



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

Dottorato in Digital Humanities - Tecnologie Digitali, Arti, Lingue, Culture e Comunicazione

XXXI CICLO

**Sistemi immersivi per contesti sociali:**  
come progettare e sviluppare nuovi tipi di esperienze ed interazioni

**Candidato**

Marcutti Simone

**Supervisors**

Gianni Viardo Vercelli

Ilaria Torre

<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>English Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Prefazione</b> .....	<b>10</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>12</b>
<b>Research questions</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Sistema immersivo: definizione, tecnologie e concetti chiave</b> .....	<b>16</b>
1.1 Immersività: definizione e concetti collegati.....	17
1.1.1 Aspetto fisiologico e tecnico: le percezioni sensoriali.....	18
1.1.2 Aspetto quantitativo e qualitativo: tecniche e strumenti di valutazione .....	33
1.2 Le tecnologie immersive: panoramica e approfondimento .....	36
1.2.1 Display 3D .....	46
1.2.2 Augmented Reality (AR).....	49
1.2.3 Mixed Reality (MR).....	53
1.2.4 Virtual Reality (VR).....	55
1.2.5 Natural User Interfaces (NUI).....	59
1.2.6 Robotica, sensori ed attuatori.....	62
1.2.7 Speech Recognition .....	64
1.2.8 Spatial Audio .....	66
1.2.9 Haptic Feedback .....	67
1.3 Oltre l'immersività: campi complementari di ricerca.....	70
1.3.1 Internet of Things .....	70
1.3.2 Intelligenza Artificiale.....	72
1.3.3 3D printing.....	75
<b>2 Contesto sociale: definizione ed identificazione degli scenari</b> .....	<b>77</b>
2.1 Home: il contesto casalingo .....	84
2.2 Work: il contesto lavorativo .....	87
2.3 Public: il contesto degli spazi pubblici.....	91
2.4 Education: il contesto scolastico e formativo .....	96
2.5 Health: il contesto medico-sanitario .....	100

<b>3 Progettare l'esperienza immersiva: teorie, approcci e metodi da seguire .....</b>	<b>103</b>
3.1 Esperienza immersiva: definizione e spiegazione del significato .....	103
3.2 Dalla progettazione alla valutazione: teorie, approcci e strumenti.....	108
3.2.1 Usabilità ed accessibilità: definizione, obiettivi e differenze .....	110
3.2.2 Interaction Design: l'arte di progettare artefatti .....	113
3.2.3 User Centered Design: la centralità dell'utente nella progettazione .....	120
3.2.4 User Experience: definizione e strumenti per la valutazione .....	122
3.3 CUTE: ideazione di un modello a 4 variabili .....	125
3.3.1 C come Context.....	130
3.3.2 U come Users.....	132
3.3.3 T come Technology.....	135
3.3.4 E come Expertise .....	138
<b>4 Realizzazioni e contributi: sviluppi legati a casi d'uso reali .....</b>	<b>142</b>
4.1 Software e Hardware: descrizione di strumenti comuni ai progetti.....	143
4.1.1 Unity3D: game engine multipurpose .....	143
4.1.2 Node.js: piattaforma modulare .....	146
4.1.3 Arduino e Raspberry: piccoli cervelli da grandi potenzialità.....	147
4.1.4 META Vision: visore per AR.....	151
4.1.5 Oculus: famiglia di visori VR.....	153
4.2 eLaparo4D: sviluppo di un simulatore videolaparoscopico.....	155
4.2.1 Descrizione progetto .....	155
4.2.2 Analisi CUTE .....	157
4.2.3 Sviluppi e risultati .....	160
4.3 eBSim: sviluppo di un simulatore di parto low-cost.....	163
4.3.1 Descrizione progetto .....	163
4.3.2 Analisi CUTE .....	165
4.3.3 Sviluppi e risultati .....	167
4.4 EducationAR: la realtà aumentata in contesto scolastico.....	176
4.4.1 Descrizione progetto .....	176

4.4.2 Analisi CUTE .....	178
4.4.3 Sviluppi e risultati .....	180
4.5 NUImobile: interfacce touchless su mobile devices.....	185
4.5.1 Descrizione progetto .....	185
4.5.2 Analisi CUTE .....	186
4.5.3 Sviluppi e risultati .....	188
4.6 BOCCIA: creazione di un virtual coach per il recupero motorio.....	193
4.6.1 Descrizione progetto .....	193
4.6.2 Analisi CUTE .....	196
4.6.3 Sviluppi e risultati .....	198
4.7 Spaces4All: rendere fruibili luoghi pubblici a tutti.....	200
4.7.1 Descrizione progetto .....	200
4.7.2 Analisi CUTE .....	201
4.7.3 Sviluppi e risultati .....	203
4.8 EventsXR: l'utilizzo della realtà aumentata e virtuale per la progettazione di spazi pubblici.....	207
4.8.1 Descrizione progetto .....	207
4.8.2 Analisi CUTE .....	209
4.8.3 Sviluppi e risultati .....	211
4.9 ARSport: la realtà aumentata in contesto di comunicazione sportiva.....	215
4.9.1 Descrizione progetto .....	215
4.9.2 Analisi CUTE .....	218
4.9.3 Sviluppi e risultati .....	219
4.10 WasteAI: l'utilizzo di realtà aumentata e intelligenza artificiale nella gestione dei rifiuti .....	222
4.10.1 Descrizione progetto .....	222
4.10.2 Analisi CUTE .....	223
4.10.3 Sviluppi e risultati .....	225
<b>Conclusioni .....</b>	<b>227</b>

<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>235</b>
<b>Pubblicazioni .....</b>	<b>236</b>
<b>Appendice A.....</b>	<b>238</b>
<b>Appendice B.....</b>	<b>241</b>
<b>Appendice C.....</b>	<b>243</b>
<b>Appendice D.....</b>	<b>252</b>
<b>Appendice E.....</b>	<b>256</b>
<b>Appendice F .....</b>	<b>259</b>
<b>Figure.....</b>	<b>260</b>
<b>Tabelle .....</b>	<b>263</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>264</b>

## Abstract

In questo lavoro verrà affrontato e discusso il concetto di esperienza immersiva e delle tematiche ad esso collegate con l'obiettivo finale di individuare e descrivere i principali fattori da tenere in considerazione durante la progettazione e lo sviluppo di artefatti digitali immersivi in contesti sociali.

Nella prima parte del lavoro verranno quindi introdotti i concetti di immersività, le tecnologie che consentono la creazione della sensazione di immersione e i sensi che vengono stimolati.

La seconda parte del lavoro introduce invece quella che è una classificazione dei contesti in cui è possibile fruire questo tipo di esperienze, permettendo quindi di evidenziare possibili differenze tra le necessità, i vincoli e gli agenti presenti all'interno di ciascuno.

La combinazione e l'applicazione dei primi due argomenti ha portato a dover affrontare e definire il concetto di esperienza immersiva, le teorie e i concetti importanti da seguire per una sua buona realizzazione.

Durante l'argomentazione delle tematiche relative al concetto di esperienza immersiva si è arrivati a delineare quelli che sono gli elementi caratterizzanti di questo tipo di esperienze (social contexts, environment, content, fruition, people relation, people disabilities, involved display, tracking e outcomes) e che si vanno a riflettere su quattro variabili principali da tenere in considerazione durante la progettazione, lo sviluppo e l'analisi.

Queste riflessioni hanno portato alla concezione di un modello che si basa sulla descrizione delle informazioni legate al contesto in cui l'esperienza viene fruita (Context), la tipologia di utenti coinvolti (Users), la tecnologia necessarie per lo sviluppo (Technology), e le competenze necessarie per la sua realizzazione (Expertise).

Tale modello, abbreviato in CUTE (Context, Users, Technology, Expertise), è stato poi quindi utilizzato per la progettazione e lo sviluppo delle esperienze immersive realizzate durante l'intero percorso di dottorato oltre che per l'analisi di progetti esistenti a cui si è contribuito, permettendo di evidenziare con facilità le alternative che i singoli elementi sono in grado assumere e consentendo l'identificazione di bisogni, requisiti e problematiche in maniera agile per ciascuna delle singole variabili.

Le singole esperienze hanno riguardato lo sviluppo di funzionalità aggiuntive per un simulatore di operazioni videolaparoscopiche; la progettazione e sviluppo di un prototipo di simulatore di parto; lo sviluppo di un'esperienza di realtà aumentata in contesto education per l'apprendimento; la creazione di un virtual coach per il recupero motorio; un survey sulle possibili alternative d'uso di Natural User Interfaces su dispositivi mobile; uno studio su un'applicazione per la fruizione di luoghi non accessibili a causa di limiti strutturali degli ambienti o fisici/cognitivi degli utenti; la realizzazione di un prototipo immersivo per la

progettazione di spazi dedicati a eventi pubblici; lo sviluppo di un'applicazione dedicata al immersive journalism; ed infine lo studio di un sistema intelligente per lo smaltimento dei rifiuti.

Nelle conclusioni verranno ripresi i concetti introdotti nelle varie sezioni e che insieme ai risultati emersi dalle singole esperienze permetteranno di fare delle riflessioni sulla readiness, cioè il livello di prontezza operativa, dei singoli contesti rispetto all'introduzione delle tecnologie immersive oltre che delle considerazioni sull'applicabilità e le possibili evoluzioni del modello CUTE sviluppato.

## English Abstract

This work will analyze the concept of "immersive experience" and notions related to it, with the final aim to identify and describe the key elements to consider when designing and developing immersive digital artifacts in social contexts.

The first part of the dissertation introduces the concepts of immersiveness and immersion, with a specific focus on technologies able to stimulate various human senses, thus enabling a perception called "sense of immersion".

Then, I will classify the possible social contexts in which an immersive experience can happen, highlighting the differences in terms of needs, constraints and agents involved.

The combination of the knowledge belonging to immersion and social contexts leads to a deeper concept of immersive experience with theories and best practices useful for its development.

This insight allowed the categorization of nine key elements that shape an immersive experience: social contexts, environment, content, fruition, people relation, people disabilities, involved display, tracking and outcomes. Such elements converge in four different variables to consider during the stages of analysis, design and development.

Such variables refer to the information related to the context in which the experience occurs, the kind of users involved, the technologies and expertise required to complete the development.

Starting from these considerations, I developed a model named CUTE (Context, Users, Technologies, Expertise) that can be used to analyze existing products and develop new projects.

The model has been used for all the immersive experiences I realized during these years of PhD. In particular, the development of additional features for a videolaparoscopic simulator; the design and development of a birth simulator; the development of an augmented reality experience in educational context; a survey on the possible alternatives to enable Natural User Interfaces on mobile devices; the creation of a virtual coach for motor recovery; the

development of an application to visit inaccessible places; the creation of an immersive solution for the design of public spaces and events; the development of an application dedicated to immersive journalism; the study of an intelligent system for waste disposal. Altogether the concepts introduced in the various sections and the results of single experiences gives hints about the readiness of the individual contexts regarding the introduction of immersive technologies as well as considerations on the applicability and possible evolutions of the CUTE model developed.



*“Complicare è facile, semplificare è difficile.*

*Per complicare basta aggiungere, tutto quello che si vuole:  
colori, forme, azioni, decorazioni, personaggi, ambienti pieni di cose.*

*Tutti sono capaci di complicare.*

*Pochi sono capaci di semplificare.”*

*B. Munari*

## Prefazione

L'inizio del mio percorso dottorale, da un punto di vista formativo, è stato la naturale conseguenza di un lungo percorso iniziato con la frequenza della scuola superiore nella mia città e il successivo percorso universitario suddiviso tra Genova e Milano.

Utilizzando invece una prospettiva diversa e più ampia si può invece dire che la volontà di intraprendere questa esperienza ha radici comunque ben più lontane e profonde, risalenti alla mia infanzia dove da sempre ho avuto un grande interesse, predisposizione e curiosità per tutto quello che era nuovo e tecnologico oltre che una forte volontà di comprendere il funzionamento delle cose per poter ottenere il massimo dalle loro possibilità o per capire come poter apportare eventuali modifiche, correzioni e miglioramenti ottenendo ulteriori vantaggi.

Questa connotazione tecnologica dei miei interessi si è poi riflessa su quello che è stato il mio percorso educativo, iniziato con il conseguimento del diploma di Ragioniere perito Mercurio, ovvero programmatore di computer.

Dopo un primo anno di frequentazione al corso di Informatica all'Università degli Studi di Genova, iniziato per assecondare le mie inclinazioni informatiche ma abbandonato per poca convinzione nell'affrontare quell'avventura con orizzonti molto lontani, il mio percorso è virato sul corso di studi di Scienze della Comunicazione ed al quale ho dato un taglio personale, approfondendo e continuando a coltivare in maniera individuale le mie passioni informatiche che nascevano da spunti legati ad esami presenti nel mio piano di studi e cominciando ad aprire la mente anche ad altre tematiche complementari e più umanistiche come psicologia ed ergonomia, argomenti che trovo interessanti e consideravo utili per quello che ritenevo essere il mio processo di crescita.

Tale approccio si è rivelato per me vincente e funzionale consentendomi di conseguire la laurea triennale con una tesi sperimentale che prevedeva l'utilizzo un dispositivo ai quei tempi innovativo come Kinect di Microsoft. Il continuare a mantenerlo nel corso degli anni mi ha permesso inoltre di conseguire prima un master di I Livello in "Comunicazione con i nuovi media e le tecnologie ICT immersive" sempre presso l'Università degli Studi di Genova e successivamente la laurea magistrale in "Teoria e Tecnologia della Comunicazione" presso l'Università degli Studi di Milano-Bicocca.

La dualità della mia indole ha trovato quindi come suo naturale punto d'arrivo quello del corso di Dottorato in Digital Humanities, disciplina recente, diversificata e tuttora emergente nel campo della ricerca che comprende la pratica della ricerca umanistica attraverso la tecnologia dell'informazione e l'esplorazione di come le discipline umanistiche possano evolversi attraverso l'uso della tecnologia, i media e i metodi computazionali.

Questa definizione non vuol dire che il rapporto tra le due componenti si esprime solo a livello applicativo, ovvero nell'impiego di strumenti informatici per rendere più veloci ed efficienti le ricerche delle discipline umanistiche, ma anche a livello metodologico, ovvero nell'integrazione di approcci al fine di generare nuovi paradigmi di elaborazione dei dati. Il carattere diversificato delle Digital Humanities invece sta ad indicare che tale disciplina trova applicazione in campi che coinvolgono studi di linguistica, filologia, letteratura, storia, archeologia, storia delle arti figurative, musicologia, interazione uomo-macchina, biblioteconomia e il settore della didattica.

L'insieme di questi suoi aspetti, caratteristiche e peculiarità hanno per me costituito l'ambito perfetto in cui poter esprimere liberamente i pensieri e le competenze formate in tutto il precedente percorso formativo e professionale.

Lungo tutti questi anni di studio, formazione e crescita ho infatti avuto modo di continuare a investigare e ampliare le mie conoscenze tecnologiche anche attraverso esperienze lavorative e professionali che mi hanno dato la possibilità di applicare direttamente e in maniera pratica tutte quelle conoscenze e metodologie imparate nel percorso formativo. Le collaborazioni avvenute con Università e aziende, la fondazione e la breve avventura all'interno di una startup con amici e colleghi prima e la successiva apertura della mia piccola - ma attuale - realtà aziendale, Simarlab, mi hanno permesso di confermare sempre di più nella mia testa quella che era la risposta data da un bambino ai suoi genitori e parenti in un Natale di tanti anni fa alla classica domanda del "cosa vorresti fare da grande?".

La mia risposta fu rapida e concisa:

"Lavorare coi computer, sono il futuro".

Quel futuro che a quei tempi vedevo forse così lontano è oggi, in un momento storico in cui le tecnologie sono in continua e costante evoluzione.

L'insieme degli interessi e delle inclinazioni personali precedentemente descritte, unito ad aspetti di carattere più evolutivo e cronistico riguardo le tecnologie sono le motivazioni che stanno dietro il lavoro presentato in questo elaborato.

## Introduzione

Il rapporto esistente tra uomo e tecnologia è da sempre presente nella società moderna, ma può essere anche associato a tempi molto più antichi nella storia dell'umanità, quando la ricerca di innovazione significava apportare miglioramenti alle condizioni di vita dell'uomo. L'importanza di questa considerazione denota come il progresso tecnologico e la società siano tra loro legate in una relazione di reciproca influenza, con il risultato di far emergere periodicamente nuovi bisogni ed opportunità.

Da un punto di vista tecnologico nel corso degli scorsi decenni abbiamo vissuto evoluzioni diverse ed a velocità sempre maggiori e, soprattutto negli ultimi anni, stiamo assistendo a continui processi di miniaturizzazione, aumenti di potenze di calcolo in cicli sempre più corti tra loro, a tal punto che molte tecnologie e dispositivi possono cambiare anche radicalmente a distanza di mesi.

Tutti questi fattori stanno di conseguenza rendendo molte tecnologie accessibili anche su larga scala e sul mercato di massa e non più solamente all'interno di scenari di ricerca e/o industriali, arrivando anche a permeare le comuni attività di ciascuno di noi.

L'interesse nel comprendere come le evoluzioni tecnologiche si possano riflettere sulle dinamiche del quotidiano e sulle interazioni sociali tra le persone che utilizzano strumenti ed applicazioni con diverse finalità e modalità di utilizzo sono parte fondante di questo lavoro. In modo tale da argomentare al meglio la discussione e seguendo la duplice connotazione sia personale che del mio percorso formativo di Digital Humanities, i primi due capitoli sono stati organizzati e divisi in maniera tale da approfondire singolarmente ciascuno dei due tratti caratterizzanti.

La prima parte introdurrà l'aspetto digital riguardante tutto quello che ruota attorno al concetto di immersività introducendo quindi il concetto di "tecnologia immersiva", la definizione di "sistema immersivo" oltre che la differenza esistente tra "sense of immersion" e "presence".

Sulla base dei sensi coinvolti e delle modalità in cui si produce immersività verrà successivamente proposta una classificazione di differenti tecnologie immersive capaci di generare senso di immersione nelle persone che interagiscono con artefatti digitali immersivi.

La seconda parte riguarda invece l'aspetto più umanistico e introdurrà una classificazione dei contesti sociali esistenti in cui questo tipo di artefatti possono essere fruiti, approfondendo quelle che sono le necessità, i vincoli e gli agenti presenti all'interno di ciascuno. Per ciascuno dei contesti verrà fatta un'analisi approfondita che riguarda da un lato il suo inquadramento generale e dall'altro il rapporto esistente con l'uso delle tecnologie al suo interno.

La terza parte va ad unire i due aspetti andando a trattare il concetto di esperienza immersiva, dandone prima una possibile definizione e poi argomentando le pratiche e i metodi da seguire affinché si possa progettare in maniera efficace. Questa terza parte è quella che sotto il profilo della ricerca ha portato all'identificazione di elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva e alla concezione di un modello a quattro variabili, denominato CUTE. L'obiettivo di questo modello è quello di permettere, a chi progetta o analizza questo tipo di artefatti, di evidenziare con facilità le alternative che i singoli elementi sono in grado di assumere rispetto a ciascuna variabile, consentendo quindi l'identificazione di bisogni, requisiti e problematiche in maniera agile attraverso un metodo replicabile.

Il desiderio di approfondire queste tematiche ed il modello sviluppato non solo con un approccio teorico e concettuale, ma con una prospettiva pratica e progettuale, ha portato alla realizzazione di diversi lavori e progetti descritti nella quarta parte del presente lavoro. In questo modo, l'intento era quello di investigare in maniera più ampia, concreta e diretta quelli che erano gli interrogativi iniziali dell'elaborato:

“Questi cambiamenti tecnologici e sociali aprono nuove opportunità rispetto a prima?”

“Cosa bisogna considerare per creare interazioni ed esperienze efficaci e di qualità?”

Le singole esperienze hanno riguardato lo sviluppo di funzionalità aggiuntive per un simulatore di operazioni videolaparoscopiche; la progettazione e sviluppo di un prototipo di simulatore di parto; lo sviluppo di un'esperienza di realtà aumentata in contesto education per l'apprendimento; la creazione di un virtual coach per il recupero motorio; un survey sulle possibili alternative d'uso di Natural User Interfaces su dispositivi mobile; uno studio su un'applicazione per la fruizione di luoghi non accessibili a causa di limiti strutturali degli ambienti o fisici/cognitivi degli utenti; la realizzazione di un prototipo immersivo per la progettazione di spazi dedicati a eventi pubblici; lo sviluppo di un'applicazione dedicata all'immersive journalism; ed infine lo studio di un sistema intelligente per lo smaltimento dei rifiuti.

Riprendendo i concetti e le classificazioni introdotte nelle varie sezioni, la parte delle conclusioni riguarderà riflessioni di carattere generale sulle tematiche descritte nell'elaborato e, anche grazie alla discussione dei risultati emersi dalle singole esperienze sviluppate, altre più specifiche riguardanti l'applicazione delle tecnologie immersive all'interno dei differenti contesti sociali.

In questa ultima sezione sarà inoltre ripresa la concezione del modello CUTE sviluppato, al fine di fare ulteriori considerazioni sulle sue possibili evoluzioni ed applicazioni.

Infine, un ulteriore obiettivo con una punta di ambizione, era quello di provare a sviluppare un elemento di letteratura utile a fornire un survey e una panoramica sulle tematiche legate all'uso e l'applicazione potenziale delle tecnologie immersive che stanno progressivamente contaminando il nostro vivere quotidiano.

Quest'ultima suggestione, nasce dall'osservazione di una forte presenza di diversi contributi scientifici singoli, slegati e principalmente in lingua inglese. L'insieme di queste considerazioni ha fatto pensare che potesse risultare utile invece la presenza di uno studio che mettesse insieme a livello generale le molteplici discussioni esistenti attorno a queste tematiche di ricerca.

## Research questions

Dall'introduzione emergono due interrogativi di carattere generale che definiscono le linee guida attorno a cui far convogliare l'intera argomentazione del presente elaborato.

Questi interrogativi hanno dato forma a quelle che sono le domande di ricerca di carattere tecnico, progettuale e di sviluppo al centro della discussione:

- cos'è e come si progetta un'esperienza immersiva?
- esistono elementi caratterizzanti e variabili di cui tenere particolarmente conto nella sua progettazione?

Tali domande però necessitano di essere meglio articolate e specificate in modo da poter individuare dei singoli problemi di ricerca a cui rispondere in maniera completa, esauriente ed esaustiva. Seguendo la dualità che caratterizza il percorso di dottorato in Digital Humanities possiamo dividere l'analisi in due diverse categorie, una tecnologica e una più umanistica.

Dal punto di vista tecnologico, gli aspetti che risultano interessanti da investigare sono:

- cos'è un sistema immersivo e quali sono le sue caratteristiche?
- quali sono i fondamenti teorici alla base del concetto di immersività?
- cosa si intende per tecnologia immersiva e cosa la rende tale?

Dal punto di vista umanistico emergono invece le seguenti domande:

- cosa si intende per contesto sociale e quali sono le sue possibili classificazioni?
- quali differenze esistono tra di essi?
- quali effetti hanno l'applicazione delle tecnologie al loro interno?

La concezione di queste domande si è poi riflessa sull'organizzazione della struttura dell'elaborato, dove si è cercato di argomentare possibili risposte e descrizioni delle tematiche in una suddivisione in capitoli che affronta prima l'aspetto tecnologico, successivamente quello umanistico ed infine quello tecnico e progettuale legato al concetto di esperienza immersiva.

# 1 Sistema immersivo: definizione, tecnologie e concetti chiave

In questa prima sezione del lavoro viene introdotto e inquadrato il concetto di “sistema Immersivo” con una prima definizione per poi argomentare successivamente il discorso con una ramificazione degli aspetti singoli che caratterizzano questa definizione oltre che quelli correlati e complementari utili a completare il quadro tecnologico dell’intero lavoro.

Affrontando una prima ricerca in letteratura riguardante le locuzioni “sistema immersivo” o “immersive system” non è stato così frequente trovare lavori e pubblicazioni che utilizzassero o che dessero una definizione precisa di questa denotazione, mentre risultavano reperibili definizioni di concetti simili come “immersive environment” ovvero “ambiente immersivo”.

Queste alternative però non rispecchiavano totalmente l’idea di quello che volevo realmente descrivere e che ritrovavo più vicino alla definizione che la parola “sistema” suggerisce: *un’unità fisica e funzionale, costituita da più parti o sottosistemi interagenti (od in relazione funzionale) tra loro (e con altri sistemi), che formano un tutt’uno in cui ogni parte dà il proprio contributo per una finalità comune (o un obiettivo identificativo)*<sup>1</sup>.

Da questa definizione dell’unità funzionale, cioè del sistema, si evince come siano due gli aspetti generali che lo caratterizzano:

- le singole componenti presenti al suo interno;
- la finalità che si vuole raggiungere.

Tale scomposizione permette quindi di fare analisi e considerazioni separate sulle caratteristiche che descrivono la connotazione “immersivo” del sistema.

Parlando delle singole parti, cioè le componenti, che lavorano insieme per il raggiungimento dello scopo preciso possiamo dire che queste trovano una loro precisa identificazione sotto il termine di “immersive technology”, cioè “tecnologia immersiva”, e che viene definita nel seguente modo:

*“technology that blurs the line between the physical, virtual, and simulated worlds, thereby creating a sense of immersion” (Y.-C. N. Lee et al., 2013).*

Per quel che riguarda invece il secondo e ultimo aspetto possiamo quindi dire che l’obiettivo finale di questi “sistemi immersivi” è quello di creare negli utenti che fruiscono ed interagiscono col sistema quel “*sense of immersion*” citato nella descrizione di tecnologia immersiva appena espressa.

---

<sup>1</sup> <http://www.treccani.it/enciclopedia/sistema>



Questo “sense of immersion”, che nel prosieguo del lavoro chiameremo immersione, fa riferimento alla capacità oggettiva di un sistema di produrre immersività secondo misure definite dai concetti *extensive, surrounding, inclusive, vivid and matching* (Slater et al., 1996).

Sommando insieme le riflessioni legate singolarmente a questi due aspetti possiamo quindi definire un “sistema immersivo” come:

*un insieme complesso di tecnologie che lavorano insieme con l’obiettivo di assottigliare il confine tra il mondo fisico e il mondo digitale o simulato, creando un senso di immersione e un alto coinvolgimento stimolando più sensi contemporaneamente.*

Nella parte seguente di questo primo capitolo verrà quindi affrontato più dettagliatamente il concetto di immersività descrivendo in cosa consiste, quali sensi può andare a stimolare, come può essere creata e misurata in maniera oggettiva inquadrando la sua relazione con altri concetti noti in letteratura come “sense of immersion” e “presence” (Fig. 1).



