano avanti uno studio che vuole dimostrare come l'utilizzo della realtà virtuale possa alleviare e ridurre lo stato di ansia degli studenti universitari, aumentando dunque la loro prestazione scolastica e prevenendo, laddove possibile, la depressione.

Anche se il disturbo depressivo differisce dall'ansia, essi condividono elementi affettivi, cognitivi, comportamentali e fisiologici simili (Brady & Kendall, 1992). La ricerca suggerisce che i due disturbi si presentano insieme più frequentemente di quanto appaiano individualmente (Brown, Schulberg, Madonia, Shear, & Houck, 1996). C'è una chiara comorbidità tra depressione e disturbo d'ansia, dove il 90% dei pazienti che soffrono di disturbo d'ansia hanno anche riferito di avere la depressione (Tiller, 2013). Quando la depressione e l'ansia si verificano insieme, i sintomi che i pazienti sperimentano sono più gravi rispetto a quando l'ansia si verifica da sola (Gorman, 1996). Si nota che i sintomi della depressione richiedono più tempo per risolversi, rendendola più a lungo termine e impegnativa da trattare. Lo studio attuale ha controllato la depressione in modo che gli effetti sulla sola ansia potessero essere chiaramente identificati nel campione.

Lo studio ha esaminato se la VR può offrire un approccio alternativo alla gestione dell'ansia, più specificamente, l'ansia di stato mentre si controlla la depressione. È stato osservato che entrambe le condizioni (VR e RT- *reading task*) hanno portato a livelli di ansia di stato significativamente ridotti, anche se, quando la differenza nella riduzione dell'ansia tra le due condizioni è stata confrontata, è stato evidente che la VR ha causato una diminuzione significativamente maggiore nei livelli di ansia rispetto a quella della RT.

Un altro studio interessante nato dall'unione di realtà virtuale e biofeedback è quello effettuato da Felix Schoeller e i suoi colleghi dell'università di Parigi per analizzare come l'unione di queste tecnologie possa favorire l'aumento di empatia nel genere umano.

I recenti progressi tecnologici accoppiati al progresso delle scienze cerebrali e psicologiche permettono l'induzione controllata e la regolazione degli stati psicofisiologici umani. Questi progressi mirano spesso all'obiettivo di sviluppare interfacce uomo-macchina per migliorare fattori umani come la salute mentale, le relazioni umane, il benessere e l'empatia.

L'empatia affettiva può portare a effetti sia positivi che negativi. Stimoli empatici altamente angoscianti, per esempio, possono portare gli osservatori a sviluppare una sofferenza empatica, che a sua volta può portare al burnout (Hojat et al., 2009; Klimecki et al., 2013), o a risposte egocentriche con conseguenze negative sul comportamento sociale (Decety, 2010). In una certa misura, gli effetti negativi dell'empatia affettiva possono essere allenati, limitati ed evitati. Quando tali processi top-down di regolazione delle emozioni hanno successo nel limitare la risposta allo stress, i soggetti possono imparare a trasformare il disagio empatico in reazioni sane e prosociali.

Lo studio consiste in un'analisi di esperimenti e ricerche effettuate precedentemente sfruttando l'illusione di immedesimazione in un corpo virtuale, generando così un'alienazione da sé stessi e la possibilità di sentirsi nel corpo di qualcun altro.

Questa alterazione dell'auto-rappresentazione attraverso la realtà virtuale (EVR) può portare a cambiamenti nel comportamento, indicati come l'*effetto Proteus* (Yee e Bailenson, 2007). Sembra che questo effetto dipenda molto dagli schemi sociali, dagli stereotipi e dai modelli dell'utente.

Gli autori si concentrano particolarmente sui tremori psicogeni e sull'effetto che alcuni aspetti della vita quotidiana hanno su essi.

Il brivido psicogeno (PS) ha ricevuto una notevole attenzione per il fatto che è cosciente, misurabile e universale (Pelowski et al., 2018; Schoeller et al., 2018b). I brividi sono un piccolo tremore muscolare ordinariamente coinvolto nella regolazione della temperatura corporea (Haman e Blondin, 2017). Eppure, gli esseri umani a volte rabbriviscono indipendentemente da qualsiasi cambiamento di temperatura (Schoeller, 2015a). I brividi psicogeni sono più spesso innescati da musica e film, ma possono anche verificarsi nel corso

di pratiche scientifiche o religiose (Schoeller, 2015b). Ciò che è di particolare interesse per questo articolo è il fatto che gli esseri umani spesso rabbriviscono in reazione a specifiche situazioni sociali (Schurtz et al., 2011; Schoeller et al., 2018b) e che la musica che induce PS è risultata migliorare l'altruismo (Fukui e Toyoshima, 2014).

Essi, infatti, concludono l'articolo sottolineando la necessità di effettuare maggiori ricerche future e suggerendo l'unione di VR e PS per migliori risultati:

VR e PS potrebbero essere combinati per creare situazioni sociali e obiettivi condivisi per gli utenti in rete in ambienti immersivi. Al fine di aumentare un senso di obiettivi condivisi nella VR, un dispositivo di chill-actuator (letteralmente attuatore di raffreddamento) potrebbe essere incorporato in tali situazioni, aumentando la probabilità di PS e aumentando teoricamente le emozioni sociali correlate come l'identità di gruppo condivisa o la sincronicità. La progettazione di stimoli VR che suscitano brividi e l'incorporazione di dispositivi di attivazione del brivido in esperienze VR esistenti legate all'empatia, offrono strade uniche per lo studio e la generazione di empatia e le basi fisiologiche delle emozioni sociali.

Parlando invece di terapia per il superamento o gestione delle fobie, alcuni studiosi dell'Università di Porto stanno portando avanti un'analisi che si concentra maggiormente su claustrofobia, entomofobia e le fobie dette sociali, come la demofobia e l'agorafobia. Lo studio collega il dispositivo Muse2, per il rilevamento delle onde cerebrali (EEG), ad un visore HTC Vive che mediante Unity 3D propone degli ambienti adatti ad aiutare l'utente attraverso la terapia.

L'uso di un ambiente controllato dalla realtà virtuale permette al terapeuta di inserire gli elementi necessari per esporre l'utente all'agente che causa la fobia. È possibile variare la quantità e l'intensità dell'esposizione, e ripetere il processo tutte le volte che è necessario.

FearNot permette alle persone con fobie da insetti o claustrofobia di essere esposte ad ambienti con un numero variabile di insetti, o ad una stanza con dimensioni e luminosità variabili, a seconda della lettura del biofeedback.

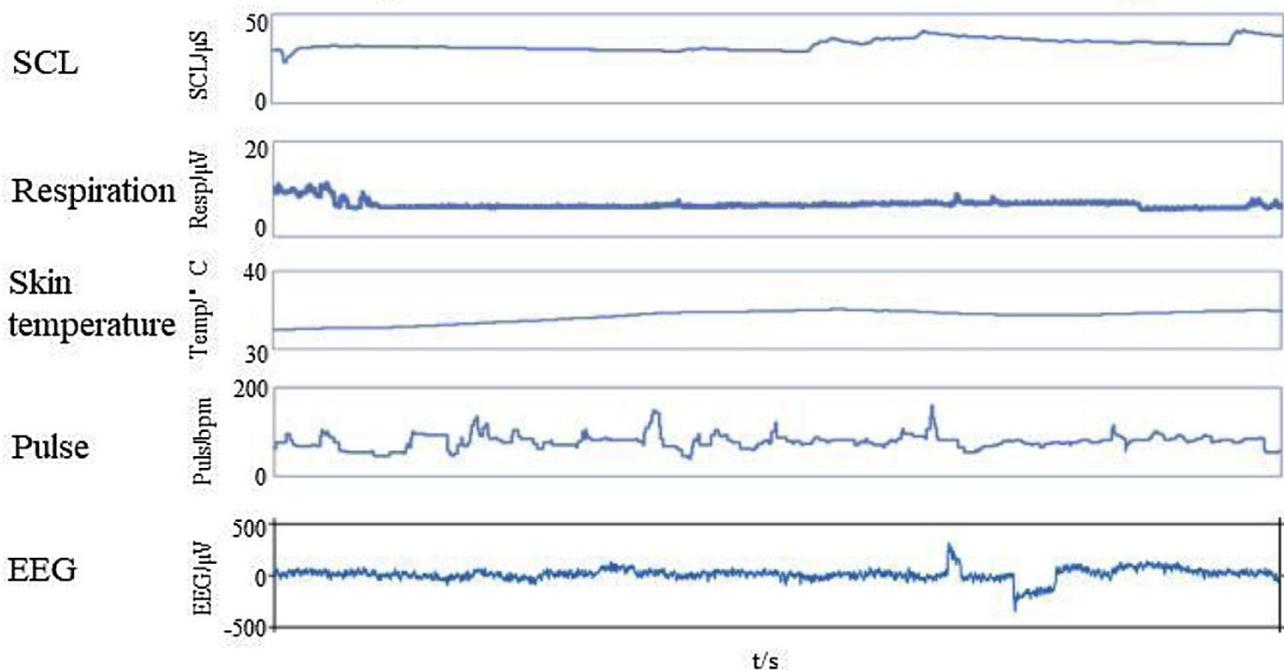
Virtual Therapy si applica a persone con fobia sociale, ed espone il paziente ad un'esperienza sociale in un contesto professionale che consiste in una presentazione orale al pubblico in un auditorium. Progetta una risposta automatica alla performance dell'utente basata su dati biomedici, e varia il numero di spettatori nell'auditorium e il loro comportamento.

L'articolo risale ad agosto 2020 e la conclusione specifica che ancora non vi sono risultati disponibili in quanto la ricerca e lo sviluppo delle applicazioni sono in corso, resta comunque sottolineato che lo studio verrebbe ad utilizzare i dati in tempo reale per favorire il superamento delle fobie grazie alla realtà virtuale.

Simile la ricerca effettuata da Hong Wang, Qiaoxiu Wang e Fo Hu per quel che concerne la paura dell'altezza, in cui combinano giochi VR e EEG per analizzare gli effetti di tale fobia in chi la soffre.

La paura dell'altezza è una delle fobie più comuni in tutto il mondo. Può influenzare la vita, il lavoro e la salute delle persone. Stare in piedi ad alta quota può portare a paura, ansia o addirittura panico ad alcune persone. Poiché la paura delle altezze è principalmente stimolata dagli effetti visivi, la tecnologia della realtà virtuale (VR) è diventata una nuova direzione per analizzare la paura delle altezze. Con il rapido sviluppo della scienza e della tecnologia, i ricercatori hanno iniziato a utilizzare la tecnologia VR per analizzare la paura delle altezze, e anche stabilito una terapia di esposizione alla realtà virtuale (VRET).

La ricerca studia dunque lo stato emotivo degli utenti rilevando le onde cerebrali mentre sono immersi nel videogame *Richie's Plank Experience*. Il gioco consiste su un'esperienza a 160m di altezza da terra camminando su una tavola molto sottile, per fermarsi per una durata di 10s alla sua estremità sospesi in aria.



Negli esperimenti di questo documento, la paura delle altezze potrebbe causare un aumento di paura e ansia. Secondo ricerche precedenti, la paura potrebbe portare all'asimmetria EEG frontale. Inoltre, l'ansia elevata (sia clinica e non clinica) è associata con uno stato di iper-vigilanza, che comprende una maggiore tensione muscolare, agitazione e i sintomi somatici di panico.

Gli ultimi lavori che si è deciso di prendere in esame riguardano terapie per la gestione della rabbia e per il riconoscimento di disturbi di coscienza e dipendenze da droghe.

Laura Dellazizzo e i suoi colleghi sono tra i primi a portare avanti uno studio basato sulla terapia per la gestione della rabbia in soggetti affetti da schizofrenia.

Mentre la ricerca sostiene fortemente l'associazione tra violenza e psicosi, ci sono studi che suggeriscono che la relazione tra sintomatologia, violenza e schizofrenia non è casuale, ma diretta da modelli specifici di sintomi psicotici appartenenti principalmente ai sintomi positivi. In sintomi positivi, allucinazioni di comando, deliri paranoici e allucinazioni persecutorie hanno dimostrato di aumentare il rischio di comportamento violento verso gli altri.

Questa revisione ha cercato di indagare lo stato attuale delle conoscenze riguardo al trattamento della violenza utilizzando la VR. Gli studi preliminari in soggetti affetti da disturbi diversi dalla schizofrenia hanno mostrato riduzioni della rabbia e dell'impulsività, miglioramenti nella risoluzione dei conflitti così come nei livelli di empatia e nelle diminuzioni dell'aggressività.

Gli autori concludono esprimendo la necessità di portare avanti un approfondimento in questa tipologia di studi. La fragilità dell'argomento lascia intendere nell'articolo che una delle principali complicazioni in questo tipo di terapia virtuale è il fatto che i disturbi di violenza e la schizofrenia sono molto soggettivi, così come lo è la loro cura medica; perciò, ci sono fattori da tenere in considerazione che attualmente non permettono di generalizzare. È possibile dunque portare avanti studi ed analisi in campo virtuale che si focalizzano su singoli aspetti e caratteristiche o che trovano il modo di rendere l'esperienza unica per ogni individuo, in relazione alla terapia reale che stanno seguendo.

Ancora una volta la tecnologia EEG viene abbinata alla VR in sessioni di training per la terapia di disturbi cronici. Parliamo dello studio portato avanti, durante circa cinque mesi dello scorso anno, da alcuni ricercatori in collaborazione con l'IRCCS Centro Neurolesi Bonino Pulejo di Messina concentrandosi su una paziente di 17 anni che, dopo un incidente stradale e un periodo di coma, doveva seguire un percorso neuroriabilitativo nella struttura.

Abbiamo riportato il caso di una giovane paziente con DoC (Disorder of Consciousness) a cui è stato fornito l'addestramento VR per migliorare i suoi risultati cognitivo-comportamentali, che sono stati monitorati per mezzo di dati clinici e dati EEG.

Il training è stato condotto da uno psicologo e un'infermiera, in un ambiente VR utilizzando il sistema Nirvana. Quest'ultimo è un sistema semi-immersivo che promuove il recupero delle funzioni compromesse attraverso esercizi svolti in un ambiente non invasivo e realistico. Il sistema Nirvana consiste in un software computerizzato, due sensori a infrarossi senza marcatori, una videocamera e un proiettore collegato a un grande schermo.

Tra gli esperimenti visti finora, è il primo che utilizza un ambiente semi-immersivo per permettere una libertà di movimento maggiore alla paziente. Questo, infatti, non utilizza un visore ma bensì un proiettore a schermo e dei sensori che rilevano il movimento della paziente.

Questo risulta essere uno dei primi studi portati avanti con questo proposito. Il rilevamento EEG ha permesso di vedere risultati non direttamente percepibili altrimenti, la paziente infatti ha avuto miglioramenti non solo fisici ma anche emotivi durante il periodo di training. Pertanto, ancora una volta si conferma la validità e possibilità di crescita nella ricerca mediante l'utilizzo di questa tecnologia in abbinamento al VRET.

L'ultimo articolo che si prende in esame riguarda l'uso del machine-learning attraverso l'unione tra VR e GSR insieme al rilevamento EEG per il riconoscimento di dipendenza da metanfetamina.

Alcune indagini hanno indicato che gli individui tossicodipendenti avevano risposte più significative agli stimoli legati alla droga rispetto al gruppo di controllo, esaminando le risposte EEG evocate da stimoli legati alla cocaina e da stimoli non legati alla cocaina (Van De Laar, Licht, Franken, & Hendriks, 2004);

Lo studio sfrutta e compara tre diverse tecniche di machine learning (ML): macchina vettoriale di supporto (SVM), foresta casuale (RF) e la regressione logistica (LR).

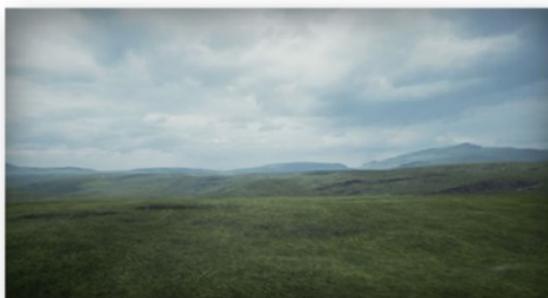
Random Forest (RF) è un modello ensemble con molti alberi decisionali. Ogni albero decisionale è guidato da un set di dati campionati a caso dall'intero training set. L'output di metodo è la modalità di classificazione (Liaw & Wiener, 2002).

Logistic Regression (LR) mira a prevedere un valore di output binario basato sulle variabili di input. Tutti i valori di input sono combinati linearmente. I coefficienti di ogni input sono ottimizzati usando la discesa del gradiente con funzione di costo cross-entropica (Fan, Chang, Hsieh, Wang, & Lin, 2008).

Il modello di formazione *SVM* è una rappresentazione dei casi di input come punti nello spazio, mappati in modo che le due categorie possano essere divise da un chiaro divario che sia il più ampio possibile. I nuovi casi in ingresso sono quindi predetti come appartenenti ad una categoria in base al lato del divario su cui cadono.

Per valutare la validità degli algoritmi, dunque, si sono presi in considerazione 666 casi studio (333 dipendenti da droghe e 333 non dipendenti). Lo studio prevedeva di sottoporre i soggetti ad ambienti virtuali diversi, uno neutro e tre in cui gli avatar assumono di droghe.

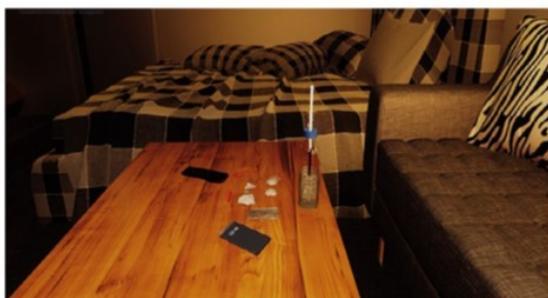
La parte neutra-VR era uno scenario di 3 minuti di prato neutro, con nuvole nel cielo. In questa sessione, i partecipanti dovevano essere rilassati e guardarsi per adattarsi all'ambiente VR. L'ambiente METH-VR includeva spunti animati e uditivi in tre circostanze: in un karaoke, in una camera da letto e in una macchina. Ogni scenario dura 4 minuti, con avatar che usavano METH e armamentario per la droga (ad esempio, tubo di vetro, tubi medici e piccole borse di plastica contenenti METH) a lato (Culbertson et al., 2010).



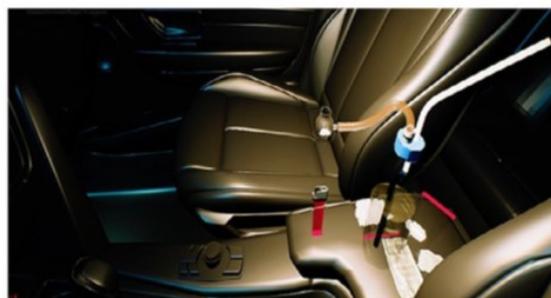
A 3-minute neutral-VR cue



A 4-minute METH-VR cue in Karaoke



A 4-minute METH-VR cue in a bedroom



A 4-minute METH-VR cue in a car

Lo studio si conclude mostrando un'utilità piuttosto rilevante nell'uso di GSR e EEG per differenziare pazienti affetti da dipendenze e pazienti non-dipendenti, ma più interessante ancora è come l'algoritmo LR sia molto più efficace degli altri con un'accuratezza di circa il 90%.

Diversi degli studi visti sono da portare avanti ed approfondire, così come molti non sono stati analizzati in questa ricerca. È però evidente che la realtà virtuale e la retroazione biologica (biofeedback) stanno mettendo radici sul campo di ricerca da qualche anno a questa parte ormai e che i risultati che si ottengono sono sempre più e di maggiore rilievo.

Training autogeno

Il concetto di training è già sorto nella categoria precedente, parlando ad esempio di gestione dello stress e dell'ansia o di disturbi cronici, si potrebbe pertanto pensare che le due categorie possano essere inglobate. Il motivo per cui si è deciso di suddividerle è perché il concetto di training autogeno viene più spesso utilizzato in ambito sportivo e educativo, dunque come metodo di insegnamento. Il fine resta sempre quello di fornire all'utente le capacità di imparare, mediante applicazioni VR, a gestire aspetti del proprio corpo e/o comportamento ma nel caso del training autogeno si possono vedere effetti maggiormente fisici, come la fisioterapia o l'addestramento militare.

Già nel primo capitolo si è parlato dei campi di applicazione e utilizzo della realtà virtuale, essa da sola già genera una sorta di training autogeno. Abbiamo infatti visto che tra le prime forme di utilizzo c'era l'addestramento militare, ma vi sono anche applicazioni di insegnamento scolasti o formazione professionale e aziendale. Ma ancora non si parlava di unire questa tecnologia a dati biometrici e biofeedback.

Il training autogeno, unito a queste forme di ricerca ed analisi, ha dunque l'obiettivo di generare un cambiamento non solo dal punto di vista emotivo e mentale, ma anche a livello fisico. Questo avviene ad esempio con la gestione del respiro, del battito cardiaco o di movimenti muscolari.

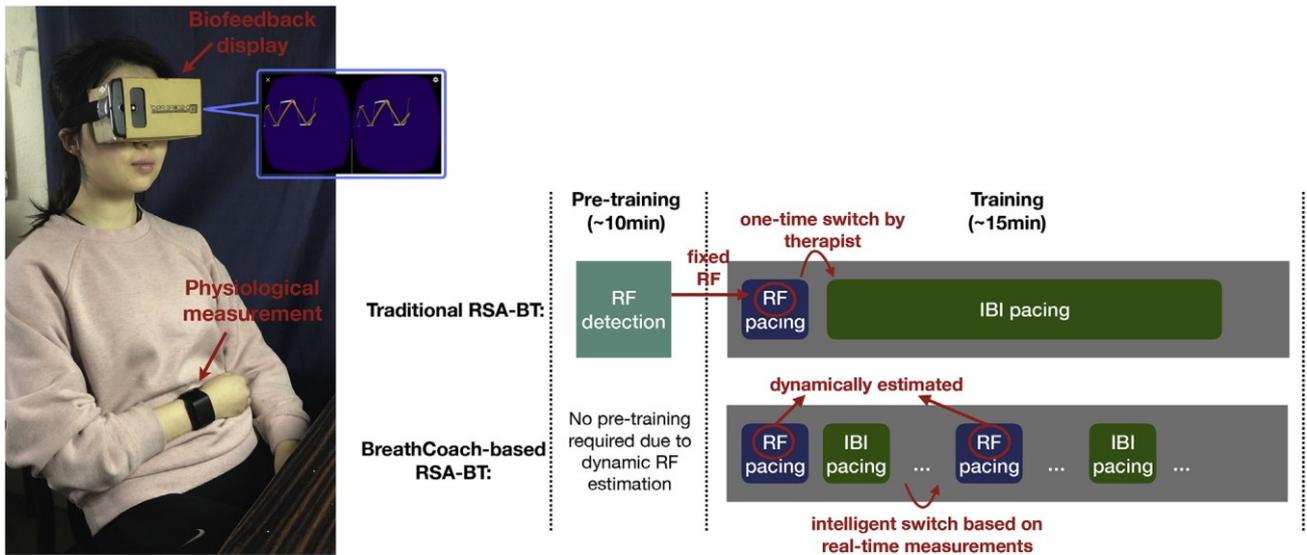
Le ricerche effettuate hanno dato risultati di maggiore rilievo per quel che riguarda la gestione del respiro, risultati meno attuali si concentravano sulla fisioterapia e la rigenerazione muscolare ma con scarsi risultati in ambito VR, pertanto, si è deciso di non prendere in considerazione tali testi.

Il primo articolo presenta BreathCoach, un sistema intelligente e non intrusivo che consente un'efficace RSA-BT (Respiratory Sinus Arrhythmia biofeedback-based Breathing Training) in casa utilizzando sensori su VR basata su smartwatch o su smartphone. In particolare, BreathCoach misura continuamente i bio-segnali chiave tra cui il modello di respirazione (BP), l'intervallo tra i battiti (IBI), l'ampiezza della RSA, e calcola in modo intelligente la pressione ottimale sulla base delle misurazioni attuali e storiche.

Respiratory sinus arrhythmia (RSA) si riferisce alla sincronizzazione naturale tra il battito cardiaco e la respirazione – cardioaccelerazione durante l'inspirazione e la cardio-decelerazione durante l'espirazione - che è nota come un riflesso della regolazione del sistema nervoso autonomo. Come tale, RSA-BT è stato utilizzato come un comune intervento cardio-respiratorio con l'obiettivo di guidare gli allievi a respirare inizialmente alla loro frequenza risonante (RF), la frequenza alla quale si raggiunge la massima ampiezza della RSA, e poi respirare in fase con il battito cardiaco cambiamenti con lo stesso obiettivo di massimizzazione della RSA.

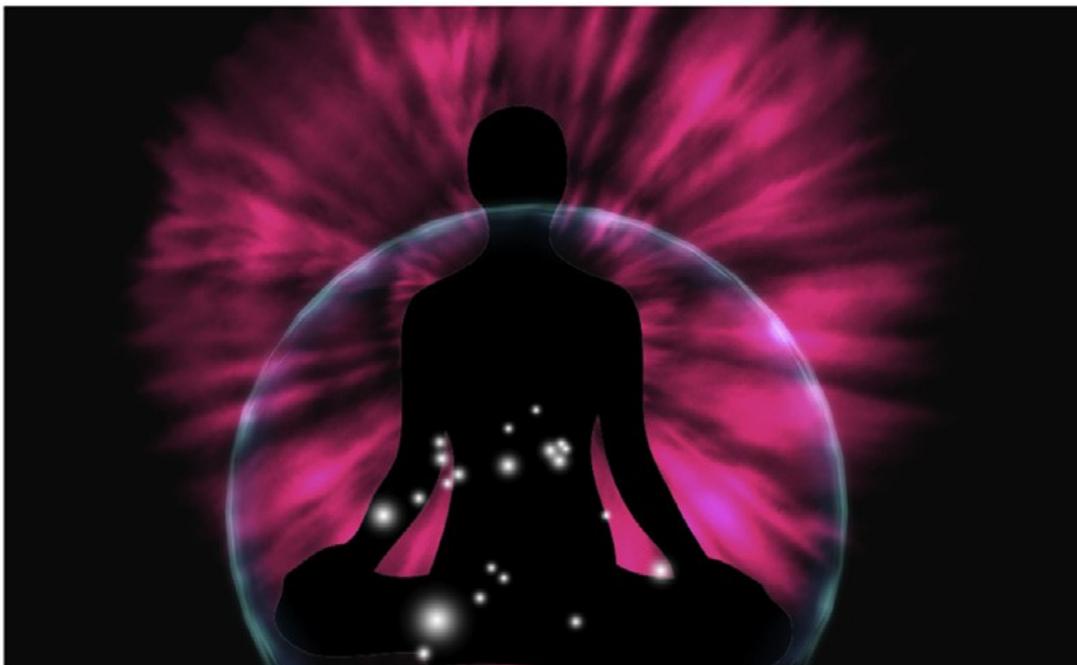
Durante l'esperimento, gli utenti dovevano svolgere dei giochi fruibili su cardboard, al fine di regolare e gestire il respiro per raggiungere gli obiettivi proposti (come far volare un palloncino evitando ostacoli o guidare una bolla all'interno di un percorso), mentre i vari bio-segnali venivano raccolti per mantenere sotto controllo il funzionamento dell'applicazione.

I risultati della ricerca dimostrano che BreathCoach non solo è in grado di misurare accuratamente i segni fisiologici richiesti ma anche di ottenere migliori prestazioni di allenamento rispetto all'approccio tradizionale.