*Fig. 1 Relazione immersività - immersione – presence*

## **1.1 Immersività: definizione e concetti collegati**

Il concetto di immersività (*immersiveness*) è stato precedentemente introdotto come la potenzialità di un sistema di creare “sense of immersion”, sottolineando la particolarità che questa capacità di trasportare gli utenti in ambienti differenti, agendo sulle loro percezioni sensoriali, sia oggettiva e quantificabile sulla base dell’espressione di diverse caratteristiche e specifiche presenti.

Dal punto di vista dell’utente questa capacità può essere intesa come l’essere abilitato a percepire, sentire ed elaborare cognitivamente informazioni che altrimenti non sarebbero state disponibili, aumentando di conseguenza la cognizione umana.

La capacità di sviluppare immersività si può quindi considerare un aspetto puramente tecnico e legato direttamente alla qualità del sistema con cui si sta interagendo, portando ad affermare che un perfetto senso di immersione si può raggiungere nel momento in cui il sistema immersivo è in grado di fornire esattamente le stesse percezioni sensoriali che si avrebbero nel mondo reale. In pratica, quando il cervello non è in grado di distinguere fra ciò che è digitale/virtuale e reale.

In letteratura il concetto di immersione, cioè la sensazione di coinvolgimento con l'ambiente immersivo, viene ulteriormente suddiviso in due dimensioni distinte (Sherman & Craig, 2003):

- mental immersion, stato mentale in cui un utente sente di essere profondamente coinvolto all'interno di un ambiente immersivo;
- physical immersion, stato in cui un utente sente, fisicamente e mentalmente, di essere impegnato in un ambiente immersivo e che viene raggiunta quando l'utente interpreta segnali visivi, uditivi e tattili per raccogliere informazioni, navigare e controllare oggetti nell'ambiente sintetico.

Il concetto di immersione è stato anche elaborato secondo una struttura gerarchica che include tre aspetti principali (Jennett et al., 2008):

- engagement, caratterizzato dall'interesse per l'artefatto e l'intenzione d'uso;
- engrossment, caratterizzato da un interesse crescente, un attaccamento emotivo ed un isolamento rispetto all'ambiente esterno;
- total immersion, caratterizzato da un livello massimo di attenzione e un isolamento totale dato dall'assorbimento mentale generato dall'interazione con l'artefatto.

Viene quindi lecito chiedersi quali siano le percezioni sensoriali su cui si può lavorare per generare immersività e come queste percezioni sensoriali lavorino, al fine di conoscere i meccanismi che portano poi il nostro cervello ad elaborare tutte le informazioni raccolte.

### **1.1.1 Aspetto fisiologico e tecnico: le percezioni sensoriali**

Il corpo umano può essere descritto come un grande sistema di relazioni e di connessioni che esprime l'intera struttura fisica dell'essere umano. Tra questi sistemi c'è il sistema nervoso che ha la funzione di ricevere, trasmettere, controllare ed elaborare gli stimoli interni ed esterni del corpo. È formato dal sistema nervoso centrale (il cervello e il midollo spinale) e sistema nervoso periferico (nervi e gangli al di fuori del cervello) dove il cervello ricopre il ruolo di organo responsabile del pensiero, emozioni, memoria ed elaborazione sensoriale oltre che controllare vari sottosistemi e funzioni. Tra questi sottosistemi ci sono i sistemi sensoriali che sono responsabili della processazione dell'informazione sensoriale (stimolo) che viene raccolta attraverso gli organi di senso (apparati) dando eventualmente luogo ad una risposta verso l'esterno. I sistemi sensoriali comunemente riconosciuti e classificati come tradizionali (Fig. 2) sono quelli legati ai sensi di vista, udito, tatto, gusto e olfatto al quale possiamo aggiungere il sistema vestibolare destinato ad assicurare equilibrio ed orientamento spaziale.

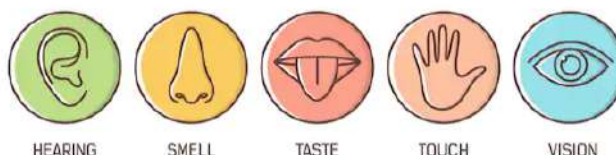


Fig. 2 Cinque sensi principali del corpo umano

Numerosi studi hanno approfondito le tematiche di sensazione e percezione (Bills, 1943; Goldstein, 2009; Matlin & Foley, 1992), evidenziando come ogni senso sia deputato alla raccolta di stimoli differenti attraverso diverse tipologie di recettori (Fig. 3).

Sense	Stimulus	Receptor	Sense Organ
Vision	Electromagnetic energy	Photoreceptors	Eye
Auditory	Air pressure waves	Mechanoreceptors	Ear
Touch	Tissue distortion	Mechanoreceptors	Skin, muscles
		Thermoreceptors	Skin
Balance	Gravity, acceleration	Mechanoreceptors	Vestibular organs
Taste/smell	Chemical composition	Chemoreceptors	Mouth, nose

Fig. 3 Relazioni senso - stimolo - recettori - organo

Questa considerazione caratterizzerà la discussione di questa sezione con un approfondimento singolo dei diversi sensi e delle informazioni che vengono poi inviate al cervello al fine di essere elaborate nelle sedi opportune dislocate nella corteccia cerebrale (Fig. 4).

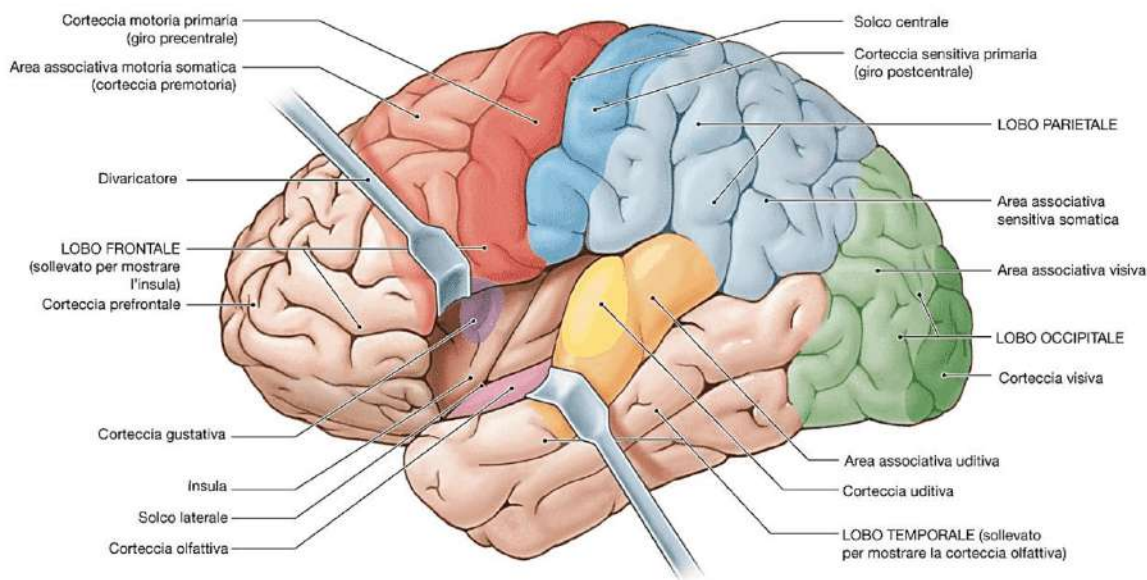


Fig. 4 Rappresentazione delle aree della corteccia

Abbiamo detto che il recettore è lo strumento che consente di interpretare la variazione dello stimolo a seconda della sua natura e trasformarlo in sensazione dando luogo alla sua percezione.

Uno studio di particolare interesse (Cacioppo & Freberg, 2018) approfondisce questo aspetto andando a definire su base empirica quelle che possono essere considerate come delle soglie assolute di percezione, ovvero i livelli minimi di stimoli che sono necessari ad attivare i recettori per ciascun senso:

- vista: percezione della luce di una candela a 50km di distanza, in una notte serena e limpida;
- udito: percezione di un orologio meccanico a 6 metri di distanza all'interno di una stanza silenziosa;
- tatto: la pressione di un'ala di ape fatta cadere da 1 cm di altezza;
- gusto: un cucchiaino di zucchero in 3 litri di acqua;
- olfatto: una goccia di profumo diffusa nell'intero volume di tre stanze.

Il senso della vista, attraverso l'organo dell'occhio, è il primo che viene interessato e raggiunto dagli stimoli visivi e ha lo scopo di ricavare informazioni sull'ambiente circostante attraverso la luce.

L'occhio umano (Fig. 5) infatti raccoglie la luce che gli proviene dall'ambiente, ne regola l'intensità attraverso un diaframma (l'iride), la focalizza attraverso una lente regolabile (cristallino) al fine di formare un'immagine sulla retina e trasformarla in una serie di segnali elettrici che attraverso il nervo ottico vengono inviati al cervello per l'elaborazione e l'interpretazione.

All'esterno dell'occhio troviamo la cornea che ha la funzione di permettere il passaggio della luce verso le strutture interne dell'occhio facendo convergere i raggi luminosi verso la fovea, ma anche quella di proteggere le strutture poste più in profondità.

Successivamente troviamo l'iride che, oltre che essere la parte che dà il colore distintivo agli occhi di una persona, agisce da diaframma regolando la quantità di luce che attraverso la pupilla va a colpire la retina.

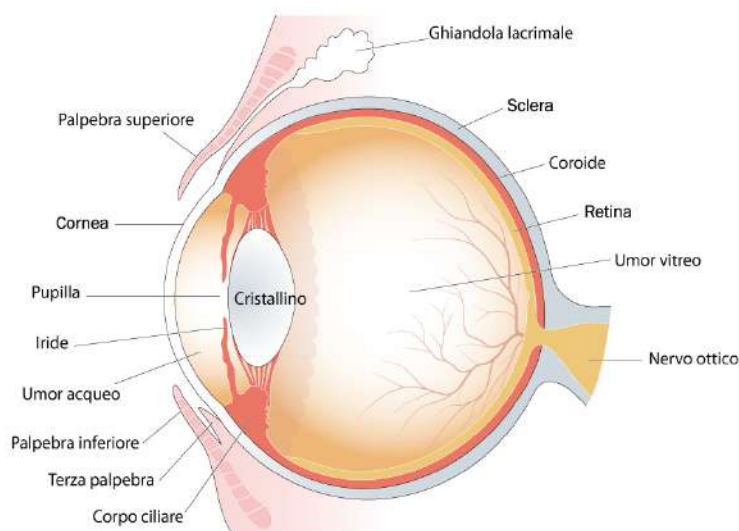


Fig. 5 L'occhio umano

Infatti, per mezzo del muscolo sfintere della pupilla, che ne circonda il margine, avviene il processo di restringimento detto miosi mentre al contrario con il muscolo dilatatore della pupilla, disposto a raggiera, avviene il processo di dilatazione detto midriasi.

Oltre a questi processi importanti di dilatazione e costrizione presenti nell'occhio, un altro altrettanto importante è quello dell'accomodazione.

Tale processo avviene grazie ai muscoli ciliari che intervengono a livello del cristallino, permettendo al sistema ottico di variare la distanza focale attraverso la modifica della propria forma in modo da adattarsi alla distanza dell'oggetto da mettere a fuoco.

La retina è il punto di arrivo della luce in ingresso ed è qui che hanno sede i due tipi di fotorecettori presenti e utilizzati dall'organo della vista, ovvero i coni e i bastoncelli.

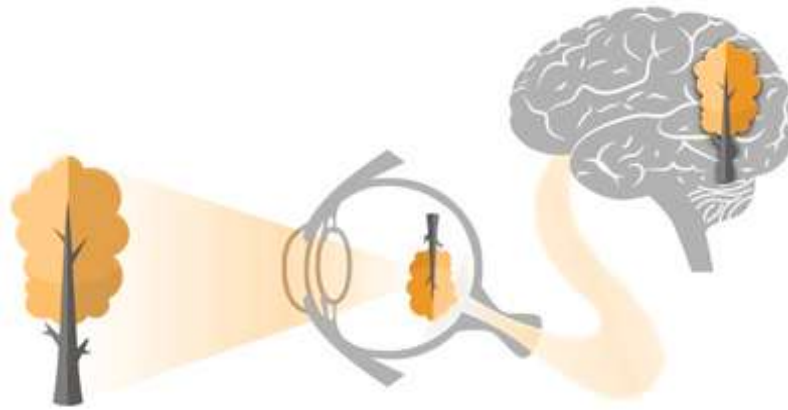
I coni (6-7 milioni) si concentrano principalmente nella parte centrale della retina chiamata fovea, mentre i bastoncelli (120-125 milioni) si trovano nella parte periferica della retina e, oltre a numero e posizione, hanno caratteristiche e funzionalità differenti.

I primi infatti sono poco sensibili alla luce ma specializzati nella percezione dei colori e dei dettagli, mentre i secondi permettono la visione anche in condizioni prossime alla totale oscurità e sono specializzati nella rilevazione dei movimenti.

Inoltre, per la loro diversa collocazione fisica i coni dominano aspetti legati alla visione centrale al contrario dei bastoncelli che sono più legati alla visione periferica.

Il nervo ottico è la parte di questo organo incaricato del trasporto dei segnali provenienti dall'occhio alle aree del cervello incaricate della loro elaborazione, cioè la corteccia visiva. Questa parte costituisce circa il 20% dell'intera corteccia cerebrale e si trova nella parte posteriore del cervello estendendosi parzialmente verso i lobi temporali e il lobo parietale, ovvero la parti laterali e superiori del cervello.

Bisogna precisare che l'immagine da noi percepita subisce numerose elaborazioni da parte del cervello, come ad esempio la presenza di una sorta di punto cieco sulla retina dove non è possibile percepire la luce e che viene visualizzato sotto forma di "buco nero" oppure come l'altro interessante aspetto collegato alla natura rovesciata dell'immagine catturata rispetto a quella effettivamente percepita (Fig. 6).



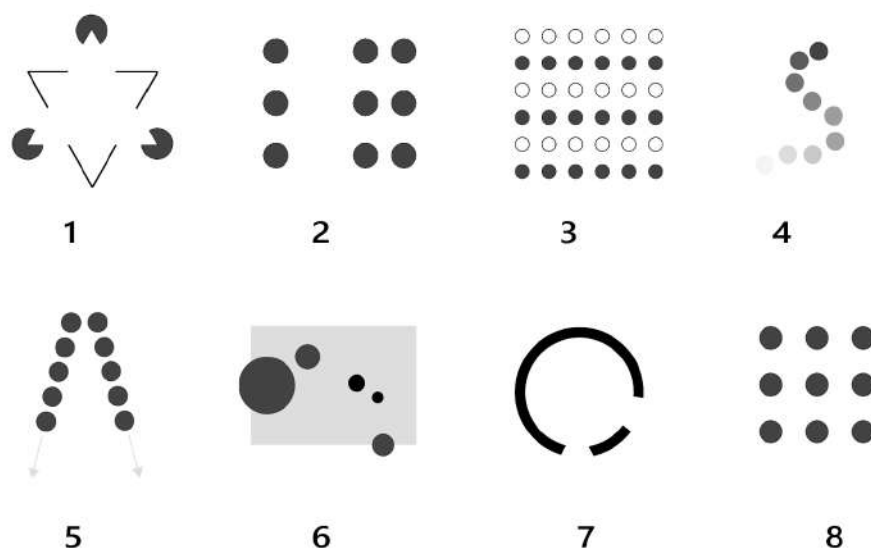
*Fig. 6 Percezione ed elaborazione immagine*

Quando si parla del concetto di percezione non si possono non citare gli studi appartenenti alla psicologia della Gestalt, corrente psicologica che si è sviluppata agli inizi del XX secolo in Germania (nel periodo tra gli anni Dieci e gli anni Trenta) e che proseguì la sua articolazione negli Stati Uniti, territorio nel quale i suoi principali esponenti erano immigrati durante il periodo delle persecuzioni naziste.

Questa corrente è diventata un punto di riferimento soprattutto per quel che riguarda la percezione intesa da un punto di vista visivo, in quanto ha elaborato una serie di principi (Fig. 7) sulla base di come il cervello organizza e interpreta le informazioni.

Tali principi vengono così riepilogati:

1. buona forma, la struttura percepita è sempre la più semplice;
2. prossimità, gli elementi sono raggruppati in funzione delle distanze;
3. somiglianza, tendenza a raggruppare gli elementi simili;
4. buona continuità, tutti gli elementi sono percepiti come appartenenti ad un insieme coerente e continuo;
5. destino comune, se gli elementi sono in movimento vengono raggruppati quelli con uno spostamento coerente;
6. figura-sfondo, tutte le parti di una zona possono essere interpretate sia come oggetto sia come sfondo;
7. chiusura, gli oggetti sono spesso percepiti come una cosa intera, anche quando sono incompleti in quanto la nostra mente colma rapidamente le lacune e ci aiuta a trovare il significato delle cose;
8. regione comune, gli oggetti collocati nella stessa area vengono percepiti come appartenenti allo stesso gruppo.



*Fig. 7 Principi Gestalt*

La conoscenza di queste informazioni, legate sia alle meccaniche di funzionamento dell'organo della vista che al modo in cui vengono organizzate le informazioni raccolte, dà modo di poter aver coscienza di come vengono percepiti il colore, la profondità e di come venga attivata l'attenzione visiva.

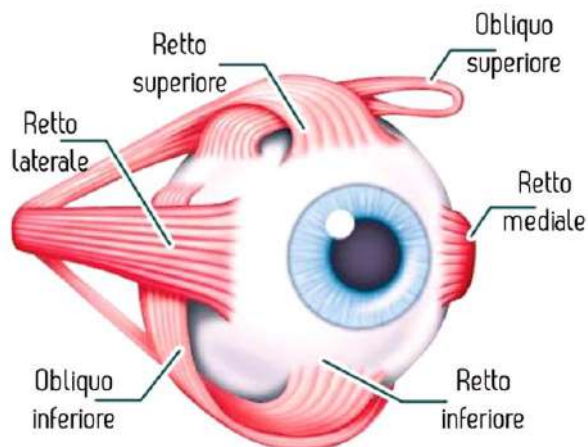
In particolare, quest'ultimo aspetto è di particolare rilevanza perché varia a seconda del tipo di processo che interviene e che può essere di tipo esogeno o endogeno.

Il processo di tipo esogeno (top-down) si attiva quando l'attenzione visiva viene richiamata da stimoli esterni indipendentemente dalla nostra volontà, mentre quello endogeno (bottom-up) si attiva quando volontariamente decidiamo di spostare la nostra attenzione su qualcosa in particolare.

Questi movimenti volontari e normali dell'occhio sono chiamati movimenti saccadici, o saccadi, e hanno appunto la funzione di spostare nella zona retinica di massima sensibilità - cioè nella fovea- i vari punti importanti dell'ambiente esterno che stiamo osservando.

Il movimento dell'occhio umano all'interno del suo alloggiamento è reso possibile grazie a tre coppie di muscoli ovvero i retti mediale e laterale, retti superiore e inferiore, obliqui superiore e inferiore (Fig. 8).

Le informazioni delle proprietà fisiche intrinseche dell'occhio e dei movimenti saccadici che ne controllano l'escursione orizzontale e verticale permettono di



*Fig. 8 Muscoli responsabili del movimento dell'occhio*



definire quello che è il campo visivo umano (FOV - field of view), cioè l'area del mondo esterno visibile quando si fissa un determinato punto (Marieb & Hoehn, 2007). Utilizzando il naso come punto di riferimento, si può dire che orizzontalmente il FOV approssimativo di un singolo occhio umano è  $95^\circ$  verso l'esterno e  $60^\circ$  verso l'interno, il che consente agli esseri umani di avere un campo visivo orizzontale di quasi  $180^\circ$ . Aggiungendo a questi valori la rotazione completa di circa  $90^\circ$  che il bulbo oculare può raggiungere, comprendendo la visione periferica ed escludendo invece la rotazione della testa, il campo visivo orizzontale raggiunge i  $170^\circ$  per un singolo occhio dando quindi un intero campo visivo di  $220^\circ$  (Fig. 9). In direzione verticale invece, il FOV approssimativo di un singolo occhio umano è di  $60^\circ$  verso l'alto e  $75^\circ$  verso il basso, il che consente agli esseri umani di avere un campo visivo verticale di quasi  $135^\circ$  (Fig. 9).

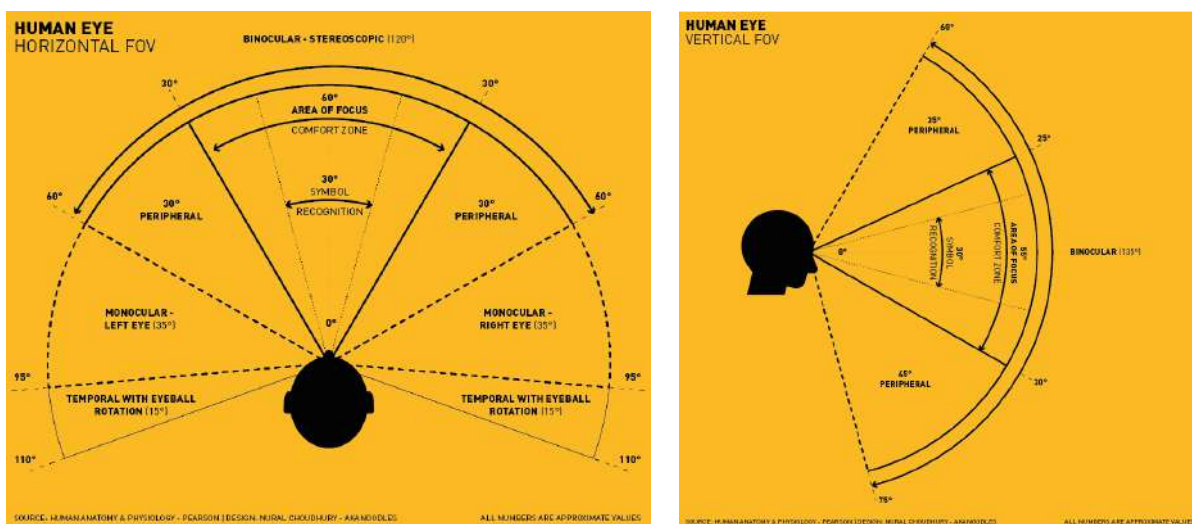


Fig. 9 Campo visivo umano

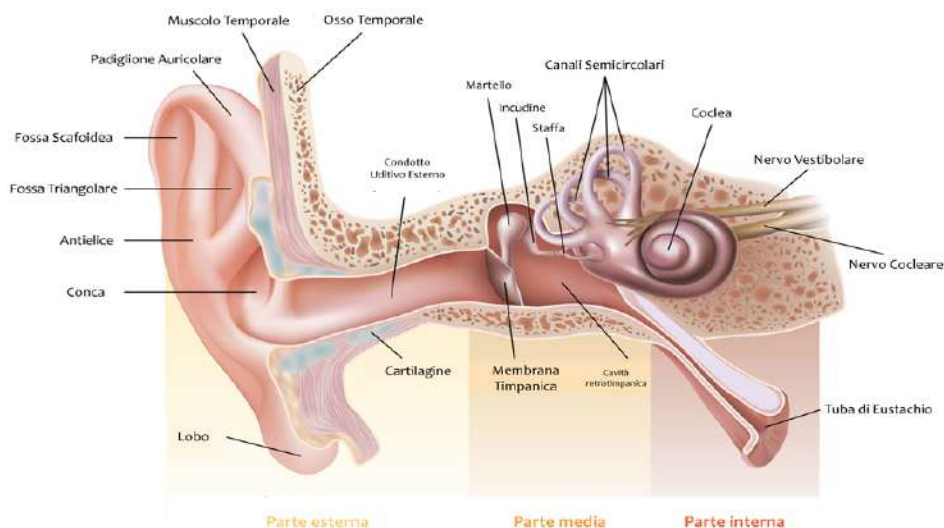
L'insieme di tutte queste conoscenze ci permette di comprendere meglio quali sono le dinamiche che agiscono o possono interferire sui processi che vengono messi in atto durante attività naturali e quotidiane che implicano l'utilizzo della vista.

Il secondo senso che discuteremo è quello dell'udito, composto da un sistema che comprende sia gli organi sensoriali delle orecchie, preposti alla percezione e alla traduzione del suono, sia altre parti uditive del sistema sensoriale che servono a garantire inoltre l'equilibrio statico e dinamico del corpo.

Il sistema uditivo periferico è deputato alla prima fase della traduzione del suono, cioè eseguono la traduzione mecano-elettrica delle onde pressorie sonore in potenziali d'azione neuronali.

Tale sistema è suddivisibile in tre compartimenti - i cui nomi sono orecchio esterno, orecchio medio e orecchio interno (Fig. 10) - ed è formato da porzioni di diversa natura come cartilagini, ossa, muscoli, nervi, vasi sanguigni, ghiandole sebacee e ghiandole ceruminose.





*Fig. 10 Struttura orecchio*

Nell'orecchio esterno gli elementi principali sono il padiglione auricolare, il condotto uditivo esterno e la superficie laterale del timpano; nell'orecchio medio gli elementi più importanti sono il timpano, i tre ossicini, la tromba di Eustachio, la finestra ovale e la finestra rotonda; infine, nell'orecchio interno gli elementi più rilevanti sono la coclea e l'apparato vestibolare. Il funzionamento di questo senso può essere suddiviso in una serie di passi che dall'acquisizione esterna dei segnali porta all'elaborazione dei segnali al cervello per la loro interpretazione.

Il primo passaggio che deve avvenire è il convogliamento del suono all'interno del canale uditivo al fine di provocare spostamento e vibrazioni alla membrana del timpano.

Queste vibrazioni passando attraverso gli ossicini arrivano fino alla coclea, provocando il movimento del fluido contenuto al suo interno che a sua volta stimola le cellule ciliate in grado di ricavare informazioni sui suoni gravi e i suoni acuti a seconda della loro posizione. Questa stimolazione genera segnali neurali che vengono condotti dal nervo acustico fino al cervello per la successiva interpretazione dei suoni.

I suoni, che sono gli stimoli a cui reagisce questo organo di senso, possono essere descritti come sensazioni acustiche determinate da onde sonore emesse da una sorgente che si propagano nell'aria o in un qualunque mezzo elastico e caratterizzati da proprietà ben individuabili di altezza, intensità e timbro.

L'altezza è la qualità che permette la distinzione tra un suono acuto e uno grave e dipende dalla frequenza con cui è stato generato. In pratica più la frequenza di un'onda sonora è elevata e più il suono ci sembrerà acuto, mentre più è bassa la frequenza e più il suono ci apparirà grave. Questa misura viene espressa in cicli al secondo e rappresentata con l'unità di misura Hertz (Hz) utilizzando come metro di riferimento per calcolare l'altezza dei suoni il La4 (ottava centrale del pianoforte), che viene comunemente definito diapason o corista.

L'orecchio umano è in grado di percepire suoni che vanno da 16 a 20.000 oscillazioni al secondo, al di sotto di questo range abbiamo gli infrasuoni mentre al di sopra sono si trovano gli ultrasuoni (Fig. 11). Volendo fare esempi comuni per dare un'idea dell'ordine di grandezza possiamo dire che la frequenza di un rubinetto che gocciola corrisponde a 250 Hz, mentre la suoneria di un telefono può raggiungere circa gli 8000 Hz<sup>2</sup>.

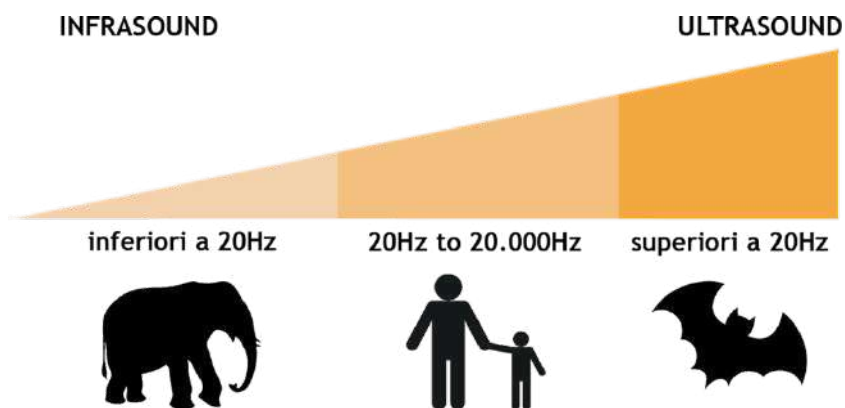


Fig. 11 Percezione frequenze acustiche

L'intensità acustica o sonora invece fa riferimento ad una grandezza fisica definita come il rapporto tra la potenza di un'onda sonora e l'area della superficie che da essa viene attraversata. Un altro modo di considerare l'intensità del suono è quello di vederla come l'energia che in un'unità di tempo attraversa un'unità di superficie posta in un punto perpendicolare alla direzione di propagazione del suono.

La misura di riferimento delle possibili escursioni del livello di intensità acustica viene rappresentata attraverso l'unità dei decibel (dB).

Anche qui per dare un ordine di grandezza della misura possiamo dire che il livello di una conversazione vocale è di circa 65 dB, mentre un valore 120 dB che indica qualcosa di davvero molto forte è comparabile ad un jet che decolla a soli 25 metri di distanza dal nostro sistema uditivo. Una misurazione di zero decibel (0 dB) invece non indica "assenza di suono", ma solo un suono molto debole (Fig. 12).



Fig. 12 Scala intensità del suono

<sup>2</sup> <https://www.medel.com/it/audiogram/>

Il timbro, per concludere, è la qualità percepita di un suono che ci permette di distinguere tra loro due suoni che hanno la stessa altezza e la stessa intensità e dipende in larga parte dalla composizione spettrale del suono emesso.

Questa qualità dipende dalla forma assunta dall'onda sonora ed è determinata dalla sovrapposizione delle onde sinusoidali caratterizzate dai suoni fondamentali e dai loro armonici.

Il timbro può essere considerato come il carattere distintivo di un suono emesso da una sorgente, il quale ci permette di distinguere il suono generato da un violino rispetto a quello generato da un flauto quando i due strumenti stanno emettendo la stessa nota.

Oltre a tutte queste informazioni legate alla percezione e all'elaborazione dei suoni, l'organo dell'orecchio abbiamo detto essere coinvolto nei processi di determinazione della posizione della testa e del corpo nello spazio, di regolazione del tono di alcuni muscoli e di controllo dell'equilibrio statico e dinamico del corpo (Goldberg & Fernandez, 1984).

La parte dell'orecchio destinata a garantire questo funzionamento è l'apparato vestibolare (vestibolo, labirinto) (Fig. 13), situato in

profondità nell'osso temporale (rocca petrosa), dietro l'orecchio interno. Il canale cocleare della chiocciola (coclea) è in collegamento con un rigonfiamento (2-3 mm) colmo di endolinfa, chiamato sacculo, dove sono presenti dei microcristalli (otoliti, statoconi) che consentono ai recettori sensoriali (meccanocettori), posti nella parete del sacculo, di percepire l'accelerazione verticale come quella che si può provare per esempio salendo in ascensore.

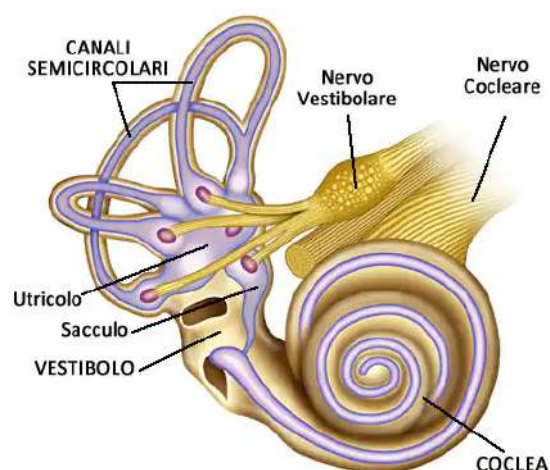


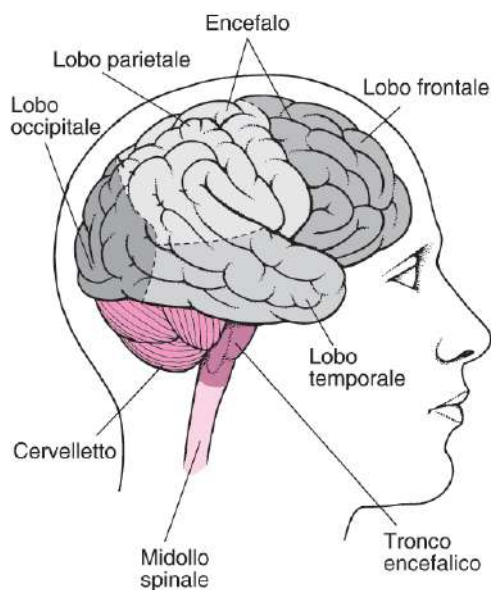
Fig. 13 Il sistema vestibolare

Il sacculo a sua volta è in comunicazione con un'altra vescicola, l'utricolo (otricolo), che tramite lo stesso meccanismo serve a fornire informazioni sull'accelerazione orizzontale come ad esempio quella percepita andando su un'auto o moto.

L'utricolo rappresenta inoltre lo sbocco comune dei tre canali semicircolari (circa 1 cm di diametro e perpendicolari tra di loro, con all'interno endolinfa) del labirinto, che attraverso i loro recettori sensoriali percepiscono i movimenti rotatori di testa e corpo dette accelerazioni angolari.

Entrando nel dettaglio, la regolazione posturale fine, con influenze sul tono muscolare, avviene grazie al sistema otolitico composto da sacculo e utricolo, mentre nei processi di controllo dell'equilibrio dinamico interviene esclusivamente il sistema semicircolare.

L'apparato vestibolare è predisposto per reagire meglio ad accelerazioni rapide e di breve durata mentre si lascia facilmente ingannare da accelerazioni lunghe o inconsuete, il che spiega i capogiri che si percepiscono quando si ruota più volte su sé stessi per poi fermarsi di colpo. Ulteriore causa di disagi possono essere anche le informazioni che il vestibolo percepisce in maniera contrastante con quelle derivanti da altre percezioni sensoriali, come ad esempio quella visiva. Una manifestazione di quanto appena descritto è il fenomeno della cinetosi - cioè il mal di mare - in cui l'informazione visiva derivante dall'osservazione di un punto fisso è in conflitto con le oscillazioni rilevate da questo apparato.



*Fig. 14 Tronco encefalico*

Le informazioni arrivano ai nuclei vestibolari, situati nel tronco encefalico (Fig. 14), che rappresentano il vero organo dell'equilibrio in quanto qui è dove arrivano, assieme alla sostanza reticolare, le informazioni di tutti i recettori sensoriali posturali cioè del vestibolo, esterocettori cutanei, propriocettori e esterocettori visivi. Nella stessa sede e sotto il controllo del cervelletto, oltre che della corteccia cerebrale, le informazioni vengono elaborate permettendo di garantire il corretto assetto posturale oltre che l'equilibrio statico e dinamico. Il terzo senso importante che andremo a descrivere è quello legato al tatto, o sensibilità tattile, che rende l'uomo capace di rilevare con un'elevata precisione la presenza di stimoli dovuti al contatto con altri oggetti esterni da parte della superficie cutanea (epidermide) che insieme al derma formano la pelle (cute), cioè il rivestimento più esterno del corpo di un vertebrato (Fig. 15).

Questa straordinaria sensibilità è dovuta alla presenza di circa 130 recettori tattili per ogni centimetro quadrato di pelle su quasi la totalità della superficie corporea.

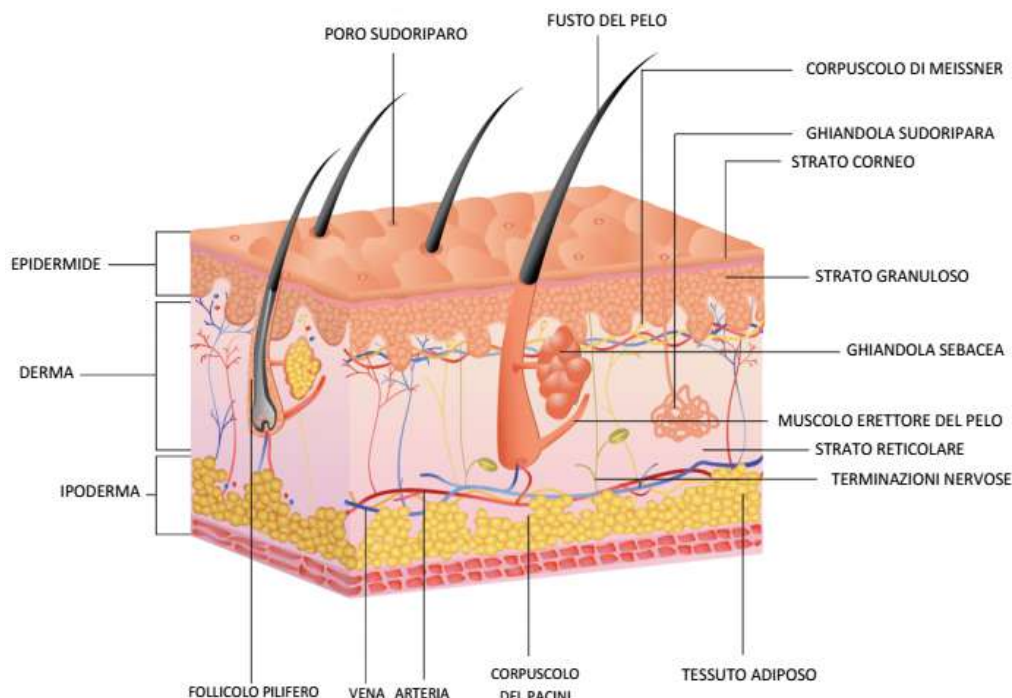
Tali recettori sono suddivisi in cinque tipi e danno la possibilità di registrare differenti tipi di sensazioni come freddo, caldo, tatto (cellule di Merkel, corpuscoli di Ruffini e corpuscoli di Meissner), variazione di pressione (corpuscoli del Pacini) e dolore.

Ciascuno di questi recettori viene caratterizzato per tipo di stimolazione a cui è sensibile, la grandezza del suo campo recettivo e il tempo di adattamento tra stimolo e risposta.

Il tempo di adattamento cataloga i recettori in Slow Adapting (SA) e Rapid Adapting (RA) (Johnson & Hsiao, 1992) ed è diverso per ciascuno dei recettori presenti nel corpo umano.

I primi indicano che il recettore è lento nel dare una risposta a uno stimolo e che quando uno

stimolo viene rimosso la risposta diminuisce lentamente, mentre i secondi rispondono rapidamente ma non in modo sostenuto.



*Fig. 15 Rappresentazione della pelle umana*

Questo tipo di sensazioni per arrivare al cervello possono dover compiere un percorso lungo in quanto provengono da molteplici localizzazioni come ad esempio mani, piedi, gambe e braccia e confluiscono tutte al midollo spinale che è la parte del corpo che dà origine, con i nervi spinali, al sistema nervoso periferico. Il midollo spinale infatti è la parte del sistema nervoso centrale che occupa il canale vertebrale e che presiede alla trasmissione afferente (sensitiva) ed efferente (motrice) delle informazioni e al meccanismo delle funzioni riflesse. L'analisi di queste informazioni avviene nell'area somatosensoriale primaria situata nel lobo parietale e il suo studio ha dato origine, nel XX secolo grazie allo studioso canadese Wilder Penfield, ad una mappa molto dettagliata della corteccia motoria umana che prende il nome di homunculus corticale (Fig. 16).

Questa mappa è composta dalla rappresentazione della suddivisione anatomica dell'area somestesica primaria (homunculus somatosensoriale) e di quella dell'area motoria primaria (homunculus motorio). Il termine homunculus è dovuto al fatto che la rappresentazione del corpo umano appare grottesca e sproporzionata, in quanto la grandezza di una regione sensoriale è proporzionale al numero di recettori cutanei in essa presenti e allo stesso modo in quello motorio sono ingranditi proporzionalmente rispetto al numero di placche motorie utili all'esecuzione di movimenti sempre più fini.



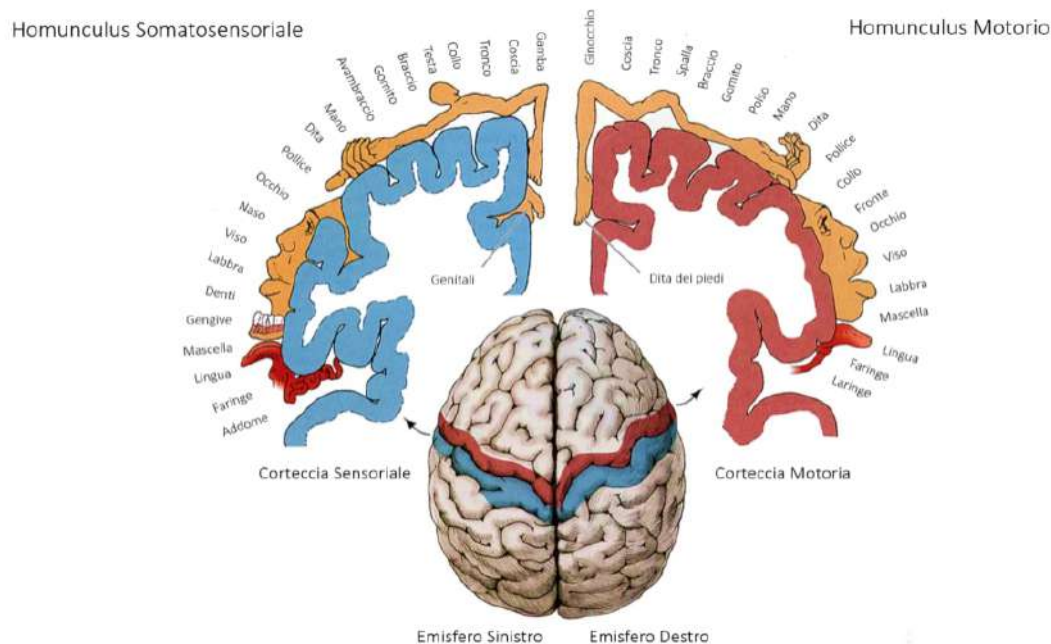


Fig. 16 Homunculus sensoriale e motorio

La risoluzione della sensibilità tattile si misura attraverso un test clinico in cui è possibile individuare la distanza minima tra due punti dove il soggetto è in grado di percepire due stimoli puntiformi come differenti.

Questa capacità discriminativa è direttamente proporzionale al numero di recettori presenti per unità di superficie cutanea e raggiunge il massimo sul palmo della mano, o meglio sulla punta delle dita con una distanza minima percepita di circa un millimetro.

Il quarto senso da descrivere è quello dell'olfatto (Fig. 17), che rende possibile, grazie ai

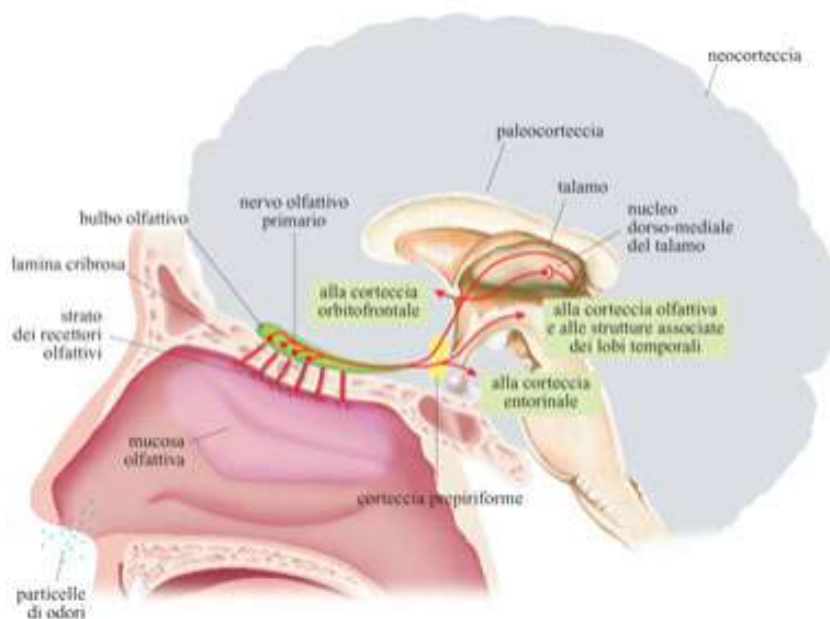


Fig. 17 Il senso dell'olfatto

chemiocettori, la percezione della concentrazione, della qualità e dell'identità di molecole volatili e di gas - detti odoranti - presenti nell'aria catturando così gli stimoli odorosi.

I chemiorecettori si trovano in una particolare area della mucosa nasale detta mucosa olfattiva e caratterizzata da pigmentazione giallastra.

Questi neuroni altamente specializzati sono dotati di un ciuffo di ciglia le cui basi si prolungano in fibre nervose che, attraversando l'osso etmoide - quello che forma il tetto delle fosse nasali - arrivano fino ai bulbi olfattivi da dove partono altri neuroni che raggiungono il cervello, innescando la percezione dell'odore.

Il procedimento di questa percezione avviene in una serie di passaggi che prevede l'ingresso nella cavità nasale, attraverso le narici, degli odoranti e il raggiungimento dell'epitelio olfattivo collocato in un'area della cavità nasale compresa tra la parte superiore del cornetto nasale medio, l'intero cornetto nasale superiore (e supremo se presente) e la volta nella parete laterale.

A questo punto gli odoranti si legano ai 10-20 milioni di recettori posti sulle superfici delle ciglia delle cellule olfattive che proiettano le informazioni alla struttura nervosa del bulbo olfattivo.

Le cellule olfattive recettive, insieme ad altre di sostegno, penetrano nel bulbo organizzate in fasci formando il nervo olfattivo che trasmette le informazioni alla corteccia del cervello incaricata di effettuare la decodifica e l'interpretazione.

L'olfatto attraverso questo insieme di meccanismi consente di riconoscere e attribuire odori diversi a un numero di molecole che varia da 1.000 a 10.000 per individuo, permettendo di rilevare la presenza di un dato odore a partire da una concentrazione di 10<sup>7</sup> molecole per 1 ml d'aria.

L'ultimo senso da introdurre è quello del gusto, che utilizzando i recettori presenti nelle papille gustative della lingua, nel palato molle, nella faringe, nelle guance e nell'epiglottide è responsabile della percezione del sapore (Fig.18).

La presenza di questi recettori può arrivare fino a 10.000 unità in un giovane adulto e sono denominati calici o gemme gustative. Tali recettori hanno una struttura cilindrica di 70 µm × 40 µm provvista di un poro gustativo e di un canale centrale descritto come "bottone gustativo", contenuto nell'epitelio e formato da un numero variabile da 50 a 150 cellule fusiformi.

Il gusto dipende dalla percezione sinergica di cinque gusti fondamentali come amaro, acido, dolce, salato e umami (Lindemann, 2001) ma altre ricerche suggeriscono l'esistenza di un sesto e un settimo gusto fondamentale, associati al fritto e al grasso.

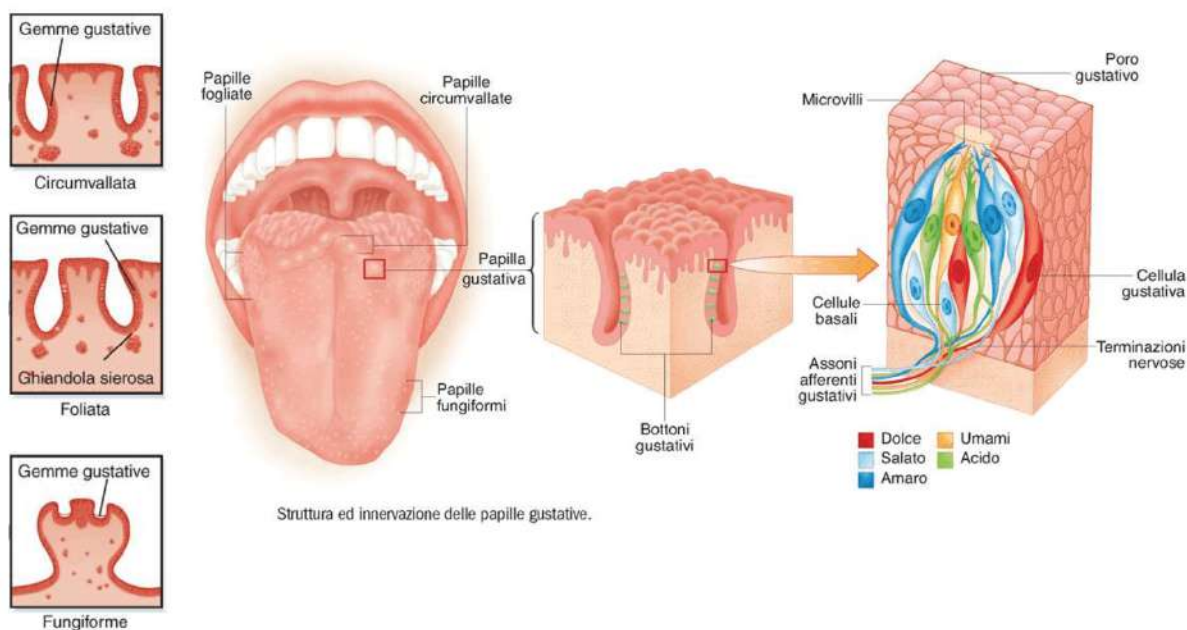


Fig. 18 Il senso del gusto e i suoi recettori

A livello fisiologico la percezione di ognuno dei sapori fondamentali è associata ad una particolare via di trasduzione del segnale che schematicamente può essere riportata a due tipologie principali: recettori legati a proteine G, per amaro, dolce e umami, o attraverso canali ionici di membrana per acido e salato.

Dalla stimolazione della cellula si ottiene un potenziale di recettore che stimola l'ingresso di ioni Calcio nella cellula, determinando la liberazione di neurotrasmettitori a livello basale e la genesi di un potenziale d'azione nelle fibre afferenti.

A livello di elaborazione delle risposte comportamentali, per gli stimoli gustativi esiste una gerarchia a tre livelli dell'organizzazione nervosa.

Il primo livello è rappresentato dal nucleo del tratto solitario, che tramite risposte riflesse di accettazione o rigetto, permette l'elaborazione di una distinzione grossolana fra sostanze potenzialmente nutrienti e sostanze potenzialmente tossiche.

Il secondo livello, rappresentato dal nucleo talamico ventro-postero-laterale, dalla parte parvocellulare e dalla corteccia gustativa primaria, è deputato ad una discriminazione fine fra gusti diversi e all'integrazione fra segnali puramente gustativi e segnali provenienti da altre modalità sensoriali.

Il terzo livello, rappresentato dalla corteccia gustativa secondaria dell'insula e soprattutto dalla corteccia orbitofrontale, presiede alle funzioni cognitive del gusto e alle interazioni con altri sistemi di senso e di controllo del comportamento.



Dopo aver introdotto l'insieme dell'informazioni e percezioni sensoriali che contribuiscono a creare la rappresentazione del mondo che ci circonda, possiamo argomentare quelle che sono le tre dimensioni tecniche principali<sup>3</sup> che devono essere tenute in considerazione nella creazione di soluzioni immersive (Fig. 19):

- qualità visiva
- qualità sonora
- interazioni intuitive

La dimensione visiva non fa riferimento solamente alla quantità di pixel, alla risoluzione e al frame-rate ma anche alla qualità degli stessi ed è quindi legata a fattori come la realistica dei colori, la nitidezza e la luminosità.

La dimensione sonora riguarda invece due fattori rilevanti ovvero l'alta risoluzione e l'integrità dei suoni, in quanto la coerenza del suono rispetto all'idea che ci si costruisce dell'ambiente immersivo a livello visivo può portare a rendere l'esperienza più o meno immersiva e confortevole.

L'ultima dimensione citata, cioè quella legata al livello di intuitività delle interazioni, fa riferimento alla difficoltà di rimanere immerso che può emergere qualora non sia ben chiara la modalità con cui bisogna interagire con i sistemi immersivi o se si è continuamente distratti da altri fattori che possono interrompere in maniera non ottimale tale fruizione. Agire su questa dimensione significa utilizzare meccanismi, pratiche e tecnologie che permettono di migliorare il grado di coinvolgimento diretto con il sistema, in relazione anche all'ambiente circostante.

La cura di ciascuno di questi aspetti comporterà un miglioramento nella fruizione degli ambienti immersivi e per questo motivo è necessario esplorare ciascuno di essi singolarmente, ma considerando sempre la complementarietà rispetto agli altri in quanto le tre dimensioni concorrono simultaneamente a migliorare la qualità generale del sistema.