Nello stesso articolo si fa riferimento a precedenti ricerche e applicazioni sviluppate, tra queste particolarmente interessante SOLAR.

SOLAR è un popolare gioco VR che assiste gli utenti alle prime armi nell'apprendimento della pratica di riduzione dello stress grazie alla meditazione mindfulness. La sua VR è generata dall'attività cerebrale e dalla frequenza respiratoria dell'utente. SOLAR chiede agli utenti di concentrare la loro attenzione sulla rappresentazione visiva della respirazione. È comune che la mente degli utenti vaghi durante la meditazione. Pertanto, sono stati inclusi i punteggi di meditazione dell'utente al fine di fornire un feedback delicato all'utente quando la sua mente inizia a vagare. Questo punteggio di meditazione è stato associato al colore del cerchio di meditazione, posizionato dietro la silhouette. Inoltre, i sensori di respirazione vengono posizionati sul torace e sul diaframma dell'utente. I dati ricevuti dai sensori sono utilizzati per generare elementi audio-visivi in SOLAR. I sensori di respirazione sono mappati sul cerchio del respiro di fronte alla silhouette. Il cerchio del respiro diventa più grande e più piccolo quando l'utente inspira ed espira.



Christoph Rockstroh, Johannes Blum e Anja Göritz portano avanti uno studio che guida l'utente a respirare con il diaframma sfruttando sempre una tecnologia VR su mobile.

Un controller manuale VR integrato è utilizzato come sensore per rilevare i movimenti del diaframma indotti dalla respirazione. In uno studio longitudinale tra soggetti, abbiamo esplorato la fattibilità del gioco e testato l'efficacia di sei sessioni di allenamento.

I risultati mostrano che il breve training di respirazione basato sulla VR ha aumentato la consapevolezza del respiro percepito, migliorato la respirazione diaframmatica, aumentato il rilassamento, diminuito lo stress percepito, ridotto i sintomi del burnout e aumentato l'autoefficacia legata al rilassamento.

Gli autori spiegano come la respirazione diaframmatica lenta e regolare può innescare una risposta di rilassamento autonomo e aiuta a ritrovare l'equilibrio del sistema nervoso autonomo. Di conseguenza, la respirazione diaframmatica è utilizzata negli esercizi basati sull'evidenza per ridurre l'ansia e i suoi effetti negativi, nonché per migliorare l'umore e il rilassamento.

Realizzano così questo gioco in cui l'utente si immerge in un ambiente 3D formato da elementi poligonali rappresentanti dei paesaggi naturali.

Il gioco consiste in due tipi di paesaggi con tre livelli ciascuno. Il primo paesaggio raffigura una collina stilizzata con collinette, grandi alberi e diversi tipi di fiori ed erba in una combinazione di colori dal blu al verde con evidenziazioni. Il secondo paesaggio raffigura una baia rocciosa stilizzata con grandi scogliere, alberi ondeggianti e alghe in una calda combinazione di colori dal giallo all'arancione con riflessi verdi brillanti.

(a)



(b)



L'aspetto però più interessante di questo studio è il fatto che, invece di utilizzare sensori esterni per il rilevamento dei bio-dati, sfrutta unicamente la tecnologia VR.

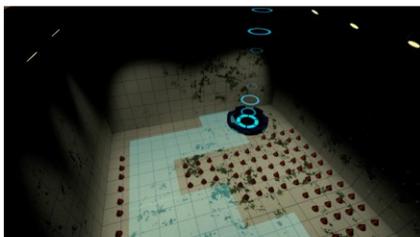
Abbiamo sviluppato un algoritmo che utilizza il controller della mano VR posto sull'addome dell'utente per rilevare i movimenti addominali indotti dalla respirazione in tempo reale senza la necessità di dispositivi o sistemi esterni. L'utente tiene un controller in mano e lo posiziona delicatamente sull'addome. Così, i movimenti indotti dalla respirazione dell'addome possono essere approssimati dai relativi cambiamenti del controller nel tempo. Un movimento in avanti del controller rispetto all'addome segnala l'espansione dell'addome (inspirazione). Un movimento all'indietro del controller rispetto all'addome segnala la contrazione dell'addome (espirazione).

I risultati della ricerca dimostrano la fattibilità dell'approccio e forniscono prove del miglioramento della respirazione diaframmatica e della consapevolezza del respiro. Inoltre, il breve training di sei sessioni di formazione ha influenzato positivamente il rilassamento, lo stress percepito e i sintomi del burnout e ha aumentato l'autoefficacia legata al rilassamento dei partecipanti. Il gioco sviluppato basato sulla VR biofeedback fornisce un metodo a basso costo, facile da usare e efficace per allenare la respirazione diaframmatica.

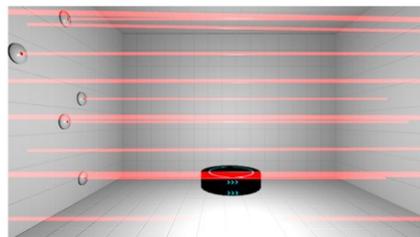
Si conclude lo studio di questa categoria con un'analisi fatta da Samory Houzangbe, Olivier Christmann, Geoffrey Gorisse e Simon Richir sull'utilizzo della gestione del battito cardiaco come meccanica di gioco per migliorarla.

Il gioco presenta 8 diversi esercizi, corrispettivi ai livelli di difficoltà del gioco, in cui l'utente deve sfruttare e controllare il proprio battito cardiaco per raggiungere gli obiettivi e superare il livello.

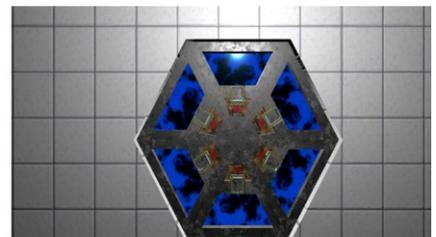
All'inizio di ogni stanza, l'istruzione specifica viene data al partecipante: "Per completare questa stanza: aumenta la tua frequenza cardiaca" o "Per completare questa stanza: abbassa la tua frequenza cardiaca". Durante ogni prova, al partecipante viene mostrata la sua attuale frequenza cardiaca sullo schermo e l'obiettivo che lui/lei deve raggiungere. Una volta che si trova nella zona di frequenza cardiaca designata, il meccanismo delle diverse stanze si attiva progressivamente. I partecipanti devono rimanere nella zona designata per un di tempo per attivare completamente i meccanismi e il teletrasporto. attivare completamente i meccanismi e il teletrasporto per completare la prova. Hanno un massimo di 1 minuto e 30 secondi per completare ogni stanza. Se non riescono a finire in tempo, vengono automaticamente teletrasportati nella stanza di transizione (ascensore); Questo viene fatto per far sì che i partecipanti sperimentino il gioco completamente. L'ordine delle stanze è randomizzato al lancio. Dopo 8 diverse stanze, i partecipanti vengono teletrasportati alla stanza di partenza e il gioco finisce.



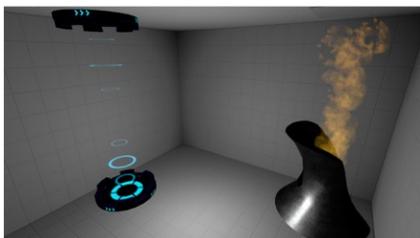
(a) Room A



(b) Room B



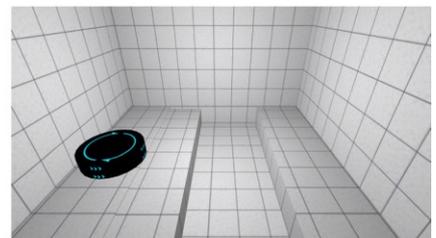
(c) Room C



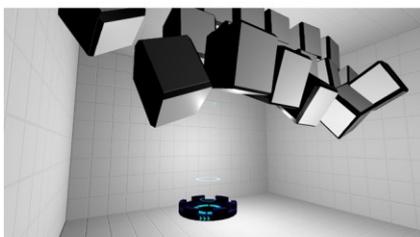
(d) Room D



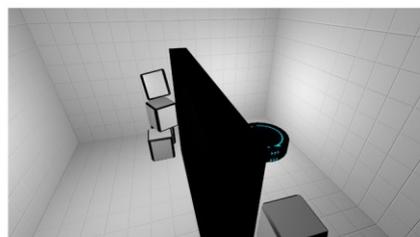
(e) Room E



(f) Room F



(g) Room G



(h) Room H



(i) Starting room

Gli autori dimostrato che l'uso del biofeedback, per quel che concerne l'uso volontario della frequenza cardiaca, è in grado di portare un alto livello di coinvolgimento, notando effetti significativi sul senso di autonomia nei partecipanti usando solo la frequenza cardiaca come meccanica di gioco.

Gli studi analizzati si avvicinano di più alla categoria successiva, utilizzando il biofeedback come meccanica di gioco per migliorare le prestazioni degli utenti. Molti altri studi sono stati fatti, e ancora vengono portati avanti, nel corso degli anni e i risultati sono sempre più esaustivi e positivi. Questi lasciano, a lavori futuri, basi più che valide da cui partire per arricchire questo campo e migliorare lo stile di vita delle persone.

Intrattenimento

Diverso è sfruttare delle tecnologie come quelle viste nei precedenti capitoli con obiettivi diversi da quelli per cui sono state inizialmente pensate, cioè applicarle a quelli che Dias, Barbosa e Vianna hanno definito giochi di intrattenimento, con il fine di migliorare l'esperienza dell'utente.

Nella sezione dedicata al training autogeno si è già parlato di biofeedback come meccanica di gioco e sono state viste alcune applicazioni in cui il respiro e il battito cardiaco venivano sfruttati al fine di spingere l'utente a raggiungere un obiettivo, come superare il livello, per migliorare le proprie prestazioni fisiche. Si analizzano di seguito una serie di studi in cui, nonostante si prenda in considerazione lo stato di salute dell'utente per non metterlo a rischio, l'obiettivo del biofeedback è unicamente associato alla fruizione del progetto.

Il primo studio analizzato è stato indotto da alcuni studenti dell'università di Tokyo che, nella loro ricerca, presentano un prototipo di visore con al suo interno dei sensori per rilevare la pulsazione del cuore e il respiro. Nella ricerca il visore viene testato su un videogame horror che basa il funzionamento sui dati rilevati dai sensori.

Un sensore di pulsazione ad onde e un sensore respiratorio sono stati integrati sul naso. La pulsazione dell'onda è stata misurata da un sensore ottico e la respirazione da una termopila. Gli esperimenti sono stati condotti per verificare che queste misurazioni fossero sufficientemente accurate per la stima della tensione e dell'eccitazione dell'utente.

Lo studio è stato presentato al SIGGRAPH Asia '19, facendo una dimostrazione su un gioco horror in cui la visuale dell'utente dipendeva dal suo battito cardiaco, rilevato mediante i sensori di pulsazione e l'affannamento del respiro.

Più il giocatore è spaventato, più può vedere nel gioco. In questo modo, il gioco dell'orrore può essere giocato da persone con tutte le soglie di paura. Può anche rendere il gioco più divertente per i giocatori alla ricerca della paura.



Un funzionamento simile l'ha introdotto già il gioco della casa canadese Red Meat Games, “*Bring to Light*”, il cui livello di paura varia in relazione alle frequenze cardiache dell'utente.

La rivista Esquire lo presenta in un articolo in cui riporta un'intervista al CEO di Red Meat Games, Keith Makse:

Nel videogame, il giocatore deve muoversi attraverso i tunnel infestati della metropolitana; in uno degli scenari più classici che si possano immaginare. Oltre a indossare i visori per la realtà virtuale, il giocatore – se vuole

– può procurarsi anche un cardiofrequenzimetro che terrà d’occhio il battito cardiaco tutto il tempo, inviando le informazioni a un’intelligenza artificiale in grado di modificare il gioco in tempo reale, sulla base delle informazioni ricevute.

“Quando il battito è lento, sappiamo che possiamo aumentare il fattore paura; per esempio, facendo sbattere improvvisamente le porte nel momento in cui il giocatore ci passa avanti o facendo strisciare qualcosa verso di lui”, ha spiegato Makse. “Tutto questo si riflette molto rapidamente sul battito cardiaco”.

L’avanzamento tecnologico e l’accessibilità a dispositivi di questo tipo, spiega Makse, faranno sì che giochi basati su un funzionamento simile siano sempre più diffusi in futuro.

Seiya Otsuka, Kanami Kurosaki e Mitsushiro Ogawa nel loro studio, volto a misurare il battito cardiaco con l’uso di sensori PPG, fanno riferimento al gioco horror “*Nevermind*” di Flying Mollusk.

Nevermind è un thriller psicologico potenziato dall’uso di sensori di biofeedback che vi porterà nel mondo oscuro e surreale nascosto nel subconscio di pazienti vittime di trauma psicologici.

Man mano che gli enigmi vengono risolti e si esplorano gli intricati labirinti della mente, la tecnologia di biofeedback monitorerà in ogni momento i sentimenti di paura, tensione o ansia del giocatore. Se lascerete che le paure abbiano la meglio su di voi, il gioco si complicherà. Se riuscirete a calmarvi di fronte al terrore, il gioco, allora, sarà più indulgente.

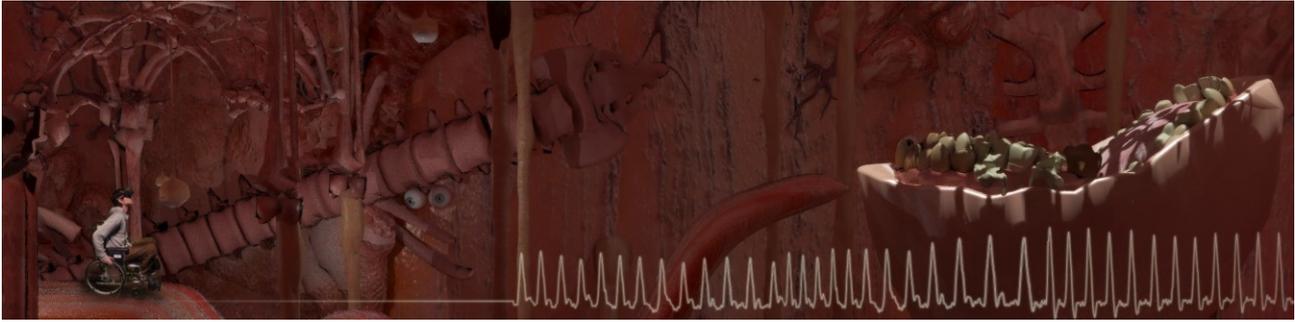
Nel loro articolo, gli autori cercano di far fronte ai limiti della tecnologia VR e della necessità di rilevare dati biologici senza ingombrare maggiormente la libertà dei giocatori. Creano dunque un prototipo che inserisce nel visore dei sensori basati su plentismografia, cioè la misurazione del battito cardiaco attraverso la luce.



Nonostante alcune problematiche riscontrate per quanto riguarda una lunga esposizione alla luce o a certi tipi di colore, che spingono l’utente a sbattere più sovente le palpebre generando rumore nel segnale, si conclude che in generale resta una buona alternativa per lo studio di biofeedback legato alla VR e per il miglioramento di esperienze in real-time.

Parlando sempre di prototipi testati in ambiente horror, di particolare interesse quello creato da alcuni studenti di design dell’Università di Kyushu che sfruttano un meccanismo vibro-tattile per controllare il battito cardiaco dell’utente aumentandone la frequenza per immergere maggiormente il giocatore.

Il sistema Emotion hacking virtual reality (EH-VR) è un sistema interattivo che hackerà il battito cardiaco di una persona e lo controlla per accelerare l’esperienza horror in VR. Il sistema determina la frequenza del falso battito cardiaco rilevando la frequenza cardiaca dell’utente in tempo reale e calcola la frequenza cardiaca falsa, che è più veloce di quella osservata secondo il modello di equazione quadrica.

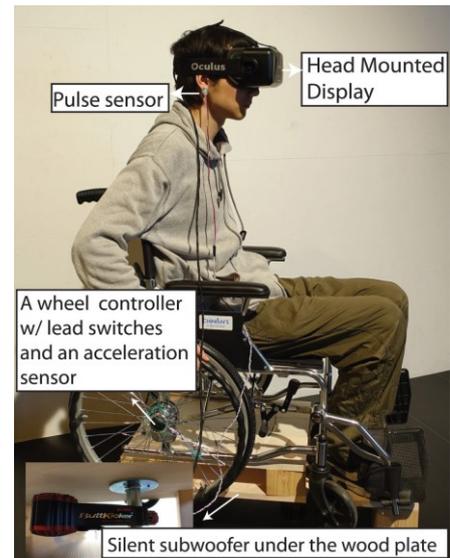


Un utente sperimenta lo spazio utilizzando una sedia a rotelle come controller per camminare attraverso un mondo VR visualizzato tramite HMD mentre riceve un feedback vibro-tattile di falso battito cardiaco, calcolato dalla propria frequenza cardiaca, dal pavimento.

Il prototipo è realizzato su una sedia a rotelle con alla base un subwoofer per generare la vibrazione e trasmettere il falso battito cardiaco all'utente. Il movimento della sedia viene sfruttato come controller grazie all'utilizzo di diversi sensori che rilevano l'accelerazione.

Poiché il corpo virtuale può essere una parte importante di un'esperienza generatrice di presenza [Usoh et al. 1999] così come l'avatar che è stato abbinato al genere e calibrato all'altezza dell'utente aumenta l'immersione [Lin et al. 2013], abbiamo volutamente usato una sedia a rotelle come interfaccia perché sedersi su una sedia a rotelle è in grado di annullare la differenza di altezza di ogni partecipante per unificare il livello di posizione degli occhi.

Questo meccanismo ha permesso un controllo maggiore e più veloce dei dati fornendo dunque risultati positivi nella ricerca.



Ciò nonostante, è inevitabile notare che, a differenza di quelli visti precedentemente, il prototipo risulta essere piuttosto ingombrante e limitato nell'utilizzo, ma resta inteso che sia una buona base di partenza per studi futuri o per esperienze immersive ideate all'interno di spazi definiti.

Dagli studi visti fino ad ora, risulta evidente che uno dei principali vantaggi della VR è l'alto livello di immedesimazione dell'utente nel proprio avatar di gioco. A tal proposito, Jakki Bailey e i suoi colleghi portano avanti un'analisi sull'impatto che l'aspetto dell'avatar ha sull'immedesimazione e quanto dettagliato questo dev'essere per permettere all'utente di agire in maniere più coerente con le dinamiche di gioco:

Ricerche precedenti hanno dimostrato che gli individui sono in grado di mappare il loro schema corporeo su rappresentazioni artificiali o rappresentazioni virtuali come un avatar. Questo è stato ulteriormente supportato in questo studio, poiché non ci sono state differenze significative nell'auto-presenza secondo la condizione. L'aspetto dell'avatar non è un prerequisito per creare un'embodiment illusione o il trasferimento del corpo (ad esempio, la sensazione di proprietà di un avatar con una coda funzionale), ma le corrispondenze sensorimotorie possono suscitare un forte senso di trasferimento corporeo.

La conclusione della ricerca dimostra che le capacità della realtà virtuale nell'aiutare le persone ad immergersi in un mondo diverso possono essere incrementate con l'utilizzo di sensori che stimolano il movimento, questo perché, nonostante l'immedesimazione, l'utente continua a sentire i movimenti del proprio corpo e a percepire la differenza tra l'ambiente virtuale e l'ambiente circostante reale.

Le corrispondenze sensorimotorie possono creare sentimenti di proprietà e di un avatar. Anche se i movimenti del braccio erano visivamente diversi a seconda della condizione (cioè, normale contro commutato), in

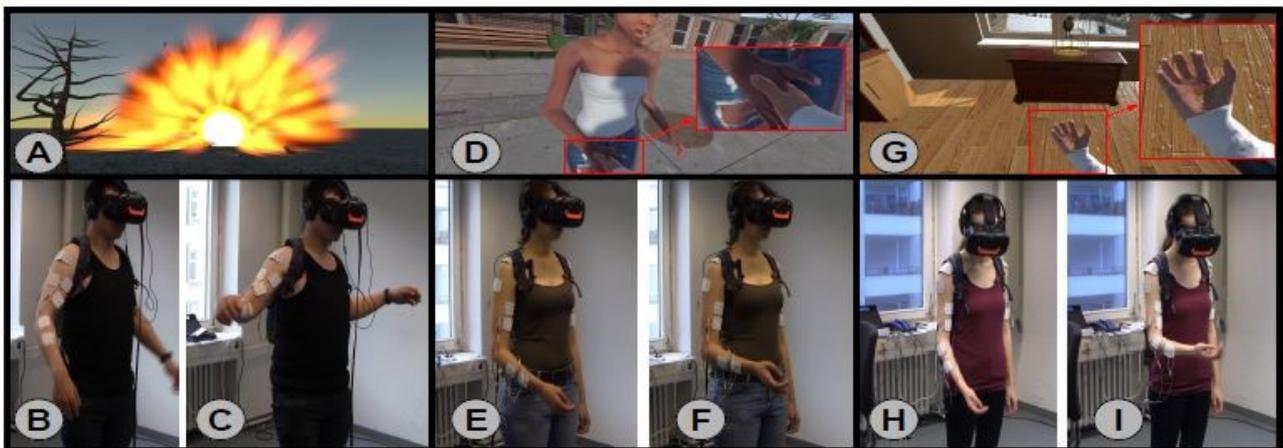
entrambi i casi gli avatar rispondevano sincronicamente ai movimenti dei partecipanti. I risultati supportano l'importanza di allineare il movimento degli utenti con i loro avatar, non solo l'aspetto degli avatar o il tipo di movimento che fanno.

Il feedback aptico è stato di particolare interesse per i giochi, ed è stato adottato già nel 1997 nelle console di gioco come Nintendo 64 e Sony Playstation [Bala 2016]. Gli odierni Head- Mounted Displays (HMD) commerciali, come HTC Vive e Oculus Rift, sono dotati di controller con motori di vibrazione per fornire un feedback tattile.

“*ElectroCutsscenes: Realistic Haptic Feedback in Cutsscenes of Virtual Reality Games Using Electric Muscle Stimulation*” è uno studio del 2019 che stimola i muscoli del giocatore per generare dei movimenti all'interno della scena virtuale in quelle che vengono chiamate *cutsscenes*, cioè scene introduttive all'interno di un gioco in cui l'utente è generalmente passivo.

L'intenzione dello studio è quella di aumentare l'immersione e il realismo nel gioco, spingendo l'utente a seguire i movimenti del proprio avatar all'interno delle scene. La reazione di alcuni soggetti ha permesso di osservare che lo stimolo tattile non è necessario al 100% in quanto il feedback visivo contribuisce a generare una reazione degli utenti.

Per esempio, nella figura G-I, azioniamo l'avambraccio del partecipante e allunghiamo le sue dita, ma non ruotiamo la sua mano verso l'alto. Tuttavia, i partecipanti al nostro studio hanno ruotato le loro mani verso l'alto in risposta alla vista della loro mano virtuale rivolta verso l'alto. Questo è stato osservato solo quando si utilizzava l'EMS, e non quando si percepiva solo il feedback visivo o feedback vibro-tattile basato sul controller palmare.



Gli autori concludono sostenendo che l'applicazione di questo tipo di tecnologia dovrebbe essere sfruttata maggiormente per un'immersione migliore nel gioco, inoltre esprimono il loro interesse ad applicarla in video a 360° e non solamente in giochi in cui l'utente si aspetta di avere interazione.

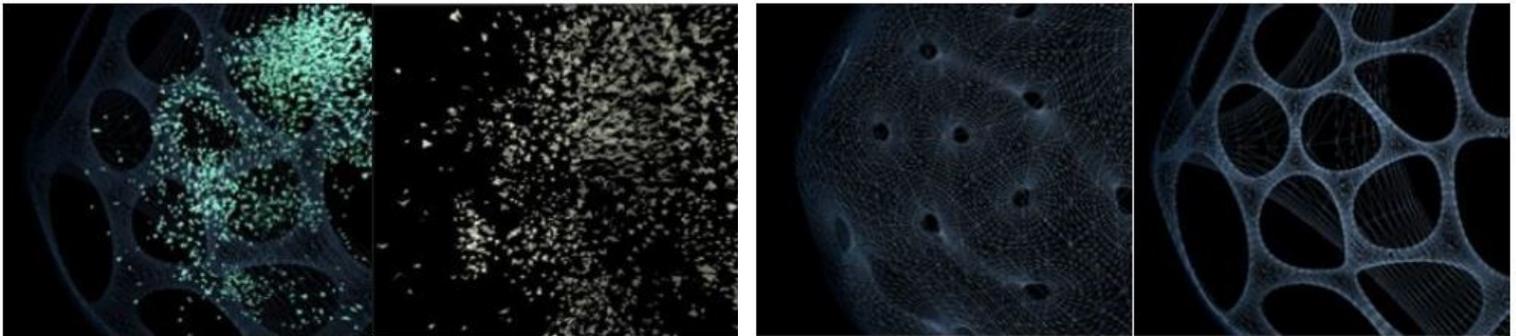
Uno studio del 2018, portato avanti da Gregor Geršak, Huimin Lu e Jože Guna, analizza e testa una serie di bio-dati per capire quale di questi possa maggiormente rilevare e aiutare a prevenire o correggere la *motion-sickness* in un'esperienza virtuale.

Sono stati misurati l'attività elettrodermica dei partecipanti, la frequenza cardiaca, la temperatura della pelle e la frequenza respiratoria. I risultati dello studio indicano differenze tra gli HMD sia nel punteggio SSQ (The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale) che nei cambiamenti della fisiologia. La conduttanza cutanea è risultata essere significativamente correlata alla VR sickness. L'HMD mobile non ha indotto livelli significativamente più alti di VR sickness. Il Disorientation SSQ si è dimostrato uno strumento utile per valutare gli effetti del VR sickness.

Nonostante lo studio si concentri sul test dei visori e su quale dato sia maggiormente legato alla sickness, i risultati ottenuti sono di particolare rilievo per il settore dell'intrattenimento VR. Abbiamo già sottolineato come la motion sickness sia una delle problematiche principale della realtà virtuale e della sua fruizione per gli utenti, questo studio dimostra che è possibile diminuire l'effetto e migliorare le esperienze se si approfondisce la ricerca sulla conduttanza cutanea, come visto negli esempi che sfruttano i sensori vibro-tattili per aiutare l'immedesimazione nell'avatar.

Gli ultimi casi studio proposti sono esperienze immersive che basano il loro funzionamento sul battito cardiaco e il respiro, questi sono essenziali per permettere all'utente di fruire dell'esperienza in sé e per sé.

BioFlockVR è un progetto di arte immersiva che esplora forme visive di trascinamento attraverso fenomeni amorfi ispirati alla natura che si evolve e reagisce ad uno spazio immersivo VR strettamente accoppiato e controllato attraverso i dati fisiologici di due persone immerse. Strati multipli di immagini in tempo reale, ispirati ai fenomeni della natura, sono generati nello spazio 3D dell'esperienza VR e sono controllati attraverso due l'EEG, la frequenza cardiaca e i gesti di due partecipanti in tempo reale.