### 1.1.2 Aspetto quantitativo e qualitativo: tecniche e strumenti di valutazione

Tutte le considerazioni fatte precedentemente fanno emergere in maniera chiara come l'immersività debba essere considerata come una caratteristica oggettiva relativa alla capacità tecnologica del sistema di stimolare i sensi e produrre immersione (Slater, 2003).

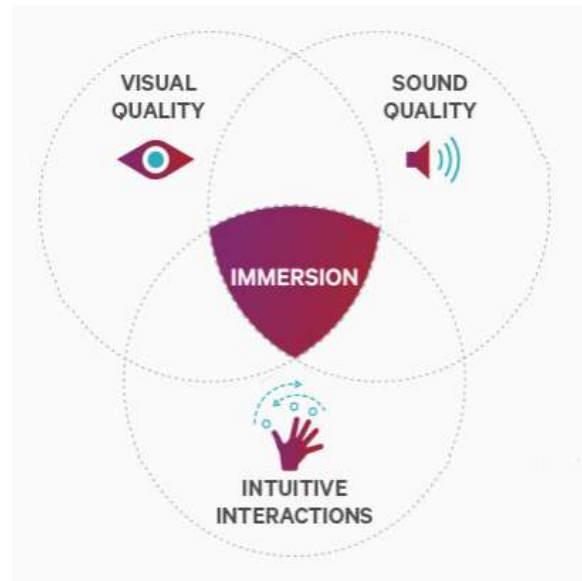


Fig. 19 Le dimensioni di un sistema immersivo

<sup>3</sup><https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/08/20/new-era-immersive-experiences-making-it-possible>

La natura oggettiva di questo aspetto lo rende di fatto valutabile e misurabile attraverso la conoscenza e l'analisi di parametri tecnici atti a valutare il grado di fedeltà delle stimolazioni sensoriali rispetto a quelle che sono le percezioni reali.

La misurabilità della capacità di creare immersività può essere effettuata sulla base di quelle dimensioni precedentemente introdotte ovvero:

- extensive, legata alla misura in cui si coinvolge un maggior numero di sensi;
- surrounding, legata alla misura in cui le informazioni sono in grado di arrivare agli organi di senso della persona da qualsiasi direzione virtuale e alla capacità del partecipante di girarsi verso quella direzione ricevendo i segnali sensoriali direzionali in maniera appropriata;
- inclusive, legata alla misura in cui tutti i dati sensoriali esterni provenienti dalla realtà fisica vengono esclusi;
- vivid, è una misura legata alla varietà e alla ricchezza delle informazioni sensoriali che possono essere generate e coinvolge aspetti legati al contenuto, la risoluzione e la qualità delle informazioni rappresentate nell'ambiente;
- matching, misura legata alla correlazione che esiste tra i movimenti reali e la loro riproduzione accurata nell'ambiente immersivo insieme ad altre informazioni presenti;

In maniera opposta, ma complementare, alla natura oggettiva della fruizione di un sistema immersivo ne esiste un'altra di carattere più soggettivo, dipendente sia dalla qualità dei contenuti ma anche da fattori personali. Tale natura in letteratura viene definita e riconosciuta con il concetto di "*presence*", ovvero la percezione soggettiva della persona di sentirsi in un luogo o ambiente, anche quando ci si trova fisicamente in un altro (Witmer & Singer, 1998). Le due nature sono strettamente correlate in quanto più un sistema è in grado di generare immersione e coinvolgimento nell'utente, più è probabile che la risposta soggettiva legata alla sperimentazione di "*presence*" sia anch'essa elevata durante la fruizione e l'interazione.

L'origine di tale concezione risale ad un lavoro del 1992, dove con la locuzione "Virtual presence" veniva descritta la sensazione percepita dagli utenti di essere presenti nel luogo in cui operavano mediante l'utilizzo di virtual environments e non più nel luogo fisico in cui realmente si trovavano (Sheridan, 1992). Questo concetto è l'evoluzione di quello che era inteso fino a quel momento con il termine di "telepresence" e che faceva maggiormente riferimento invece all'uso di teleoperatori e virtual environments (Minsky, 1980) (Held & Durlach, 1992).

In altre parole, "presence" si riferisce alla percezione naturale di un ambiente mentre "telepresence" si riferisce alla percezione mediata di un ambiente che può essere "reale" temporalmente o spazialmente distante (ad esempio, uno spazio distante visto attraverso

una videocamera), oppure un mondo virtuale animato ma inesistente e sintetizzato da un computer (ad esempio, il “mondo” animato creato in un videogioco).

Nel corso del tempo e con l’approfondimento degli studi legati alla presence il termine viene anche ampliato identificando tre tipologie possibili di questo concetto (Biocca, 1997):

- spatial presence: la sensazione di trovarsi fisicamente in un ambiente virtuale o la percezione di un oggetto virtuale come fosse reale;
- social presence: la percezione di attori sociali virtuali come se fossero attori sociali reali;
- self presence: lo stato psicologico in cui gli utenti sperimentano il proprio sé virtuale come se fosse il proprio sé reale con un grado di consapevolezza elevato dell’ambiente virtuale fruito.

Un interessante lavoro pubblicato invece da Lombard e Ditton (Lombard & Ditton, 1997) rivede e organizza le diverse definizioni presenti fino a quel momento, fornendo sei concettualizzazioni di tale termine:

- presence come percezione di ricchezza sociale: il senso di presence è dato dalla percezione di socievolezza, calorosità e sensibilità di un ambiente. I concetti chiave di questa definizione sono intimità e immediatezza;
- presence come percezione di realismo: il senso di presence dipende dal realismo della rappresentazione degli oggetti nell’ambiente virtuale;
- presence come percezione del trasporto: il senso di presence dipende dall’intensità del percepirsi come trasportati in un luogo diverso da quello reale.
- presence come percezione dell’immersione: il senso di presence coincide con la percezione di immersione sia sensoriale che psicologica. In questa concettualizzazione vi rientrano anche la definizione di presence come realismo e presence come trasporto.
- presence come percepirsi un attore sociale senza medium: il senso di presence sta nel dimenticare la presenza del medium e percepirsi come attore sociale in un ambiente non mediato.
- presence come percezione del media come attore sociale: il senso di presence implica la risposta dell’utente al medium come se esso fosse l’attore sociale.

Tutti questi aspetti e l’interesse verso questa sensazione così rilevante e cruciale per la realizzazione di artefatti immersivi ha portato anche all’emergere di strumenti utili alla sua valutazione in modo da ottenere delle misure riguardo ai livelli di presence percepita.

Alcuni strumenti rilevanti per la misurazione della presence sono:

- Presence Questionnaire e Immersive Tendency Questionnaire di Witmer e Singer;
- International Test Commission-Sense of Presence Inventory, ITC-SOPI di Lessiter, Freeman, Keogh e Davidoff
- Slater-Useof-Steed Questionnaire, SUS di Slater, Usoh e Steed;
- Igroup Presence Questionnaire di Schubert, Friedmann e Regenbrecht;
- Presence and Reality judgment questionnaire di Baños, Botella, Garcia-Palacios, Villa, Perpina e Alcaniz;
- MEC di Vorderer e colleghi;

L'interesse per questo concetto nasceva dalla volontà di comprendere e verificare l'effettivo raggiungimento della saturazione percettiva almeno a livello visivo, ma oltre ad aspetti legati alla grafica e alla qualità del realismo visivo generato dal sistema immersivo che si fruisce non è da sottovalutare l'importanza da attribuire all'aspetto interattivo. Infatti, più un sistema permette agli utenti di muoversi intuitivamente, navigando, scegliendo e spostando in modo naturale gli oggetti dell'interazione più la loro fruizione risulterà fluida con risvolti positivi sull'immersione e sulla presence.

## **1.2 Le tecnologie immersive: panoramica e approfondimento**

Precedentemente le tecnologie immersive sono state definite come quelle tecnologie che limano il confine tra il mondo fisico e quello virtuale simulato creando così immersività e abbiamo visto come questa sensazione può essere stimolata andando ad agire in maniera diversa sui sensi umani, in quanto ciascuno di essi ha un suo stimolo e recettore preciso che viene attivato.

Da questa introduzione si evince in maniera chiara che per poter stimolare diversi sensi si necessita dunque di diverse modalità e quindi di differenti tecnologie da utilizzare in maniera opportuna e specifica.

All'avanguardia nello sviluppo di questi sistemi ci fu Morton Heilig, ideando nel 1957 e registrando nel 1962 la domanda di brevetto legata alla realizzazione del primo prototipo di Sensorama (Fig. 20), quello che possiamo ritenere il primo esempio conosciuto di sistema immersivo e multimodale<sup>4</sup>.

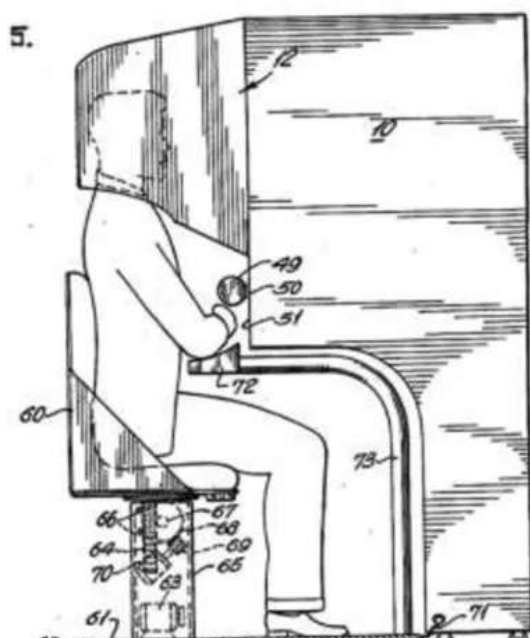
Tale macchina infatti nasce come strumento per amplificare, in termini di percezione e sensibilità, la fruizione cinematografica/teatrale e nelle intenzioni di Heilig si pone come mezzo per arricchire in tempo reale, attraverso elementi artificiali, i momenti che occorrono durante la visione.

---

<sup>4</sup> <https://patents.google.com/patent/US3050870A/en>

La sperimentazione della demo dimostrativa mette in scena un viaggio in bicicletta per le strade di Brooklyn e coinvolge quattro dei cinque sensi escludendo solamente il gusto. All'interno della macchina si possono vedere immagini 3D ad ampio angolo su display stereoscopico, si ascolta audio stereo, si sentono odori rilasciati da erogatori, si percepisce il vento riprodotto da ventilatori, e si rilevano oscillazioni e vibrazioni dati da motori inseriti nel sedile.

Purtroppo, il costo eccessivo e l'assenza di finanziamenti da parte delle grandi case di produzione cinematografica statunitensi posero fine alla sperimentazione, impedendo lo sviluppo di un sistema al quale va riconosciuto il fatto di essere stato fortemente in anticipo su quelle che ai nostri giorni sono tematiche di ricerca attuali e sulle quali c'è molto fermento e finanziamento.



*Fig. 20 Brevetto e prototipo del Sensorama*

Questo progetto è significativo anche per poter fare una precisazione di carattere storico ed evolutivo rispetto al termine immersivo che nel corso del tempo ha avuto un cambio di considerazione.

A livello di letteratura tale termine era in origine collegato solo ed esclusivamente all'aspetto visivo della percezione, mentre col passare del tempo e l'aumento degli studi in questo campo il suo significato ha cominciato ad estendersi ed allargarsi anche alle altre diverse percezioni sensoriali in quanto l'arricchimento o l'indebolimento della stimolazione può causare un miglioramento o un peggioramento del senso di immersione.

È possibile infatti, sulla base dei sensi prima classificati, identificare diverse tipologie di display intesi come interfaccia nella concezione più ampia e generica del termine, cioè la

modalità in cui due entità qualitativamente differenti si incontrano e possono essere messe in comunicazione.

Nelle discipline tecniche questo termine viene spesso utilizzato con il significato di dispositivo, fisico o virtuale, che permette l'interoperabilità fra due o più sistemi di tipo diverso, laddove ogni sistema espone una sua faccia con il suo particolare protocollo di comunicazione e il dispositivo viene interposto fra di esse creando un punto comune.

Applicando questa concezione agli ambienti immersivi possiamo identificare display di diverso tipo (Sherman & Craig, 2003), destinati ciascuno ad elicitare i sensi precedentemente descritti (Fig. 21):

- visual, legato alla vista;
- aural, legato all'udito;
- haptic, legato al tatto;
- olfactory, legato all'olfatto;
- taste, legato al gusto.

A questi va aggiunto un sesto tipo di display definito vestibular, che è quello che interessa e va ad agire sul senso di equilibrio e orientamento spaziale. Si ricorda che l'organo di senso che viene interessato da questa percezione, seppur localizzato nell'orecchio interno, non risponde a stimoli di tipo uditivi e sonori ma aiuta il corpo umano per quel che riguarda equilibrio, accelerazione e orientamento rispetto alla gravità.

Dopo aver introdotto questa distinzione è bene

notare che, come si evince dalla definizione di tecnologia immersiva, queste agiscono all'interno di due estremi ben definiti:

- il mondo reale
- il mondo virtuale

Questa precisazione è importante perché ci permette di riprendere la concezione del *reality-virtuality continuum* introdotto da Milgram (Fig. 22) e con il quale si introduce una scala continua che spazia tra la realtà completamente virtuale e la realtà completamente reale, comprendendo al suo interno tutte le possibili variazioni e composizioni di oggetti reali e virtuali (Milgram et al., 1995)

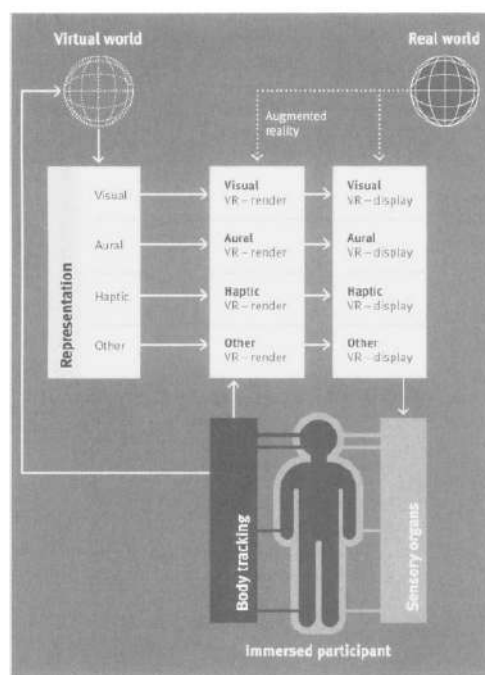


Fig. 21 Tipologie di display

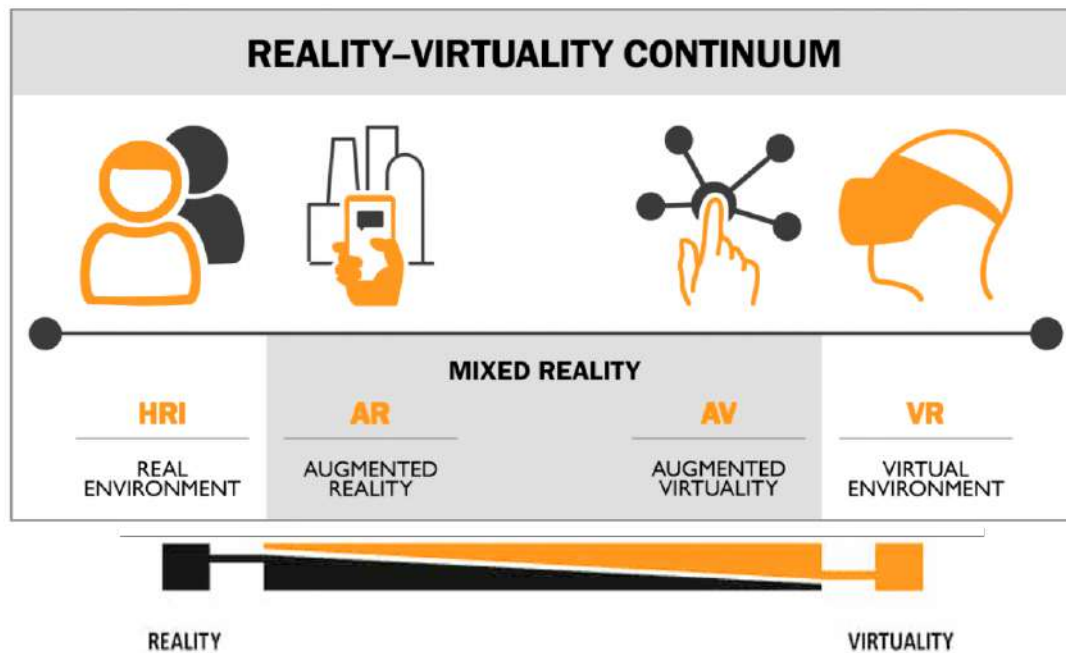


Fig. 22 Rappresentazione del reality-virtuality continuum di Milgram

All'estremo sinistro del continuum si trova la realtà, tutto ciò che possiamo percepire con il solo uso dei cinque sensi e con cui possiamo interagire direttamente, mentre all'estremo destro si trova invece la realtà virtuale, ovvero un mondo di oggetti intangibili, generati con modelli e simulazioni visibili soltanto attraverso dispositivi elettronici. È un mondo dove niente di ciò che si percepisce è realmente esistente e tutto è ricostruito mediante computer. Tra i due estremi, si colloca la Mixed Reality (MR), che, come vedremo più avanti, si riferisce a qualunque tipo di fusione tra ambienti/oggetti reali e ambienti/oggetti virtuali. Muovendosi da sinistra verso destra, si incontrano quelle che sono tutte le varianti all'interno del continuum, con un rapporto inversamente proporzionale tra le componenti reali e virtuali. Da un contesto puramente reale si passa quindi alla variante successiva e cioè la "realtà aumentata" - augmented reality (AR) -, dove reale e virtuale coesistono ma dove la realtà ha un ruolo predominante rispetto ai dati virtuali aggiuntivi; proseguendo ulteriormente verso destra si ha un progressivo aumento delle componenti virtuali a discapito di quelle reali, entrando nell'ambito della "virtualità aumentata" - augmented virtuality (AV) -, dove coesistono ancora dati reali e virtuali ma dove, adesso, sono i secondi ad essere predominanti mentre i primi si limitano ad incrementare con qualcosa di realmente esistente un ambiente completamente ricostruito. Arrivando invece all'estremo opposto della realtà si trova infine la variante in cui le componenti reali vengono completamente sostituite da quelle virtuali, cioè la "realtà virtuale" o virtual reality (VR).

Ciò che viene quindi progressivamente introdotto mentre ci si muove da un estremo all'altro è l'uso di dispositivi che permettano tale aumento di componenti virtuali nella percezione sensoriale e che si inseriscono all'interno del ciclo di percezione della realtà fruita (Fig. 23).

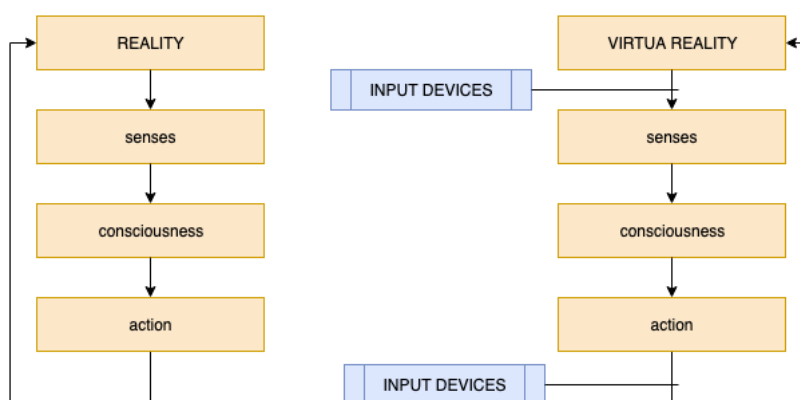


Fig. 23 Differenza tra gli estremi del continuum

È proprio tenendo in considerazione quest'ultimo aspetto, cioè dei devices che modificano la realtà sia in maniera consapevole che accidentale, che il continuum di Milgram è stato poi ripreso, rivisto ed esteso da un illustre ricercatore del campo come Steve Mann che in un suo lavoro aggiunge il concetto di medialità, trasformando il continuum da una semplice scala lineare in un piano bidimensionale (Mann, 2002). All'interno di questo quadro (Fig. 24) vengono definiti due assi, quello della virtualità (V) e quello della medialità (M) che partendo dal punto R, cioè la realtà, introducono due nuove aree che nascono dalla combinazione dei due aspetti ovvero la realtà mediata e la virtualità mediata.

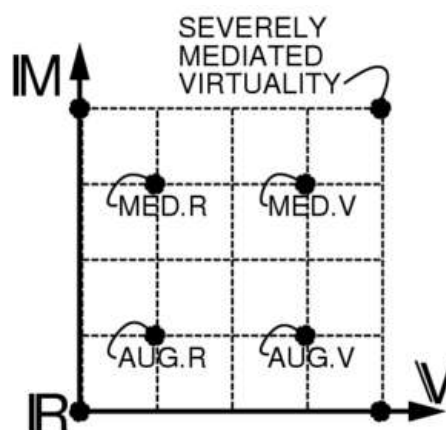


Fig. 24 Continuum bidimensionale di Mann

È bene sottolineare nuovamente che questa concezione di Mann non intende sostituire quella di Milgram ma che la integra, in quanto non si limita solo alla registrazione del grado di virtualità nelle varie alternative di realtà, ma espande tale concetto al come queste realtà vengano modificate dai dispositivi attraverso cui vengono fruita.

Dalla necessità di voler dare un ordine ed evitare confusioni, e possibili incomprensioni, tra tutte le definizioni e le sigle che vengono generate da studi e approfondimenti in questo campo di ricerca è successivamente nato un ulteriore nuovo termine che, a mio modo di vedere, si adatta perfettamente all'evoluzione della connotazione del termine "immersivo" precedentemente descritta e alla classificazione delle tecnologie immersive che verranno introdotte in questa sezione.



Questo termine viene definito “extended reality” (XR) e racchiude al suo interno tutti gli ambienti combinati reali-virtuali e le interazioni uomo-macchina che possono essere generate dalle tecnologie informatiche e dai dispositivi indossabili (wearable devices)<sup>5</sup>. Un concetto molto importante da conoscere quando si parla di immersività è quello di virtual body, ovvero la rappresentazione di sé stessi nell’ambiente immersivo (Slater & Usoh, 1994). Tale concetto viene spesso anche argomentato con il termine avatar, parola di origine Hindi e legata al significato di incarnazione, di assunzione di un corpo fisico da parte di una divinità. L’applicazione metaforica di questo termine ad ambienti virtuali ed interattivi permette di indicare il legame esistente tra individuo e virtual body.

Questa rappresentazione di sé si collega ad un ulteriore concetto importante nella fruizione di sistemi immersivi, ovvero quello che viene definito Sense of Embodiment (Kilteni et al., 2012). L’espressione fa riferimento all’insieme di sensazioni che sorgono in congiunzione con il fatto di avere, controllare e sentirsi dentro un corpo in ambienti virtuali ed è caratterizzata da tre diverse sottocomponenti:

- sense of self-location, è un determinato volume nello spazio in cui ci si sente a trovarsi e normalmente questa sensazione coincide con lo spazio fisicamente occupato dal corpo;
- sense of agency, sensazione di avere controllo totale e cosciente sulle capacità di esercitare azione, intenzione, selezione e attivazione motoria;
- sense of body ownership, l’attribuzione di possesso del corpo.

La discussione appena fatta permette di affrontare ulteriori discorsi di carattere generale da sapere e tenere a mente come quelli di spazialità e movimento in quanto, a prescindere dal grado di virtualità che queste tecnologie immersive vanno a creare, il nostro corpo o la rappresentazione di esso è presente e si muove all’interno di mondi caratterizzati da tridimensionalità.

Questi discorsi, possono essere applicati non solo a virtual body destinati a rappresentare l’identità dell’individuo, ma possono essere applicati più genericamente ad ogni tipo di virtual object rappresentante il corpo di un oggetto.

Con il termine tridimensionalità, quindi, si intende la capacità di un oggetto di operare o essere manipolato su tutte e tre le dimensioni spaziali indicate genericamente con le coordinate cartesiane X, Y e Z.

Questo aspetto si riflette su tutte quelle funzionalità legate alla capacità di effettuare tracking di oggetti e persone all’interno di ambienti immersivi, sia all’interno della dimensione reale che virtuale e dipendente dal concetto di Degrees of Freedom (DoF).

---

<sup>5</sup> Breakout Vendors: Virtual And Augmented Reality - <https://www.forrester.com/report/Breakout+Vendors+Virtual+And+Augmented+Reality/-/E-RES134187>

Tale termine indica la libertà di movimento con il quale un corpo può variare la sua posizione ed orientamento nello spazio, con una variabilità data da tre componenti di traslazione e tre componenti di rotazione.

Ciascuna di queste componenti è legata agli assi cartesiani, dando luogo a singoli movimenti identificabili con i nomi yawing, pitching e rolling nel caso della componente di orientamento e di elevating, surging e strafing per quel che riguarda la traslazione (Fig. 25).

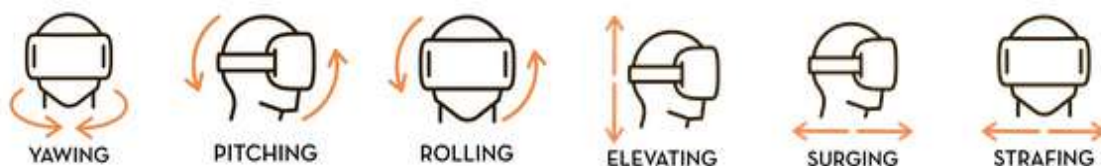


Fig. 25 Tipologia di movimenti

Il movimento di orientazione detto yawing riguarda la possibilità di ruotare il corpo lungo l'asse orizzontale (es. guardare verso destra e sinistra); il pitching avviene quando il corpo si inclina lungo l'asse verticale (es. guardare verso l'alto o il basso); il rolling avviene invece quando si effettua una rotazione su se stesso da lato a lato (es. sbirciare dietro un angolo). Per quel che riguarda invece i movimenti di traslazione l'elevating avviene quando un corpo si muove verso l'alto o il basso (es. alzarsi o piegarsi verso il basso); il surging quando un corpo si muove avanti e indietro (es. camminando); lo strafing avviene invece quando un corpo si muove verso destra e sinistra (es. camminata laterale).

A livello generale, queste componenti possono agire su un corpo in maniera singola andando a generare soluzioni caratterizzate da una libertà di movimento di tipo 3DoF oppure concorrere insieme definendo una libertà di movimento di tipo 6DoF (Fig. 26).

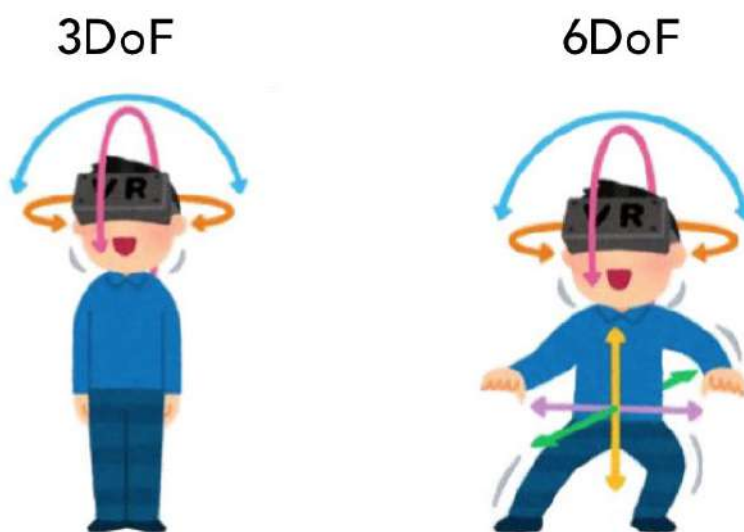


Fig. 26 Differenza tra libertà di movimento 3DoF e 6DoF

Questo tracciamento può avvenire in diverse modalità e, quando ci si riferisce al corpo oggetto del tracking con quello dell'essere umano, essere destinata a diversi elementi come riepilogato in tabella (Tab. 1).

Motion tracking	
Tecniche	body-parts
1. Electromagnetic	full-body (blob representation)
2. Mechanical	head
3. Optical	hand and fingers
4. Videometric	eyes
5. Ultrasonic	torso
6. Inertial	feet
7. Neural	other body parts
	Indirect tracking

*Tab. 1 Tecniche ed elementi del corpo soggette a motion tracking*

Un altro aspetto rilevante collegato all'immersività è quello che fa capo al termine interaction intesa come "reciprocal action or influence" e dove possiamo includere le nozioni di manipulation, navigation e communication.

La manipulation è ciò che consente all'utente di poter modificare il mondo e gli oggetti che lo occupano; la navigation consente all'utente di farsi strada attraverso il mondo; la communication infine fa riferimento alla capacità di poter comunicare con altri utenti o con agenti all'interno del mondo immersivo.

L'aspetto della manipulation, in italiano manipolazione, è composta da due fasi distinte che possono anche occorrere in maniera simultanea, ovvero la selection e l'action, e può essere eseguita in tre modalità distinte (Mine, 1995):

1. Direct user control: controlli che imitano l'interazione nel mondo reale;
2. Physical control: dispositivi che l'utente può toccare fisicamente;
3. Virtual control: dispositivi che l'utente può toccare virtualmente.

La navigation, in italiano corrispondente al termine di navigazione, descrive la modalità con cui ci si sposta da un luogo all'altro ed è una parte vitale della fruizione e della comprensione di un ambiente immersivo.

La descrizione di questo aspetto coinvolge due componenti separati, travel e wayfinding, che vengono utilizzati per descrivere rispettivamente come si muove un utente attraverso lo spazio (o il tempo) e le indicazioni che un utente può avere circa dove si trova e dove (o quando) può andare.

Entrambi gli aspetti rientrano nelle problematiche tecniche che vengono descritte e racchiuse all'interno del concetto di virtual locomotion e che include diverse modalità di implementazione come real-walking, walking-in-place, point and teleport, joystick-based

locomotion e altre ancora (Boletsis, 2017).

L'ultimo punto è quello della communication, in italiano identificabile col termine comunicazione, e riguarda la capacità di scambiare e condividere con altre entità informazioni al fine di risolvere un problema, generando comportamenti collaborativi così come invece puntare alla creazione di comportamenti competitivi.

Per fare sì che quest'ultimo tipo di interazioni avvengano è necessario permettere una fruizione condivisa del sistema, considerazione che porta alla generazione di due classi di utenti basate sul loro punto di vista rispetto all'ambiente immersivo.

Secondo questo principio infatti, i possibili utenti di un sistema immersivo si distinguono tra quelli che sono effettivamente immersi (immersed viewers) e i gli spettatori esterni (nonimmersed viewers) (Sherman & Craig, 2003).

La copresenza di uno o più attori appartenenti a ciascuna delle due categorie definisce le seguenti modalità di condivisione:

- un partecipante immerso con spettatori: un utente fruisce il sistema immersivo e partecipanti esterni osservano cosa sta succedendo attraverso monitor esterni;
- due (o più) partecipanti immersi: ogni utente sperimenta lo stesso mondo virtuale, usando lo stesso paradigma o anche paradigmi diversi;
- open display: display basati sulla proiezione che consentono a più persone di visualizzare la stessa cosa, con una persona alla volta tracciata che è fisicamente immersa;
- multiperson cockpit: una schermata comune dove tutti gli utenti all'interno dello stesso spazio fisico possono visualizzare all'esterno il mondo virtuale;

Riprendendo il termine di interfaccia precedentemente introdotto a livello generale e applicandolo al concetto di interazione, è bene introdurre il concetto di interfaccia utente definendo bene cosa si intende con l'uso di questo termine che in letteratura e nel campo tecnologico è comunemente noto con la connotazione inglese di User Interface (UI).

Nel senso più ristretto del termine un'interfaccia utente può essere intesa come quello che si visualizza virtualmente su uno schermo, ma volendo essere più completi la UI non è composta solo da questo aspetto che viene invece più propriamente indicato come interfaccia grafica.

L'interfaccia utente infatti comprende anche l'insieme delle interfacce fisiche con cui l'utente interagisce come ad esempio tastiere, mouse, pulsanti, joystick, manopole, pannelli di controllo, segnalatori, indicatori o altri controlli fisici.

Quando si parla infatti di progettare interfacce in modo più completo, con attività di *interface design*, si fa riferimento alle pratiche legate alla progettazione del sistema di interfacce hardware e software con cui l'utente interagisce durante l'uso di un sistema informatico, di un macchinario o di un dispositivo elettronico.

L'insieme di tutte queste conoscenze ci permette di comprendere meglio i concetti, le tematiche e le problematiche legate alla creazione di immersività e ci da modo di catalogare, differenziare e raggruppare le tecnologie in grado di assolvere tale compito in una classificazione organizzata in nove categorie, distinte a seconda della modalità in cui operano e dei sensi su cui vanno ad agire (Fig. 27):

- Display 3D;
- Augmented Reality (AR);
- Mixed Reality (MR);
- Virtual Reality (VR);
- Natural User Interfaces (NUI);
- Robotica, sensoristica ed attuatori;
- Speech Recognition;
- Spatial Audio;
- Haptic Feedback.



*Fig. 27 Lista tecnologie immersive*

É importante fare una precisazione invece riguardo alla natura di queste tecnologie e dire che alcune fra le nove proposte sono nativamente immersive, in quanto agiscono direttamente sulle percezioni sensoriali mentre altre non lo sono, ma grazie alla loro interoperabilità all'interno del sistema contribuiscono, con le informazioni e i dati generati, ad arricchire il valore dell'intero sistema e il senso di immersione generato.

Per questo motivo, possiamo permetterci di dire che ciascuna delle seguenti categorie può essere inclusa nella classificazione, essere considerata immersiva e qui di seguito approfondita.

### 1.2.1 Display 3D

Attraverso la tecnologia dei display 3D e dell'utilizzo della tecnica della stereoscopia si intende ricreare all'interno di disegni, immagini, filmati o artefatti interattivi l'effetto di tridimensionalità tipica della visione binoculare del sistema visivo.

Dopo aver introdotto tale sistema e il funzionamento generale a livello meccanico dell'occhio nella sezione precedente, possiamo qui andare ad aggiungere informazioni che sono più specifiche e dedicate al concetto di profondità per poi andare a descrivere quelle che possono essere le diverse tecniche in grado di ricreare questa percezione.

A livello di letteratura un importante lavoro che affronta tutte queste tematiche è quello intitolato "*Binocular Vision and Stereopsis*" (Howard & Rogers, 1996) dove vengono esaminati, discussi e correlati nel dettaglio aspetti fisiologici, comportamentali e computazionali della stereoscopia.

A livello sensoriale e percettivo è importante sapere che il percorso dei segnali che avviene attraverso il nervo ottico vede arrivare alla corteccia visiva destra l'immagine percepita sulle parti destre delle retine dei due occhi e alla corteccia visiva sinistra l'immagine percepita dalle parti sinistre delle retine (Fig. 28). Questo dettaglio è rilevante in quanto permette, anche in caso di mancanza di un'immagine percepita da uno dei due occhi per motivi fisici come una disabilità o cecità sia temporanea che permanente, alle due parti della corteccia visiva di continuare a ricevere comunque informazioni in ingresso sulle quali effettuare le dovute elaborazioni.

Punto importante di questo percorso è quello che viene definito chiasma ottico, una struttura ovale che rappresenta il punto di unione tra il nervo ottico dell'occhio destro e il nervo ottico dell'occhio sinistro. In questo punto vi è la giunzione tra i due nervi ottici, le fibre ottiche di questi nervi si intrecciano parzialmente in modo che circa la metà delle fibre neurali passano dal nervo ottico sinistro a quello destro e viceversa.

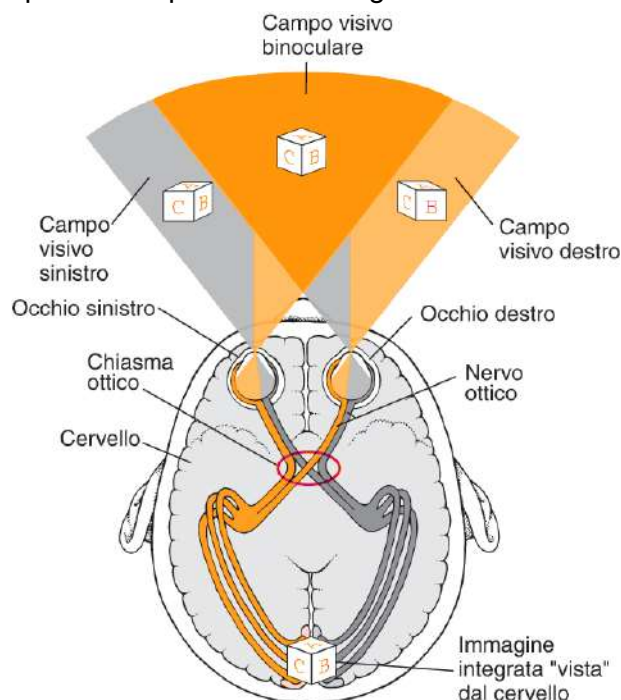


Fig. 28 Percezione binoculare umana



A livello di progettazione e sviluppo, le informazioni in grado di ottenere una corretta percezione della profondità dipendono da una serie di indizi di carattere sia monoculare che binoculari da tenere in considerazione.

A livello monoculare bisogna citare:

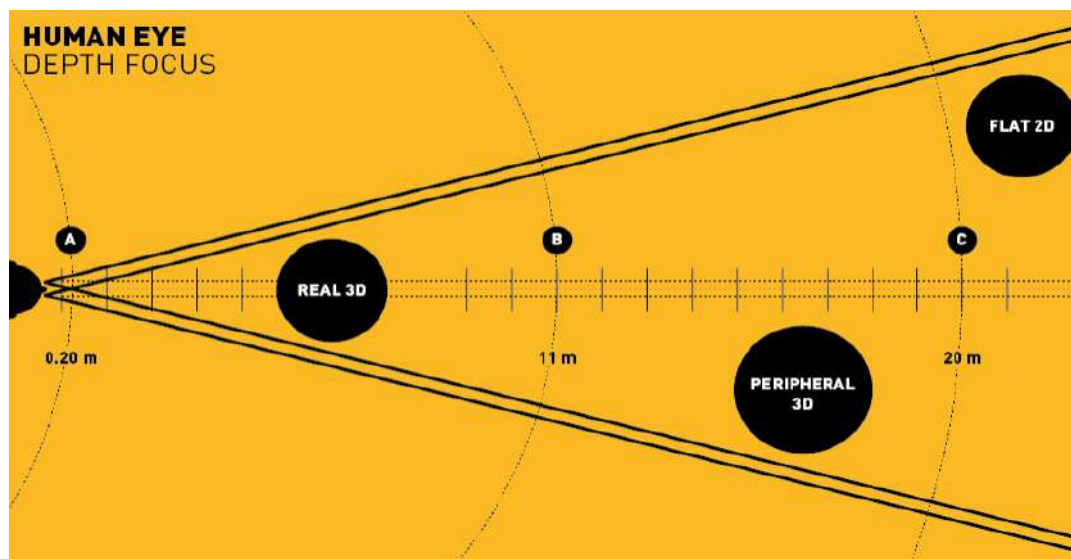
- prospettiva lineare
- prospettiva aerea
- occlusione
- tessitura
- ombre
- dimensione
- parallasse

A livello binoculare invece vanno tenuti in considerazione:

- disparità binoculare
- convergenza

Avendo premesso che per ottenere l'immagine stereoscopica di un oggetto occorre fotografarlo da due punti di vista, con la distanza tra questi due che viene definita "base della ripresa, e avendo elencato gli indizi di profondità possiamo ora introdurre quelli che sono i concetti di "stereoscopia naturale" e "stereoscopia artificiale".

Nel caso della stereoscopia naturale si può affermare che il modello ottico viene riprodotto in una scala uguale al rapporto tra la "base di ripresa" e la distanza interpupillare, mentre con una base maggiore o minore l'oggetto ripreso avrà una percezione inversamente proporzionale alla distanza della base. In pratica avendo una distanza maggiore l'oggetto risulterà più piccolo mentre con distanza minore l'oggetto risulterà più grande con effetti diversi sulla percezione umana (Fig. 29).



*Fig. 29 Percezione delle profondità*

Applicando tutti questi concetti alla tecnologia dei display, per poter replicare questo effetto ci si può avvalere di tre tecniche differenti dette rispettivamente attiva, passiva o autostereoscopica (Fig. 30).

Indifferentemente dalla tecnica utilizzata per la visione, è bene ricordare che i sistemi di ripresa stereoscopici devono sempre provvedere a riprendere due sequenze distinte alla medesima distanza degli occhi umani.

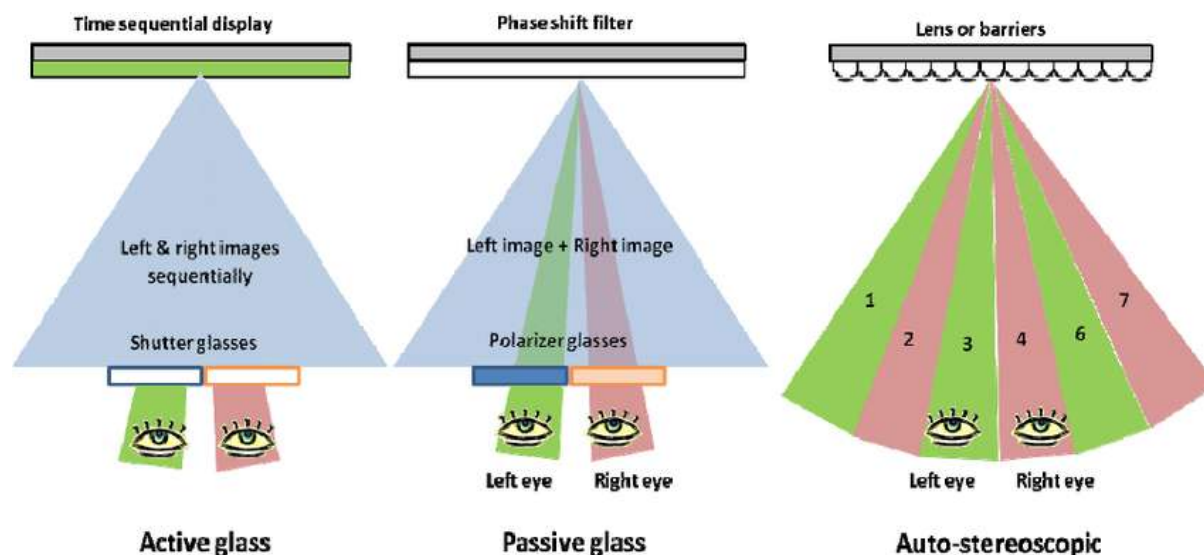


Fig. 30 Tipologia di display 3D

Utilizzando la tecnologia 3D attiva, l'immagine a sinistra e quella a destra vengono visualizzate alternativamente sullo schermo e contemporaneamente le lenti degli occhiali cambiano opportunamente il loro stato tra opaco e trasparente. In questo modo per ottenere l'effetto 3D quando l'immagine a sinistra del video 3D viene visualizzata sullo schermo, la lente sinistra diventa trasparente mentre la destra opaca. Questo processo avviene in sequenza alternata variando la visualizzazione delle immagini e l'opacizzazione delle lenti permettendo a ciascun occhio di vedere un'immagine diversa che verranno poi combinate dal cervello in un'unica immagine 3D.

La tecnologia 3D passiva utilizza schermi LCD dotati di FPR (Film-type Patterned Retarder) dove tutte le righe di pixel di questi schermi sono munite di un filtro polarizzatore.

Questi filtri possono essere lineari o circolari e vengono organizzati in sequenze alternate orientate diversamente (ad es. orizzontale per le righe 1, 3, 5... e verticale per le righe 2, 4, 6...).

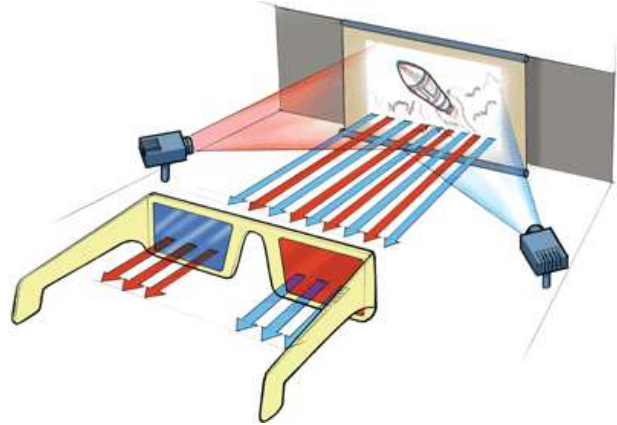
Gli occhiali 3D passivi montano dei filtri appositi a seconda della polarizzazione dello schermo in modo da permettere il passaggio della luce e dell'immagine corretta per ciascun occhio. La polarizzazione lineare necessita di un filtro ortogonale, mentre quella circolare utilizza filtri circolari montati in senso inverso rispetto a quelli presenti sul monitor.

La sostanziale differenza tra le due polarizzazioni è che nella polarizzazione circolare, lo



spettatore può inclinare la testa senza problemi legati alla sovrapposizione delle immagini. Sulla base dello stesso principio, ma utilizzando filtri e lenti di colori complementari l'uno rispetto all'altro, una tecnica nota in passato e utilizzata poi recentemente per la creazione di immagini stereoscopiche a basso costo in Internet, in DVD, Blu-ray, CD e nella stampa.

Lo standard corrente dei colori per le lenti dell'anaglifo è costituito dall'uso del rosso, per il canale sinistro, e il ciano, per il destro con filtri delle lenti in gelatina monocromatica (Fig. 31), etichettata rosso e blu per convenienza e costo. Seppur l'utilizzo di questa tecnica meglio si presti ad immagini in bianco e nero, l'utilizzo del filtro ciano permette la visione di immagini colorate, con una buona resa anche delle tonalità della pelle.



*Fig. 31 Funzionamento anaglifo*

La tecnologia autostereoscopica invece è legata alla registrazione e alla riproduzione di un numero di punti di vista maggiore a due. Il problema qui diventa di natura tecnica, in quanto catturare un numero di viste multiplo e poi effettuare una visualizzazione opportuna richiede hardware e software dedicato.

Un ulteriore avanzamento di tutte quelle che sono le problematiche e le tematiche alla base della stereoscopia ha permesso la definizione inoltre di ulteriori display che puntano a ricreare rappresentazioni tridimensionali, come ad esempio i Volumetric display e gli Holographic displays (Favalora, 2005).

Ognuna di queste soluzioni ha i suoi benefici e limiti che possono essere adattati alle diverse esigenze di sviluppo e fruizione, permettendo la corretta rappresentazione di contenuti stereoscopici laddove necessario, andando a creare soluzioni utilizzabili in diversi contesti per diversi scopi e in diverse modalità (Fuchs et al., 2014; H. Lee, 2013).

### **1.2.2 Augmented Reality (AR)**

Volendo descrivere brevemente questa tecnologia possiamo dire che è una modalità per aumentare la percezione sensoriale umana attraverso l'uso di devices quali smartphone, tablet e visori dedicati con l'intento di amplificare la reale portata delle informazioni fornite dall'ambiente.

Dal punto di vista pratico, volendo semplificare, il meccanismo per il quale queste applicazioni vengono rese possibili è l'acquisizione di un'informazione (marker, GPS, immagine) che viene usata come trigger per il recupero di un contenuto da aggiungere ed illustrare in maniera contestualizzata.

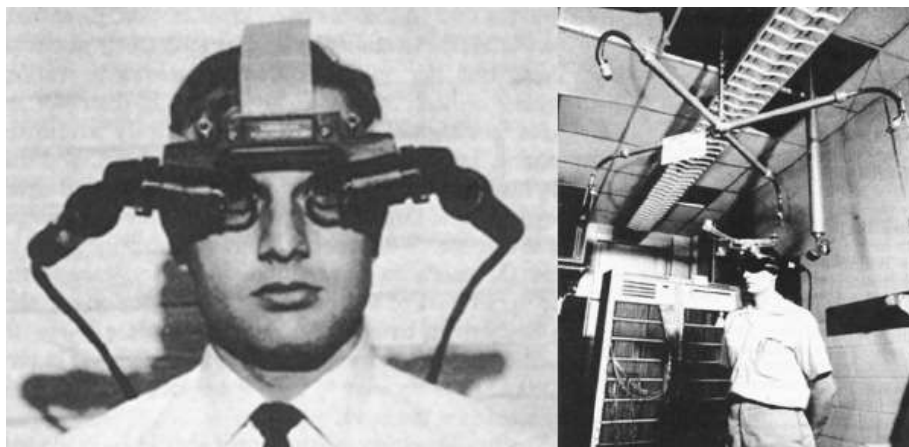
A livello di letteratura invece la definizione che viene riconosciuta e riportata in lavori di ricerca è quella che la descrive come una realtà che combina il reale e il virtuale, interattiva in tempo reale ed integrata in 3D nel campo visivo dell'utente (R. T. Azuma, 1997) (Fig. 32).



*Fig. 32 Proprietà dell'Augmented Reality*

Questa semplificazione del concetto nasconde dietro invece implicazioni tecniche e storiche che possiamo far risalire alla metà degli anni '60 grazie ad un lavoro di ricerca condotto tra il 1965 e il 1968 all'Università dello Utah.

Da questo contributo, si arriva alla prima apparizione di quello che può essere definito come head mounted display (HMD), grazie alla creazione da parte di Ivan Sutherland di un dispositivo (Fig. 33) che consentiva la proiezione di immagini tridimensionali semplici generate dal computer in sovrapposizione alla scena reale (Sutherland, 1968).



*Fig. 33 La spada di Damocle*

Nel corso degli anni si sono succeduti molteplici studi che hanno contribuito a migliorare ed aumentare il grado di conoscenza ed implementazione di dispositivi tecnologici di realtà aumentata in modo da esplorarne limiti e possibilità.

Da un punto di vista di sviluppo applicativo bisogna invece tenere molto in considerazione la tecnica con cui si intende mostrare i contenuti e il tipo di dispositivo per il quale si intende realizzare applicazioni di realtà aumentata, aspetti che troviamo ben descritti in un survey dove vengono riassunti le tecnologie, le applicazioni e le limitazioni della realtà aumentata (Van Krevelen & Poelman, 2010)

Per quel che riguarda il lato tecnico vengono riepilogate tre modalità principali (Fig. 34):

- optical see-through, dove gli utenti utilizzano vetri semitrasparenti per permettere la visione contemporanea sia della realtà che delle grafiche virtuali sovrapposte, dando una percezione molto più naturale di quello che viene fruito;
- video see-through, è possibile manipolare l'immagine da fruire con la possibilità di sincronizzare l'immagine virtuale con la scena registrata prima che l'utente la possa vedere, cosa impossibile da attuare con la tecnologia optical see-through in cui la visione della realtà non può essere ritardata per adattarvi le informazioni virtuali;
- projective, questa tecnica ha il vantaggio che non richiede occhiali speciali da far indossare agli utenti e il fatto che possono coprire grandi superfici avendo così un ampio campo visivo, con superfici di proiezione che possono variare da semplici pareti piatte o colorate a complessi modelli in scala.

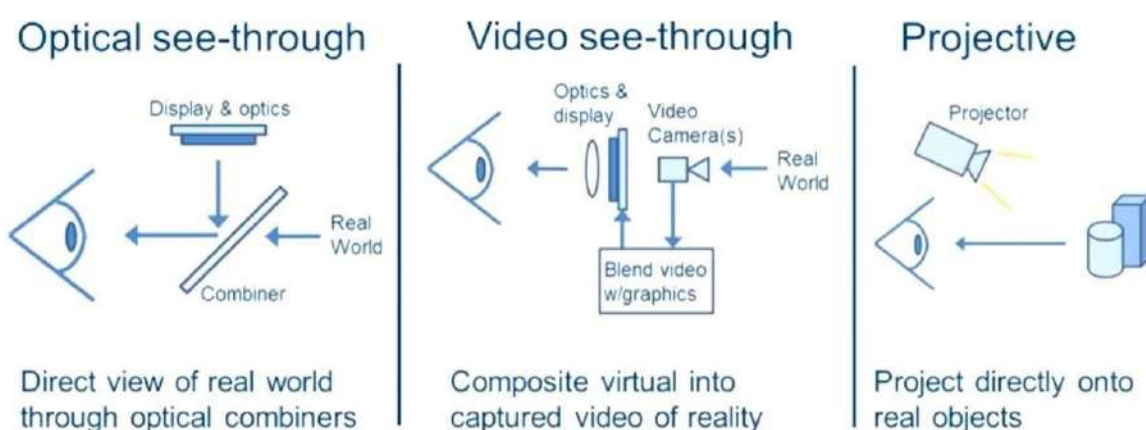


Fig. 34 Le modalità di sistemi AR

Per quel che riguarda invece la tipologia di dispositivo ne vengono identificate tre sulla base della loro posizione tra il fruitore e l'ambiente reale (Fig. 35):

- head-worn;
- hand-held;
- spatial.