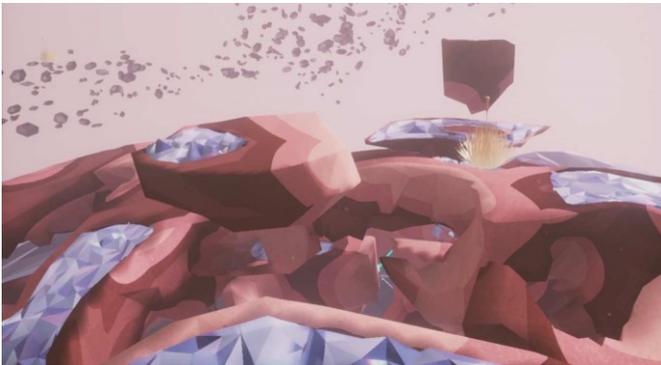
Per questo lavoro, i dati fisiologici delle persone immerse sono ottenuti attraverso due dispositivi, l'Empatica E4 e il Muse 2016. L'Empatica E4 è un braccialetto di biosensing indossabile di grado medico in grado di leggere le pulsazioni del volume di sangue (BVP), la risposta galvanica della pelle (GSR o EDA), la temperatura periferica della pelle e i dati di accelerazione su 3 assi. Il Muse 2016 è un archetto EEG a 4 canali. Ha 7 sensori - 2 sensori sulla fronte (AF7 e AF8), 3 sensori di riferimento e 2 dietro le orecchie (TP9 e TP10) - che rilevano l'attività delle onde cerebrali delle seguenti bande: delta, theta, alfa, beta e gamma. Entrambi i device sono stati collegati a Unity 3D per gestire l'ambiente virtuale.



STRATA è la prima esperienza VR reattiva al mondo guidata dalla biometria, creata da The Mill. Questa si sintonizza sulla tua frequenza cardiaca, la respirazione, i livelli di stress e le onde cerebrali per remixare un mondo generativo con un motore di gioco intorno a te. Lo scopo di questa esperienza immersiva è di aiutare l'utente a connettersi al proprio stato emotivo, insegnandogli a calmare e focalizzare la mente.

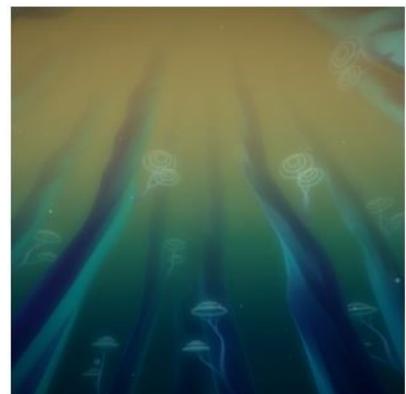
Una serie di sensori biometrici viene collocata sugli spettatori dotati di Head Mounted Displays (HMD). Questi sensori misurano EEG (onde cerebrali), GSR (livelli di stress), frequenza cardiaca e respirazione (tramite una banda conduttiva creata da The Mill). Questi dati alimentano un'applicazione in esecuzione sul HMD che genera immagini e audio.

L'utente, quindi, "sintonizza" la sua biometria (aiutato attraverso spunti di biofeedback che sono sia visivi che sonori) per navigare su e giù all'interno degli ambienti, cambiandone il colore, la forma e la posizione. Ogni mondo di *STRATA* ha la sua composizione unica, scritta per suscitare uno stato di calma mentre si riversa sull'utente. Tutto l'audio è reattivo e cambia in base alla biometria dell'utente.



Deep VR è un gioco meditativo che basa il suo funzionamento sul respiro dell'utente, il suo sviluppo, ancora in corso, è iniziato nel 2016 come una ricerca per aiutare le persone a combattere l'ansia.

Deep permette ai giocatori di navigare attraverso un mondo sottomarino sereno e poetico. Il movimento è controllato da una respirazione lenta e profonda che calma e allevia l'ansia del giocatore. Utilizza un paesaggio sottomarino auto-esplorativo e visivamente stupefacente e una meccanica di biofeedback. Il respiro è usato per muoverti attraverso il mondo di DEEP. Inspirando ci si solleva verso l'alto e con l'espirazione si torna a galleggiare verso il fondo dell'oceano. Il movimento in avanti segue lo sguardo ed è accentuato quando si espira. Quando l'utente respira il mondo lo segue e scorre con lui. Le creature, le piante e i modelli rispecchiano il suo ritmo, rafforzando il suo legame con il suo corpo e il suo essere. Il rilevamento dei dati avviene tramite una fascia respiratoria, il controller del visore e il movimento delle mani.



CAPITOLO 5

Requisiti di progetto

Introduzione

In questo capitolo si presenta quello che è il progetto analizzato per la proposta di tesi, come viene sviluppato e quali sono i suoi obiettivi.

Lo stress risulta ormai tra le reazioni più comuni nell'uomo e causa di tante conseguenze. Questo, infatti, può essere causato da diversi aspetti e generarne altrettanti, in alcuni casi più gravi di ciò che si aspetta. Per questo motivo, i mezzi per rilevare il livello di ansia e stress in una persona sono diversi, a partire dall'accelerazione del battito cardiaco, al respiro o sudorazione, fino ad arrivare all'analisi delle onde cerebrali.

Dopo le analisi effettuate e precedentemente illustrate, si è deciso di portare avanti uno studio applicativo per la gestione e modifica in tempo reale di un'esperienza virtuale basata sul livello di ansia/stress rilevato mediante un ECG realizzato con Arduino.

Una volta realizzato il prototipo di rilevamento del battito cardiaco, lo si collegherà ad un'applicazione il cui obiettivo sarà quello di presentare alcuni scenari diversi in relazione al livello di stress che generano nell'utente. Questi scenari saranno video a 360°, non interattivi, che l'utente potrà fruire da seduto con un visore VR.

Ogni scenario offrirà all'utente un'ambientazione diversa, alcuni di questi saranno scelti con l'intenzione di aumentare il livello di stress proprio per testare il funzionamento del prototipo e della connessione Arduino-Unity, come meglio spiegato nella sezione successiva.

Una volta realizzata la connessione tra le tecnologie si effettueranno dei test con una campione di utenti per analizzarne il funzionamento e le eventuali problematiche. Il progetto realizzato per questa analisi vuole essere una base per eventuali progetti futuri che si allarghino anche ad esperienze interattive e maggiormente immersive.

I risultati, analizzati nell'ultimo capitolo, permetteranno di mettere in risalto quelle che sono le eventuali problematiche che un progetto DIY di questa portata può generare e di suggerire alcune soluzioni da applicare in futuro.

Obiettivi

Il progetto preso in analisi ha come principale intenzione quella di dimostrare la gestione in tempo reale di un'applicazione virtuale (più precisamente degli stimoli dati dall'ambiente virtuale) basata sui livelli di stress rilevati mediante il battito cardiaco. Più precisamente, si potrebbe suddividere quest'intenzione in tre obiettivi:

- Un primo obiettivo è quello di creare un dispositivo DIY per il rilevamento del battito cardiaco, servendosi di tecnologia Arduino e compatibili, e dimostrare la validità del segnale rilevato con questo. Ovviamente quest'obiettivo presenterà delle problematiche, come ad esempio un range di errore e rumore nel segnale, a cui si intende ovviare mantenendo un controllo dell'ampiezza a confronto con il risultato dello stesso tipo di rilevamento mediante attrezzatura medica non invasiva: un saturimetro.

- Un secondo obiettivo è di usare questo segnale per capire il livello di stress che l'ambiente virtuale genera nell'utente e modificarlo di conseguenza. Per fare questo s'intende sottoporre l'utente ad una serie di situazioni diverse, alternando stress e relax. Si può affermare che una scena di paura o pericolo in confronto ad un ambiente meditativo o immerso nella natura genera livelli di stress decisamente diversi, da cui l'idea di utilizzare video a 360° che permettono all'utente di immergersi nell'ambiente ed avere uno stimolo da ciò che lo circonda senza necessariamente dover interagire con questo.
Si può dunque dire che l'intenzione, per raggiungere l'obiettivo, è di definire dei limiti per i valori rilevati dall'ECG entro i quali l'utente viene considerato più o meno sotto stress e cambiare la scena in base a questi. Il tutto naturalmente considerando un tempo minimo di esposizione alla scena, in modo da permettere all'utente di capire ciò che succede e al segnale di assestarsi.
- L'ultimo obiettivo è di capire e mostrare quelle che possono essere le possibilità e i problemi dati dal collegamento tra Arduino e Unity in una gestione di questo tipo. Arduino è stato spesso usato per creare joystick o altro tipo di dispositivo che permette l'interazione all'interno di videogame ed esperienze su Unity. Nell'analisi sullo stato dell'arte, invece, si sono esposti alcuni studi in cui sono stati utilizzati sensori legati ad Arduino ma i cui dati non venivano direttamente usati nell'esperienza, per questo motivo è interessante adottare un tipo di approccio risultante meno diffuso anche se non innovativo.

Resta inteso che in una visione più generale, il lavoro di tesi proposto e portato avanti vuole essere di stimolo per eventuali ricerche ed approfondimenti futuri, specialmente in un ambiente interattivo che fornisca all'utente un maggior numero di stimoli e lo guidi in un percorso di gestione di ansia e stress.

Caratteristiche

Il progetto richiede di assumere diverse misure di sicurezza, in particolar modo per quel che riguarda il prototipo ECG in quanto a diretto contatto con l'utente.

Si chiama elettrocardiogramma o ECG l'esame che, attraverso uno strumento detto elettrocardiografo, registra l'attività elettrica del cuore, trasformandola da energia elettrica a meccanica riportandola graficamente su carta millimetrata o monitor. Il tracciato così ottenuto consente di capire se il cuore funziona in maniera corretta, oppure se sono presenti anomalie.

Esistono diversi tipi di elettrocardiogramma che permettono di verificare l'attività del cuore in situazioni e modalità differenti:

- **elettrocardiogramma a riposo:** è il più semplice e fotografa l'attività cardiaca al momento dell'analisi;
- **Holter Cardiaco 24-48-72 ore o elettrocardiogramma Dinamico:** permette di analizzare l'attività del cuore nel corso di una giornata o più, questo ci consente di avere informazioni molto più approfondite e dettagliate.
- **elettrocardiogramma sotto sforzo:** è utilizzato per capire come lavora il cuore durante un'attività molto intensa. Di solito è utilizzato per valutare l'idoneità all'attività fisica di un certo livello.

Innanzitutto, va specificato che il device realizzato non è assolutamente da intendersi come sostituto di attrezzatura medica professionale per alcun motivo, sia esso di diagnosi, interpretazione o terapia.

È infatti per questo motivo che il segnale rilevato viene costantemente paragonato a quello di un device più attendibile per non mettere a rischio il soggetto sottoposto al test.

Dal momento che l'attrezzatura medica professionale dev'essere conforme alla normativa IEC 6060, si fa di seguito una breve introduzione a ciò che tale normativa specifica e a come il device realizzato si pone a riguardo. La norma ha lo scopo di specificare prescrizioni di carattere generale e di servire da base per le Norme particolari (riferite cioè a una determinata categorie di apparecchiature).

EN 60601, relativo al mercato europeo, è una famiglia di standard nel cui ambito di applicazione rientrano la sicurezza, le prestazioni essenziali e la compatibilità elettromagnetica di apparecchi e di sistemi elettromedicali. È tecnicamente equivalente allo standard internazionale IEC 60601 e comprende più di 70 standard diversi.

IEC 60601 è un documento molto ampio che approfondisce una serie di domande e requisiti per l'ideazione e realizzazione di device medici a livello internazionale, in particolare:

- quanta corrente posso far passare attraverso il paziente?
- quale isolamento elettrico è necessario?
- cosa succede se un "componente" si guasta?
- quante interferenze elettromagnetiche posso produrre?
- può resistere a un defibrillatore?

Nel funzionamento "normale" il limite di corrente è di 100uA a.c. e 10uA d.c. e in condizione di guasto singolo è di 500uA c.a. e 50uA c.c. Queste risultano essere caratteristiche essenziali per la "Parte applicata", la parte dell'apparecchiatura elettromedicale che, durante il normale utilizzo, entra necessariamente a contatto fisico con il paziente affinché l'apparecchiatura o sistema elettromedicale possa svolgere la sua funzione.

Analizzando le caratteristiche del cip AD8232 risulta che l'impedenza d'ingresso dei pin del chip è di 10Gohm; quindi, nel funzionamento "normale" la corrente è sotto 1nA. Gli elettrodi sono collegati al chip attraverso resistenze da 180k. Il chip funziona a 3,3V quindi se il chip va in errore, la corrente massima è $3,3/180k = 18\mu A$. Pertanto, il cip ed il suo circuito sono sicuri finché alimentati a batteria, ma facendo attenzione se il modulo viene collegato ad un PC fisso direttamente attaccato alla corrente domestica (tipo di collegamento tendenzialmente sconsigliato per questo tipo di device).

Una "parte applicata" deve essere isolata due volte a 4000VAC. Un alimentatore standard per PC quasi certamente non è conforme ai requisiti elettrici IEC 60601-1 da diversi punti di vista, per esempio la corrente di dispersione e la rigidità dielettrica, ma va specificato che la normativa fa riferimento a device da utilizzare in ambiente ospedaliero più che domestico.

L'isolamento elettrico dipende anche dalle distanze di dispersione sul PCB e dalle distanze di sicurezza dell'aria. Il modulo AD8232 utilizza resistenze 0603 sul suo ingresso che non hanno una dispersione sufficiente.

Per quel che riguarda i guasti, IEC 60601 dice che il dispositivo deve rimanere sicuro in una "condizione di singolo guasto". Un dispositivo medico deve funzionare in modo sicuro non solo in condizioni normali, ma anche in condizioni anormali e di singolo guasto. Lo standard non richiede che il dispositivo medico rimanga sicuro con due o più guasti indipendenti. Un "guasto" è tipicamente il guasto di un componente, in questo caso, considerando un componente elettrico come un resistore o un circuito interno, il modulo si classifica sicuro.

Le interferenze elettromagnetiche è una delle principali problematiche nel design di attrezzatura medica. Gli ospedali sono pieni di strumenti elettronici da cui dipende la vita delle persone; quindi, i requisiti EMC per le apparecchiature mediche sono molto più severi che per l'elettronica domestica.

Nel caso del prototipo realizzato probabilmente il principale emettitore di interferenze è Arduino, ma si parla comunque di interferenze di bassa portata.

L'ultima domanda che si affronta è un requisito fondamentale della normativa per poter classificare il device realizzato come attrezzatura medica. Qualunque apparecchiatura realizzata con questa intenzione deve infatti essere resistente all'utilizzo di un defibrillatore.

Gli standard di un defibrillatore variano a seconda dei costruttori, ma possiamo dedurre che in media un condensatore caricato a 300V contenente 300 joule, una potenza che, nel nostro caso, lo distruggerebbe probabilmente del tutto il prototipo.

Un ECG medico corretto può sopravvivere a un defibrillatore e continuare a funzionare. Normalmente, sono presenti dei diodi di protezione sulle connessioni agli elettrodi ma il modulo AD8232 non li ha.

Riassumendo, dunque, si possono apportare modifiche al prototipo al fine di renderlo conforme alle normative ed utilizzarlo come device medico attendibile ma questo richiede un lavoro molto approfondito e lungo non necessario per il fine della tesi. Resta altrettanto inteso che il device realizzato, seppur non conforme nella sua interezza alla normativa, non è di alcun pericolo a chi ne fa uso e che tutte le misure di sicurezza necessarie sono adottate durante la ricerca.

Un'altra caratteristica del progetto su cui porre l'attenzione riguarda la scelta delle scene a cui esporre l'utente per generare un livello di stress al fine di testare il funzionamento del collegamento e trarre delle conclusioni.

Come già anticipato, si manterrà il controllo sui tempi di esposizione alle scene, onde evitare di sottoporre l'utente a lunghi periodi di stress, e di alternare scene più o meno stressanti tra loro. Le scene saranno in totale 6: uno scenario neutro, due scene rilassanti e tre scene stressanti con livelli di influenza a crescere.

Il primo scenario stressante è un ambiente 3D abbandonato, una centrale sovietica decadente in cui la camera fa un leggero movimento in avanti lungo un corridoio. A questo è stato associato un audio con voci indistinte e rumori in sottofondo che intrigassero e incuriosissero l'utente, trasmettendogli anche una leggera inquietudine. Nonostante l'abbandono e la decadenza del posto infatti possano trasmettere inquietudine, il fatto che sia ambientato di giorno e che i rumori di sottofondo non siano particolarmente spaventosi, si mantiene un livello di stress ancora basso.

Il secondo scenario di questo genere vuole trasmettere invece un sentore di pericolo e paura, si tratta del tunnel di una metropolitana in cui ci si aspetterebbe di veder passare un treno che non arriva mai. L'ambiente buio, il movimento di camera e l'essere su una curva dei binari spiazzano infatti l'utente che non sa cosa aspettarsi. Sulla sinistra dell'ambiente è inoltre presente una porta chiusa che è stata sfruttata a livello di suono per far credere all'utente che dietro vi sia qualcuno o che stia accadendo qualcosa.

L'ultimo scenario stressante, più realistico rispetto ai precedenti in quanto è un video con attori reali, è una vera e propria scena horror in cui l'utente è fermo al centro di uno scantinato in cui avvengono una serie di omicidi e jump-scare tra luci che si accendono e si spengono e pagliacci assassini che si mostrano molto velocemente. Fondamentale in questo caso l'audio spazializzato che spinge l'utente a voltarsi verso le scene di maggiore rilievo.



vr360-view-of-abandoned-soviet-base-2021-08-31-00-06-22-utc



vr-360-old-subway-metro-tunnel-2021-08-31-03-19-47-utc



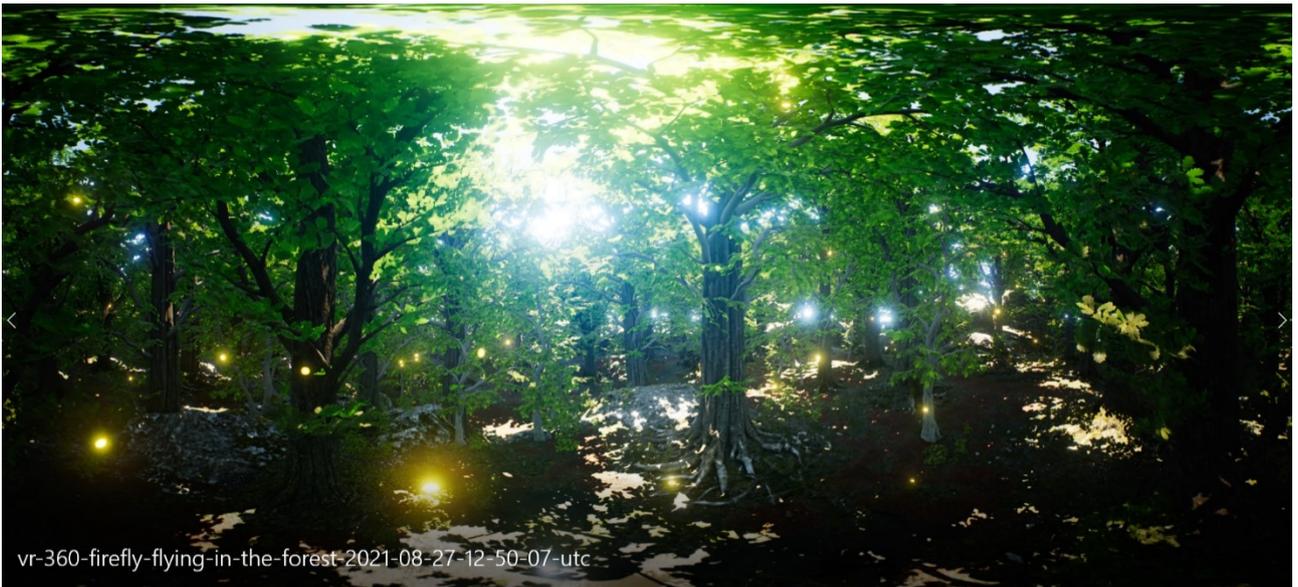


I due scenari rilassanti sono invece ambienti naturali 3D: il primo presenta una leggera carrellata in avanti sorvolando il mare al tramonto circondati da palme, il secondo è invece un movimento di camera verso il basso all'interno di una foresta con lucciole che volano intorno al punto di camera.

Ad entrambe le scene sono state delle musiche rilassanti, nel primo caso si sente il rumore del mare e di gabbiano in sottofondo, nel secondo caso si sfrutta una musica che simula un ambiente incantato e magico.

L'ambiente finale, quello neutro, è stato realizzato con modelli 3D realizzati su Blender 2.8 e rappresenta il salone di una casa con dei divani di fronte ad un televisore in cui si manda all'utente il messaggio di fine esperienza e lo si invita a rimuovere il visore. In quest'ultima scena non c'è audio in quanto serve solamente a guidare l'utente ma non sfrutta più il collegamento Arduino.





CAPITOLO 6

Tecnologie

Si presentano di seguito le tecnologie sfruttate per la realizzazione e fruizione del progetto preso in analisi, come queste abbiano contribuito e il motivo per cui si sono scelte.

Il capitolo è suddiviso in *Software*, *Hardware* e *Tecnologie aggiuntive*. Quest'ultima sezione, a differenza delle altre due, include della strumentazione sfruttata per controllo e sicurezza piuttosto che per la progettazione.

Software

Arduino IDE

L'Arduino Integrated Development Environment (IDE) è un'applicazione multiplatforma (per Windows, macOS, Linux) che è scritta in funzioni di C e C++. È usato per scrivere e caricare programmi su schede compatibili con Arduino, ma anche, con l'aiuto di core di terze parti, su schede di sviluppo di altri fornitori.



Il codice sorgente dell'IDE è rilasciato sotto la GNU General Public License e fornisce una libreria software dal progetto Wiring, che fornisce molte procedure comuni di input e output. Il codice scritto dall'utente richiede solo due funzioni di base, per avviare lo sketch e il ciclo del programma principale, che sono compilate e collegate con uno stub di programma `main()` in un programma esecutivo ciclico eseguibile con la GNU toolchain, anch'essa inclusa nella distribuzione dell'IDE.

Per permettere la stesura del codice sorgente, l'IDE include un editore di testo dotato inoltre di alcune particolarità, come il syntax highlighting, il controllo delle parentesi e l'indentazione automatica. L'editor è inoltre in grado di compilare e caricare sulla scheda Arduino il programma eseguibile in una sola passata e con un solo click. In genere non vi è bisogno di creare dei Makefile o far girare programmi dalla riga di comando.

L'IDE di Arduino impiega il programma *avrdude* per convertire il codice eseguibile in un file di testo in codifica esadecimale che viene caricato nella scheda Arduino da un programma loader nel firmware della scheda. Per impostazione predefinita, *avrdude* viene utilizzato come strumento di caricamento per flashare il codice utente sulle schede Arduino ufficiali.

Con la crescente popolarità di Arduino come piattaforma software, altri fornitori hanno iniziato a implementare compilatori e strumenti open source personalizzati (core) che possono costruire e caricare sketch su altri microcontrollori che non sono supportati dalla linea ufficiale di microcontrollori di Arduino.

Unity

Unity è un motore grafico multiplatforma sviluppato da Unity Technologies, annunciato e rilasciato nel giugno 2005 alla Worldwide Developers Conference di Apple Inc., che consente lo sviluppo di videogiochi e altri contenuti interattivi, quali visualizzazioni architettoniche o animazioni 3D in tempo reale.



L'ambiente di sviluppo Unity gira su diversi sistemi operativi (Linux, Mac e Windows) e i giochi e le applicazioni che produce possono essere riprodotti su diversi dispositivi, quali console di gioco (Xbox, PlayStation, Wii, Nintendo Switch...) e mobile (iPhone, Android, Windows mobile...). Può inoltre produrre giochi per browser web che utilizzano il plugin Unity web player, supportate su Mac e Windows.

Ad oggi, Unity è particolarmente popolare per lo sviluppo di video-giochi, come Pokémon Go, Monument Valley, Call of Duty: Mobile, Beat Saber e Cuphead, ma è stato adottato anche da industrie al di fuori di questo campo, come il cinema, l'automotive, l'architettura, l'ingegneria, l'edilizia e le forze armate degli Stati Uniti.

Il motore offre un'API primaria di scripting in C#, sia per l'editor di Unity sotto forma di plugin, sia per i giochi stessi, così come la funzionalità drag and drop. Nei giochi 2D, Unity permette l'importazione di sprites e un avanzato renderizzatore di mondi 2D. Per i giochi 3D, Unity permette di specificare la compressione delle texture, le mipmap e le impostazioni di risoluzione per ogni piattaforma che il motore di gioco supporta, e fornisce supporto per il bump mapping, reflection mapping, parallax mapping, screen space ambient occlusion (SSAO), ombre dinamiche usando le shadow map, render-to-texture ed effetti di post-processing a tutto schermo.

Unity permette inoltre a creatori di sviluppare e vendere risorse generate dagli utenti ad altri creatori di giochi attraverso l'Unity Asset Store. Questo include risorse 3D e 2D e ambienti che gli sviluppatori possono acquistare e vendere.

Visual studio

Microsoft Visual Studio è un ambiente di sviluppo integrato (IDE) di Microsoft. È usato per sviluppare programmi per computer, così come siti web, applicazioni web, servizi web e applicazioni mobile.



Visual studio include un editor di codice che supporta IntelliSense (il componente di completamento del codice) e il refactoring del codice e può produrre sia codice nativo che codice gestito, permettendo di modificare, eseguire il debug, compilare il codice e quindi pubblicare un'applicazione. Accetta plug-in che espandono la funzionalità a quasi tutti i livelli, compresa l'aggiunta di supporto per i sistemi di controllo sorgente (come Subversion e Git) e l'aggiunta di nuovi set di strumenti come editor e visual designer per linguaggi specifici del dominio o strumenti per altri aspetti del ciclo di vita dello sviluppo del software. Visual Studio supporta 36 diversi linguaggi di programmazione e permette all'editor di codice e al debugger di supportare (a vari livelli) quasi tutti i linguaggi di programmazione, purché esista un servizio specifico per la lingua.

L'IDE fornisce tre servizi: SVsSolution, che fornisce la possibilità di enumerare progetti e soluzioni; SVsUIShell, che fornisce funzionalità di windowing e UI (comprese schede, barre degli strumenti e finestre degli strumenti); e SVsShell, che si occupa della registrazione dei VSPackages. Inoltre, l'IDE è anche responsabile del coordinamento e dell'abilitazione della comunicazione tra i servizi.

Le estensioni, che Visual Studio permette di creare, si presentano sotto forma di macro, add-in e pacchetti. Le macro rappresentano compiti e azioni ripetibili che gli sviluppatori possono registrare programmaticamente per salvare, riprodurre e distribuire. Le macro, tuttavia, non possono implementare nuovi comandi o creare finestre di strumenti. Gli Add-In forniscono l'accesso al modello di oggetti di Visual Studio e possono interagire con gli strumenti dell'IDE. Gli Add-In possono essere usati per implementare nuove funzionalità e possono aggiungere nuove finestre di strumenti. Questi sono collegati all'IDE tramite COM e possono essere creati in qualsiasi linguaggio

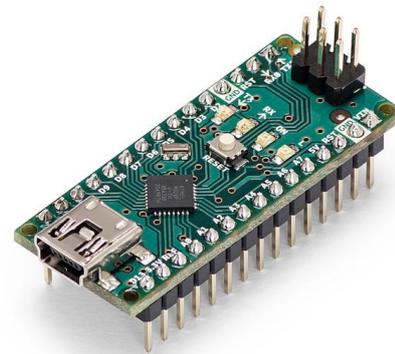
compatibile con COM. I pacchetti sono creati utilizzando l'SDK di Visual Studio e forniscono il massimo livello di estensibilità. Possono creare designer e altri strumenti, così come integrare altri linguaggi di programmazione. L'SDK di Visual Studio fornisce API non gestite e un'API gestita per eseguire questi compiti.

Hardware

Arduino Nano

Arduino è una piattaforma hardware composta da una serie di schede elettroniche dotate di un microcontrollore. È stata ideata e sviluppata nel 2005 da alcuni membri dell'Interaction Design Institute di Ivrea come strumento per la prototipazione rapida e per scopi hobbistici, didattici e professionali.

Con Arduino si possono realizzare in maniera relativamente rapida e semplice piccoli dispositivi come controllori di luci, di velocità per motori, sensori di luce, automatismi per il controllo della temperatura e dell'umidità e molti altri progetti che utilizzano sensori, attuatori e comunicazione con altri dispositivi.



Arduino comprende una piattaforma hardware per il *physical computing* sviluppata presso l'Interaction Design Institute, che si basa su un circuito stampato che integra un microcontrollore con dei pin connessi alle porte I/O, un regolatore di tensione e, quando necessario, un'interfaccia USB che permette la comunicazione con il computer utilizzato per programmare.

L'intera famiglia Arduino, con l'eccezione dell'Arduino Due, è basata su un microcontrollore a 8-bit Atmel AVR e contiene tutti i componenti elettronici necessari incluso un oscillatore a cristallo che imposta la frequenza di funzionamento e lo fa arrivare fino a 16 Mhz. Inoltre, è presente un regolatore di tensione che permette di alimentarli direttamente dalla porta USB o da una sorgente esterna.

La scheda mette a disposizione due file di connettori che permettono di connettere componenti esterni, montati su una breadboard, attraverso dei fili. La distribuzione dei pin headers ha reso possibile lo sviluppo di *shield*, schede di dimensioni analoghe a quella base, dotate di hardware specifico (controllori di motori, tastiere, display, ecc.).

L'Arduino Nano è una scheda piccola, completa e breadboard-friendly basata sull'ATmega328 (Arduino Nano 3.x). Manca solo un jack di alimentazione DC, e funziona con un cavo USB Mini-B invece di uno standard.

Arduino Nano, come le sue sorelle Arduino Micro e Arduino Mini, ha una frequenza di 16 Mhz ed è equipaggiata con 32 KB di memoria flash. Dispone di 14 ingressi/uscite digitali (di cui 6 possono essere utilizzati come uscite PWM) e 8 ingressi analogici.

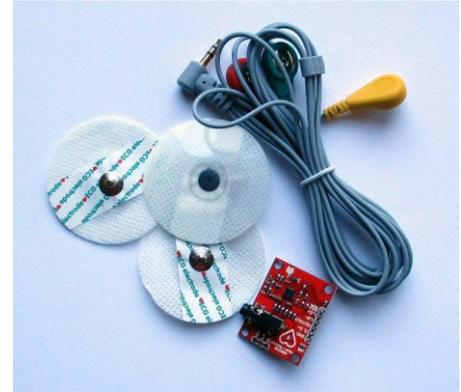
Questo tipo di scheda risulta molto utile in progetti dove un requisito fondamentale è lo spazio.

La scheda è una sottofamiglia con 4 differenti modelli e specifiche: Arduino Nano 33 BLE, Arduino Nano 33 BLE SENSE, Arduino Nano 33 IoT, Arduino Nano Every.

Modulo AD8232

Il modulo AD8232 è un sensore elettrocardiografo a 3.3V che viene sfruttato per il monitoraggio del battito cardiaco in ambiente Arduino o simile. Questo tipo di chip si presenta di solito con 3 elettrodi per il rilevamento del segnale.

Il chip AD8232 contiene un amplificatore strumentale di alta qualità e a basso rumore e un condizionamento del segnale per rimuovere il rumore. È destinato principalmente alla registrazione dell'ECG e toglie molto del lavoro duro alla progettazione di un sistema.



Presenta tre ingressi, collegabili mediante pad a saldare che tramite jack da 3.5mm, per sensori di battiti e nello specifico per: braccio destro, sinistro e gamba sinistra. È inoltre presente un led che segnala la presenza del battito cardiaco pulsando al suo stesso ritmo. Incredibilmente veloce e facile da usare è perfettamente compatibile con Arduino e qualsiasi altra architettura e MCU.

AD8232 adotta un filtro passa-alto a doppio polo per eliminare gli artefatti da movimento e il potenziale del mezzo-elettrodo dell'elettrodo; e adotta un amplificatore operazionale che non utilizza vincoli per costruire un filtro passa basso a tre poli, eliminando rumori extra.

Intervallo di temperatura nominale: 0 – 70 gradi

Intervallo di temperatura di lavoro: -40 – 85 gradi

Monitor TFT SPI

Si tratta di un display luminoso e antiriflesso con grande diagonale dell'immagine e lettore di schede SD integrato. Vi sono diversi modelli sul mercato, anche di diverse grandezze, e alcuni di questi dispongono di tecnologia touchscreen.

Questi display tendono ad avere elevata compatibilità hardware con Arduino, Raspberry Pi & Co. e altri microcontrollori grazie all'interfaccia dati SPI standard e alle librerie disponibili per il controller di immagini ST7735. Il controller è alimentato da 5 V e la retroilluminazione da 3,3 V.



Per questo progetto è stata fatta una prima prova con un display da 1,8 pollici per successivamente sfruttare un display più grande da 2.8" per agevolare la visione nel prototipo.

Oculus Quest 2

Oculus è una divisione di Meta Platforms (precedentemente nota come Facebook Inc.) che produce cuffie per la realtà virtuale, comprese le linee Oculus Rift e Oculus Quest.

Nel luglio 2012, Palmer Luckey, Brendan Iribe, Michael Antonov e Nate Mitchell hanno fondato Oculus VR a Irvine, California. Nell'aprile 2012, Luckey ha annunciato il Rift, una cuffia per la realtà virtuale progettata per i videogiochi, e ha lanciato una campagna Kickstarter in agosto per rendere le cuffie per la realtà virtuale disponibili agli sviluppatori. La campagna ha avuto successo e ha raccolto 2,4 milioni di dollari, dieci volte l'obiettivo originale di 250.000 dollari.

Nel marzo 2014, Facebook, Inc. ha acquisito Oculus per 2,3 miliardi di dollari in contanti e azioni. Sotto la proprietà di Facebook, i prodotti Oculus sono stati sempre più integrati con le piattaforme di social networking di Facebook. A partire da ottobre 2020, tutti i nuovi utenti, e tutti gli utenti di hardware VR prodotti da Facebook rilasciati da allora (a partire da Oculus Quest 2) devono accedere con un account Facebook per poter utilizzare le loro cuffie.



Il 26 settembre 2018, Facebook ha presentato Oculus Quest. Si tratta di un auricolare autonomo che non dipende da un PC per il funzionamento; il Quest contiene un hardware mobile incorporato che esegue un sistema operativo basato sul codice sorgente Android, tra cui un system-on-chip Snapdragon 835, e 64 o 128 GB di memoria interna. Contiene due display OLED con una risoluzione di 1600x1440 per occhio e funzionanti a 72 Hz. Supporta i controller Oculus Touch inclusi tramite un sistema di tracciamento del movimento "inside-out" noto come "Oculus insight", che consiste in una serie di telecamere incorporate nell'auricolare. I controller sono stati riprogettati per funzionare correttamente con Insight.

Nel novembre 2019, Facebook ha rilasciato una beta per una nuova funzione nota come Oculus Link, che consente lo streaming di software compatibile con Oculus Rift da un PC a un auricolare Quest tramite USB. Nel settembre 2020, Facebook ha presentato una versione aggiornata del Quest, Oculus Quest 2. È simile al Quest originale, ma con il system-on-chip Snapdragon XR2 e RAM aggiuntiva, un esterno interamente in plastica, nuove cinghie per la testa in tessuto, controller Oculus Touch aggiornati con migliore ergonomia e durata della batteria, e un display 1832x1920 che funziona a 90 Hz, e fino a 120 Hz come opzione sperimentale. Similmente al Rift S, utilizza un singolo pannello di visualizzazione piuttosto che pannelli individuali per ogni occhio. A causa di questo design, ha opzioni di distanza interpupillare più limitate rispetto al Quest originale, con la possibilità di spostare fisicamente le lenti per regolare per 3 misure IPD comuni.

L'utilizzo di Oculus Link permette di utilizzare Oculus Quest 2 simulando il funzionamento del Rift S, ma per poterne usufruire in questo modo è necessario disporre di un PC VR-ready che dispone dei seguenti requisiti:

Component	Recommended Specs	Minimum Specs
Processor	Intel i5-4590 / AMD Ryzen 5 1500X or greater	Intel i3-6100 / AMD Ryzen 3 1200, FX4350 or greater
Graphics Card	NVIDIA GTX 1060 / AMD Radeon RX 480 or greater	NVIDIA GTX 1050 Ti / AMD Radeon RX 470 or greater
Alternative Graphics Card	NVIDIA GTX 970 / AMD Radeon R9 290 or greater	NVIDIA GTX 960 4GB / AMD Radeon R9 290 or greater
Memory	8GB+ RAM	8GB+ RAM
Operating System	Windows 10	Windows 10
USB Ports	1x USB 3.0 ports	1x USB 3.0 port
Video Output	Compatible DisplayPort video output	Compatible miniDisplayPort video output (miniDisplayPort to DisplayPort adapter included with Rift S)

Tecnologie aggiuntive

Le tecnologie di seguito elencate sono state sfruttate per una fase di controllo e non di implementazione o costruzione del prototipo. Queste, infatti, sono servite ad assicurarsi che il segnale ricevuto dal prototipo Arduino per il rilevamento del battito cardiaco fosse veritiero o entro un margine di errore accettabile.

Saturimetro

Il pulsiossimetro (o pulsossimetro), chiamato anche ossimetro o saturimetro, è un'apparecchiatura medica che permette di misurare in maniera non invasiva la saturazione dell'emoglobina nel sangue, basata sulla tecnologia sviluppata da Takuo Aoyagi nel 1974 per l'azienda giapponese Nihon Kohden..

Questo strumento permette di visualizzare la saturazione, la frequenza cardiaca e l'intensità della pulsazione. Alcuni modelli permettono anche di vedere il tracciato dell'andamento della pulsazione (curva pletismografica), registrare un periodo di misurazione e avere porte di comunicazione USB o infrarossi. In genere è formato da una sonda che effettua la misurazione e da un'unità che calcola e visualizza il risultato della misurazione. Alcuni modelli più recenti presentano sonda unità di calcolo in un'unica struttura, diminuendo gli ingombri.



La sonda è collegata con l'unità di calcolo che visualizza la misura tramite un monitor, di solito a cristalli liquidi. Questa è composta da due diodi e una fotocellula. La luce emessa dai diodi nel campo del rosso e dell'infrarosso attraversa la cute e la circolazione del paziente e viene ricevuta dalla fotocellula. L'emoglobina legata assorbe la luce in determinate lunghezze d'onda; conoscendo la quantità di luce iniziale e quella finale, l'apparecchiatura è in grado di calcolare la saturazione dell'ossigeno nel paziente, indicata con l'abbreviazione SpO₂.

In genere la sonda si applica in una zona pervasa da una circolazione superficiale, come il dito di una mano o il lobo di un orecchio, questo perché una circolazione posta troppo in "profondità" non può essere raggiunta e attraversata dai fasci di luce e quindi la misurazione non può essere effettuata.

L'utilizzo in condizioni non ottimali può portare a errori di lettura che possono falsare i risultati visualizzati. In particolare:

- lo smalto per unghie nero, blu o verde scherma le lunghezze d'onda generate dalla sonda, rendendo imprecisa la misurazione;
- la vasocostrizione dei distretti periferici, come per esempio quella delle dita, porta a una diminuzione del flusso sanguigno rilevabile dalla sonda, che quindi elabora dati falsati;
- il pulsiossimetro permette di conoscere solo la percentuale di saturazione dell'emoglobina, mentre non rivela informazioni su quale gas sia legato: questo può portare a un'errata interpretazione dei dati.
- ipotensione: la lettura diventa via via meno affidabile quando si scende sotto i 55-60 mmHg di sistolica;
- temperatura corporea: sotto i 35 °C si verifica una riduzione dei valori letti dell'apparecchio;
- movimenti della persona: possono creare mancate letture dell'onda pulsatile che non riesce a verificarne la forma;
- coloranti: il blu di metilene nel sangue può falsare i risultati dando una sottostima dei valori.

CAPITOLO 7

Sviluppo e ricerca

Nel presente capitolo si illustrano le varie fasi di sviluppo del progetto, a partire dalla creazione del prototipo ECG fino ad arrivare alla fase di test con un gruppo campione di 20 persone.

Il capitolo sarà diviso per fasi:

- Fase 1: *Prototipo ECG*, in questa sezione si esporrà le modalità di utilizzo e connessione delle componenti Arduino al fine di ottenere il lettore ECG funzionante;
- Fase 2: *Prototipo VR*, in cui si preparerà l'applicazione VR su Unity settandone il funzionamento con il visore e preparandola per la connessione con il prototipo ECG;
- Fase 3: *Connessione Arduino-Unity*, in questa fase si collegano i due prototipi assicurando la giusta connessione e funzionamento;
- Fase 4: *Test*, ultima fase del progetto, prevede il coinvolgimento di un gruppo di tester per analizzare l'andamento ed il funzionamento del risultato complessivo;

L'ultima fase in particolare ha intenzione di introdurre le basi su cui si fonderanno le conclusioni tratte, ricapitolate nell'ultimo capitolo del documento.

Fase 1: Prototipo ECG

Questa prima fase consiste nel collegamento tra i componenti Arduino, precedentemente presentati, al fine di ottenere una lettura del segnale cardiaco ottimale.

Il primo collegamento effettuato è quello tra il modulo AD8232 e il chip Arduino Nano, come si può vedere dalle immagini sottostanti.

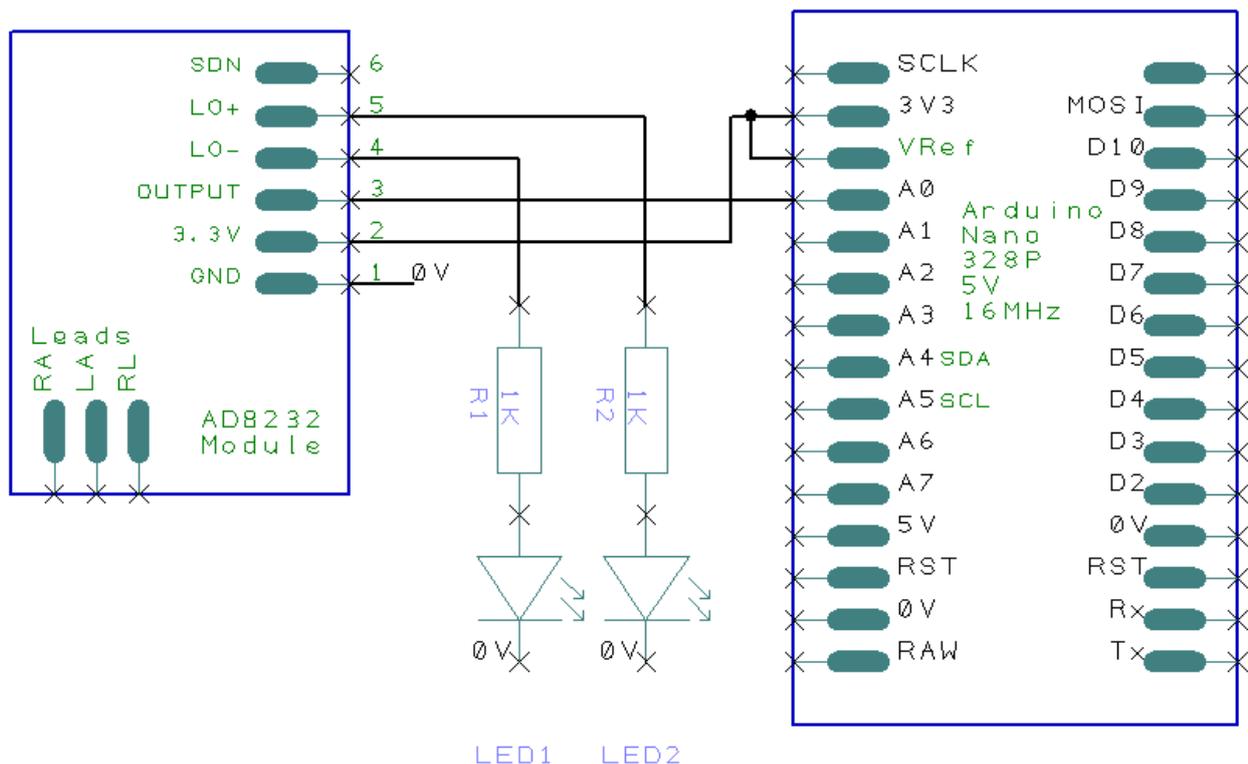


Fig. 1 - Diagramma collegamento modulo AD8232 - Arduino Nano

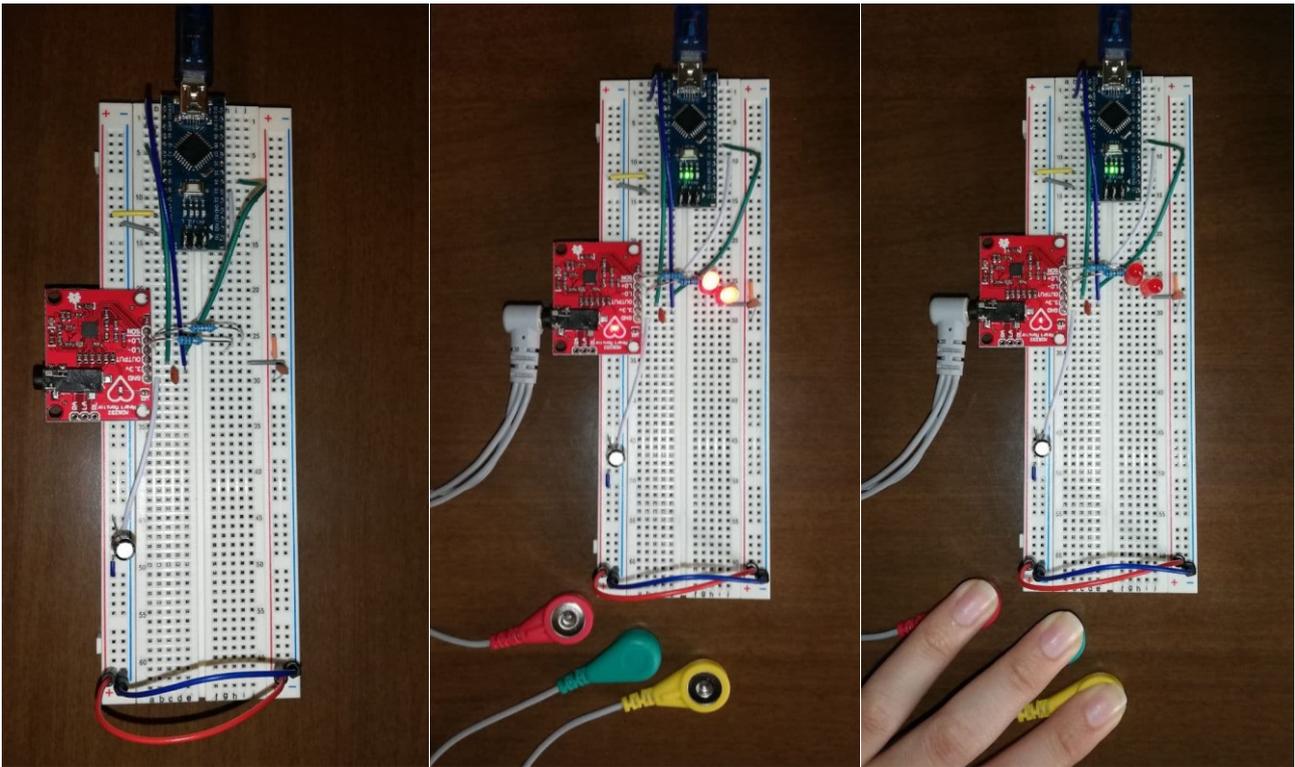


Fig. 2 - Collegamenti su breadboard e LED test

Si può notare che il collegamento è molto semplice, il modulo prende l'energia necessaria per funzionare da Arduino e a questo deve mandare i dati di output per poterli visualizzare a schermo. L'AD8232, inoltre, include il "rilevamento dei cavi scollegati". Se uno dei conduttori è scollegato, i pin LO+ o LO- del modulo aumentano di tensione. Per il test iniziale, sono stati collegati i pin LO+ e LO- a due LED tramite resistenze da 1k sul ground (Fig.2). I LED si accendono quando uno o più cavi sono scollegati, restano spenti altrimenti. Per il circuito finale, i LED sono stati rimossi, mantenendo il collegamento dei pin LO+ e LO- ad Arduino, in quanto avrebbero impedito ai pin di mandare un output sufficientemente alto per la lettura.

Prima di procedere a montare il display TFT SPI, si testa la lettura dei dati direttamente a schermo tramite il plotter seriale di Arduino. Per poter caricare il programma su Arduino, dopo averlo collegato al PC, è necessario, oltre al tipo di scheda e processore, specificare la porta di accesso, che nel caso di Arduino Nano potrebbe richiedere l'installazione di alcuni driver per il rilevamento della porta.

Il programma di test è molto semplice, indica ad Arduino quali dati prendere in esame, e attraverso quali pin li riceve (ai pin digitali D10 e D11 sono stati collegati LO+ e LO- e al pin analogico A1 l'OUTPUT per tracciare il grafico), per tradurli graficamente con un baud pari a 9600 (Fig.3). Per testare tale programma, e il collegamento tra il modulo AD8232 e Nano, è necessario applicare gli elettrodi nella corretta posizione. Come già anticipato, il modulo comprende 3 elettrodi che si collegano tramite un cavo jack 3.5mm. Questi si differenziano per colore e con una o due lettere che indicano la posizione: L o LA per *left arm* (braccio sinistro), R o RA per *right arm* (braccio destro), R o RL per *right leg* (gamba destra, alcuni kit includono l'elettrodo LL invece che RL).

I colori degli elettrodi possono cambiare da kit a kit, generalmente ci sono degli standard diversi per il mercato americano e quello europeo o internazionale, in quello utilizzato per il progetto L è giallo, RA è rosso e RL verde.

L'elettrodo RL in realtà non ha bisogno di essere sulla tua gamba. È un elettrodo di riferimento che riduce le interferenze di modo comune, pertanto, a seconda del modello di riferimento che si intende

```

ecg
void setup() {
  pinMode(10, INPUT);
  pinMode(11, INPUT);
}

void loop() {
  Serial.begin(9600);
  if ((digitalRead(10)==1) || (digitalRead(11)==1)) {
    Serial.println("ecg");
  }
  else{
    Serial.println(analogRead(A1));
  }
  delay(100);
  Serial.end();
  delay(100);
}

```

Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) su COM6

Fig. 3 - Programma di test per modulo AD8232

adottare, è sufficiente che sia posizionato lontano dal cuore sul lato destro del corpo come ad esempio il basso addome.

È possibile trovare online diverse reference sul corretto posizionamento dei diodi a seconda del tipo di modulo che si utilizza. Parliamo in questo caso di un modulo che, come già specificato, funziona con tre elettrodi di base e che pertanto ha due modelli di posizionamento ideali: il primo concentrato su petto e addome, il secondo, meno invasivo, su braccia e gambe (Fig. 4).

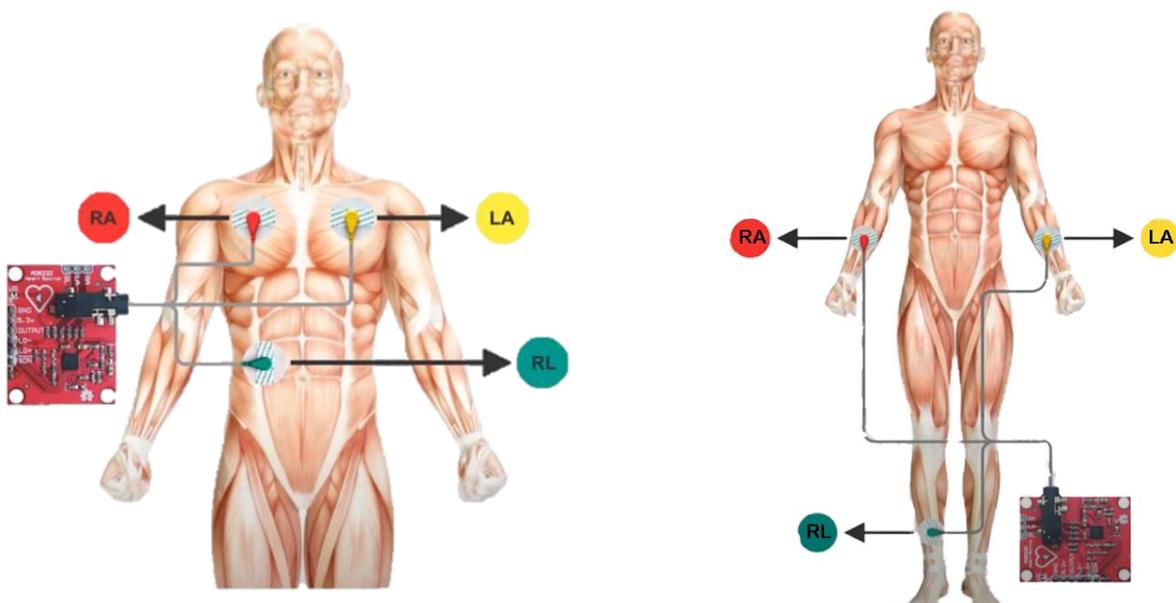


Fig. 4 - modelli di posizionamento elettrodi

Sarà possibile notare che per la *Fase 4* è stato scelto il modello meno invasivo in quanto più facile da gestire e posizionare con i tester.

Il progetto porta avanti quello che abbiamo precedentemente definito ECG a riposo, questo tipo di elettrocardiogramma è il più semplice e diffuso per valutare esami più approfonditi ed invasivi. La forma di ECG a riposo più diffusa è quella a 10 elettrodi, che rileva 12 derivazioni, ossia ci fornisce 12 punti di vista diversi, mediante 4 elettrodi di base (LA, RA, LL, RL) e 6 elettrodi chiamati da V1 a V6 che sono in linea davanti e in basso a sinistra del cuore, esattamente come se si fotografasse lo stesso soggetto nello stesso momento da diverse angolazioni. Ciò nonostante, vi sono utilizzi e applicazioni, come quella di questo progetto, che non necessitano di un livello di dettaglio così alto e per i quali si possono sfruttare modelli a 3, 4 o 6 elettrodi.

Prima di procedere ad esporre l'installazione del display e il funzionamento del programma Arduino è necessario aprire una breve parentesi sul cuore e, più nello specifico, sull'attività elettrica che il prototipo intende rilevare.

Possiamo dividere il cuore in quattro cavità: atrio destro e sinistro, ventricolo destro e sinistro (Fig. 5). Il sangue, dopo avere ossigenato gli organi, arriva all'atrio destro e passa al ventricolo destro che lo pompa ai polmoni, dove si ricarica di ossigeno. Dai polmoni il sangue torna al cuore attraverso l'atrio sinistro e, passando al ventricolo sinistro, viene ripompato in circolo.

Il nodo senoatriale (nodo SA) agisce come un oscillatore che genera un impulso ogni secondo circa. Elettronicamente, è un oscillatore di rilassamento (o oscillatore di Van der Pol).

L'impulso viaggia lentamente fino ai muscoli degli atri e al nodo atrioventricolare (nodo AV). I muscoli degli atri si contraggono e poi si rilassano. Quando si contraggono, pompano il sangue nei ventricoli. Quando si rilassano, gli atri prendono il sangue attraverso le vene dal corpo o dai polmoni.

Il nodo AV ritarda l'impulso (di 120-200mS) poi lo invia ai muscoli dei ventricoli. Elettronicamente, è anch'esso un oscillatore di rilassamento ma il suo periodo è molto più lungo dell'oscillatore SA. Viene innescato "prematuramente" dall'oscillatore SA in modo che diventino legati. Se l'oscillatore SA fallisce, l'oscillatore AV può oscillare da solo come sistema di riserva. L'intero processo dura circa 500 mS.