La prima categoria fa riferimento a dispositivi che consistono in visori posti sulla testa dell'utilizzatore attraverso un casco (HMD) e che possono essere sia monoculari che binoculari. Questo genere di dispositivi può utilizzare entrambe le tecniche di visualizzazione presentate, ovvero con l'utilizzo di display trasparenti (optical see-through)

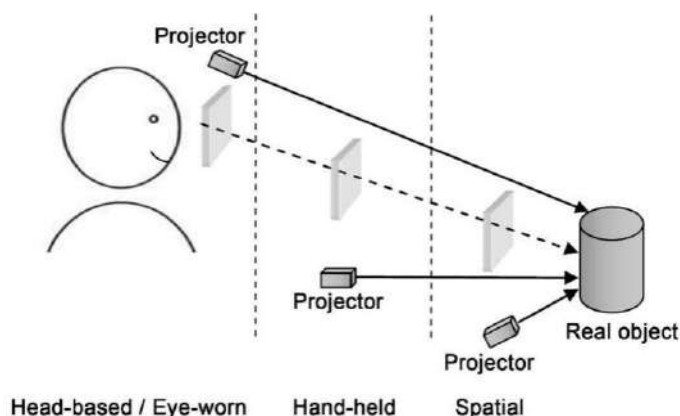


Fig. 35 Le tipologie di dispositivi AR

oppure con immagini del mondo reale completamente generate attraverso video (video see-through). A questa categoria appartengono dispositivi introdotti nel corso degli anni da diversi produttori come i Google Glass, Meta Vision e HoloLens di Microsoft.

La seconda categoria comprende dispositivi basati sia sulle tecniche video see-through, come ad esempio smartphone e tablet dove attraverso la fotocamera si è in grado di aprire un portale verso il mondo aumentato, che optical see-through displays con l'utilizzo di display wearable, così come altri che utilizzano dei proiettori portatili. La caratteristica principale di questi dispositivi è appunto la portabilità e sebbene questa categoria di display possa risultare a volte più ingombrante della prima, attualmente è la soluzione migliore per introdurre la realtà aumentata in un mercato di massa a causa dei bassi costi di produzione e della facilità d'uso. Dimostrazioni di queste considerazioni sono i comprovati successi su larga scala di applicazioni e giochi come Pokémon GO<sup>6</sup>.

L'ultima tipologia di dispositivi fa riferimento a sistemi che vengono posizionati staticamente all'interno dell'ambiente e includono soluzioni come screen-based video see-through displays, spatial optical see-through displays, and projective displays. Queste tipologie si prestano bene per grandi presentazioni ed esposizioni in cui vi deve essere un'interazione e manipolazione diretta dei contenuti limitata. Esempi di questi dispositivi sono quelli che rientrano nella classificazione degli head-up display (HUD) e che venivano utilizzati ad esempio all'interno degli abitacoli di volo dell'aviazione militare, ma che nel corso del tempo sono diventati sempre più comunemente adottati anche dall'aviazione civile con implementazioni su veicoli terrestri e marittimi oltre che in varie applicazioni di altri settori, come quello automobilistico.

Riepilogando possiamo dire che la realtà aumentata è una tecnologia che combina reale e virtuale, lavora nella tridimensionalità, con diversi gradi di interazione e in real time rendendola di fatto una tecnologia immersiva utilizzabile per il raggiungimento di scopi differenti tra loro come lo sviluppo di:

- Personal information systems
- Personal Assistance and Advertisement
- Navigation
- Industrial and military applications
- Maintenance and repair
- Soluzioni mediche
- sistemi di design
- giochi e applicazioni videoludiche

---

<sup>6</sup>[https://www.guinnessworldrecords.com/news/2016/8/pokemon-go-catches-five-world-records-439327?fb\\_comment\\_id=1042775672485563\\_1042869635809500](https://www.guinnessworldrecords.com/news/2016/8/pokemon-go-catches-five-world-records-439327?fb_comment_id=1042775672485563_1042869635809500)

In tutte queste considerazioni e descrizioni vanno anche citati quelli che possono essere i limiti o i vincoli di questa tecnologia e che sono riconducibili ad aspetti sia tecnici (Mekni & Lemieux, 2014) che altri legati al consumo di energia, l'ergonomia, l'aspetto e l'accessibilità al grande pubblico (R. Azuma et al., 2001).

I problemi e limiti principali possono essere così riepilogati:

- portabilità e uso esterno
- tracking e autocalibrazione
- percezione profondità
- Overload and over-reliance
- social acceptance

Una volta risolti e migliorati questi aspetti, avverrà per la realtà aumentata quello che è avvenuto in passato durante tutte le evoluzioni tecnologiche, ovvero il fatto di cominciare a diventare parte integrante della nostra quotidianità e non restare legata a progetti ed applicazioni isolate all'interno di specifici casi d'uso o domini applicativi (Carmigniani et al., 2011).

### 1.2.3 Mixed Reality (MR)

Con questo termine si intende una tecnologia in cui vi è la fusione di informazioni di natura digitale con informazioni già presenti nel mondo reale. I due mondi non solo sono presenti contemporaneamente durante l'esperienza ma sono integrati e con la possibilità di interagire tra loro.

Avendo presente il reality-virtuality continuum, possiamo dire che un ambiente di Mixed Reality è uno spazio in cui coesistono sia il mondo reale che virtuale al cui interno gli oggetti di entrambi i mondi sono presentati insieme all'interno della stessa visualizzazione (Milgram & Kishino, 1994) (Fig. 36).

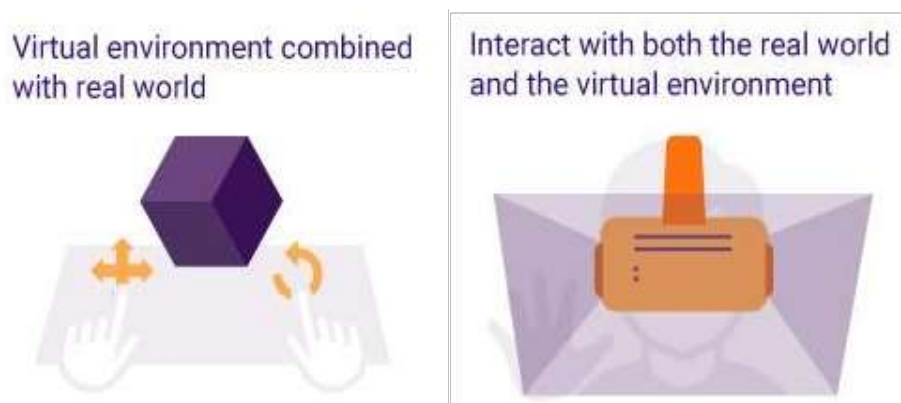


Fig. 36 Proprietà della Mixed Reality

Riguardo alle possibilità di fruizione di ambienti di mixed reality e le interfacce che possono essere utilizzate, la discriminante è senza dubbio il modo in cui le informazioni vengono presentate (Billinghurst & Kato, 1999).



In un'interfaccia MR che utilizza un HMD le informazioni possono essere presentate in tre modalità:

- head-stabilized, le informazioni sono fissate al punto di vista dell'utente e non cambiano quando viene modificato l'orientamento del punto di vista o la posizione;
- body-stabilized, fisso rispetto alla posizione del corpo dell'utente e varia quando l'utente cambia l'orientamento del punto di vista, ma non la posizione.
- world-stabilized, le informazioni vengono fissate alle posizioni del mondo reale e variano quando l'utente cambia l'orientamento e la posizione del punto di vista.

Ognuno di questi metodi richiede tecnologie di tracciamento della testa sempre più complesse a seconda del grado di esternalizzazione dell'interfaccia rispetto all'utente. Se non è necessario il tracciamento della testa per informazioni visualizzate in modalità head-stabilized, è invece necessario il tracciamento dell'orientamento del punto di vista per le informazioni body-stabilized, mentre per la modalità world-stabilized è necessario il tracciamento della posizione e dell'orientazione.

Allo stesso modo anche i requisiti di registrazione diventano più difficili; nessuna è richiesta per sistemi head-stabilized, mentre per le world-stabilized sono necessarie tecniche di calibrazione complessa.

In un sistema di realtà mista, la visualizzazione delle informazioni spaziali può essere utilizzata per superare la risoluzione e le limitazioni imposte dal campo di visualizzazione degli HMD e fornire quindi la sovrapposizione di informazioni direttamente sull'ambiente circostante (Fig. 37). Questo aspetto è rilevante perché solitamente l'informazione presentata in un'interfaccia MR è intimamente legata alla posizione e all'attività dell'utente rispetto al mondo reale.



*Fig. 37 Rappresentazione della sovrapposizione elementi virtuali e reali in MR*

Sulla base di lavori precedenti a questa differenziazione della mixed reality rispetto alla realtà aumentata è possibile identificare, attualizzandoli alla concezione odierna delle due

terminologie alcuni fattori caratterizzanti e copresenti in ambienti immersivi di mixed reality (Billinghurst & Kato, 1999; Schmalsteig et al., 1996):

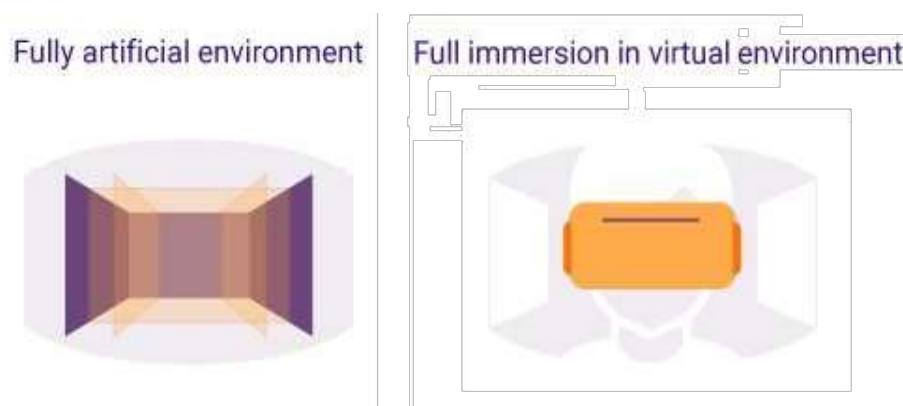
- virtuality, gli oggetti che non esistono nel mondo reale possono essere visualizzati ed esaminati;
- augmentation: gli oggetti reali possono essere aumentati da annotazioni virtuali;
- cooperation: più utenti possono vedersi e cooperare in modo naturali;
- independence: ogni utente controlla il proprio punto di vista;
- individuality: i dati visualizzati possono essere diversi per ciascun visualizzatore.

L'insieme di tutte queste considerazioni fa emergere come questo nuovo grado di interazione e relazione tra gli elementi reali e virtuali sia capace di offrire nuove opportunità, anche grazie all'utilizzo di apposite soluzioni come le tangible user interfaces (TUI) (Ishii, 2008) dove una persona interagisce con le informazioni digitali attraverso l'ambiente fisico.

L'applicazione di questi concetti e paradigmi permette lo sviluppo di soluzioni immersive ed innovative in molteplici campi (Hönig et al., 2015; Stein & Ledeczi, 2019) che possano potenziare la collaborazione, l'apprendimento e la progettazione fornendo anche forme fisiche alle informazioni digitali in modo da sfruttare così la capacità umana di afferrare e manipolare oggetti (Couture et al., 2010) oltre che permettere alle rappresentazioni virtuali di interagire e reagire alle proprietà degli ambienti reali (Nakevska et al., 2017).

#### 1.2.4 Virtual Reality (VR)

In parole povere possiamo definirla come la modalità più elevata nel tentativo di rendere l'esperienza immersiva il più possibile simile a quello che avviene all'interno di un ambiente reale. Possono essere utilizzati sistemi quali visori, sensori, e wearable devices per aumentare il grado di integrazione ed immersione con l'ambiente interattivo fruito (Fig. 38).



*Fig. 38 Proprietà della Virtual Reality*

Il termine venne introdotto per la prima volta da Jaron Lanier nel 1989 quando fondò la VPL research e utilizzò il concetto Virtual Reality come macrocategoria a cui riferirsi per progetti che utilizzavano tecnologie in grado di ricreare mondi tridimensionali attraverso una percezione stereoscopica.

Tale concetto è strettamente legato a quello già introdotto di telepresence, che viene utilizzato per fare riferimento all'utilizzo di teleoperatori e ambienti virtuali e che dà modo di intendere la realtà virtuale, in maniera generale e slegata da ogni tipo di riferimento a sistemi hardware, come un ambiente reale o simulato all'interno del quale un utente ha modo di sperimentare telepresence (Steuer, 1992).

Tra le tante dimensioni da tenere in considerazione come variabili che possono incidere a livello tecnologico sulla qualità effettiva della VR, le due che ricorrono maggiormente in studi di letteratura sono quelle di vividness e di interactivity (Fig. 39).

Il primo fa riferimento alla capacità della tecnologia di produrre un

ambiente virtuale mediato ricco dal punto di vista sensoriale, mentre il secondo si riferisce alla capacità che l'utente ha di manipolare forme e contenuti dell'ambiente mediato. Entrambe le dimensioni sono caratterizzate da diverse proprietà che contribuiscono all'effettivo raggiungimento di una buona qualità generale.

La dimensione della vividness è caratterizzata da fattori di breadth (ampiezza) e depth (profondità), laddove con ampiezza si intende al numero di canali sensoriali presentati contemporaneamente, mentre con profondità il grado di risoluzione di ciascuno di questi canali sensoriali.

La dimensione dell'interactivity invece è strettamente collegata a termini quali speed, range e mapping, laddove con speed ci si riferisce alla velocità con cui l'input effettuato viene assimilato dall'ambiente mediato; con range ci si riferisce al numero di possibilità di azioni in un dato momento; con mapping invece si fa riferimento alla capacità di un sistema di mappare in modo naturale e prevedibile i controlli ai cambiamenti all'interno dell'ambiente mediato.

Da un punto di vista visivo (Bowman & McMahan, 2007) diversi sono i fattori che incidono su una buona creazione di immersione, sia da un punto di vista hardware che software:

- field of view (FOV), la dimensione del campo visivo (gradi di angolo visivo) che si può visualizzare;
- field of regard (FOR), la dimensione totale del campo visivo che circonda l'utente;
- display size, la dimensione sul quale viene create l'immagine;
- display resolution, il grado di nitidezza e chiarezza dell'immagine;
- stereoscopia, la capacità di visualizzare immagini differenti per occhio;

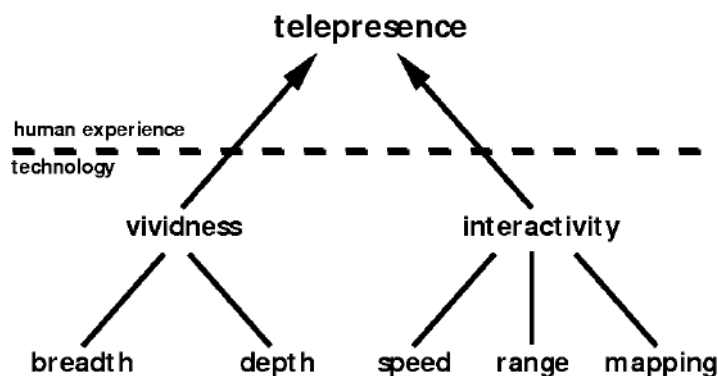


Fig. 39 Dimensioni della qualità di un sistema VR



- head-based rendering, la visualizzazione di immagini in base alla posizione fisica e all'orientamento della testa dell'utente;
- realism of lighting, corretta rappresentazione della luce;
- frame rate (FPS), frequenza di riproduzione dei fotogrammi;
- refresh rate (Hz), il numero di volte al secondo in cui il monitor si aggiorna con nuove immagini.

A livello di letteratura, per quel che concerne la tipologia di visual display utili alla fruizione di un sistema basato sulla realtà virtuale si fa riferimento ovviamente ai famosi e maggiormente diffusi head-mounted display (HMD), ma non solo.

Esistono infatti esperimenti e progetti legati a differenti tipologie di visual display che hanno permesso di distinguere tre gradi di sistemi immersivi per questa tecnologia (Ma & Zheng, 2011; Sharples et al., 2008):

- non-immersive VR;
- semi-immersive VR;
- fully immersive VR.

La prima tipologia si riferisce a soluzioni in cui i VE sono fruibili via desktop e in cui la manipolazione dei contenuti avviene attraverso sistemi convenzionali come tastiere e mouse.

La seconda tipologia include sistemi in cui il processo di elaborazione grafica avviene con prestazioni relativamente elevate attraverso monitor a schermo grande, un proiettore a grandi dimensioni o più sistemi di proiezione contemporanea.

Sfruttando la presenza di un ampio campo visivo coinvolto, il sistema VR semi-immersivo fornisce una migliore sensazione di immersione o presenza rispetto al sistema non immersivo come avvenuto per un famoso progetto noto con l'acronimo CAVE (Cruz-Neira et al., 1992).

La discussione invece più immersiva avviene tornando a parlare degli HMD, che in virtual reality a differenza dell'augmented reality e della mixed reality utilizzano soluzioni che tendono ad isolare completamente l'utente dal mondo esterno, sebbene sia possibile con alcuni dispositivi usare anche tecniche di video see-through.

Un'analisi accurata del momento tecnologico permette di definire una classificazione dei dispositivi HMD in base alle loro caratteristiche (Anthes et al., 2016).

La prima distinzione che si fa all'interno di questa classificazione di visori è quella sul fatto se questo sia di tipo mobile o wired, cioè collegato fisicamente ad un pc per l'elaborazione della rappresentazione virtuale.

All'interno della prima divisione possiamo identificare tre sottocategorie, che possiamo definire come "simple casing", "ergonomically designed" e "standalone",

La prima raggruppa i dispositivi che utilizzano un comune smartphone per la visualizzazione

e l'elaborazione dei dati, fornendo un involucro semplice come alloggio e che lo mantiene ad una distanza fissa dall'individuo come ad esempio il famoso Google Cardboard. La seconda categoria include dispositivi simili alla prima, ma con un'ottica decisamente migliore e un maggiore comfort.

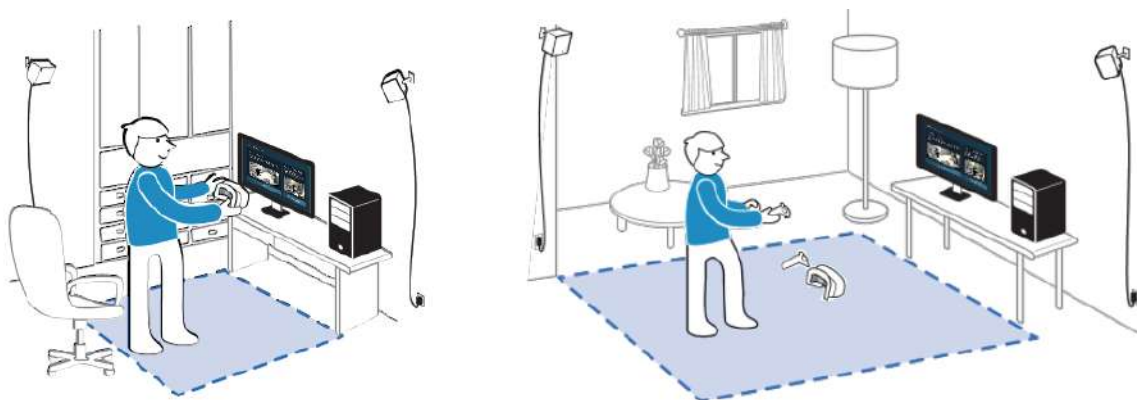
L'ultima sottocategoria include dispositivi che non richiedono una connessione a un PC, ma neanche la necessità di utilizzare uno smartphone inserito in un visore dedicato. I dispositivi standalone infatti sono delle vere e proprie unità indossabili completi di processori, GPU, sensori, batteria, memoria, display e altro ancora.

La distinzione invece che descrive i dispositivi wired include quei visori che tramite una connessione via cavo al computer sfruttano le maggiori capacità di calcolo di questo hardware per visualizzare gli ambienti virtuali, potendo quindi mirare a rese e performance migliori.

Entrambe le categorie sono accomunate dal fattore movimento e sul quale si delineano due modalità differenti di fruire ambienti di realtà virtuale immersiva, ovvero seated and room scale (Fig. 40).

La prima modalità indica una fruizione in cui un utente è seduto e stazionario all'interno di un piccolo spazio, e oltre alla seated include una modalità standing dove l'utente è sempre all'interno di uno spazio limitato ma con la facoltà di poter stare in piedi.

La seconda invece consente agli utenti di camminare liberamente in un'area di interazione, con il loro movimento nella vita reale che viene riflesso nell'ambiente immersivo.



*Fig. 40 Modalità di fruizione di un sistema VR - seated vs room-scale*

La realtà virtuale per poter aumentare il suo grado di immersione necessita di curare non solamente l'aspetto visivo, ma anche tutti gli aspetti legati alle altre percezioni sensoriali e per questo motivo non è difficile trovare sistemi immersivi che comprendono oltre a visori altri tipologie di dispositivi come data-gloves, haptics feedback devices e motion tracking devices.

L'insieme di queste considerazioni rendono la realtà virtuale un'alternativa preziosa per la fruizione e la pratica di situazioni in cui l'ambiente reale risulta difficile da replicare o

raggiungere (Guttentag, 2010), oppure quando l'interazione con ambienti e oggetti reali può risultare pericolosa per gli utenti, le attrezzature o l'ambiente (Farra et al., 2015; Kinateder et al., 2014).

Un aspetto importante da tenere in considerazione per l'uso della realtà virtuale è l'elevato livello di competenza e costi necessari per sviluppare e implementare questi sistemi.

È richiesto infatti un alto livello sia per quel che riguarda la creazione e la renderizzazione dei contenuti sia per il livello di hardware e software dedicati alla loro implementazione.

È vero che negli ultimi anni stiamo assistendo ad una trasformazione e un'innovazione continua per quel che riguarda i dispositivi e gli ambienti software legati alla VR che stanno riducendo le competenze e i requisiti necessari per la creazione di questi ambienti virtuali, tuttavia è sempre richiesto un certo investimento iniziale di tempo e denaro.

### 1.2.5 Natural User Interfaces (NUI)

Le NUI sono solamente una delle tappe dell'evoluzione storica avvenuta per quel che riguarda le interfacce utente e devono l'origine del loro nome a Steve Mann che tra gli anni '80 e '90 sviluppò una serie di interfacce utente che utilizzavano interazioni naturali con il mondo.

Il suo scopo era quello di cercare in esse un'alternativa valida alle due che esistevano in precedenza ovvero le CLI (command line interface) e le GUI (graphical user interface) (Tab. 2).

Volendo dare una definizione, o comunque per contestualizzare meglio l'argomento, si parla di NUI quando ci si riferisce a quel particolare tipo di interfaccia utente che è pensata per essere più naturale possibile all'utente attraverso l'uso ad esempio di movimenti, azioni, gesti e riconoscimento vocale (Jain et al., 2011).

INTERFACCIA	INPUT	ELEMENTI	CARATTERISTICHE
CLI command line interface	tastiera	prompt, comandi e argomenti, risultati	single task, single user, command oriented
GUI graphical user interface	mouse + tastiera	Windows, Icons, Menus, Pointer (WIMP)	Multi-task, Single user, Task oriented
NUI natural user interface	touch, body, gesture, speech	Objects, Containers, Gestures, Manipulations (OCGM)	Multi-task, Multi-user, Object oriented

*Tab. 2 Differenze tra le tipologie di interfacce utente*

Da un primo confronto fra le tre tipologie di user interface emerge come sia la metodologia di input la principale differenza che caratterizza ciascuna di essa e come questa considerazione di conseguenza si rifletta sugli elementi dell'interazione e sui paradigmi di riferimento.

Utilizzando le NUI non è previsto infatti l'uso di intermediari tra utente e computer, come avviene invece attraverso l'utilizzo della tastiera nelle CLI e l'utilizzo combinato di mouse e tastiera nelle GUI.

Nella prima tipologia l'utente si trova a interagire con la macchina attraverso una serie di comandi che ha dovuto imparare e di cui deve rispettare una sintassi rigida, mentre le altre due tipologie lavorano secondo un concetto di metafore.

Nelle interfacce GUI l'utente ha potuto cominciare, grazie all'introduzione del mouse effettuata dalla Xerox nel 1981, a manipolare e muoversi tra gli oggetti in modo più semplice ed immediato. Il suo utilizzo avveniva attraverso sistemi del paradigma WIMP, basato su finestre e su oggetti grafici convenzionali (icone) a cui erano associati significati ben precisi che rendeva l'interazione con il computer molto più fluida.

Le interfacce di tipo NUI vanno ancora oltre grazie all'utilizzo di interazioni che usano capacità preesistenti nell'essere umano col risultato di ottimizzare l'interazione che avviene direttamente sul contenuto.

Questo termine è infatti utilizzato da designer e sviluppatori di interfacce per fare riferimento ad una interfaccia utente dove la connotazione "naturale" indica il fatto di usare modalità di interazioni che non necessitano un apprendimento tradizionale (Wigdor & Wixon, 2011).

La naturalezza di queste interazioni si basa su concetti legati al tracking come posture e gesture, dove il primo fa riferimento al modo in cui una persona sta in piedi o seduta mentre il secondo si riferisce al movimento delle mani o di altre parti del corpo fatti al fine di trasmettere azioni e comandi.

Le NUI sono infatti rivolte ad un utente in grado di effettuare movimenti relativamente naturali, azioni e gesti per controllare l'applicazione del computer o manipolare contenuti sullo schermo.

L'importanza di questo aspetto è talmente elevata che ha portato infatti all'emergere della definizione "*content is the interface*" (Hofmeester & Wixon, 2010).

Questa affermazione non significa che le applicazioni o sistemi basati su NUI non debbano essere provviste di pulsanti quando necessari, ma solo che hanno un'importanza e una rilevanza secondaria rispetto al contenuto.

Ulteriori fattori che incidono sulla percezione di naturalezza dell'interazione sono quelli legati anche da aspetti culturali, in quanto può capitare che la concezione di alcune gesture utili all'interazione siano legati a concetti differenti basati sulla conoscenza pregressa di ciascun individuo, con conseguenze sul loro utilizzo (D. A. Norman, 2010).