Gli ioni di sodio, potassio e calcio sono pompato attraverso le membrane delle cellule dei muscoli cardiaci. Quando un muscolo cardiaco è rilassato, la differenza di concentrazione degli ioni causa una differenza di potenziale di 90 mV attraverso la membrana cellulare. All'interno della cellula è più negativo. Gli impulsi elettrici vengono generati dalla differenza di potenziale elettrico tra interno (carica positiva) ed esterno (carica negativa) delle cellule.

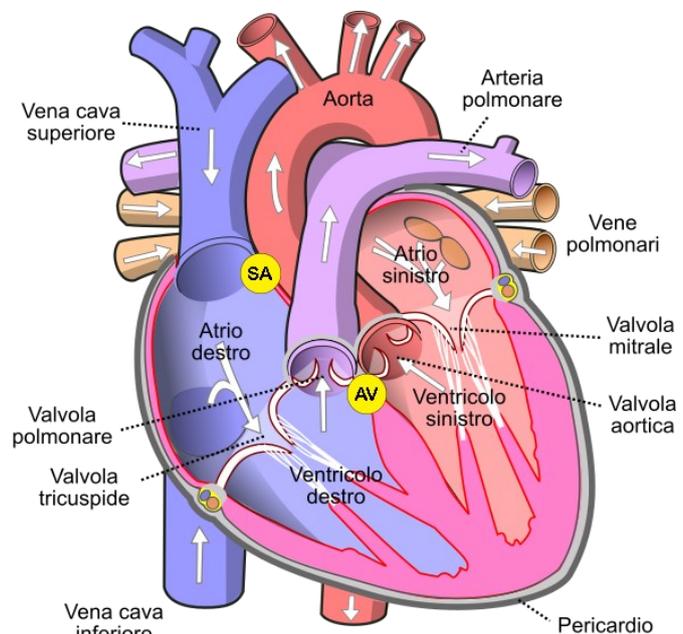


Fig. 5 - Diagramma del cuore umano

Quando si verifica un potenziale d'azione si innesca una contrazione muscolare, i canali del sodio si aprono, gli ioni Na^+ si precipitano nella cellula per diffusione e la tensione va a zero. Questo si chiama "depolarizzazione". Dopo un ritardo di 100 mS, i canali del potassio si aprono, gli ioni K^+ si precipitano fuori dalla cellula e ristabiliscono il potenziale di riposo di 90 mV. Questo si chiama "ripolarizzazione". Le pompe ioniche poi ripristinano le concentrazioni di ioni.

Quando un potenziale d'azione si verifica in una cellula, la cellula vicina viene attivata. Così il potenziale d'azione si diffonde attraverso il muscolo e anche attraverso le fibre di Purkinje, che penetrano nel miocardio ventricolare attraversando i muscoli papillari e la parete laterale dei ventricoli. È un processo lento; non c'è una conduzione nervosa veloce.

- La conduzione delle cellule muscolari è di 0,3-0,4 m/s.
- La conduzione delle fibre di Purkinje è di 2-3 m/s.
- La conduzione normale dei neuroni è di 70-120 m/s.

Le fibre di Purkinje possono oscillare da sole a 20-40 bpm e quindi agire come un sistema di backup se gli oscillatori SA e AV falliscono.

Un ECG registra i potenziali d'azione dei diversi muscoli. I potenziali d'azione dei muscoli sono trasmessi attraverso la parete toracica e la pelle per semplice conduzione elettrica in maniera piuttosto veloce. Quando raggiunge la pelle, il segnale è circa 1mV.

La carica elettrica, dunque, sommativa delle piccole cariche prodotte da ogni singola cellula cardiaca, viene rilevata dagli elettrodi posti sulla pelle. Poiché diversi potenziali d'azione si verificano in diverse regioni del cuore, riposizionando gli elettrodi ECG è possibile registrare attività in diversi muscoli.

In ambito medico è importante inoltre differenziare tra "derivazioni" e "assi". Come già detto, l'ECG mostra la differenza tra due elettrodi agendo, dunque, come amplificatore differenziale. Queste differenze, così come le coppie di elettrodi, sono chiamate derivazioni: LA-RA è chiamata "derivazione I", LL-RA è chiamata "derivazione II" e LL-LA è chiamata "derivazione III".

Le diverse "derivazioni" sono indirizzate verso il centro del cuore da diverse direzioni in 3D (Fig. 6). Le direzioni sono chiamate "assi". Se una parte del cuore funziona male, l'asse del cuore potrebbe avere una "deviazione". Generalizzando, se le "derivazioni" I, II e III sono più o meno uguali, è normale; se sono diverse, è una "deviazione".

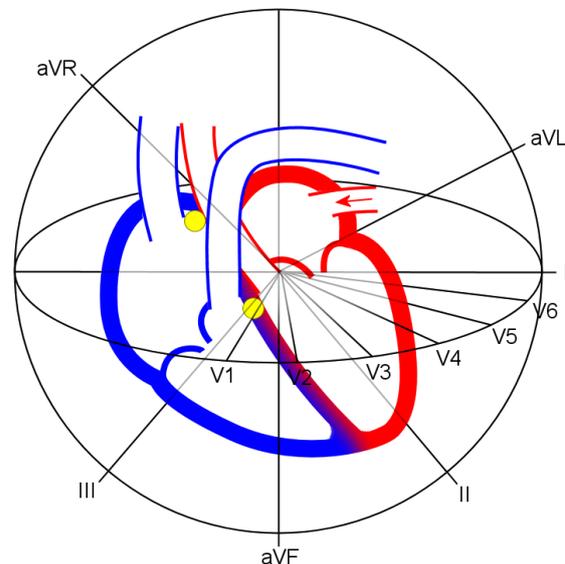


Fig. 6 - Assi e derivazioni del cuore in un ECG a 12 derivazioni

Una volta posizionati correttamente i sensori si dovrebbe ottenere un output seriale che spicca in un range +300/-200 con una media pari a 500, tali dati si possono vedere nel monitor seriale di Arduino e vengono altresì tradotti nel plotter (Fig. 7). Quando la derivazione aumenta (+300) si parla di iperpolarizzazione, che sul grafico corrisponde a un'onda con picco positivo, ossia verso l'alto. Al contrario se la differenza di potenziale diminuisce (-200), siamo di fronte a una depolarizzazione e l'onda sul grafico sarà verso il basso.



Fig. 7 - Forma d'onda su plotter seriale Arduino

In termini generali, vediamo cosa rappresenta un ECG e come siamo in grado di percepirlo. L'ECG è separato in due intervalli fondamentali, l'intervallo PR e l'intervallo QT (Fig. 8), descritti di seguito.

L'intervallo PR è l'onda iniziale generata da un impulso elettrico che viaggia dall'atrio destro al sinistro. L'atrio destro è la prima camera a vedere un impulso elettrico. Questo impulso elettrico fa sì che le camere si "depolarizzino". Questo lo costringe a contrarsi e a drenare il sangue deossigenato dalla vena cava superiore e inferiore nel ventricolo destro. Quando l'impulso elettrico viaggia attraverso la parte superiore del cuore, innesca la contrazione dell'atrio sinistro. L'atrio sinistro è responsabile della ricezione del sangue appena ossigenato dai polmoni nel ventricolo sinistro attraverso le vene polmonari destra e sinistra.

L'intervallo QT è dove le cose si fanno davvero interessanti. Il QRS è un processo complesso che genera il "bip" caratteristico dei monitor cardiaci. Durante il QRS entrambi i ventricoli iniziano a pompare. Il ventricolo destro inizia a pompare il sangue deossigenato nei polmoni attraverso le arterie polmonari destra e sinistra. Il ventricolo sinistro comincia anche a pompare sangue appena ossigenato attraverso l'aorta e nel resto del corpo. Dopo la contrazione iniziale arriva il segmento ST. Il segmento ST è abbastanza tranquillo elettricamente perché è il momento in cui i ventricoli aspettano di essere "ripolarizzati". Infine, l'onda T diventa presente per "ripolarizzare" attivamente, o rilassare i ventricoli. Questa fase di rilassamento resetta i ventricoli per essere riempiti di nuovo dagli atri.

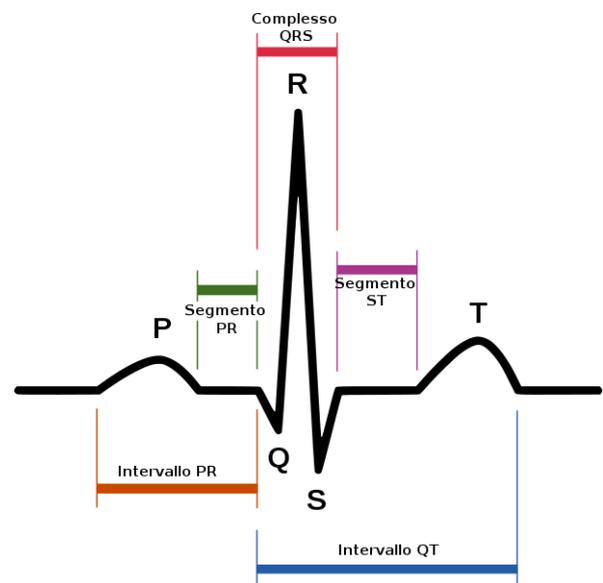


Fig. 8 - Rappresentazione di un ECG

Gli ECG sono notoriamente rumorosi, questo perché si sta misurando l'attivazione muscolare. Più le piastre del sensore sono lontane dal cuore, più rumore muscolare si vedrà. Questi sono comunemente chiamati "artefatti da movimento". È possibile evitare questi artefatti o quantomeno ridurli, come segue:

- Tenendo le piastre del sensore il più vicino possibile al cuore.
- Assicurandosi che le piastre del sensore RA e LA siano sui lati corretti del cuore.
- Riducendo al minimo i movimenti durante la misurazione.
- Utilizzando elettrodi nuovi per ogni misurazione. Gli elettrodi perdono la capacità di passare i segnali con più applicazioni.
- Preparare e pulire l'area in cui si prevede di attaccare le piastre. Questo aiuterà a fare una buona connessione (i capelli non sono un buon conduttore).
- Potrebbe essere necessario regolare il posizionamento del sensore per individui diversi.

Per quel che concerne Arduino, inoltre, l'interferenza tra i cavi e il collegamento al PC può generare del rumore nel segnale. Si vedrà successivamente che può risultare d'aiuto, in quest'ultimo caso, applicare un filtro al segnale per ripulirlo.

Arduino può mostrare un segnale molto rumoroso a seconda di quanto ci si muove o si flette il muscolo, oltre che ad un errato posizionamento degli elettrodi. In alcuni casi, si può notare che l'intervallo QT pulsa anche se il valore centrale è rumoroso o che vi sono dei picchi di forma graduale, tendenzialmente verso la fine della forma d'onda (Fig.9-10). Questi non sono sicuramente dei grafici ideali e in quasi tutti i casi si risolvono riposizionando i pad. Nel secondo caso descritto, il picco graduale è dovuto al sensore che raccoglie i movimenti di un utente che respira profondamente, come quando un utente si muove molto o flette un muscolo. Se questo accade, bisogna assicurarsi di non forzare la respirazione.

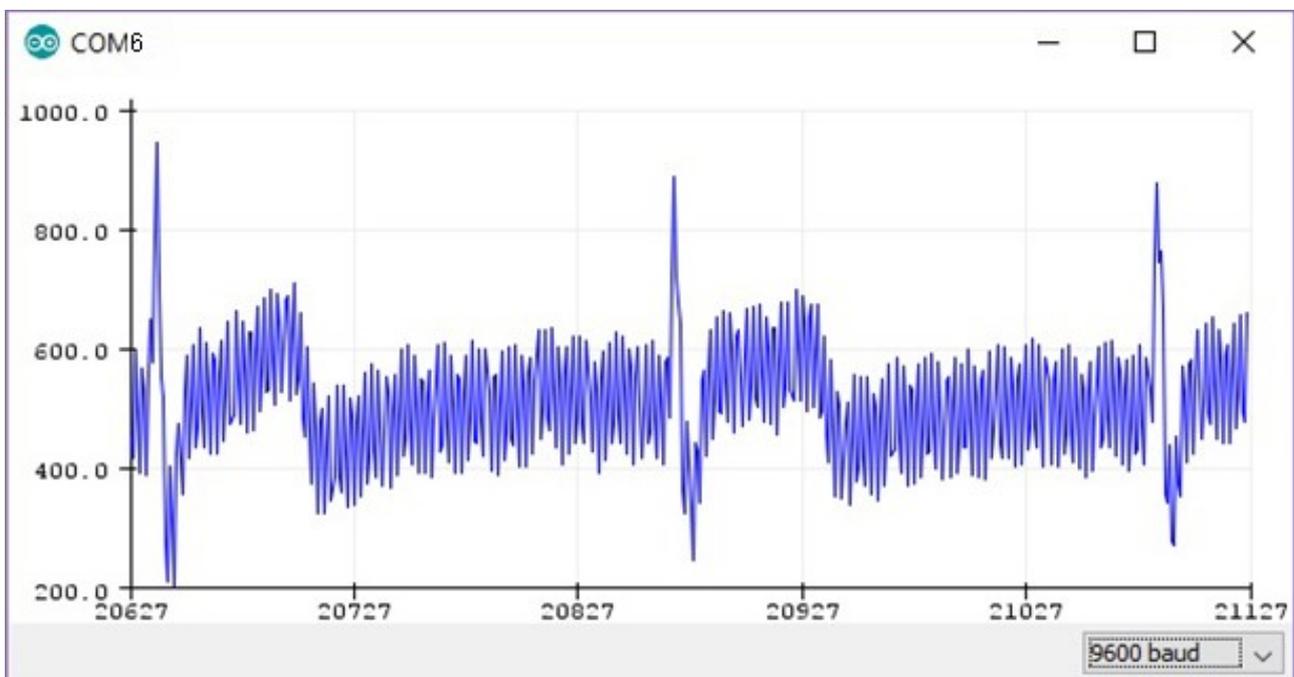


Fig. 9 - ECG rumoroso su plotter seriale Arduino

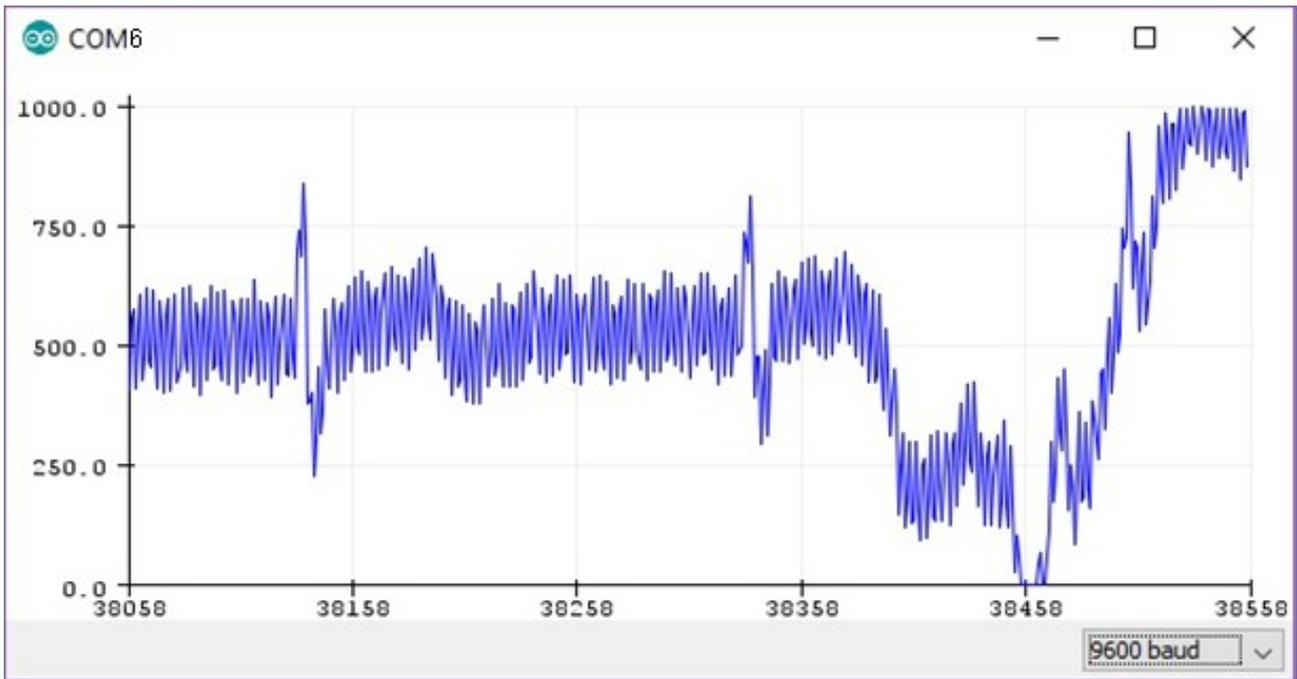


Fig. 10 - Segnale rumoroso per rilevamento del respiro

Il prototipo si conclude con il collegamento del display su cui verranno mostrati la forma d'onda e il calcolo dei battiti per minuto.

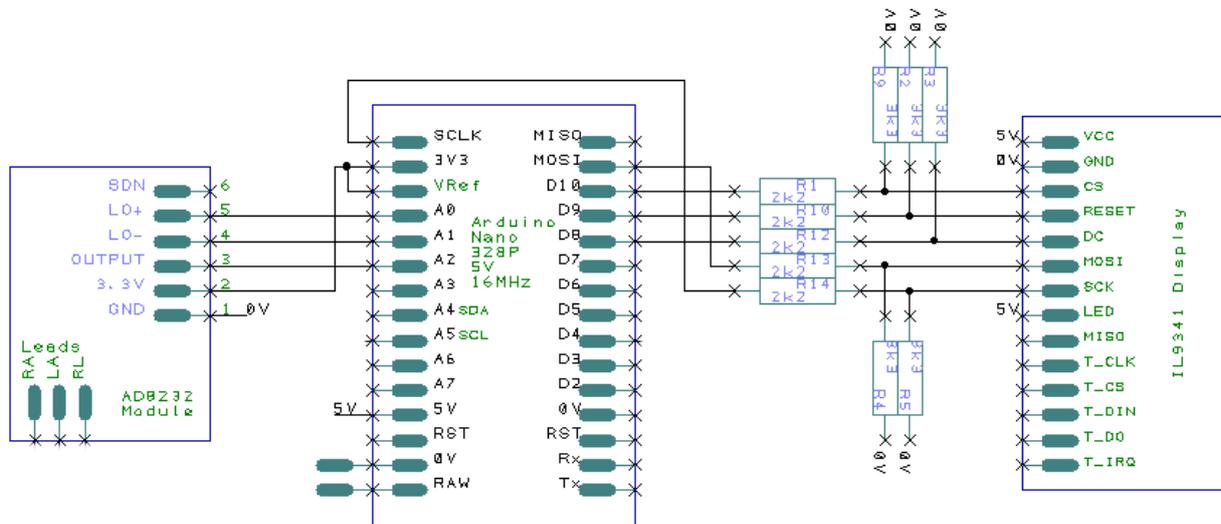


Fig. 11 - Collegamento TFT SPI display ad Arduino Nano

Il display utilizzato ha un regolatore 3V3 incorporato, quindi il modulo può essere alimentato da 5V e potete collegarlo direttamente al vostro pin 5V di Arduino. Anche il pin di alimentazione del LED può essere collegato direttamente al pin da 5V. I pin logici del display richiedono segnali a 3,3V perciò non è possibile collegarli direttamente ai pin I/O a 5V di Arduino. Motivo per cui sono state utilizzate delle resistenze per abbassare la tensione (Fig. 11).

Questo tipo di display richiede l'utilizzo di librerie specifiche su Arduino IDE, come quelle utilizzate Adafruit_GFX (per la grafica) e Adafruit_ILI9341 (per il riconoscimento del sensore specifico). Queste librerie, una volta installate, presentano alcuni programmi esemplificativi che

permettono di testare il funzionamento del display. In questo caso è stato fatto un test grafico che mostra diverse animazioni e scritte a schermo (Fig. 12).

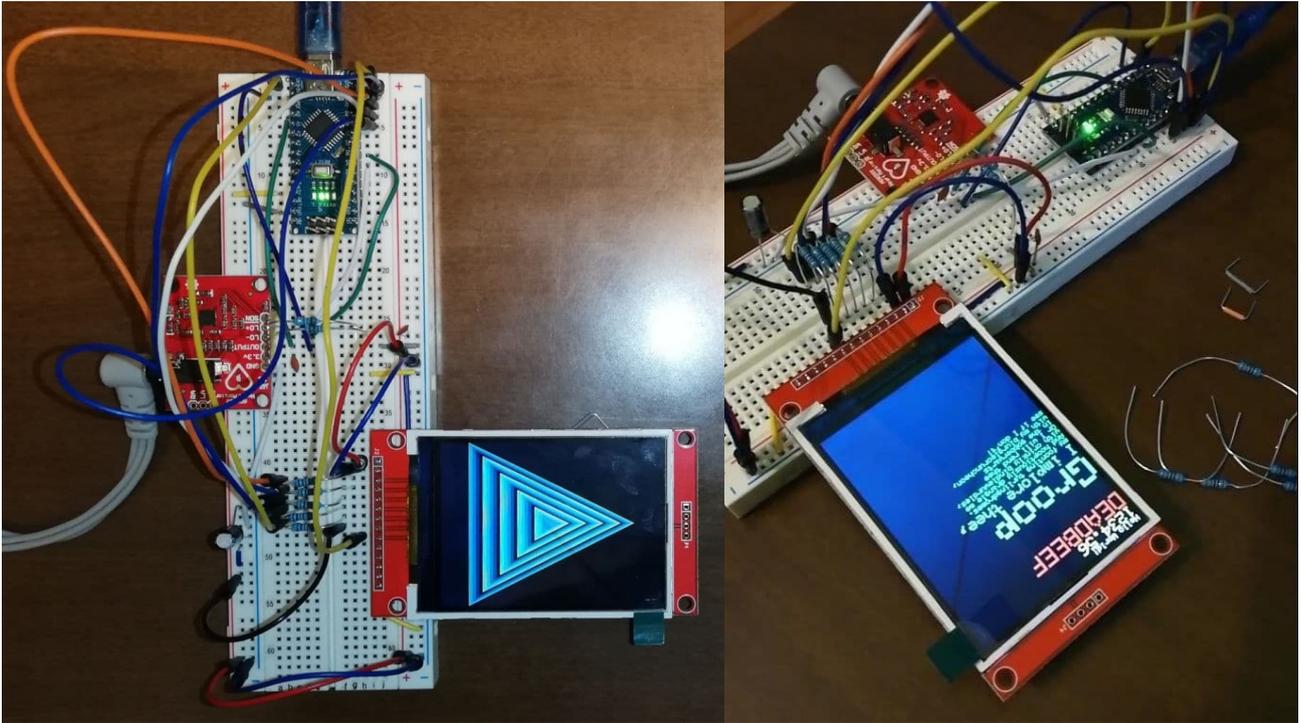


Fig. 12 - Test grafici librerie Adafruit per TFT SPI display ILI9341

Il programma scritto in questa fase, leggermente più complesso di quello di test, resta piuttosto semplice. Questo sfrutta le funzioni primitive delle librerie per definire le dimensioni in cui tracciare il grafico e i colori da utilizzare per farlo.

Dopo aver infatti definito le costanti e le librerie da utilizzare, si definisce il baud di lettura e i pin di ricezione dei dati all'interno del *void setup*, oltre alla grafica di apertura del display (Fig. 13).

```
62 //-----  
63 //setup  
64 //-----  
65 void setup() {  
66   Serial.begin(9600);  
67   pinMode(5, INPUT);           //Setup for leads off detection LO -  
68   pinMode(6, INPUT);           //Setup for leads off detection LO +  
69   pinMode(ECG_IN, INPUT);  
70  
71   //Display activation  
72   tft.begin();  
73   tft.fillScreen(BLACK);  
74   tft.setRotation(3);           //Setting landscape view  
75  
76 }  
77
```

Fig. 13 - Blocco void setup del programma Arduino

Mandare il grafico a schermo richiede semplicemente la stampa dei dati nella funzione di scrittura *Adafruit_ILI9341(TFT_CS, TFT_DC, TFT_MOSI, TFT_CLK, TFT_RST, TFT_MISO)*, che ne indica i pin logici, all'interno delle *main routines* nel *void loop*. A differenza di quanto indicato nel grafico, si è deciso di mantenere il collegamento dei pin LO- e LO+ del modulo AD8232 con i pin digitali D5 e D6 di Arduino Nano per mantenere sotto controllo il corretto funzionamento degli elettrodi anche durante la lettura dei dati da parte del display.

Nel blocco successivo vengono definiti gli estremi del tracciato, in maniera che resti all'interno dello schermo e che vi sia un refresh per continuare a vedere il plot quando questo raggiunge l'estremo destro (Fig. 14).

```

89 //GRAPH REFRESH-----
90 if(a>TFT_WIDTH){
91   tft.fillScreen(BLACK);
92   a=0;
93   lasta=a;
94 }
95
96 //DISPLAY GRAPH-----
97 int value = analogRead(A2);
98 tft.setTextSize(3);
99 tft.setTextColor(RED);
100 int b=215-(value/7); //to adapt the plot in the display
101 tft.drawLine(lasta, lastb, a, b, RED); //drawLine(x0,y0,x1,y1,COLOR)
102 lastb=b;
103 lasta=a;
104

```

Fig. 14 - Refresh del display e definizione tracciato su display

La parte però più interessante del *void loop* riguarda il calcolo dei BPM (battiti per minuto) in quanto è ciò che verrà utilizzato principalmente nella fase successiva del progetto.

Questo calcola prima i tempi in cui prendere in considerazione i picchi del grafico per definire il numero di battiti, settando una *threshold* massima e minima per definire il calcolo. Basicamente si definiscono i limiti oltre ai quali avvengono i picchi R-S e l'intervallo che trascorre tra il loro avvenimento (Fig.15). La lettura dei dati e la definizione dei limiti è data dalla lettura dell'output trasmesso dal modulo AD8232 attraverso uno dei pin analogici di Arduino Nano.

Il programma, dunque, prende in esame i tempi per rilevare il battito, ne calcola i battiti per minuto e la media in un dato intervallo di tempo, considerando la frequenza del plot, e infine ne traccia il grafico.

Al display viene mandata in stampa una media calcolata in un intervallo di tempo per evitare di avere picchi troppo estremi ed avere dunque un calcolo più realistico. Come già anticipato, per mantenere sotto controllo il giusto funzionamento del prototipo e del calcolo dei battiti, i rilevamenti sono stati effettuati anche mediante un saturimetro (Fig. 16).

Per evitare che il dato relativo ai BPM generi interferenza nel plot della frequenza cardiaca (Fig. 17) è sufficiente indicare ad Arduino che il dato va separato da quello precedente. Per fare questo è sufficiente il comando *Serial.print(",")* che il plotter seriale interpreta come divisore di dati che vanno in plot diversi. Vedremo in *Fase 3* che questo divisore risulterà utile anche per filtrare l'informazione che si intende utilizzare per il funzionamento del prototipo VR.

```

106 //BPM calculation-----
107 if (value > UpperThreshold) {
108   if (BeatComplete) {
109     BPM = millis() - LastTime;           // find the time between the last two beats
110     BPM = float (60000 /BPM);           // convert to beats per minute
111     if (BPM < 255 && BPM > 20){         // BMP must be reasonable in order to be considered
112       rates[rateSpot++] = (byte)BPM;   // Store this reading in the array
113       rateSpot %= RATE_SIZE;           // Wrap variable
114
115       //Take average of readings
116       beatAvg = 0;
117       for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
118         beatAvg += rates[x];
119       beatAvg /= RATE_SIZE;
120     }
121
122     BPMTiming = false;
123     BeatComplete = false;
124   }
125   if (BPMTiming == false) {
126     LastTime = millis();
127     BPMTiming = true;
128   }
129 }
130 if ((value < LowerThreshold) & (BPMTiming))
131   BeatComplete = true;
132
133
134 //BPM to display-----
135 tft.fillRect(65, 0, 60, 30, BLACK);
136 tft.setCursor(2,5);
137 tft.setTextColor(YELLOW);
138 tft.setTextSize(3);
139 tft.println("BPM ");
140 tft.setCursor (65,5);
141 tft.print(beatAvg);
142
143 a++; //draws the line towards right, increasing along x-axis
144 }

```

Fig. 16 - Calcolo dei battiti per minuto e stampa su display



Fig. 15 - Confronto prototipo e saturimetro

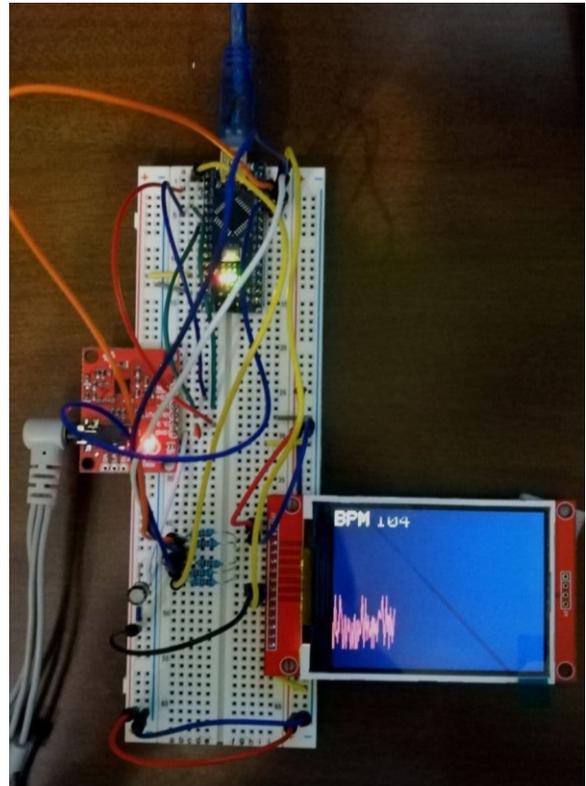


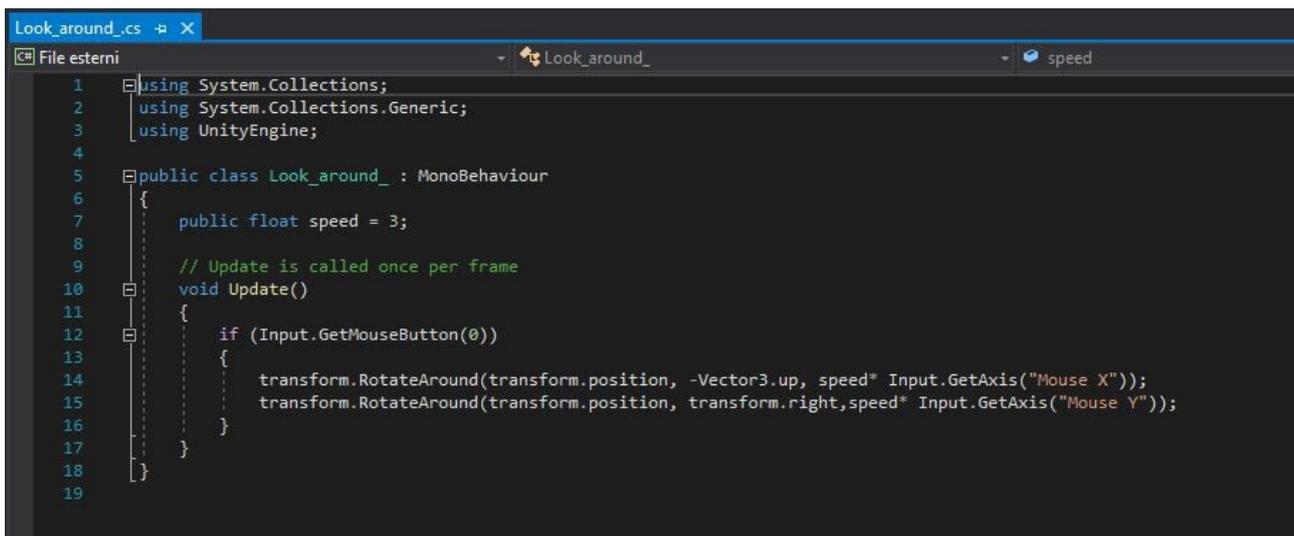
Fig. 17 - Segnale disturbato e calcolo errato dei bpm

Fase 2: Prototipo VR

Questa seconda fase è servita a preparare il programma Unity per la scelta e la gestione delle scene virtuali presentate nel capitolo 5.

Il prototipo sfrutta essenzialmente due script, il primo, “*Look_around*” (Fig.18), consente la rotazione all’interno della scena mentre il secondo, “*Video_manager*”, definisce il criterio per la gestione delle scene.

Look_around permette anche l’utilizzo dell’applicazione su desktop, rendendo il video navigabile tramite l’utilizzo del mouse. Questa è stata utilizzata per testare il funzionamento dei comandi prima di passare al visore, ma l’utilizzo su desktop non verrà utilizzato in *Fase 4* dagli utenti tester.

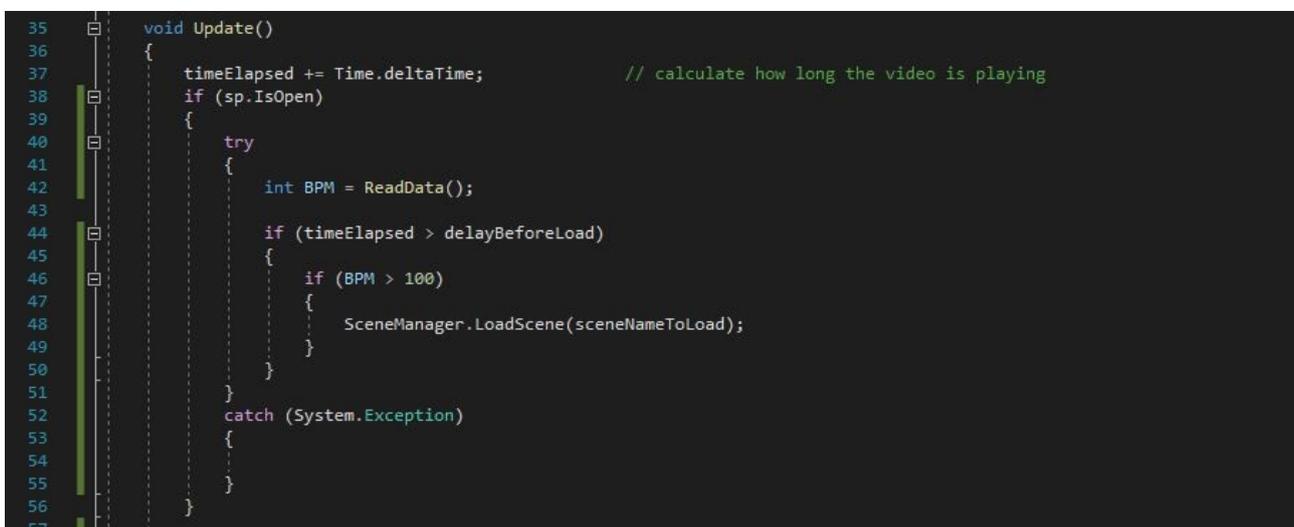


```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class Look_around_ : MonoBehaviour
6 {
7     public float speed = 3;
8
9     // Update is called once per frame
10    void Update()
11    {
12        if (Input.GetMouseButton(0))
13        {
14            transform.RotateAround(transform.position, -Vector3.up, speed* Input.GetAxis("Mouse X"));
15            transform.RotateAround(transform.position, transform.right, speed* Input.GetAxis("Mouse Y"));
16        }
17    }
18 }
19
```

Fig. 18 - *Look_around* script su Visual Studio

Video_manager gestisce invece la comunicazione tra il prototipo Arduino e l’applicazione Unity, andando a sfruttare il calcolo dei battiti per minuto come criterio per la gestione di visualizzazione dei video. Questo parte da un semplice scene loader allo scadere di un determinato timeout, andando a modificare i criteri di cambiamento di scena.

La funzione principale infatti avviene all’*Update* (Fig.19), dove, dopo aver eseguito la lettura dei dati mandati da Arduino sulla porta seriale come si vedrà successivamente, si calcola il tempo trascorso da inizio video e il limite di battiti prima di cambiare scenario.



```
35 void Update()
36 {
37     timeElapsed += Time.deltaTime; // calculate how long the video is playing
38     if (sp.IsOpen)
39     {
40         try
41         {
42             int BPM = ReadData();
43
44             if (timeElapsed > delayBeforeLoad)
45             {
46                 if (BPM > 100)
47                 {
48                     SceneManager.LoadScene(sceneNameToLoad);
49                 }
50             }
51         }
52         catch (System.Exception)
53         {
54         }
55     }
56 }
57
```

Fig. 19 - Funzione *Update()* di *Video_manager*

Per quanto riguarda l'ambiente grafico, i video 360 sono stati caricati mediante un videoplayer basato su render texture. La stessa texture, che ha come caratteristica la dimensione originale del video da caricare, viene utilizzata come texture di riferimento per un materiale di tipo Skybox/Panorama.

L'ambiente finale invece viene definito e posizionato all'interno della scena 3D di Unity (Fig.20), per andare poi a impostare le luci e la posizione della camera.



Fig. 20 - Scena finale in ambiente Unity

L'utilizzo di Oculus Quest 2 richiede l'installazione del pacchetto XR Interaction Toolkit in ambiente Unity per la gestione di caratteristiche VR e XR nel progetto. Per abilitare invece l'utilizzo del visore e rendere possibile il test dell'applicazione in VR, è necessario installare gli SDK Oculus abilitando l'opzione VR Supported nei Player settings (Fig. 21).

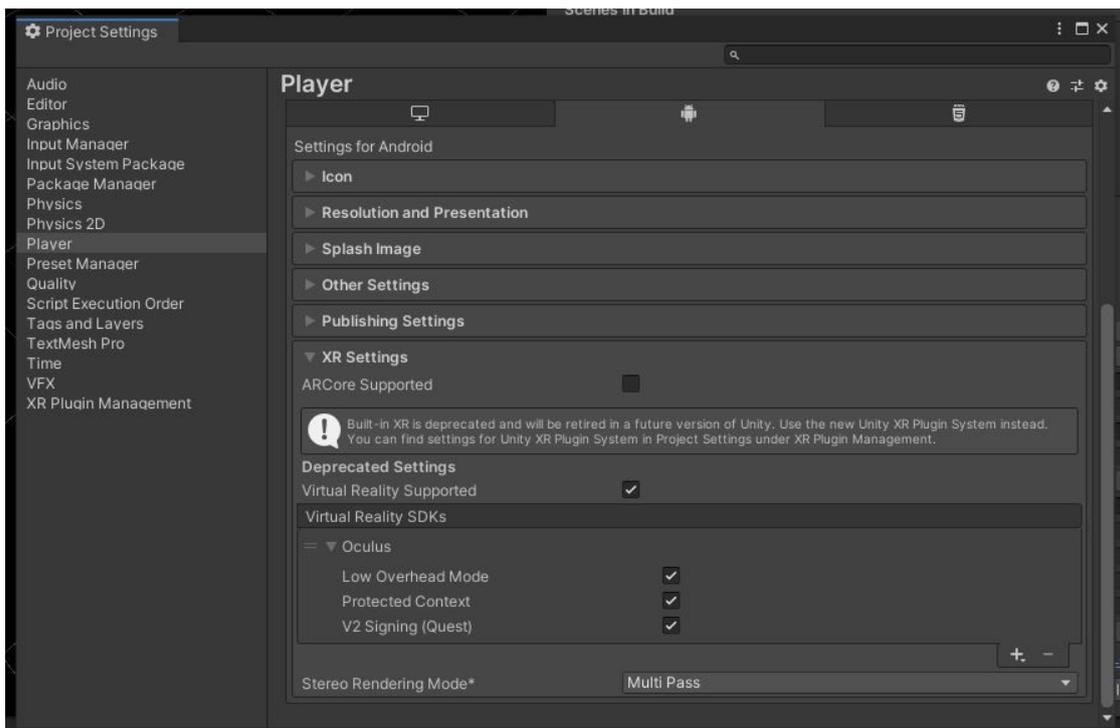


Fig. 21 - Player settings del progetto Unity

Si nota infatti che la tradizionale camera di Unity per la visualizzazione in Game è contenuta in un XR Rig, abilitato dal Toolkit installato, il quale definisce la posizione di partenza dell'utente all'interno della scena oltre che il punto di vista iniziale.

Le impostazioni XR sono usate principalmente per HMD OpenVR come Valve Index o HTC Vive, poiché OpenVR non è ancora pienamente supportato in Unity XR. Utilizzando Oculus è però possibile installare i pacchetti anche mediante l'XR Plugin Management, disattivando però gli XR Settings del Player.

Ricordiamo infine, che Oculus Quest ha come sistema operativo Android, pertanto, per analizzare meglio il funzionamento e fare la build dell'applicazione è necessario cambiare Platform nei Build Settings.

Fase 3: Connessione Arduino-Unity

La connessione tra Arduino e Unity avviene tramite l'utilizzo della libreria *System.IO.Ports* che permette a Unity di leggere e sfruttare i dati che Arduino trasmette in porta seriale.

Per poter sfruttare i dati mandati da Arduino è necessario prima aprire la comunicazione e assicurarsi che non vi siano errori (Fig. 22). Per fare questo è stata creata una funzione che stabilisce un tempo di lettura e si assicura che il collegamento con la porta funzioni correttamente. Nello specifico:

- Se la porta è stata aperta correttamente trasmette in console un messaggio di avvenuta apertura;
- Se la porta era già aperta, ma il collegamento è errato, la chiude;

```
51 //Function connecting to Arduino
52 public void OpenConnection()
53 {
54
55     if (sp != null)
56     {
57         if (sp.IsOpen)
58         {
59             sp.Close();
60             print("Closing port, because it was already open!"); // message = "Closing port, because it was already open!";
61         }
62         else
63         {
64             sp.Open(); // opens the connection
65             sp.ReadTimeout = 1; // sets the timeout value before reporting error
66             print("Port Opened!"); // message = "Port Opened!";
67         }
68     }
69     else
70     {
71         if (sp.IsOpen)
72         {
73             print("Port is already open");
74         }
75         else
76         {
77             print("Port == null");
78         }
79     }
80 }
81
```

Fig. 22 - Codice per l'apertura della porta seriale

Il *ReadTimeout* è necessario a stabilire l'intervallo di analisi della lettura prima di riportare un errore di tipo exception. Generalmente questo tipo di dato viene settato intorno a 1000 o 2000 per dare al programma tempo a sufficienza per analizzare i dati ricevuti, ma nel progetto creato un tempo di questo tipo generava latenza nella riproduzione dei video rendendone molto difficile da visualizzare e generando motion sickness nell'utente. Il valore settato, molto basso, in genere riporta l'errore "*TimeoutException: The operation has timed out.*" ma questo viene ovviato con l'utilizzo di una *try&catch* nella funzione di update del programma.

Per la lettura dei dati ricevuti si usa la funzione *SerialPort.ReadLine()* che analizza la stringa ricevuta in seriale. Dal momento che Arduino fornisce due dati diversi in seriale, è necessario dividere la stringa e utilizzare il dato necessario con una funzione *Split()* (Fig.23).

Si può notare nel codice sottostante che prima di procedere al controllo della correttezza nei dati ricevuti si effettua un *Flush()* dello stream, questo serve ad evitare un sovraccarico nel buffer e ad evitare un errore di *ReadException*.

I dati letti vengono messi in vettori separati per andare successivamente a trasformare in *int* il dato che ci interessa, il quale cioè corrisponde al calcolo dei battiti per minuto effettuato da Arduino e che viene utilizzato nella funzione di *Update()* precedentemente analizzata.

```
82 int ReadData()
83 {
84     receivedstring = sp.ReadLine(); //Read the information
85     sp.BaseStream.Flush(); //Clear the serial information so we assure we get new information.
86
87     string[] data = receivedstring.Split(','); //My arduino script returns a 2 part value (IE: 503,73)
88     if (data[0] != "" & data[1] != "") //Check if all values are recieved
89     {
90         data_received[0] = data[0]; //Read the information and put it in a vector3
91         data_received[1] = data[1];
92
93         sp.BaseStream.Flush(); //Clear the serial information so we assure we get new information.
94     }
95
96
97     //parse BPM
98     int tmpBPM = Mathf.RoundToInt(float.Parse(data_received[1]));
99     return tmpBPM;
100
101
102
103 }
```

Fig. 23 - Funzione di lettura dei dati ricevuti in seriale

Fase 4: Test

Per quest'ultima fase sono stati coinvolti 21 utenti tester (8 donne e 13 uomini) di età compresa fra i 25 e i 35 anni, pochi di loro avevano già esperienza con applicazioni di tipo VR ciò nonostante questo non ha comportato complicazioni durante l'esperienza.

Prima di preparare i soggetti ad iniziare il test è stato loro spiegato l'obiettivo dell'analisi e l'utilità dei componenti, oltre ad alcune regole basiche per meglio fruire dell'esperienza:

1. Non poggiare i piedi a terra per evitare interferenze nel segnale del prototipo Arduino;
2. È possibile guardarsi attorno e girarsi a 360°, ma non interferire con il mondo virtuale, pertanto, non fare movimenti bruschi perché potrebbero comportare un errore nella rilevazione Arduino;
3. Se per qualunque motivo volessi o ritenessi necessario fermare l'esperienza, dillo ad alta voce;
4. Puoi tranquillamente fare commenti e/o domande durante l'esperienza se ne senti il bisogno.

Per effettuare i test è stato chiesto ai soggetti di sedersi su una poltrona e stendere le gambe su un poggiatesta dopo aver liberato la caviglia destra ed entrambi gli avambracci in modo da poter attaccare gli elettrodi per la rilevazione del battito cardiaco (Fig.24).

Dopo aver verificato il corretto posizionamento degli elettrodi e la coerenza di calcolo dei battiti per minuto rispetto a quello rilevato con il saturimetro, viene fatto indossare il visore assicurandosi che l'utente abbia una vista corretta e una posizione comoda per l'esperienza.



Fig. 24 - Utente durante l'esecuzione del test

Gli scenari precedentemente descritti nel Capitolo 5 sono stati presentati ai soggetti in scene diverse di Unity nel seguente ordine:

- Test_00: fabbrica abbandonata;
- Test_01: palme al tramonto;
- Test_02: tunnel della metropolitana;
- Test_03: foresta incantata;
- Test_04: scenario horror;
- Thanks: scena finale con messaggio di fine esperienza.

Dal momento che i video hanno durata e risoluzione diversa, la separazione per scene ha permesso una gestione migliore dei tempi di esposizione mantenendo la semplicità degli script e la ricezione dei dati in seriale.

Ai soggetti è stato chiesto di svolgere il test prima senza audio, per analizzare l'effetto solamente dell'immagine, e successivamente con l'audio per analizzare l'influenza del suono nel soggetto e nel battito cardiaco pur essendo a conoscenza di ciò che avrebbe visto. In questo secondo caso è stato di fondamentale utilizzo il display del prototipo Arduino che ha permesso di tenere sotto controllo la variazione dei battiti durante l'esperienza, in quanto l'apertura del plotter seriale o del monitor seriale di Arduino IDE comporta problemi di lettura su Unity ed è quindi da evitare durante l'esecuzione.

Il programma Unity imposta un'esposizione minima ai video pari a 30 secondi, questo dato è stato scelto per aiutare l'utente ad ambientarsi con ciò che lo circonda e avere un range di tempo abbastanza ampio per analizzare l'aumento o la diminuzione nei battiti in relazione all'ambiente. Superati questi 30 secondi viene analizzato il livello dei battiti, superati i 100bpm il programma salta automaticamente alla scena successiva. Inizialmente, questa soglia era stata posta a 90bpm, ma i soggetti, particolarmente quelli di sesso maschile, raggiungevano troppo velocemente il limite, pertanto, considerando un ipotetico range di errore pari a 10bpm del prototipo Arduino, si è deciso di alzare la soglia a 100.

L'algoritmo descritto è stato unicamente applicato alle scene stressanti (fabbrica abbandonata, metropolitana e scantinato horror), mentre negli scenari rilassanti si è solo mantenuto il controllo dei battiti per analizzarne l'effetto durante un'esposizione complessiva pari a 40 secondi. In 15 soggetti su 21, queste scene hanno infatti comportato un abbassamento dei battiti che va dai 10 ai 20bpm sia nei test con che senza suono.

Ad eccezione dello scenario horror, che dura in totale 1min 30s, i restanti video hanno una durata di circa 40/50s, il che comporta una durata complessiva dell'esperienza pari a 4min 30s, escludendo la scena finale di ringraziamento e i tempi per settare il prototipo Arduino. Ciò nonostante, per la maggior parte dei soggetti l'esperienza non è durata più di 3min e mezzo, nessuno di loro ha infatti superato i 50 secondi di esposizione allo scenario horror e molti sono stati influenzati emotivamente, soprattutto dal suono, negli altri scenari stressanti.

A fine esperienza è stato chiesto ai tester di descrivere ciò che aveva visto e quali emozioni avevano provato, sottolineando quali scenari gli avevano trasmesso maggiore inquietudine, ansia, paura o senso di pericolo. È stato inoltre chiesto loro se il non avere un avatar e non avere controllo sul movimento o la navigazione all'interno della scena gli avesse recato fastidio e di fare un paragone finale tra le aspettative e le sensazioni provate dopo aver provato l'esperienza con e senza audio.

Si riportano di seguito le principali annotazioni fatte dagli utenti, suddivise per tipo di esperienza.

Esperienza senza audio

La ricerca con questo tipo di esperienza è stata condotta per analizzare l'effetto dell'immagine negli utenti, specialmente in quei soggetti senza esperienza pregressa con la realtà virtuale che avrebbero potuto risultare più sensibili all'ambiente circostante e ai movimenti di camera.

Tutti i soggetti hanno avuto difficoltà ad immergersi del tutto nell'esperienza in quanto influenzati dai rumori esterni, questo ha reso loro anche più difficile sentire particolari emozioni attraverso le immagini in quanto si sentivano incuriositi ma non erano certi di cosa aspettarsi.

L'80% degli utenti, durante questa esperienza, è stato più attento ai dettagli come la qualità delle texture e delle immagini, la fluidità del movimento, le proporzioni degli oggetti all'interno dei video e i colori. Il 60% circa si è sentito maggiormente a suo agio in ambienti il cui livello di dettaglio era più realistico, come la stazione della metropolitana e il mare al tramonto.

Un terzo degli utenti ha definito l'ambiente di mare al tramonto il più rilassante nonostante abbia la qualità dell'immagine più bassa, ma circa un quarto degli utenti ha definito i colori fastidiosi se si guardava con particolare attenzione le foglie delle palme.

La maggior parte dei tester (più del 90%) non ha fatto caso al fatto che all'interno degli ambienti non ci fosse nulla sotto di loro e che non avessero di fatto un corpo, hanno affermato che il movimento leggero e coordinato del video desse loro la sensazione di star volando e li estraniasse quasi completamente dal loro corpo al punto di non sentire il bisogno di alzarsi o muoversi con esso. Chi invece si è sentito più incuriosito dagli ambienti ha sostenuto di non aver sentito fastidio nell'assenza di un avatar, ma si nella mancanza di controllo del movimento o incapacità di interazione e che, particolarmente nel primo video, il movimento in avanti gli avesse dato la sensazione di essere su un qualche mezzo in movimento (es. una sedia a rotelle) e che pertanto fosse strano non vederlo nel momento in cui volgevano lo sguardo verso il basso.

Infine, tutti gli utenti che hanno testato l'esperienza hanno ritenuto che lo scenario horror fosse quello più efficace nel farli sentire più in ansia e immersi nella situazione in quanto più ricco di azione. Il fatto che tutto accadesse attorno a loro mentre la camera era ferma gli ha trasmesso la sensazione di essere legati ad una sedia e non poter scappare, ma la velocità dei movimenti li ha distratti al punto

di non pensare nemmeno al fatto che non vi fosse nulla sotto di loro né al fatto che non ci fosse dell'audio a guidarli.

Esperienza con audio

Con questa seconda metodologia si è voluto analizzare come l'effetto aggiuntivo del suono, in immagini che gli utenti già conoscevano, influenzi lo status dei soggetti. Il livello di immersione che si può raggiungere con l'audio adatto tende spesso a migliorare di gran lunga un'esperienza virtuale, generando emozioni e sensazioni anche inaspettate. Circa il 40% degli utenti ha notato una netta differenza nel provare l'esperienza con l'aggiunta di un audio anche non spazializzato, ma che in qualche modo li guidava a volgere lo sguardo verso una determinata direzione.

Il 90% di loro ha affermato di aver notato aspetti del video proprio grazie al suono, guardando in direzioni che prima non avevano considerato. 15 soggetti su 21 hanno dichiarato di essere rimasti sorpresi del risultato così diverso dalle loro aspettative: alcuni di loro, ad esempio, hanno trovato il primo scenario molto calmo e introduttivo all'esperienza, quando senza audio, e per niente ansiogeno, ma all'introdurvi l'audio si sono resi conto di provare una leggera inquietudine pur conoscendo lo scenario, diversamente da quel che si aspettavano.

Tutti gli utenti, compresi quelli che precedentemente avevano affermato l'opposto, si sono sentiti molto più rilassati dalle immagini immerse nella natura nel momento in cui vi è stato inserito il sonoro. Inoltre, gli utenti che si erano sentiti infastiditi dai colori e dai dettagli dello scenario al tramonto si sono trovati molto più a loro agio con l'aggiunta dell'audio, sostenendo che il livello di rilassamento che la musica trasmetteva loro faceva venir meno la cura nell'attenzione ai dettagli nonostante li cercassero.

Ancora meno fastidioso è risultato il fatto di non avere un avatar e/o controllo sul movimento di camera in quanto l'audio sembrava darne un senso immergendo maggiormente gli utenti nell'esperienza, facendo venir meno la necessità di muoversi all'interno degli ambienti o di avere un corpo di riferimento.

Diverso invece l'effetto ottenuto nello scenario in metropolitana i cui suoni dovevano trasmettere inquietudine e senso di pericolo ma per la maggior parte degli utenti (circa l'80%) sono risultati così coerenti con l'ambiente da farli sentire a loro agio.

L'ambiente horror, infine, ha avuto sugli utenti un impatto ancora maggiore con l'aggiunta degli audio. Molti di loro hanno notato aspetti e azioni, a cui prima non avevano fatto caso, grazie alla spazializzazione del suono, alcuni di loro hanno raggiunto il picco di battiti per minuto prima, altri incuriositi e tranquillizzati dal fatto di essere a conoscenza delle immagini hanno finito l'esperienza più tardi. Tre utenti hanno invece richiesto di terminare l'esperienza prima dei 30 secondi, fissati come requisito per stabilire familiarità con lo scenario, in quanto troppo spaventati dall'audio.