Le NUI, per risultare naturali infatti, dovrebbero adattarsi al singolo utente e al suo contesto d'uso e per fare questo sono state delineate alcune linee guida (Blake, 2012):

- instant expertise, legato al concetto di sfruttare le competenze e le conoscenze esistenti degli utenti;
- progressive learning, ovvero avere un chiaro percorso di apprendimento che consente sia agli utenti principianti che esperti di interagire in modo naturale;
- direct interaction, l'interazione deve essere diretta ed adattarsi al contesto;
- cognitive load, far risultare l'interazione facile ed immediata stabilendo delle priorità che sfruttano le competenze di base dell'utente.

All'interno di questa tipologia di interfacce rientrano quindi tutte quelle modalità di interazione basate su sistemi quali gesture recognition (Rautaray & Agrawal, 2015) o comandi alternativi come speech recognition e brain-computer interfaces (BCI) (Amiri et al., 2013) dove si utilizzano segnali neurali per impartire comandi ed azioni (Fig. 41).

Dall'insieme di tutte queste considerazioni presentate si evince come l'obiettivo di questa tipologia di interfaccia utente sia quella di creare delle interazioni tra l'uomo e la macchina utilizzando un'interfaccia utente che risulti invisibile fin da subito e che resti tale col crescere del numero delle interazioni e della loro complessità, stimolando o favorendo quella sensazione di immersione durante la fruizione di sistemi dedicati alla sperimentazione di diverse modalità di navigazione (Khundam, 2015) ed interazione (LaFleur et al., 2013) con gli elementi oggetto della percezione.

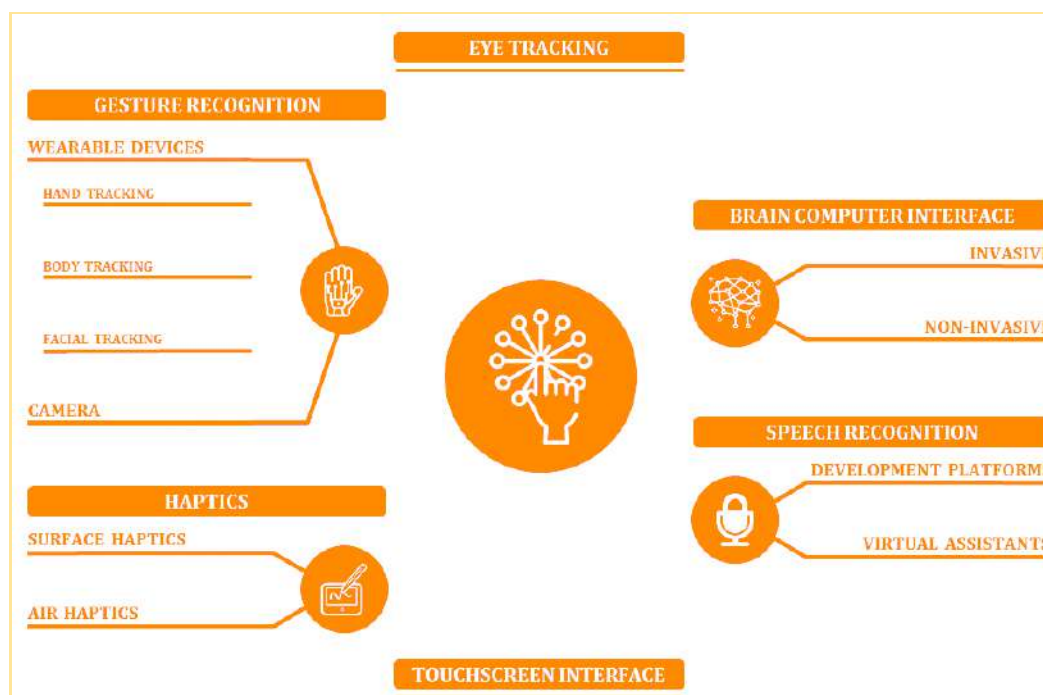


Fig. 41 Tipologie NUI

### 1.2.6 Robotica, sensori ed attuatori

La robotica può essere descritta come l'insieme delle discipline che si pongono come obiettivo la costruzione di esseri artificiali e dove non tutte queste discipline hanno caratteristiche esclusivamente tecnologiche.

Oltre ad approcci connotati da una natura ingegneristica, e con più precisione meccatronica, in essa confluiscono anche conoscenze di natura umanistica, linguistica e scientifica come ad esempio biologia, fisiologia, psicologia, elettronica, fisica, informatica, matematica e meccanica.

Facendo un paragone con le scienze della vita che si interessano dello studio degli organismi viventi, possiamo dire che la robotica si propone di costruire e progettare esseri artificiali attingendo da scienza e tecnologia suggestioni e competenze di cui ha bisogno. L'insieme delle possibili applicazioni della robotica è molto ampio grazie alla presenza di robot sviluppati per scopi domestici, per la didattica, l'assistenza personale così come altri robot dedicati invece a scopi militari, industriali o di sicurezza.

Da questa considerazione emerge come il concetto di robot intelligente sia piuttosto ampio, potendo quindi includere sistemi molto diversi tra loro, e per questo motivo in letteratura si trovano diversi lavori che ne descrivono i contorni e le caratteristiche di questi sistemi intelligenti.

In un importante lavoro viene data importanza alla loro capacità di essere situati nel mondo e di percepirlo (Brooks 1986), mentre in un altro contributo vengono elencate le loro caratteristiche più importanti, ovvero reattività, proattività e abilità sociali (Wooldridge and Jennings 1995).

Un utile concetto che viene in aiuto nella comprensione del concetto di robot è quello che in letteratura viene descritto come *agent*, ovvero qualcosa in grado di percepire l'ambiente attraverso l'utilizzo di sensori e che può manipolarlo attraverso l'impiego di attuatori (Russell and Norvig 1995).

A livello generico infatti i robot possono essere descritti come *physical agents* che svolgono specifici compiti manipolando il mondo fisico basandosi sul concetto di retroazione tra percezione ed azione, ovvero la capacità di un sistema dinamico di tenere conto dei risultati del sistema per modificare le caratteristiche del sistema stesso.

Seguendo questo schema possiamo evidenziare come la percezione avvenga attraverso l'uso di sensori, l'azione da componenti attuatori e il controllo viene eseguito da un computer esterno o interno al robot, oppure da un microcontrollore (Fig. 42).

Il termine sensore indica un dispositivo che permette di ricevere informazioni su una determinata misurazione dell'ambiente, apparecchiature generiche o di componenti interni. Tali informazioni possono essere di tipo meccanico, elettronico o chimico, vengono rilevate sotto forma di valori appartenenti ad una grandezza fisica e poi trasmesse ad un sistema di

misurazione o di controllo in modo da permetterne l'analisi delle variazioni ed il calcolo di eventuali risposte appropriate.

I sensori possono essere classificati in base al loro principio di funzionamento oppure al tipo di segnale in uscita, ma più comunemente vengono classificati in base al tipo di grandezza fisica che misurano (luce, suono, accelerazione, magnetismo, pressione, etc.) (Niku, 2001).

Il termine attuatore si riferisce ad un dispositivo che consente di intervenire sul funzionamento o sul controllo di meccanismi convertendo energia da una forma ad un'altra, come ad esempio motori che fanno muovere braccia robotiche, motori di vibrazione e simili.

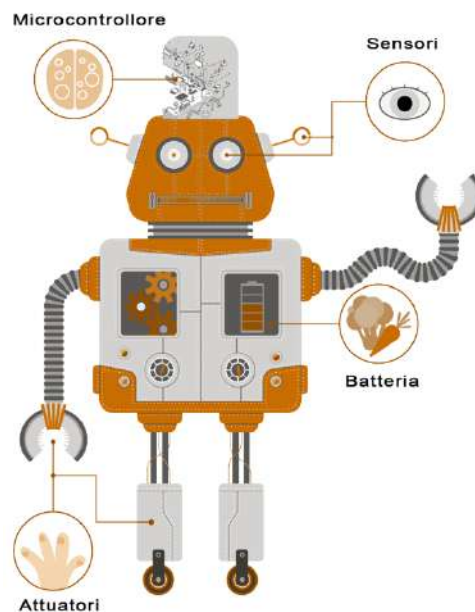
Questi dispositivi possono essere considerati un po' come se fossero la parte muscolare di un sistema robotico e ne esistono di diverse tipologie come ad esempio motori elettrici, pistoni idraulici, i relè, le elettrovalvole, attuatori piezoelettrici, pneumatici, microattuatori ed i polimeri elettroattivi.

Nei sistemi di automazione un attuatore è solitamente costituito da un motore che trasforma l'energia

primaria in energia meccanica, un riduttore che permette di modificare i parametri cinematici/dinamici del motore, un sistema di trasmissione del movimento dal riduttore fino al meccanismo finale. Il tipo di energia impiegata, come abbiamo detto, può essere di tipo meccanica, idraulica, pneumatica, potenziale, elettrica, chimica mentre dal punto di vista del tipo di moto realizzato un attuatore può essere lineare / rettilineo oppure rotativo / circolare / oscillante.

Il microcontrollore è un single-chip computer, ovvero un microcalcolatore integrato su un singolo chip che, come suggerisce il nome, è utilizzato principalmente per realizzare sistemi di controllo digitale e, in particolare, nei dispositivi cosiddetti embedded come ad esempio calcolatrici, telefoni cellulari, fotocamere, autoveicoli, sistemi di allarme, sistemi di controllo di macchinari industriali ed elettrodomestici.

L'utilizzo di queste considerazioni viene utile quando si intende sviluppare componenti di un sistema immersivo che mirano alla creazione o il miglioramento di stimoli percettivi, in modo da replicare quelle sensazioni comuni nel mondo reale e che possono aumentare il senso di immersione. In questo senso lo sviluppo e l'utilizzo di devices robotici che prevedono l'uso di sensori e attuatori specifici possono offrire contributi importanti per la stimolazione dei due sensi per i quali sono carenti interfacce e tecnologie specifiche come l'olfatto (Munyan et al., 2016; Nakamoto et al., 2008) e il gusto (Cater, 1994; Ranasinghe et al., 2012), nella



*Fig. 42 Rappresentazione schematica di un robot*

creazione di soluzioni che vanno ad agire sul sistema vestibolare per la riproduzione delle dinamiche legate al movimento del corpo come pedane, sedie, tapis-roulant o scarpe intelligenti (Hollerbach, 2002) , oppure nell'aggiunta di informazioni ambientali utili ad arricchire l'esperienza delle altre percezioni sensoriali.

### **1.2.7 Speech Recognition**

É il processo mediante il quale il linguaggio orale viene riconosciuto e successivamente elaborato attraverso un computer o un apposito sistema di riconoscimento vocale dando possibilità di compiere operazioni ed interazioni in maniera più fluida e diretta.

Da un punto di vista critico, questa tipologia di tecnologie potrebbe rientrare all'interno della categoria precedentemente descritta come natural user interfaces, ma vista la maggiore connessione di quest'ultima a concetti quali gesture e azioni e la sempre maggior presenza nella vita quotidiana di interfacce collegate al parlato, si è deciso di effettuare un approfondimento mirato in una categoria dedicata.

Il parlato infatti costituisce oggi la principale forma di comunicazione tra le persone e, per motivi che vanno dalla curiosità tecnologica rispetto alla realizzazione meccanica di sistemi che siano in grado di replicare i meccanismi e le capacità del parlato umano al desiderio di automatizzare compiti semplici che richiedono intrinsecamente interazioni uomo-macchina, la ricerca sul riconoscimento vocale automatico (e la sintesi vocale) ha attirato molta attenzione a partire dagli anni '50-'60.

Il primo esempio in letteratura che possiamo trovare come esempio di sistema di riconoscimento vocale è quello realizzato da Davis, Biddulph e Balashek dei Bell Laboratories che svilupparono un sistema per il riconoscimento di cifre isolate pronunciate da un singolo oratore (Davis et al., 1952).

In generale, un sistema di riconoscimento vocale funziona meglio quando è "trained" da un particolare oratore che controllerà l'applicazione in modo da interpretare ogni parola come un'espressione discreta piuttosto che come un unico discorso continuo, ottenendo così un maggior livello di precisione.

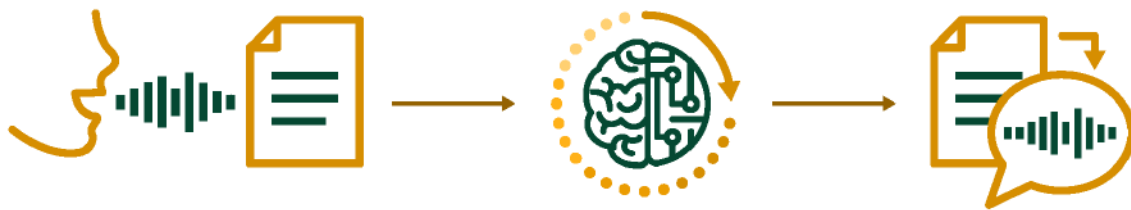
I sistemi che utilizzano questo concetto vengono chiamati "speaker dependent", ma esistono anche sistemi che non utilizzano il concetto di addestramento e che vengono definiti "speaker independent".

Al momento, i sistemi appartenenti alle tecnologie di riconoscimento vocale lavorano solitamente mappando i suoni audio in ingresso con delle stringhe di testo che vengono riconosciute e poi utilizzate in maniere differenti. La prima prevede un uso dedicato alla loro semplice rappresentazione visuale, l'altro invece prevede l'abbinamento di quanto riconosciuto ad una serie di possibili preprogrammate risposte in grado di eseguire comandi.



Bisogna comunque sottolineare che recentemente questo tipo di tecnologie hanno beneficiato di progressi dovuti dall'utilizzo di processi di deep learning e dall'uso dei cosiddetti big data. Questi progressi sono evidenziati sia a livello accademico con la pubblicazione di numeri articoli sia a livello industriale con l'adozione di diversi sistemi di riconoscimento vocale.

A livello progettuale, in qualsiasi applicazione a comando vocale, una delle considerazioni che deve essere maggiormente ponderata è quella legata alla decisione di quando avviare la fase di riconoscimento. Il sistema dovrebbe occuparsi di ciò che l'utente sta dicendo, nei momenti opportuni e rilevanti per l'esecuzione di azioni successive all'acquisizione del parlato (Fig. 43).



*Fig. 43 Processo di speech recognition*

La soluzione più semplice potrebbe essere quella di fare in modo che il sistema ascolti continuamente l'utente, ma questo potrebbe portare problemi legati alla discrezionalità e l'intenzionalità in quanto potrebbe risultare difficile distinguere tra quando l'utente sta parlando con persone nelle vicinanze e quando in realtà sta impartendo istruzioni al sistema col rischio di ottenere risultati indesiderate.

Quello che succede quindi è quello di creare meccanismi di attenzione selettiva attraverso metodi quali (Sherman & Craig, 2003):

- push to talk;
- name to talk;
- look to talk

Nel primo caso il momento del riconoscimento inizia nell'istante in cui si preme un pulsante su un qualche tipo di supporto fisico che funziona da interruttore on/off e funziona bene in scenari che replicano quelle reali situazioni; il secondo caso è quello che utilizza delle frasi chiavi per abilitare la fase di riconoscimento (es. "Hei Google"); l'ultima alternativa è legata al fatto di indirizzare il proprio sguardo verso un agente che funziona da trigger per l'avvio del riconoscimento vocale.

La conoscenza delle particolarità di questi sistemi può permettere l'uso di apposite interfacce utente vocali destinate alla creazione di applicazioni dedicate al riconoscimento vocale per effettuare operazioni di composizione vocale (ad es. "Call home"), il controllo domotico dell'appliance (Portet et al., 2013), la semplice immissione di dati, operazioni

elaborate di speech-to-text per la preparazione di documenti strutturati o controllo di ambienti attraverso soluzioni di direct-audio input utilizzabili anche all'interno di sistemi immersivi in modo da rendere più naturale il loro utilizzo o ampliare altre varie funzionalità e possibilità (ter Heijden & Brinkman, 2011).

### **1.2.8 Spatial Audio**

L'obiettivo dell'audio 3D è fornire all'ascoltatore un'esperienza audio che imiti la vita reale e per fare questo ci si avvale dell'uso di sistemi audio binaurali che permettono di acquisire, elaborare e riprodurre le onde audio.

La rappresentazione di una sorgente audio può influire sulla capacità immersiva di un sistema e sul grado di immersione che questo può suscitare in una persona ed è bene conoscerne le proprietà e le modalità di funzionamento in modo da poterlo ricreare effetti voluti in maniera opportuna.

Esistono alcuni fattori importanti da conoscere riguardo la rappresentazione audio in generale e sono quelli che rientrano nel seguente elenco (Sherman & Craig, 2003):

- numero di canali da rappresentare, differenziando un suono mono da quelli stereo;
- sound-stage, il riferimento del punto di emanazione del suono;
- localization, la percezione della direzione di provenienza del suono;
- masking, la capacità di mascherare ed occludere fonti sonore;
- amplification, la capacità di potenziare il segnale audio;

Questi fattori permettono di registrare e poi riprodurre stimoli audio potendo gestire quindi la natura dei segnali, l'ancoraggio dell'origine differenziando tra sistemi head-referenced e world-referenced, la direzionalità e altre dimensioni che ne amplificano o riducono la portata. A livello generale vanno anche introdotte le due modalità di ascolto e percezione di segnali audio, che possiamo dividere in head-based e stationary.

La prima modalità include tutti i sistemi indossabili a livello di testa come le tradizionali cuffie e dedicate quindi ad un utilizzo individuale ed isolato dall'ambiente circostante, mentre la seconda include i sistemi basati sull'utilizzo di speaker.

Per quel che riguarda l'applicazione di questi fattori ai sistemi immersivi è importante poter riprodurre dei suoni che siano stereofonici, ancorati ad un sistema di riferimento world-stage e con la possibilità di poter applicare i corretti filtri in modo da separare rumori ambientali da altri segnali (es. voce remota) e ottenere una corretta rappresentazione dell'audio spaziale, detto anche audio binaurale o 3d audio effect.

La registrazione di audio binaurali avviene in modalità che imitano il sistema uditivo del corpo umano, con due microfoni posizionati ai lati di una testa di un manichino (dummy head in inglese) e inseriti all'interno di due cavità che riproducono perfettamente la forma e la densità di un orecchio umano (Fig. 44). In questo modo è possibile catturare i suoni come se a farlo fosse una persona in carne ed ossa e quindi poter poi analizzare il flusso di informazioni sonore come se accadesse all'interno del cervello umano (Lombardo & Valle, 2014).



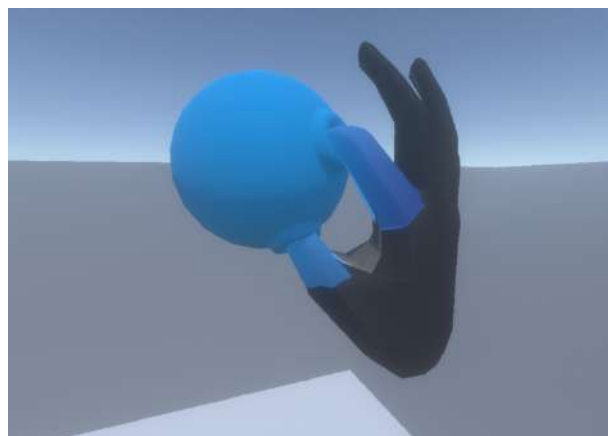
*Fig. 44 Dummy head della Neumann*

L'aspetto della riproduzione invece bisogna considerarlo come meglio riprodotto mediante l'ascolto in cuffia più che attraverso l'uso di casse acustiche che tendono a far confondere il senso di spazialità dovuto alla separazione dei canali apportata dalla testa artificiale usata durante la registrazione.

A livello di modalità riproduttiva, quella che maggiormente si presta ad essere usata all'interno di ambienti immersivi è quella basata sull'uso di sistemi come cuffie per via della loro predisposizione a presentare i segnali audio in maniera separata per canale uditivo, tuttavia esiste la possibilità di uso basato su speaker per la creazione di soluzioni dette ambisoniche così come anche la possibilità di un uso combinato dei due sistemi andando a differenziare la produzione sulla base del tipo di frequenza da replicare (basse, medie, alte). La conoscenza di questi aspetti ci permettono di poter produrre effetti audio in una maniera tale che possano immergere maggiormente l'utente durante l'interazione col sistema immersivo simulando percezioni realistiche aumentando la qualità dell'immersione (Langlotz et al., 2013; Schissler et al., 2016).

### 1.2.9 Haptic Feedback

Le tecnologie dedicate a questo scopo sono in grado di ricreare il senso del tatto applicando forze, vibrazioni o movimenti all'utente che sta interagendo con il sistema potendo quindi impreziosire e arricchire le sensazioni percepite nella fruizione di un sistema immersivo (Fig. 45). Il termine haptic feedback raggruppa le modalità di force feedback, tactile feedback e proprioceptive feedback (Burdea, 1996).



*Fig. 45 Simulazione percezione haptic feedback*

Il feedback di forza fornisce dati su durezza, peso e inerzia di un oggetto virtuale, quello tattile viene utilizzato per dare all'utente la percezione della geometria, della scorrevolezza, dello slittamento e della temperatura al contatto con la superficie dell'oggetto virtuale, infine il feedback propriocettivo viene implementato nel rilevamento e controllo della posizione e postura del corpo dell'utente.

Il concetto di percezione aptica coinvolge le sensazioni combinate di kinesthesia e taction, sensazioni che nell'uomo sono quasi impossibili da separare ma che a livello di rappresentazione digitale ed informatica sono particolarmente difficili da combinare.

Il primo aspetto riguarda la percezione del movimento o della tensione all'interno dei muscoli, tendini e articolazioni del corpo mentre il secondo aspetto riguarda il senso del tatto che proviene dai sensori nervosi sensibili sulla superficie della pelle.

Le modalità con cui si può generare haptic feedback sono le seguenti (Sherman & Craig, 2003):

- tactile devices, a contatto diretto con la pelle;
- end-effector displays, forza meccanica applicata a uno stilo o ad un'impugnatura
- robotically operated shape displays (ROSD), meccanismo per posizionare gli oggetti fisici nella posizione appropriata;

La maggior parte dei display tattili si concentra in particolare sulle mani e sulla punta delle dita in modo da simulare sensazioni di pressione, pressioni locali multiple, vibrazioni e temperatura attraverso devices basati su sistemi gonfiabili, vibratori, attuatori e altri dedicati a scopi specifici come il trasferimento di calore.

Queste soluzioni si avvalgono spesso di sostituzione sensoriale invece che replicazione della sensazione reale, in quanto si preoccupano di informare l'utente del fatto che ha toccato qualcosa ma senza fornire una rappresentazione fedele ed accurata.

Le interfacce aptiche legate al concetto di forza agiscono invece sugli arti nel loro insieme e servono per rappresentare la forma di un oggetto, per spingere e deformare oggetti attraverso dispositivi detti end-effector basati su sistemi meccanici che utilizzano motori elettrici, idraulici o pneumatici.

Un'interfaccia end-effector fornisce sostanzialmente un mezzo per poter afferrare o esaminare oggetti in un mondo virtuale. A seconda del meccanismo utilizzato, questi display possono fornire una notevole quantità di pressione resistiva in grado di creare la sensazione di contatto fisico con gli oggetti simulando l'applicazione di forze o la presenza di resistenze

La caratteristica principale di queste interfacce aptiche è che sono sistemi che dipendono da un ancoraggio fisico legato al mondo o direttamente al corpo su cui vanno esercitate il ritorno delle sensazioni. I primi sono fisicamente posizionati nel mondo reale in una posizione specifica da cui è possibile applicare e ricevere le forze, mentre nel secondo caso

i sistemi montati in punti specifici come ad esempio tra due dita o dalla spalla alla mano. Un limite di questo tipo di tecnologia è che è molto difficile riuscire a rappresentare molteplici tipi di rappresentazioni tattili in maniera combinata e poco invasiva. Ad esempio, un'interfaccia dedicata alla rappresentazione di forze in genere non include un modo per rappresentare al contempo sensazioni ad esempio di temperatura.

Per ovviare a questo limite si può cercare di utilizzare tecniche differenti in modo da suscitare percezioni sensoriali in modalità alternative da quella del necessario contatto diretto con l'interfaccia e i devices per la rappresentazione tattile degli stimoli.

Infatti, una delle caratteristiche particolari della percezione aptica è che questa avviene solo a livello locale nell'utente (cioè, sopra o vicino alla propria pelle o all'interno del proprio corpo). Pertanto, solo le parti del mondo che sono a portata di mano dell'utente devono essere rappresentate in modo aptico differenziandosi dalle altre percezioni sensoriali, che possono essere avvertite anche se gli oggetti che li producono sono fuori portata.

Rappresentazioni infatti di semplici condizioni ambientali come temperatura e vento possono essere controllate tramite interfacce "senza contatto" efficaci però al raggiungimento dello scopo come ad esempio lampade di calore e ventole.

Il contatto è una delle tematiche rilevanti all'interno di questo tipo di interfacce in quanto devono essere in grado di simulare molteplici azioni derivanti anche dal numero dei punti di contatto attivi. Infatti, una corretta simulazione aptica deve permettere di comprendere se l'utente manipola completamente l'oggetto in un singolo punto di contatto, se lo afferra interamente con la mano (grasping), se lo pizzica con due dita (pinching) o se lo controlla attraverso l'ausilio di strumenti intermediari.

Le interfacce aptiche basate su robotically operated shape displays (ROSD) si riferiscono a dispositivi di rappresentazione tattile che utilizzano robot per posizionare oggetti fisici di fronte alla portata dell'utente. I componenti di questi sistemi oltre alla presenza di un robot, si servono di buoni dispositivi di localizzazione, mezzi per la rappresentazione e l'esplorazione del mondo virtuale e oggetti pertinenti da sottoporre all'utente nel mondo reale.

Questo filone tecnologico è in continua e costante evoluzione con applicazioni in diversi ambiti (Han et al., 2018; Peiris et al., 2017), e non è un caso raro che di tanto in tanto emergano nuove tipologie di dispositivi ed interfacce come ad esempio quella basata su tecniche ad ultrasuoni (Carter et al., 2013).

L'obiettivo dei designer e degli esperti in questo campo è quello di essere motivato a progettare nuove forme di rappresentazione tattile, arricchendo gli ambienti immersivi andando a limare i limiti tecnologici che agiscono su questa percezione.