Sebbene inizialmente gli utenti, durante entrambe le tipologie di esperienza, si sentissero in tensione per la presenza degli elettrodi, tutti hanno affermato di essersi incuriositi e immersi nell'esperienza dopo pochi secondi da dimenticarsi di questi e sentirsi liberi di studiare l'ambiente. Ciò nonostante, la tipologia di video non li spingeva ad alzarsi e muoversi, dunque, se pur non vi facessero attenzione, non erano spinti a fare movimenti bruschi nemmeno in momenti di jump-scare.

Risultati

Durante l'esperienza, Unity registrava i dati in un file log in cui ad ogni secondo di attività corrisponde un valore relativo al battito cardiaco che Arduino trasmetteva. Questi dati sono stati utilizzati per analizzare aspetti comuni negli utenti, caratteristiche che si differenziassero da quanto affermato da loro e corrispondenze con suoni o momenti particolare dei video, oltre che l'efficacia nel generare un maggiore stress o relax in determinati ambienti. Grazie a questi si è inoltre potuto dimostrare l'effettivo funzionamento del programma scritto per l'esperienza e del prototipo di elettrocardiografo.

I 21 tester sono stati dunque divisi per sesso ed esperienza pregressa, andando ad analizzare e paragonare le variazioni dei grafici tracciati grazie ai dati rilevati durante l'esperienza.

Sono stati tracciati in totale 6 grafici:

- Uno per ogni categoria, che mettesse a confronto la durata complessiva dell'esperienza con e senza audio; (Fig. 25-28)
- Uno per la scena rilassante con audio di maggior rilievo (il mare al tramonto) in cui si mettono a paragone i quattro tracciati, uno per categoria, dimostrandone l'effettivo abbassamento dei battiti; (Fig.29)
- Uno per la scena stressante di maggiore impatto (lo scantinato horror) in cui nuovamente si paragonano le quattro linee, rappresentative delle diverse categorie, per mostrare la presenza di picchi in momenti comuni. (Fig.30)

Si noti come nei primi grafici risulti evidente il picco di superamento soglia e un conseguente rilassamento, dato dalla diminuzione di battiti per minuto, in tutti gli utenti presi in esame. È possibile notare, già da questi grafici, che vi sono dei picchi comuni sia nell'esperienza con audio che senza audio rappresentativi del funzionamento dell'esperienza complessiva e del prototipo. Infatti, le curve generate mostrano un costante aumento e conseguente diminuzione in momenti vicini dell'esperienza ma che la rendono unica per ogni soggetto.

È di altrettanto rilievo il maggiore impatto che l'audio ha avuto in questi soggetti, aumentando in alcuni casi, particolarmente nelle categorie con esperienza pregressa, il battito cardiaco. Questo può essere dato dal fatto che, essendo loro più attenti a dettagli di tipo tecnico, si sentissero più emozionati nell'analizzare un nuovo aspetto del video, pertanto, l'aumento dei battiti non rappresenta necessariamente uno stato di stress ma piuttosto di eccitazione.

Interessante infine porre attenzione sulla durata dell'esperienza, non solo l'introduzione dell'audio l'ha ridotta ma, in entrambi i casi, nessuna categoria ha di fatto concluso l'esperienza per la durata massima fissata. Con questo dato si vuole sottolineare, come si farà con i grafici successivi, l'efficacia dell'ultimo scenario scelto nel mostrare l'effettivo funzionamento dei test. L'assenza di audio non è infatti venuta meno nel portare l'utente al raggiungimento della soglia, diversamente da quanto successo nelle scene precedenti che, per quanto abbiano comportato un aumento nei battiti, hanno comunque mantenuto dei valori accettabili a livello di agitazione.

Un ulteriore dato che i grafici possono evidenziare, oltre alla soggettività dell'esperienza, è la similitudine tra le curve nella suddivisione per sesso, si nota infatti che nei soggetti donna il valore di partenza si aggira intorno ai 70bpm mentre nelle categorie di sesso maschile tale dato aumenta di circa 10bpm. Per concludere quest'analisi, si fa attenzione a come l'assenza di esperienza con la realtà virtuale sembri comportare il raggiungimento di picchi più alti, superando i 105bpm in certi casi, oltre a delle variazioni molto più ripide ed evidenti sia con l'audio che senza.

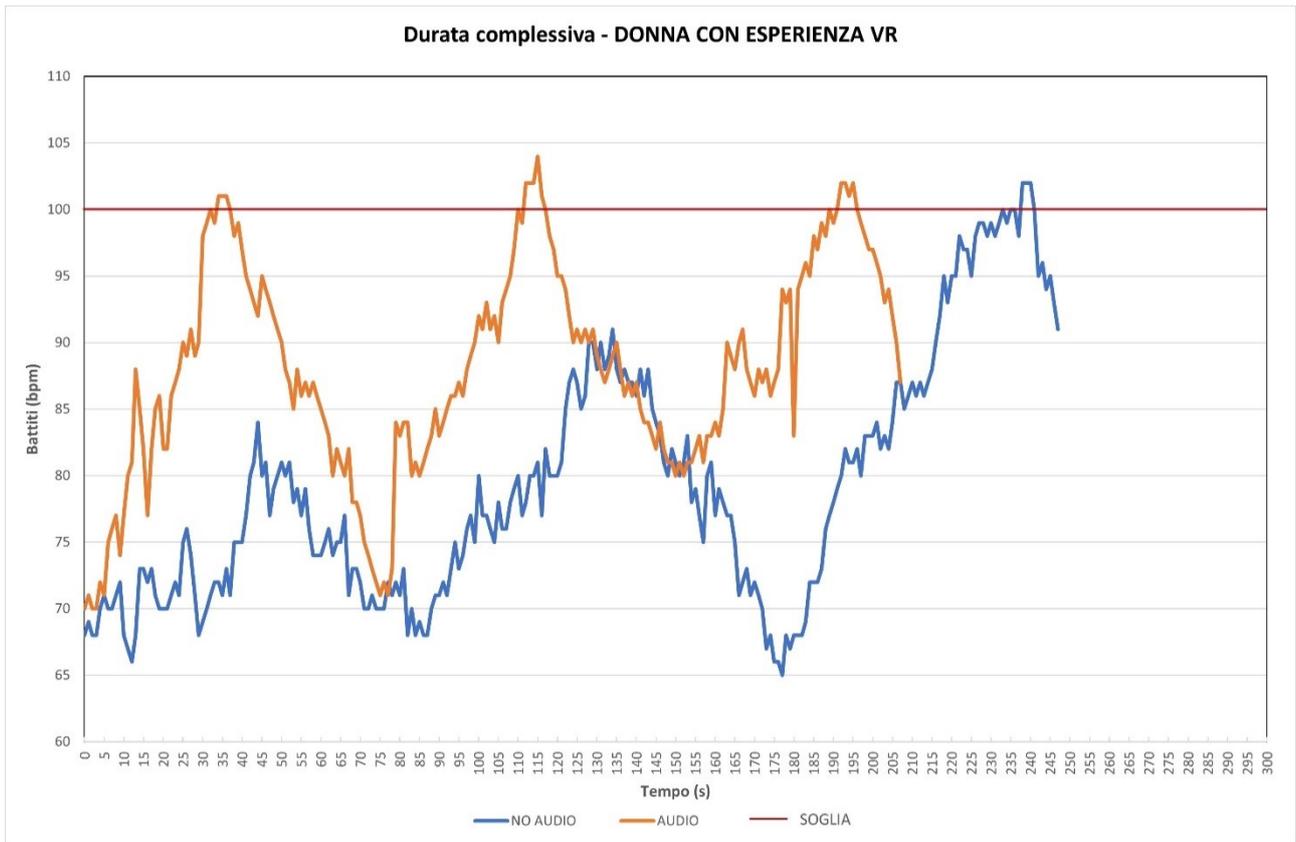


Fig. 26 - Paragone grafici esperienza con e senza audio nella categoria Donna con esperienza

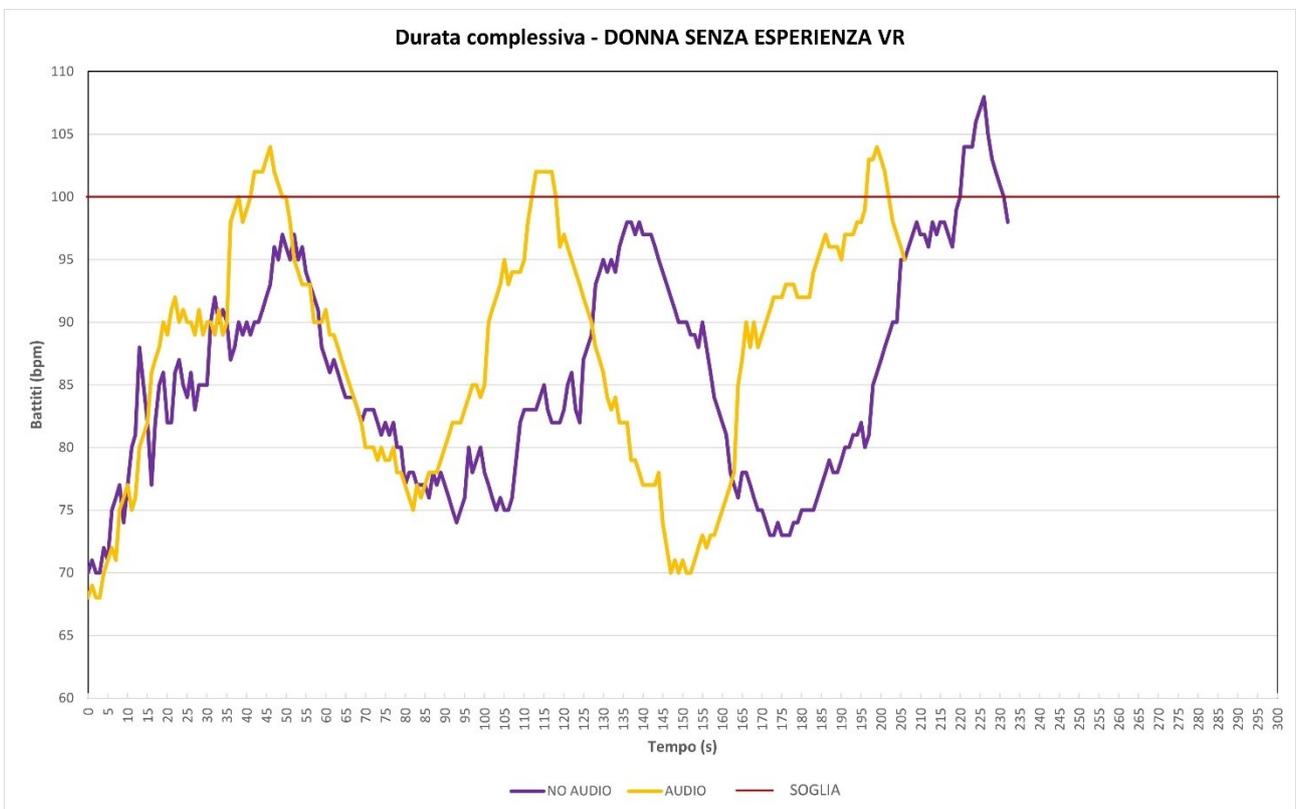


Fig. 25 - Paragone grafici esperienza con e senza audio nella categoria Donna senza esperienza

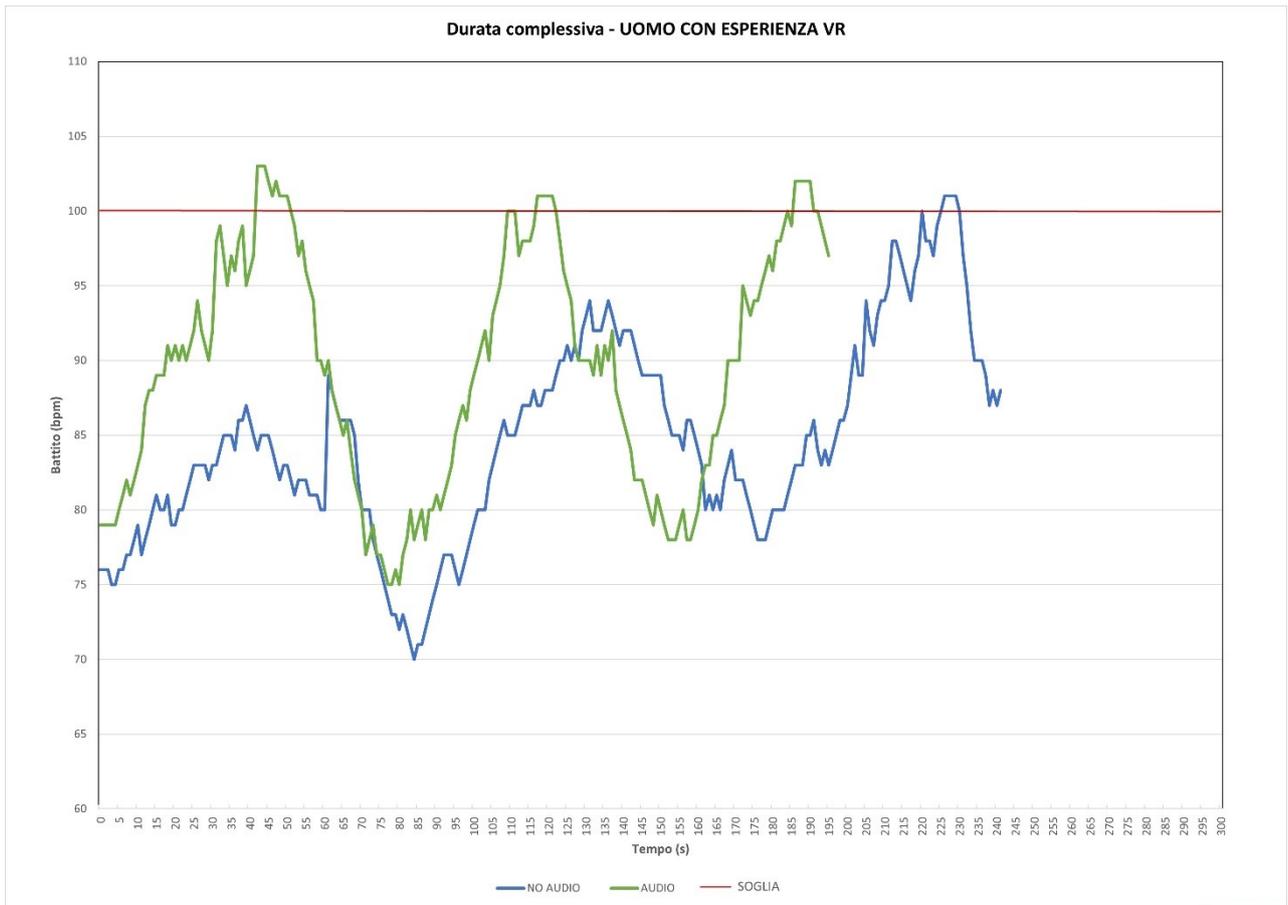


Fig. 28 - Paragone grafici esperienza con e senza audio nella categoria Uomo con esperienza

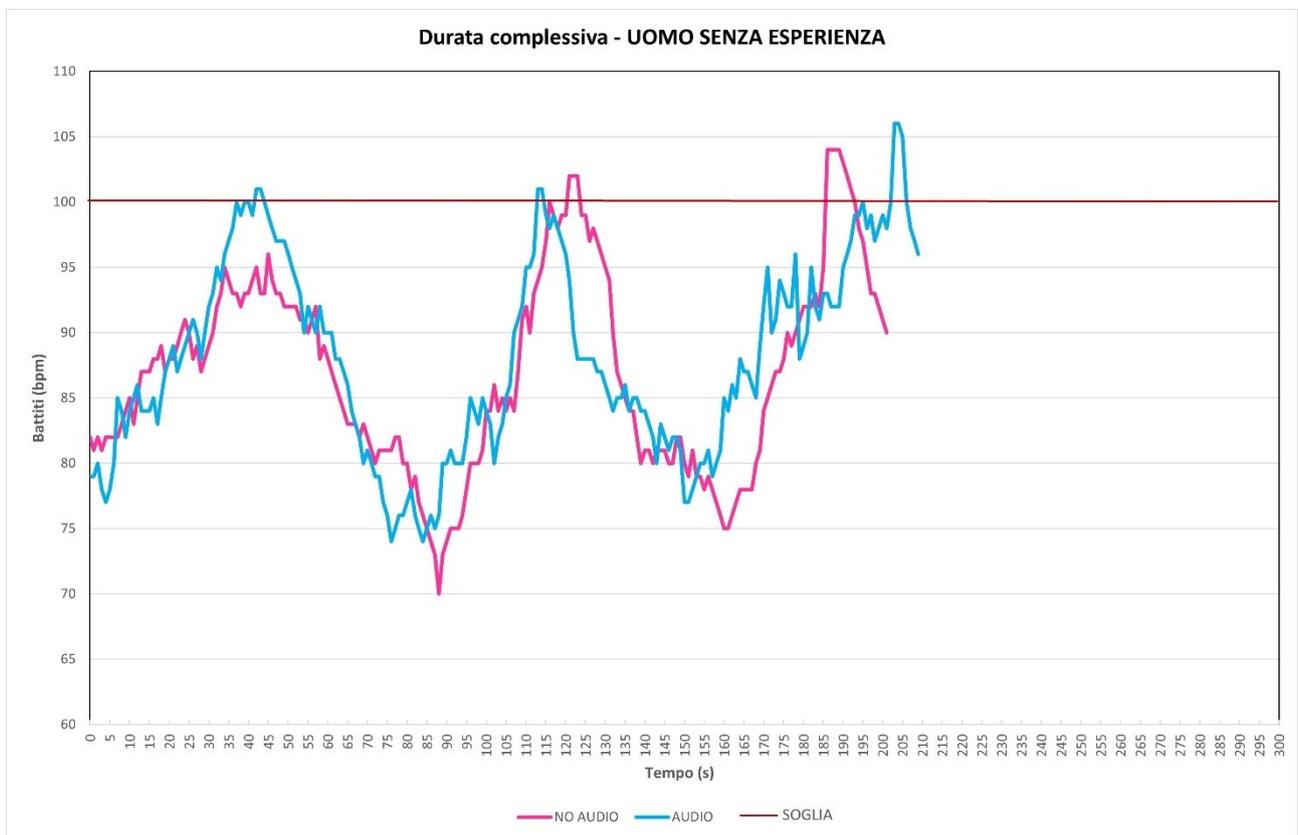


Fig. 27- Paragone grafici esperienza con e senza audio nella categoria Uomo con esperienza

Si analizzano di seguito gli aspetti comuni di due scenari principali, definiti dagli utenti quelli di maggiore rilievo: scenario di mare al tramonto e scenario horror. In entrambi i casi l'analisi è stata effettuata nei grafici dell'esperienza con audio in quanto l'effetto e i picchi, soprattutto per lo scenario horror, risultano più evidenti.

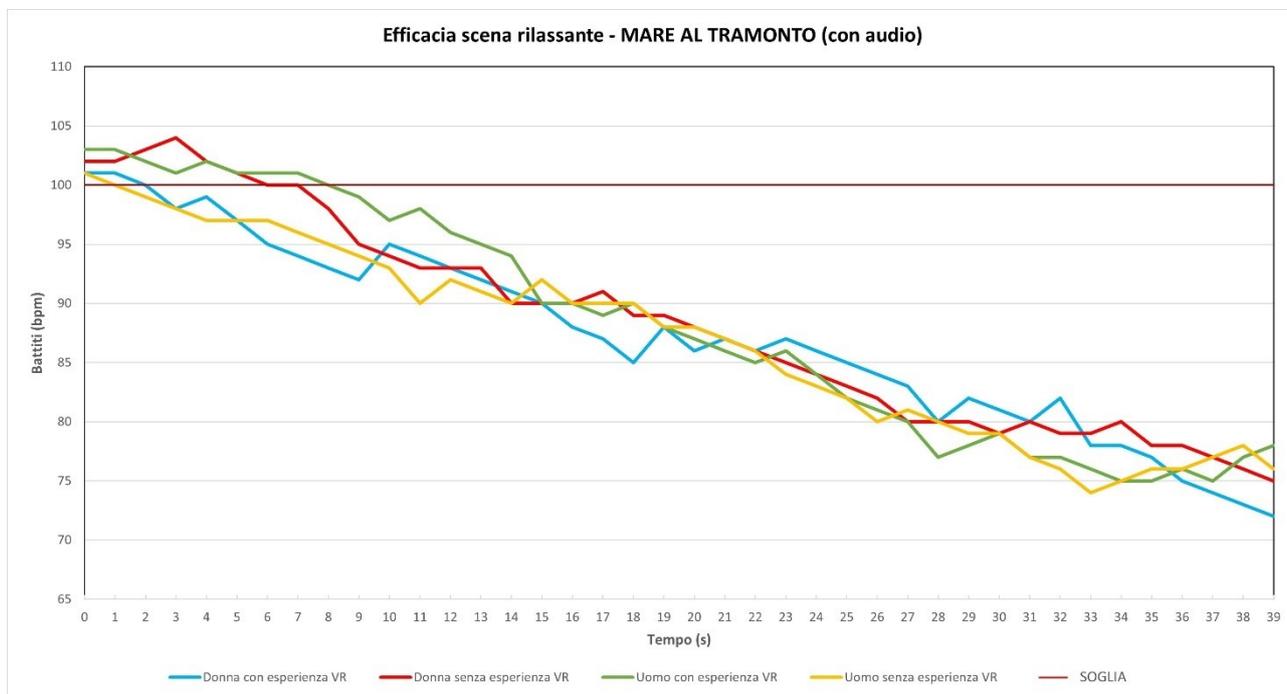


Fig. 29- Paragone tra categorie sull'effetto di uno scenario rilassante

Il grafico soprastante sottolinea come nei primi secondi di video vi sia ancora un effetto di agitazione dovuto alla scena appena vissuta ma che si risolve successivamente in un calo piuttosto netto e costante per tutte le categorie. Lo scenario, infatti, comporta una diminuzione di oltre 30bpm nei soggetti presi in esame, riportando il battito cardiaco quasi al valore iniziale.

È inoltre interessante notare che nel caso dei soggetti con esperienza in realtà virtuale l'effetto sia più immediato, questi partono da un superamento della soglia molto più basso e nel giro dei primi tre secondi il loro battito cardiaco si attenua raggiungendo valori sotto la soglia. La curva generata dai battiti di questi soggetti risulta essere leggermente meno netta rispetto a quella dei soggetti senza esperienza.

I soggetti con esperienza VR hanno affermato, dopo aver effettuato l'esperienza, che la loro conoscenza nel funzionamento cognitivo di uno scenario di questo tipo li ha portati inconsciamente a calmarsi anche se generalmente non definirebbero l'ambiente propriamente rilassante in quanto, tra i video selezionati, presenta delle imperfezioni grafiche a cui un occhio esperto fa particolarmente caso.

Diversi sono i risultati nel caso della scena finale, questa ha avuto effetti differenti nei soggetti, seppur con delle similitudini, portandoli a concludere l'esperienza in tempi diversi. La presenza di picchi in attimi uguali o molto vicini fra loro è data proprio da un'azione o un rumore particolare del video:

- Al secondo 4, un rumore spinge l'utente a guardare verso destra dove si vedono dei piedi insanguinati a terra;
- Al secondo 10, sempre a destra, spuntano delle mani da dietro il muro che cercano di avvicinarsi verso l'utente;

- Al secondo 17, l'utente è richiamato dai rumori alla sua sinistra dove vedrà la luce di una stanza adiacente accendersi e da cui potrà dedurre che sta avvenendo qualcosa di terribile;
- Al secondo 19 la luce si spegne per riaccendersi 8 secondi dopo mostrando il corpo di un morto a terra di fronte all'utente;
- La luce si spegne nuovamente al secondo 32, questa volta per più tempo, e una serie di rumori, sussurri e sospiri comportano un aumento del livello di paura;
- A partire dal secondo 40, per circa 6 secondi, vi è un costante accendersi e spegnersi della luce mentre si vede per la prima volta l'assassino che trascina il corpo passando molto vicino alla camera;

I pochi tester che hanno superato questo momento del video (es. linea azzurra), 3 in totale, hanno concluso l'esperienza 5 secondi dopo, allo spuntare di un secondo clown assassino alle loro spalle dopo essere stati spinti a voltarsi da una scritta sul muro che diceva "DIETRO DI TE" (visibile tra le immagini del capitolo 5).

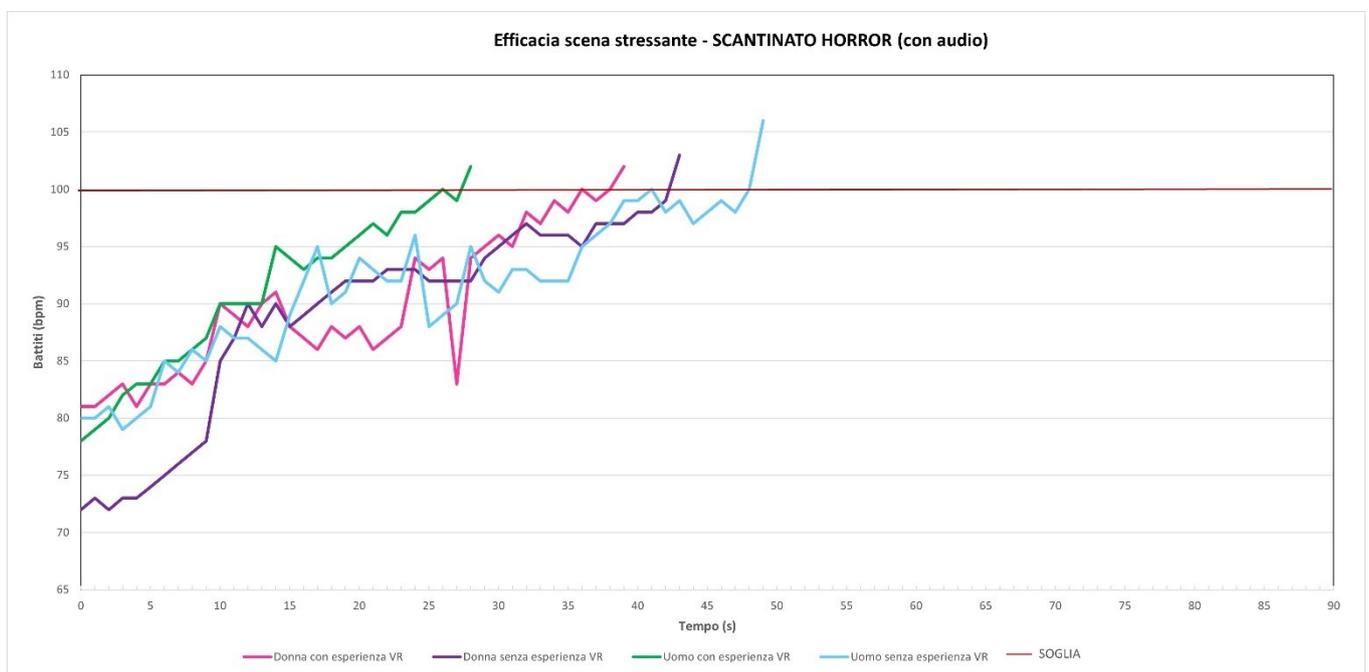


Fig. 30 - Paragone tra categorie sull'effetto di uno scenario stressante

Si noti come in questo caso l'assenza di esperienza, diversamente da quello che si potrebbe pensare, abbia portato gli utenti a mantenere un livello di calma più duraturo. La maggior parte di loro si sono detti particolarmente incuriositi e divertiti dall'esperienza, nonostante le scene forti e cruente e gli spaventi improvvisi, oltre che, in qualche modo, preparati alla situazione dalle scene precedenti.

Tutti i soggetti hanno infatti definito molto efficace la scelta di alternare le scene rilassanti a quelle stressanti in quanto, nonostante i primi scenari stressanti non facessero loro particolarmente paura o inquietudine, iniziavano a percepire un livello di pericolo che gli scenari rilassanti abbassavano, permettendo loro di abbassare le loro aspettative ed essere più propensi allo stupore.

Si può dunque affermare che la metodologia scelta per sottoporre i test agli utenti e i test stessi dimostrino il funzionamento del prototipo. Ciò nonostante, la maggior parte degli utenti non si sono detti particolarmente infastiditi dalle immagini, anzi avrebbero voluto continuare l'esperienza incuriositi da ciò che poteva accadere. Inoltre, anche con la presenza dell'audio, alcuni utenti hanno ritenuto di sentirsi ancora influenzati dal mondo esterno, seppure in maniera leggera; pertanto, è possibile che alcuni dati rilevati non possano essere associati unicamente all'esperienza.

CAPITOLO 8

Conclusioni

La tesi proposta aveva come principale obiettivo quello di costruire e dimostrare il funzionamento di un prototipo che permettesse il miglioramento di un'esperienza virtuale grazie all'analisi di dati biometrici in tempo reale, nello specifico grazie al rilevamento del battito cardiaco.

Durante la realizzazione del prototipo sono stati effettuati test intermedi per verificare il corretto funzionamento dei singoli componenti, fino ad arrivare ad una versione definitiva per passare alla fase di ricerca.

In quest'ultima fase sono state coinvolte 21 persone (8 donne e 13 uomini) di età compresa fra i 25 e i 35 anni, alcuni già con esperienza pregressa in ambienti VR. Prima di iniziare i test, è stato loro chiesto di rispondere ad alcune domande riguardo la loro esperienza nell'ambito e potenziali problematiche o caratteristiche cardiache.

Per assicurarsi del corretto rilevamento dei dati mediante il prototipo Arduino, dopo il collegamento degli elettrodi, agli utenti veniva misurato il battito cardiaco grazie all'utilizzo di un saturimetro. Durante l'esperienza i soggetti erano posizionati su una poltrona, con le gambe distese su un poggiatesta, per evitare interferenze nel segnale. Essi potevano guardarsi attorno, essendo immersi in ambienti a 360°, ma non interagire con la scena.

L'ordine delle scene, che alternavano ambienti stressanti ad ambienti rilassanti, è stato scelto per dimostrare come determinate situazioni comportino un'accelerazione o diminuzione del battito e, di conseguenza, dimostrare il corretto funzionamento del prototipo. In particolare, la scena finale, uno scenario horror ricco di azione e jump-scare, mostra come, seppure i dati siano soggettivi e il risultato dell'esperienza diverso da persona a persona, vi siano aspetti comuni che comportano una determinata reazione dei soggetti.

Si può dunque affermare di aver raggiunto gli obiettivi proposti, dimostrando il funzionamento e la validità di un prototipo di questo tipo che permette di adattare un'esperienza al singolo utente rendendola unica e mantenendo un livello di attenzione maggiore. L'alternanza delle scene, inoltre, evita un crescendo troppo eccessivo che comporterebbe un raggiungimento della soglia molto veloce e una durata dell'esperienza molto ridotta oltre che potenzialmente spiacevole o fastidiosa.

Ciò nonostante, il prototipo comporta ancora delle limitazioni:

- La necessità di alimentare l'elettrocardiografo Arduino e di mandare i dati a Unity mediante porta seriale lo vincola ad essere collegato al computer;
- Per quanto piccolo, il prototipo Arduino risulta ancora ingombrante e, la necessità di posizionare gli elettrodi in determinate parti del corpo, limita la libertà degli utenti che, in alcuni casi, si sono sentiti bloccati dalla paura di fare movimenti troppo bruschi;
- La mancanza di interazione può portare gli utenti ad annoiarsi in certi casi, il che può avere delle conseguenze anche dal punto di vista cardiaco, così come sentire la presenza di rumori esterni non aiuta l'immersione degli utenti e può comportare un disturbo nel segnale;

Queste caratteristiche lasciano dunque spazio a delle migliorie future per questo lavoro, non solo dal punto di vista tecnico ma anche fisico, affermando però una base di partenza che ne rende già possibile l'applicazione.

In primis, il prototipo va reso più compatto e idealmente portatile, questo può essere fatto con l'introduzione di un modulo wireless, sia esso bluetooth o wi-fi, per mantenere la comunicazione con

l'applicazione Unity e con l'alimentazione tramite una batteria esterna. Andrebbe dunque studiata una struttura più piccola e una saldatura adatta a questa.

Per evitare l'ingombro degli elettrodi, si può pensare di utilizzare un *Pulse sensor* invece del modulo AD8232. Questo richiederebbe uno studio più preciso per avere un segnale ben stabile in quanto è un tipo di modulo tendenzialmente più sensibile alle interferenze, ma permetterebbe una maggiore libertà di movimento in quanto utilizza un unico punto di rilievo del dato, tendenzialmente posizionato ad uno degli indici.

Questo tipo di sensore lascerebbe più spazio al movimento degli utenti, permettendo dunque di studiare una forma di interazione negli ambienti sia statica, cioè restando comunque seduti ma utilizzando i controller per muoversi, che più dinamica quindi muovendosi all'interno di un'area definita.

Le scene scelte per questa ricerca, inoltre, avevano come obiettivo quello di mostrare l'efficacia del prototipo più che mettere gli utenti maggiormente a loro agio. Questo non esclude che il prototipo possa essere utilizzato per guidare gli utenti durante esperienze più mirate, siano esse di meditazione o rilassamento che di attività sportiva o di gioco. Così come può essere utilizzato per testare l'efficacia di scenari e azioni all'interno di un'esperienza con le quali si intende trasmettere una determinata sensazione a chi utilizza l'applicazione creata.

Questo tipo di ricerca ha permesso infine di creare un'esperienza unica per ogni soggetto, nonostante vivessero e osservassero le stesse situazioni. In questo caso gli utenti avevano una soglia comune, quella dei 100 battiti per minuto, che comportava una variazione dell'esperienza ma le differenze tra i risultati lasciano intendere che è possibile creare delle esperienze maggiormente ad hoc, dove grazie ai dati rilevati è magari possibile sbloccare azioni o componenti assolutamente soggettive. Queste possono dipendere da un certo tipo di variazione nei dati o da un dato specifico, come nel caso dei test effettuati.

Si può dunque concludere questa ricerca affermando che, come molti altri lavori prima di questo, è possibile e consigliato continuare il lavoro in questo versante per apportare una crescita nel mondo della realtà virtuale e nei suoi campi di applicazione grazie all'utilizzo dei dati biometrici e del biofeedback.

Ringraziamenti

Questo è il punto in cui ci si aspetta che io faccia una lunga lista di nomi da ringraziare per avermi sostenuto e supportato durante la scrittura della tesi e il percorso accademico, ma la verità è che non basterebbero poche righe per farlo perciò cercherò di essere molto riassuntiva.

È prassi che io inizi ringraziando i miei relatori, i professori Bottino e Strada, per avermi permesso di realizzare e concludere questo progetto, e tutte le persone che si sono prestate ad eseguire i test per trarne risultati e conclusioni.

Magari anche l'ateneo perché in fondo mi ha permesso di conoscere persone stupende (e altre un po' meno stupende), durante un percorso molto lungo e faticoso, che hanno contribuito a tante scelte essenziali per arrivare a questo momento. In particolare, di queste persone, ringrazio quei compagni di corso che oggi sono fiera di poter chiamare amici:

Dorsa e Holly, insieme abbiamo affrontato molto più di fisica, chimica e analisi 1 e, nonostante la distanza che oggi ci separa e i percorsi diversi intrapresi, sono sicura che mai avrei potuto affrontare tutto questo senza le nostre serate e videochiamate.

Gigi, Chia e Gusta che sin da quelle fredde (gelate in verità) giornate di riprese a Villanova, sono sempre pronti a stappare una birretta e scambiare due chiacchiere.

Anto, Michi ed Emmanuel con cui ho condiviso ogni singolo sclero per progetti da portare a termine durante questa magistrale (puntualmente consegnati alle 3 di notte con un occhio aperto e l'altro chiuso), ma anche bellissime feste e jam session.

Sissi che, tra un caffè in Crocetta e un calice di vino al Quadrilatero, mi ha fatto distrarre nei momenti più stressanti.

Cesca, unica e insormontabile compagna di avventure, e soprattutto sventure, sempre pronta ad ascoltare i miei folli racconti e a darmi consigli.

Ci sono poi persone che mi hanno visto iniziare questo percorso, altre che sono entrate in corso d'opera e chi invece ha dato quel tocco in più alla sua chiusura:

D'Acu ed Erika, i più vecchi e migliori amici che ho, con loro ho condiviso emozioni uniche ed è sempre bello poter rivivere ricordi con una piccola lacrimuccia che scende sia per la malinconia che per le risate.

Mauri, che tra una chiacchiera e l'altra è stato la principale fonte d'ispirazione per la scelta dell'argomento di questa tesi e per svagare i pensieri nei momenti in cui sembrava non avere senso.

Pietro, che mi ha sostenuta, ascoltata e tranquillizzata in momenti in cui mi sembrava impossibile poter finire questo progetto.

G, che in pochissimo tempo è passata dall'essere una collega a diventare una carissima amica, oggi quasi sorella, e che, tra una risata e l'altra, mi ha dato la forza di credere in ciò che stavo facendo.

Tutti loro hanno dato tantissimo a questo percorso, sia per quanto riguarda lo studio che per la cosiddetta vita sociale, e sono sicura che continueranno a farlo in futuro.

Infine, nulla di tutto questo sarebbe stato possibile senza la mia famiglia. Iniziando dai miei genitori, che mi hanno visto soffrire e sudare freddo per arrivare fin qui e oggi si definiscono più fieri di me di quanto io sia mai stata e mai sarò, per passare poi ai miei fratelli e sorelle:

Romi, da sempre il mio punto di riferimento e ispirazione, il miglior esempio di forza, perseveranza e costanza nel lavoro e nello studio che abbia mai potuto avere.

Ana, l'artista della famiglia, che con la sua allegria e voglia di lanciarsi sempre in nuovi progetti mi ha spinto ad usare la creatività in tutto ciò che faccio.

Guada invece mi ha mostrato che non bisogna avere paura dei cambiamenti e che, ogni tanto, è meglio lasciar perdere logica e ragione e ascoltare semplicemente il cuore.

Panchu, il miglior fratello maggiore che si possa volere, sempre pronto a cercare una soluzione o un'alternativa a qualunque problema.

Gullo, che nonostante tutto il caos che scatena, mi ha insegnato l'importanza di essere onesti con sé stessi e con gli altri.

Ho iniziato questa tesi con una dedica a Leonardo, il membro più giovane di questa famiglia, perché spero che questo lavoro, e la passione che ci ho messo, possano un giorno essergli d'ispirazione proprio come i miei fratelli e sorelle lo sono per me.

CAPITOLO 9

Copyright

Elenco delle figure

Capitolo 2

- Differenza VR-AR
<https://www.glassup.com/wp-content/uploads/2018/10/AR-VR-711X400.png>
- Riproduzione di stereoscopio ottocentesco Holmes
https://it.wikipedia.org/wiki/Stereoscopia#/media/File:Holmes_stereoscope.jpg
- Sensorama in esecuzione
https://www.researchgate.net/figure/Sensorama-the-first-virtual-immersion-system-the-technical-table-and-the-pictures-shown_fig1_321142137
- La “Spada da Damocle” indossata da Donald L. Vickers, uno studente di Ivan Sutherland dell’Università dello Utah
<http://www.studioargento.com/immersiva/images/spada-di-damocle.jpg>
- Virtuality 1000CS in esecuzione, 1991
<https://www.tomshw.it/data/thumbs/4/9/5/1/virtuality-1000cs-r-600x450-1f380980c3a7cfbb9b7fc5dffa36d648.jpg>
- Visore SEGA VR
<https://www.tomshw.it/data/thumbs/4/9/5/1/segavrr-600x450-272ca849a85fa86ee631c2d875ef913a0.jpg>
- Nintendo Virtual Boy
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Virtual-Boy-Set.jpg>
- Visore Google Cardboard
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ad/Google-Cardboard.jpg/800px-Google-Cardboard.jpg>
- Visore Oculus Rift
https://www.pngjoy.com/preview/r0g9s118i313i6_oculus-rift-oculus-rift-cv1-png-download/
- Visore Samsung Gear VR
<https://www.macitynet.it/wp-content/uploads/2020/05/samsung-gear-vr-1280x720-1-696x392.jpg>
- Visore HTC Vive
<https://image.coolblue.be/600x315/products/490000>

Capitolo 3

- Grafica esemplificativa dati biometrici
https://www.freepik.com/free-vector/identification-technologies-set-with-face-recognition-hand-automatic-verification-technology-systems-isolated_6831418.htm#page=1&query=biometrics&position=12#position=12&page=1&query=biometrics

- Grafica esemplificativa biofeedback
<http://neurogrow.com/wp-content/uploads/2020/06/11.2-1024x914.jpg>
- Grafica tecnologie di rilevamento biometrico
https://www.freepik.com/free-vector/biometric-recognition-systems-background_6479504.htm#page=1&query=biometrics&position=31

Capitolo 4

Tutte le immagini presenti nel capitolo sono state prese dagli articoli a cui fanno riferimento, elencati nella bibliografia sottostante.

Analisi e Terapia

- Bambino in analisi durante lo studio dell'utilità del biofeedback in VR
(*Using physiological signal analysis to design affective VR game* - Yi Li et al.)
- Scene VR emotive per il rilevamento della GSR e del HVR
(*Using physiological signal analysis to design affective VR game* - Yi Li et al.)
- Scene VR emotive per lo studio sulla dilatazione della pupilla
(*Exploring pupil dilation in emotional VR environments* – Hao Chen et al.)
- Studio sulla paura dell'altezza con l'uso di *Richie's Plank Experience*
(*Are you afraid of heights and suitable for working at height?* – Hao Wang et al.)
- Scenari VR per il riconoscimento di pazienti affetti da dipendenza da metanfetamina
(*Using machine-learning approach to distinguish patients with methamphetamine dependence from healthy subjects in a VR environment* – Xinfang Ding et al.)

Training autogeno

- Risultati ottenuti con il training per la gestione del respiro con l'utilizzo di BreathCoach
(*BreathCoach: a smart in-home breathing training system with biofeedback via VR game* - Linli Tu et al.)
- SOLAR, guida alla meditazione per la gestione del respiro
(*BreathCoach: a smart in-home breathing training system with biofeedback via VR game* - Linli Tu et al.)
- Ambienti VR in un'applicazione per la gestione del respiro con il diaframma
(*A mobile VR-based respiratory biofeedback game to foster diaphragmatic breathing* - Christoph Rockstroh et al.)
- Livelli di gioco in un'applicazione per la gestione del battito cardiaco
(*Effects of voluntary heart rate control on user engagement and agency in a VR game* - Samory Houzangbe et al.)

Intrattenimento

- Visuale di un gioco horror basata sul battito cardiaco
(*Biofeedback Interactive VR System Using Biological Information Measurement HMD* – Masahiro Inazawa et al.)

- Sensori PPG montati su un visore per rilevare la frequenza cardiaca mediante la luce
(*Physiological Measurements on a Gaming VR Headset Using Photoplethysmography* - Seiya Otsuka et al)
- Ambiente horror utilizzato per testare un prototipo vibro-tattile su sedia a rotelle
(*Emotion Hacking VR: Amplifying scary VR experiences by accelerating real heart rate using false vibrotactile biofeedback* - Ryoko Ueoka et al.)
- Prototipo vibro-tattile creato per aumentare l'immersione in un ambiente horror
(*Emotion Hacking VR: Amplifying scary VR experiences by accelerating real heart rate using false vibrotactile biofeedback* - Ryoko Ueoka et al.)
- Effetti amorfi generate dai dati rilevati nell'esperienza immersiva BioFlockVR
(*BioFlockVR: Exploring visual entrainment through amorphous nature phenomena in bio-responsive multi-immersant VR interactives* - Meehae Song et al.)
- Sensori utilizzati e ambiente reale di immersione per BioFlockVR
(*BioFlockVR: Exploring visual entrainment through amorphous nature phenomena in bio-responsive multi-immersant VR interactives* - Meehae Song et al.)
- STRATA – Floating island
<http://archive.themill.com/media/00000020279.jpg>
- STRATA – Meadow
<http://admin.themill.com/media/00000020277.jpg>
- DEEP VR – Ambiente 1
<https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/56a1092da128e65fa42a11fa/1614895527288-2LC7J8F00BS0TJRA2EP9/jellysketch1.png?format=750w>
- DEEP VR – Ambiente 2
https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/56a1092da128e65fa42a11fa/1614895524852-7U6S8I6VM8RXHX6DHJU3/DEEP_PDP+art+SCREENSHOT+copy+4.png?format=750w
- DEEP VR – Ambiente 3
<https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/56a1092da128e65fa42a11fa/1614895526530-UWB0PYWQW1AZPJUMGZP4/ForestWIP3.png?format=750w>

Capitolo 5

- Scenario 1: ambiente abbandonato
<https://elements.envato.com/vr360-view-of-abandoned-soviet-base-4TP3DRK>
- Scenario 2: tunnel metropolitana
<https://elements.envato.com/vr-360-old-subway-metro-tunnel-8WYCT32>
- Scenario 3: scantinato horror
<https://vuze.camera/vr-gallery/3d-360-video/chamber-horror-vr-thriller>
- Scenario 4: palme e tramonto
<https://elements.envato.com/aerial-vr-360-panorama-of-tropical-island-at-sunse-H8GMDKX>

- Scenario 5: foresta incantata
<https://elements.envato.com/vr-360-firefly-flying-in-the-forest-25F9VMC>
- Scenario 6: Ambiente 3D realizzato con Blender 2.8, visuale dalle schede *Scene* e *Game* di Unity

Capitolo 6

- Arduino IDE logo
https://it.wikipedia.org/wiki/File:ArduinoLogo_%C2%AE.svg
- Unity logo
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Unity_2021.svg
- Visual Studio logo
<https://logowik.com/microsoft-visual-studio-vector-logo-4965/download-options.html>
- Arduino Nano
https://cdn.shopify.com/s/files/1/0438/4735/2471/products/A000005_01.iso_763x573.jpg?v=1628695103
- Modulo AD8232
<https://content.instructables.com/ORIG/FEQ/W49B/KMT6GY2E/FEQW49BKMT6GY2E.jpg>
- Display TFT SPI 1.8”
https://m.media-amazon.com/images/I/61wroDzb-7L._SL1500_.jpg
- Visore Oculus Quest 2
<https://www.trustedreviews.com/wp-content/uploads/sites/54/2020/09/Oculus-Quest-2-e1599493662386-920x614.png>
- Pulsossimetro
<https://www.pexels.com/it-it/foto/uomo-persone-donna-mano-4390162/>

Capitolo 7

- Corpo umano
https://it.freepik.com/foto-gratuito/figura-medica-maschio-3d-che-mostra-scaption-della-spalla_3142033.htm#page=1&query=human%20body&position=14&from_view=search
- Anatomia del cuore umano
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagram_of_the_human_heart_it.svg
- Interpretazione ECG
<https://it.wikipedia.org/wiki/File:SinusRhythmLabels-it.svg>

Bibliografia

- Ahmadpour N., Randall H., Choski H., Gao A., Vaughan C., Poronik P. (2019) *Virtual Reality interventions for acute and chronic pain management* – Elsevier
- Camara D.R., Hicks R. (2019) *Using virtual reality to reduce state anxiety and stress in university students: An experiment* – Google Scholar
- Dias L.P.S., Barbosa J.L.V., Vianna H.D. (2017) *Gamification and serious games in depression care: A systematic mapping study* – Elsevier
- Li Y., Elmaghraby A.S., El-Baz A., Sokhadze E.M. (2015) *Using Physiological Signal Analysis to Design Affective VR Games* – IEEE
- Chen H., Dey A., Billingham M., Lindeman R.W. (2017) *Exploring Pupil Dilation in Emotional Virtual Reality Environments* – Scopus
- Tinga A.M., Nyklíček I., Jansen M.P., de Back T.T., Louwse M.M. (2018) *Respiratory Biofeedback Does Not Facilitate Lowering Arousal in Meditation Through Virtual Reality* – Google Scholar
- Tarrant J., Cope H. (2018) *Combining Frontal Gamma Asymmetry Neurofeedback with Virtual Reality: A Proof-of-Concept Case Study* – Scopus
- Maarsingh B.M., Bos J, Van Tuijn C.F.J., Renard S.B. (2019) *Changing Stress Mindset Through Stressjam: A Virtual Reality Game Using Biofeedback* – Google Scholar
- Schoeller F., Bertrand P., Gerry L.J., Jain A., Horowitz A.H., Zenasni F. (2019) *Combining Virtual Reality and Biofeedback to Foster Empathic Abilities in Humans* – Google Scholar
- Donga J., Gomes P.V., Marques A., Pereira J., Azevedo J. (2020) *Application of Adaptive Virtual Environments Through Biofeedback for the Treatment of Phobias* – Google Scholar
- Wang H., Wang Q., Hu F. (2019) *Are you afraid of heights and suitable for working at height?* - IEEE
- Dellazizzo L., Potvin S., Bahig S., Dumais A. (2019) *Comprehensive review on virtual reality for the treatment of violence: implications for youth with schizophrenia* – Google Scholar
- Maggio M.G., Naro A., La Rosa G., Cambria A., Lauria P., Billeri L., Latella D., Manuli A., Calabrò R.S. (2020) *Virtual Reality Based Cognitive Rehabilitation in Minimally Conscious State: A Case Report with EEG Findings and Systematic Literature Review* – Scopus
- Ding X., Li Y., Li D., Li L., Liu X. (2020) *Using machine-learning approach to distinguish patients with methamphetamine dependence from healthy subjects in a virtual reality environment* – Wiley
- Tu L., Hao T., Bi C., Xing G. (2019) *BreathCoach: A smart in-home breathing training system with biofeedback via VR game* – Elsevier
- Rockstroh C., Blum J., Göritz A.S. (2020) *A mobile VR-based respiratory biofeedback game to foster diaphragmatic breathing* – Scopus
- Blum J., Rockstroh C., Göritz A.S. (2020) *Development and Pilot Test of a Virtual Reality Respiratory Biofeedback Approach* – Scopus
- Houzangbe S., Christmann O., Gorisse G., Richir S. (2020) *Effects of voluntary heart rate control on user engagement and agency in a virtual reality game* – Scopus
- Inazawa M., Xianyin H., Ban Y. (2019) *Biofeedback Interactive VR System Using Biological Information Measurement HMD* – Research Gate & ACM Digital Library

- Otsuka S., Kurosaki K., Ogawa M. (2017) *Physiological Measurements on a Gaming Virtual Reality Headset Using Photoplethysmography. A preliminary attempt at incorporating physiological measurement with gaming* – IEEE
- Ueoka R., AlMutawa A., Katsuki H. (2016) *Emotion Hacking VR (EH-VR): Amplifying Scary VR Experience by Accelerating Real Heart Rate Using False Vibrotactile Biofeedback* – ACM Digital Library
- Bailey J. O., Bailenson J.N., Casasanto D. (2016) *When Does Virtual Embodiment Change Our Minds?* - Scopus
- Khamis M., Schuster N., George C., Pfeiffer M. (2019) *ElectroCutsscenes: Realistic Haptic Feedback in Cutsscenes of Virtual Reality Games Using Electric Muscle Stimulation* – ACM Digital Library
- Geršak G., Lu H., Guna J. (2018) *Effect of VR technology matureness on VR sickness* – Research Gate
- Song M., Tadeo T., Sandor I., Ulas S., DiPaola S. (2019) *BioFlockVR: Exploring Visual Entrainment through Amorphous Nature Phenomena in Bio-Responsive Multi-Immersion VR Interactives* – ACM Digital Library
- Iacovici T.V., Osorio S., Rosario B. Jr. (2011) *Biofeedback in Virtual Reality Applications and Gaming* – Google Scholar
- Xie T., Cao M., Pan Z. (2020) *Applying Self-Assessment Manikin (SAM) to Evaluate the Affective Arousal Effects of VR Games* – ACM Digital Library
- Flowers B.A., Tatoian R., Witkowski A., Katenka N., Hervé J. (2018) *Using Multi-Sensor Voting for Resilience in VR Biofeedback Games* – IEEE

Sitografia

Capitolo 3

- Definizione di “dati biometrici”
<https://protezionedatipersonali.it/dati-biometrici>
- Principali tecnologie basate su dati biometrici
<https://vitolavecchia.altervista.org/le-principali-tecnologie-di-riconoscimento-biometrico/>
- Definizione di “biofeedback” e alcune applicazioni
<https://economia.tesionline.it/economia/articolo/il-biofeedback/12669>
- Campi di applicazione dati biometrici
<https://www.internet4things.it/industry-4-0/sicurezza-industry-4-0-le-soluzioni-fujitsu-wearable-biometria-iot-big-data/>
- Campi di applicazione biofeedback
https://www.treccani.it/enciclopedia/biofeedback_%28Universo-del-Corpo%29/

Capitolo 4

- Teoria dei Nudge (nudging)
https://it.wikipedia.org/wiki/Teoria_dei_nudge
- Richie’s Plank Experience in SteamVR
https://store.steampowered.com/app/517160/Richies_Plank_Experience/
- Bring to Light - Intervista a Keith Makse
<https://www.esquire.com/it/lifestyle/tecnologia/a22543889/videogioco-realta-virtuale-paura-battito-cardiaco/>
- Bring to Light in SteamVR
https://store.steampowered.com/app/636720/Bring_to_Light/
- Nevermind in SteamVR
<https://store.steampowered.com/app/342260/Nevermind/>
- STRATA by The Mill
<https://www.themill.com/newsfeed/strata-a-biometric-vr-experience/>
- Deep VR
<https://www.exploreddeep.com/#about-deep>

Capitolo 5

- Normativa EN 60601
<https://www.bsigroup.com/it-IT/Dispositivi-Medici/Servizi-medicali/EN-60601-Apparecchi-e-sistemi-elettromedicali/>
- Normativa IEC 60601
https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_60601

Capitolo 6

- Arduino IDE
https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE
- Arduino website
<https://www.arduino.cc/>
- Unity
[https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))
- Unity website
<https://unity.com/our-company>
- Visual Studio
https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio
- Visual Studio website
<https://visualstudio.microsoft.com/it/>
- Arduino hardware
[https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_\(hardware\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_(hardware))
- Arduino website
<https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>
- Modulo AD8232
https://www.amazon.it/dp/B08216YR9H/ref=cm_sw_em_r_mt_dp_R6RQTS99A5JPA9CHEW12?encoding=UTF8&psc=1
- Display TFT SPI 1.8" AZDelivery
https://www.amazon.it/dp/B078J5TS2G/ref=cm_sw_em_r_mt_dp_2F4HDVW9JE4Q71M4PAN3?encoding=UTF8&psc=1
- Oculus
[https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_\(brand\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_(brand))
- Oculus Quest 2
<https://www.oculus.com/quest-2/>
- Requisiti di sistema Oculus Rift S
https://support.oculus.com/articles/getting-started/getting-started-with-rift/rift-s-minimum-requirements/?locale=it_IT
- Pulsossimetro
<https://it.wikipedia.org/wiki/Pulsiossimetro>

Capitolo 7

- Cuore umano
https://it.wikipedia.org/wiki/Cuore_umano

- Fibre di Purkinje
https://it.wikipedia.org/wiki/Fibre_del_Purkinje
- Elettrocardiogramma
<https://it.wikipedia.org/wiki/Elettrocardiogramma>