## 1.3 Oltre l'immersività: campi complementari di ricerca

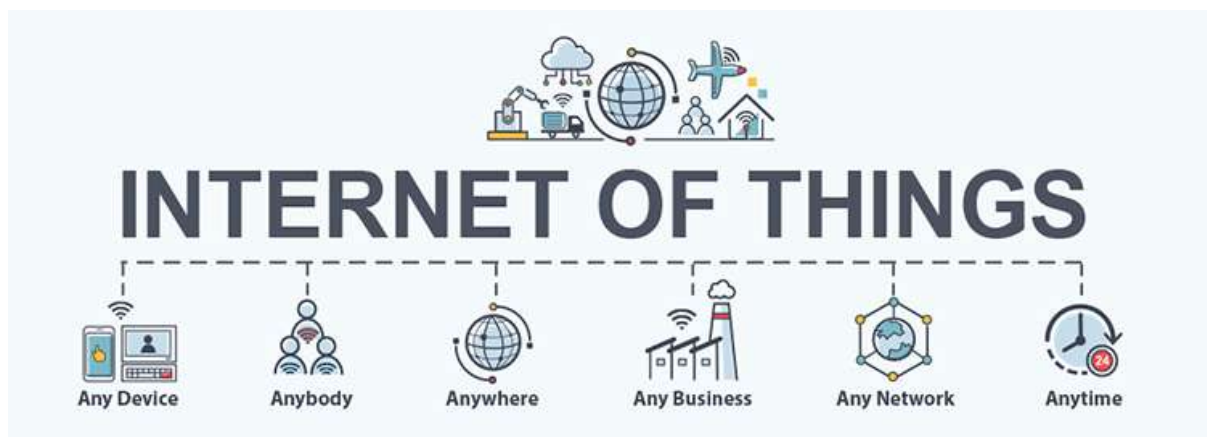
Per dare al presente lavoro un senso completo ed esauriente è bene argomentare questa sezione citando alcuni campi di ricerca che non sono direttamente collegati al concetto di immersività, ma che se utilizzati in maniera opportuna possono contribuire positivamente allo sviluppo di soluzioni immersive.

### 1.3.1 Internet of Things

L'espressione, introdotta nel 1999 da Kevin Ashton durante una presentazione presso Procter & Gamble, fa riferimento all'estensione di Internet al mondo degli oggetti e dei luoghi concreti (Ashton, 2009) (Fig. 46).

Con il termine oggetti o cose si può intendere una variegata lista di categorie come ad esempio dispositivi, apparecchiature, impianti e sistemi, materiali e prodotti tangibili, opere e beni, macchine e attrezzature.

Il fatto di aver la possibilità di avere questi oggetti connessi con le capacità di essere identificabili, localizzabili oltre a quelle di poter elaborare dati e di interagire con l'ambiente esterno, scambiandosi dati e informazioni, li porta ad essere definiti più propriamente smart objects (oggetti intelligenti).



*Fig. 46 Schematizzazione Internet of Things*

Quando si parla di IoT vengono spesso menzionati alcuni termini che sono parte integrante di tutte le discussioni ed implicazioni che ruotano attorno a questa tematica:

- IPv6 (successore dell'Internet Protocol IPv4) che semplifica configurazione e gestione delle reti IP;
- cloud computing, ovvero la tecnologia che permette di salvare i dati su un cloud virtuale (nuvola) dove questi dati possono essere reperibili senza la necessità di trovarsi su una macchina fisica, come un computer fisso o un laptop;
- Big Data, ovvero la grande quantità di dati a disposizione ora che gli oggetti sono connessi e comunicano dati sul loro utilizzo;

- 5G, la quinta generazione della rete di comunicazione mobile che consentirà a livello di mercato di massa <sup>7</sup> la connessione di un numero di devices molto più elevato di quanto non sia possibile oggi, assicurando allo stesso tempo prestazioni, tempi di latenza e affidabilità migliori.

L'IoT è una tecnologia abilitante che promette di rinnovare molteplici settori, uno fra questi è quello industriale che sta vivendo una nuova fase di rivoluzione denominata Industria 4.0 e dove l'utilizzo di questa tecnologia dovrebbe permettere di rendere intelligenti macchine e linee di produzione attraverso l'integrazione di sensori, attuatori e componenti di Edge computing per elaborazione in tempo reale dei dati generati.

Il termine Edge Computing indica un paradigma secondo cui l'elaborazione dei dati avviene in prossimità delle fonti che li generano, (Shi et al., 2016) e i suoi benefici principali riguardano la riduzione della latenza di elaborazione inviando al data center informazioni già elaborate e quindi di minori dimensioni, permettendo un risparmio di banda e risposte in tempo reale.

Una delle maggiori resistenze o problematiche all'adozione di soluzioni IoT è quella legata alla sicurezza e alla privacy dei dati che vengono raccolti attraverso questi sistemi, in quanto nel corso del tempo i sistemi centralizzati hanno rivelato problemi in termini di vulnerabilità. Nello specifico vengono segnalati i seguenti problemi e criticità da considerare (Perera et al., 2015):

- consenso dell'utente: in qualche modo gli utenti devono essere in grado di dare consenso informato alla raccolta di dati. Gli utenti, però, hanno a disposizione tempo e conoscenze tecnologiche limitate;
- libertà di scelta: sia la protezione della privacy sia le norme che la disciplinano devono promuovere la libertà di scelta;
- anonimato: le piattaforme dell'IoT prestano scarsa attenzione all'anonimato dell'utente nella trasmissione di dati. Applicazioni e piattaforme future dovrebbero utilizzare tecnologie e protocolli così che non si possano tracciare profili troppo specifici degli utenti basandosi sul comportamento delle loro "cose".

Una volta risolte e superate le problematiche tecniche e sociali, che lasciano ancora un po' di diffidenza o resistenza nell'uso diffuso di questa tecnologia, l'IoT diventerà ancora più pervasiva di quanto in realtà già sia, apportando seri benefici in molteplici campi applicativi come ad esempio trasporti e logistica, applicazioni medico-sanitarie, smart environments (casa, ufficio, impianto), smart cities e molti altri domini personali e sociali (Bandyopadhyay & Sen, 2011; Miorandi et al., 2012).

---

<sup>7</sup> <https://www.agendadigitale.eu/infrastrutture/5g-quando-arriva-in-italia-e-che-ci-faremo-2019-2022/>

A livello di contributo che questa tecnologia può apportare allo sviluppo di immersività di un sistema, questo aspetto è indubbiamente legato alla possibilità di avere dei sistemi in grado di comunicare con molteplici oggetti intelligenti capaci di fornire informazioni sul contesto e sugli agenti presenti, potendo quindi adattare la fruizione e aumentando le percezioni sensoriali sulla base di quanto viene rilevato.

Un ulteriore argomento di interesse è quello legato al termine di digital twins, portato al pubblico per la prima volta nella roadmap tecnologica integrata della NASA del 2010 nell'ambito della *Technology Area 12: Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing* (Vickers et al., 2010) e poi descritto e approfondito successivamente nell'ambito della roadmap nella *Technology Area 11: Modelling, Simulation, Information Technology and Processing* (Shaffo et al., 2012).

Tale termine nasce legato a veicoli aeronautici e aerospaziali, ma la sua concezione attuale fa riferimento in generale ad una replica digitale di un'entità fisica vivente o non vivente. Collegando il mondo fisico e quello virtuale, i dati vengono trasmessi senza soluzione di continuità consentendo all'entità virtuale di esistere contemporaneamente all'entità fisica (El Saddik, 2018).

Tutti questi paradigmi e metodologie dell'IoT vengono applicati all'interno sia di molteplici progetti di ricerca che prodotti commerciali creando soluzioni che vanno ad ampliare funzionalità e potenzialità generate dall'utilizzo combinato di molteplici tecnologie (Alam et al., 2017; Lv et al., 2016).

Il continuo avanzamento tecnologico in questo campo potrà nel prossimo periodo introdurre ulteriori novità e possibilità per la creazione di sistemi immersivi caratterizzati dalla presenza di oggetti e dispositivi smart.

### **1.3.2 Intelligenza Artificiale**

L'intelligenza artificiale (AI – artificial intelligence) è una disciplina appartenente all'informatica che studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono la progettazione di sistemi hardware e sistemi di programmi software capaci di fornire all'elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana (Somalvico, 1987).

Fatta questa introduzione si può dire che l'analisi di una reale definizione di intelligenza artificiale può essere fatta sulla base di due dimensioni che caratterizzano i processi interni di ragionamento e il comportamento esterno del sistema intelligente.

La prima dimensione riguarda quello che viene definito come comportamento umano, mentre la seconda riguarda quello che si descrive comportamento ideale caratterizzato dalla razionalità (Russell & Norvig, 1995).



Queste due dimensioni danno origine a quattro approcci utili alla creazione di sistemi di intelligenza artificiale:

- **systems that think like humans:** il processo che porta il sistema intelligente a risolvere un problema ricalca quello umano. Questo approccio è associato alle scienze cognitive;
- **systems that act like humans:** il risultato dell'operazione compiuta dal sistema intelligente non è distinguibile da quella svolta da un umano;
- **systems that think rationally:** il processo che porta il sistema intelligente a risolvere un problema è un procedimento formale che si rifà alla logica;
- **systems that act rationally:** il processo che porta il sistema intelligente a risolvere il problema è quello che gli permette di ottenere il miglior risultato atteso date le informazioni a disposizione.

L'artificialità dell'intelligenza non riguarda solo quella che si intende come capacità di calcolo o di conoscenza di dati astratti, ma anche di tutte quelle differenti forme di intelligenza che sono riconosciute dalla teoria di Gardner e che vanno dall'intelligenza spaziale a quella sociale, da quella cinestetica a quella introspettiva (Gardner, 1983).

Uno dei principali passi avanti nella storia dell'Intelligenza Artificiale è stato fatto quando si è cominciato a creare algoritmi specifici dedicati al miglioramento del comportamento della macchina inteso come capacità di agire e prendere decisioni. In questo modo si è cominciato ad avere dei sistemi in grado di imparare tramite l'esperienza, proprio come gli esseri umani.

Questo apprendimento automatico è formalmente noto come "machine learning" e indica la capacità di un sistema di imparare a svolgere una determinata azione anche se tale azione non è mai stata programmata tra quelle possibili, permettendo quindi la realizzazione di sistemi intelligenti che agiscono nella maniera più idonea alla situazione che affrontano senza l'intervento diretto dei programmatori.

La complessità dell'apprendimento automatico ha portato all'introduzione di tre differenti possibilità a seconda delle richieste di apprendimento che vengono fatte alla macchina e sono dette apprendimento supervisionato, apprendimento non supervisionato e apprendimento per rinforzo.

La differenza che esiste tra le tre modalità sta soprattutto nel differente contesto entro cui si deve muovere la macchina per apprendere le regole generali e particolari che lo portano all'acquisizione di conoscenza.

Nel primo tipo di apprendimento, cioè quello supervisionato, alla macchina vengono forniti degli esempi di obiettivi da raggiungere mostrando le relazioni esistenti tra input, output e risultato. L'insieme dei dati sottoposti deve permettere alla macchina di elaborare una regola

generale che la renda in grado, ogni volta che viene stimolata con un determinato input, di scegliere l'output corretto per il conseguimento dell'obiettivo.

Nel caso dell'apprendimento non supervisionato, invece, la macchina dovrà essere in grado di effettuare scelte senza essere stato prima 'educato' alle differenti possibilità di output da fornire sulla base degli input ricevuti. In questo caso, quindi, il computer non ha un maestro che gli consente un apprendimento, ma questo avviene imparando esclusivamente dai propri errori.

Infine, le macchine che vengono istruite tramite un apprendimento per rinforzo si trovano ad avere un'interazione con un ambiente nel quale le caratteristiche sono soggette a diversi gradi di variabilità. Si tratta quindi di un ambiente dinamico, all'interno del quale la macchina dovrà muoversi per portare a termine un obiettivo senza alcun tipo di indicazione tranne, alla conclusione della prova, la possibilità di sapere se è riuscita o meno a raggiungere lo scopo iniziale.

L'apprendimento automatico è stato reso possibile dallo sviluppo di quelle che vengono definite reti neurali artificiali, ossia un particolare modello matematico che, ispirandosi ai neuroni e alle reti neurali umane, punta alla soluzione dei diversi problemi a seconda delle possibilità di conoscere gli input e i risultati ottenuti a seconda delle scelte effettuate.

Il nome di rete neurale deriva dal fatto che questo modello matematico è caratterizzato da una serie di interconnessioni tra tutte le diverse informazioni necessarie per i diversi calcoli da effettuare.

Inoltre, proprio come le reti neurali biologiche, anche una rete neurale artificiale ha la caratteristica di essere adattativa, ossia di essere in grado di variare la sua struttura adattandola alle specifiche necessità derivanti dalle diverse informazioni ottenute nelle diverse fasi di apprendimento (Fig. 47).

Il contributo e i benefici che possono essere portati dall'applicazione di tecniche di intelligenza artificiale a sistemi immersivi si legano alla capacità di rendere queste soluzioni capaci di essere autonomi (Luck & Ruth, 2000) nella capacità di adattare contenuti e comportamenti da attuare ai contesti, agli agenti e alle azioni, creando ambienti immersivi intelligenti.



*Fig. 47 Metafora rete neurale - cervello umano*

### 1.3.3 3D printing

La tecnologia della stampa 3D fa riferimento alla realizzazione di oggetti tridimensionali mediante produzione additiva partendo da un modello 3D digitale e la sua origine risale al 1986 con la pubblicazione del brevetto di Chuck Hull che inventa la stereolitografia<sup>8</sup>, ovvero la stampa di materiale strati strato su strato.

Dal 1986 la stampa 3D si è evoluta e differenziata con l'introduzione di nuove tecniche di stampa e di un largo numero di materiali con diverse caratteristiche meccaniche, stampabili sia da soli che in combinazione, permettendo la diffusione di questa tecnica di produzione in molti ambiti, che spaziano dall'industria, all'ambito medico e domestico.

Utilizzando questa tecnologia vi è la presenza di un modello digitale che viene prodotto con software dedicati e successivamente elaborato per essere poi realizzato attraverso una tecnologia di stampa 3D apposita (Tab. 3).

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE	MATERIALI
FDM - fused depositing modeling	tecnologia di produzione additiva usata comunemente per la modellazione, la prototipazione e la produzione di oggetti diversi. Lavora su un principio "additivo" rilasciando il materiale su strati.	PLA, ABS o Nylon
DLP - digital light processing	una vasca di polimero liquido è esposta alla luce di un proiettore DLP in condizioni di luce inattinica. Il polimero liquido esposto si indurisce. La piastra di costruzione poi si muove in basso in piccoli incrementi e il polimero liquido è di nuovo esposto alla luce. Il processo si ripete finché il modello non è costruito. Il polimero liquido è poi drenato dalla vasca, lasciando il modello solido.	fotopolimero
CJP - color jet printing	Con questa tecnologia di stampa 3D la prototipazione rapida avviene mediante l'incollaggio di polvere fino a plasmare completamente l'oggetto desiderato. Questo viene poi ricoperto da uno strato di binder (legante) che permette di rendere l'oggetto colorato (con più di 6 milioni di colori). Non ha bisogno di supporti e permette di stampare qualsiasi forma (anche i 'sotto squadra') perché è la polvere in eccesso presente nella vasca che va a sostenere le parti superiori.	gesso, polvere di plastica
MJP - multi-jet printing	la prototipazione rapida avviene mediante la deposizione strato per strato di resine plastiche allo stato liquido, fotoindurenti – e di materiale ceroso che funge da supporto – fino alla composizione dell'oggetto finito.	resine plastiche per scopri professionali e resine biocompatibili per la realizzazione di modelli calcinabili
SLA - stereolitografia	La sua principale applicazione è la prototipazione rapida, che permette di avere oggetti fisici da testare prima della produzione industriale oppure preparare modelli per realizzare stampi di colata o pressofusione	fotopolimero
SLS - laser sintering	si realizza attraverso un processo per addizione	termoplastica, metalli,

<sup>8</sup> <https://patents.google.com/patent/US4575330A/en>

	stratificata, in cui l'utilizzo di un laser permette di fondere (o sinterizzare) materiali termoplastici, creando il modello o il prototipo tridimensionale. Il processo prevede che uno strato sottilissimo di polvere (0,1mm) venga disteso sulla piattaforma di lavoro, in modo che il laser possa solidificare la polvere in base alla sezione della geometria, strato dopo strato	sabbia, vetro
DMP - direct metal printing	Il processo produttivo di questa tecnologia consiste nel posizionare un letto di polveri metalliche che successivamente verranno fuse attraverso un raggio laser. Finita la lavorazione sullo strato, un rullo si azionerà andando a posizionare un secondo letto molto sottile di polvere, il quale verrà nuovamente lavorato dal raggio laser, andando a fonderlo con lo strato precedente	polveri di metalli

*Tab. 3 Lista tecnologie stampa 3D*

La possibilità di stampare forme sia semplici che complesse dà la possibilità di prototipare elementi innovativi ma anche quella di replicare oggetti che magari esistevano nella realtà e per diversi motivi non sono più reperibili, come ad esempio manufatti antichi (Franco et al., 2015).

Il contributo che la stampa 3D può dare allo sviluppo dell'immersività è quello legato quindi alla possibilità di creare oggetti che possano contribuire a miglioramenti percettivi soprattutto dal punto di vista tattile grazie alla vastità di materiali, dimensioni e forme che si possono ricreare utilizzando questo processo (Fig. 48).



*Fig. 48 Esempi di stampe 3D*

## 2 Contesto sociale: definizione ed identificazione degli scenari

Per poter arrivare alla definizione e descrizione di cosa si intende con “contesto sociale” bisogna prima affrontare ciò che vi è alla base della sua esistenza e formazione, ovvero l'individuo.

Nell'uso del linguaggio corrente vi è una molteplicità di assunzione di significato di questa parola in quanto esso può variare a seconda se considerato dal punto di vista della biologia, della genetica, dell'etologia, della psicologia sociale, della sociologia, dell'antropologia, della psicolinguistica, della filosofia, della geografia, della storia, dell'economia, della fisica (sociofisica, econofisica ed endofisica). Nel settore dell'intelligenza artificiale, della cibernetica, della robotica sociale, della fantascienza o della fiction il termine viene utilizzato nei confronti di automi ed oggetti. In particolare, anche un software come il celebre Chatterbot ELIZA scritto nel 1966 da Joseph Weizenbaum può essere considerato un individuo.

Affrontando l'analisi del concetto di individuo da un punto di vista filosofico, la sua definizione rimanda al significato di indivisibile, usato per indicare che ogni singola entità ha caratteristiche tali (un'individualità) che lo rendono unico e lo differenziano da tutti gli altri esseri della stessa specie e compare per la prima volta in Cicerone (*individuum*) come traduzione latina del termine greco ἄτομος (composto di ἄ- privativo e tema di τέμνω, «tagliare»)<sup>9</sup>.

Per Seneca, con individuo si intende una qualunque entità che sia indivisibile, anche se composta da più parti e in tal senso quindi un individuo può essere anche una pietra, un albero o un uomo.

L'applicazione della connotazione sociale agli studi sull'individuo e sulla sua evoluzione ha radici lontane e risalgono fino anche al IV secolo A.C dove Aristotele, all'interno del suo “Politica”, definiva l'uomo come *un animale sociale in quanto tende ad aggregarsi con altri individui e a costituirsi in società*.

Un ulteriore importante pensiero riguardo all'individuo e l'aspetto sociale venne introdotto da Jean-Jacques Rousseau che mette in rilievo l'importanza e l'autonomia del singolo rispetto alla comunità in cui vive. Egli infatti distingue nella società la volontà dei singoli individui da un lato e la volontà generale della comunità dall'altro.

Altri studiosi di diversa estrazione si concentrarono sullo studio dell'individuo e sul suo bisogno e istinto di socialità, come ad esempio Darwin e Freud.

---

<sup>9</sup> [http://www.treccani.it/enciclopedia/individuo\\_%28Dizionario-di-filosofia%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/individuo_%28Dizionario-di-filosofia%29/)

Il primo affrontò la questione attraverso l'osservazione di branchi di animali, dove nella lotta per la sopravvivenza ciascun animale sente il bisogno di stare vicino ai propri simili per poter ottenere aiuto e difesa. Da questo comportamento nasce un sentimento in ciascun animale che Darwin definisce simpatia per gli altri animali della sua specie.

Freud partendo dal sentimento di gelosia che oppone i fratelli fra di loro rispetto alla madre, arriva a concepire che la rivendicazione di uguaglianza e parità tra gli individui coinvolti forma la radice della coscienza sociale e del sentimento di dovere. Egli sostiene inoltre che è qui che risiede l'origine di quelli che definisce sentimenti sociali.

Esistono poi altri studi che considerano la socializzazione, non come un istinto a sé stante, bensì come un mezzo per soddisfare altre esigenze e quindi non si nascerebbe con la volontà e il desiderio di socializzare, ma si imparerebbe ad essere sociali per soddisfare bisogni essenzialmente egoistici.

L'antropologo Trivers ad esempio, introducendo il concetto di altruismo reciproco sintetizzabile con l'adagio latino *do ut des*, esprime la sua vicinanza a questo tipo di pensiero.

L'analisi di quello che è un bisogno dell'individuo è stata ben descritta da Abraham Maslow che nel suo lavoro *Motivation and Personality* del 1954 ha concepito una piramide che viene definita "*Hierarchy of Needs*" (Fig. 49) e che rappresenta la gerarchia dei bisogni o necessità suddivisi in cinque stadi progressivi:

1. bisogni fisiologici (fame, sete, ecc.);
2. bisogni di sicurezza e protezione;
3. bisogni di appartenenza (affetto, identificazione);
4. bisogni di stima, di prestigio, di successo;
5. Bisogni di realizzazione di sé (realizzando la propria identità e le proprie aspettative e occupando una posizione soddisfacente nel gruppo sociale).



Fig. 49 Piramide dei bisogni di Maslow

Al di là comunque di qualsiasi posizione teorica e studio presentato, il filo conduttore che si può tracciare attraverso tutte queste interpretazioni e discussioni è che l'essere umano è animale sociale in quanto la società è la *condicio sine qua non* per l'esplicazione della sua personalità.

Allargando quindi la visione dall'individuo al collettivo e con l'intenzione di voler definire la connotazione di "contesto sociale", si può dire che questo altro non sia che *l'ambiente in cui le persone agiscono ricevendo l'influenza degli altri e influenzando a propria volta gli altri nell'interpretazione di qualcosa che viene percepito o realizzato*<sup>10</sup>.

Vedremo poi in cosa consiste precisamente questo qualcosa nella prossima sezione del presente lavoro, definendone confini e caratteristiche.

L'applicazione della connotazione sociale all'ambito tecnologico sposta invece l'attenzione su aspetti partecipativi, collaborativi e cooperativi dell'interazione.

In particolare sul come comunichiamo, giochiamo, impariamo insieme alle altre persone attraverso l'uso della tecnologia e sul come queste tecnologie possano facilitare la creazione di nuove forme di interazioni tra gli agenti che operano col e nel sistema.

In questo senso un'ulteriore caratterizzazione dell'utilizzo delle tecnologie da parte delle persone è che le interazioni che avvengono con esse devono cercare di seguire, per quanto possibile, schemi e regole derivanti delle interazioni sociali che si possono ritrovare nel rapporto persona-persona, al fine di rendere queste interazioni confortevoli ed incoraggiarne la continuazione nel corso del tempo.

Il secondo aspetto che viene evidenziato dall'applicazione di questo termine è che queste interazioni possono potenzialmente assumere significati differenti a seconda delle comunità di pratica in cui queste interazioni avvengono e quindi vanno interpretate rispetto ai contesti in cui queste si verificano.

Da un interessante contributo fornito dal *Microsoft Research Centre for Social Natural User Interfaces at the University of Melbourne* emerge una possibile classificazione dei contesti e domini sociali (Vetere et al., 2014) in cui possono svilupparsi interazioni con sistemi tecnologici, ovvero:

- home;
- work;
- public;
- education;
- health.

Questa suddivisione ci permette di affrontare la discussione dell'applicazione delle tecnologie collegata a diversi contesti, potendo quindi evidenziare diversi aspetti del

---

<sup>10</sup> Stanford Glossary: <https://web.stanford.edu/group/arts/nicaragua/student/mural/glossary.html>,



comportamento umano a seconda dell'ambiente in cui si fruisce l'artefatto o anche a seconda del ruolo che si ricopre al suo interno, determinando anche diversi punti di vista, diversi bisogni e risultati attesi.

Un aspetto da tenere in considerazione prima di proseguire è quello che riguarda la relazione che esiste tra un individuo e gli altri presenti nello stesso ambiente in termini di distanze relazionali e fisiche.

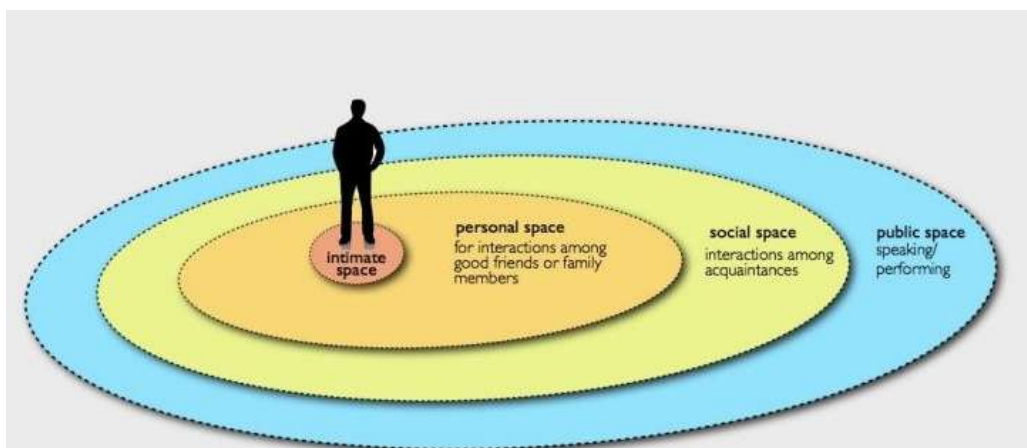
Questi studi rientrano all'interno della disciplina semiologica della prossemica, termine che deriva dall'inglese prox(imity) «prossimità», coniato dall'antropologo Edward T. Hall nel 1963 e che si occupa dello studio di gesti, comportamento, spazio e appunto le distanze all'interno di una comunicazione, sia verbale che non verbale.

L'analisi di questa relazione permette l'identificazione di quattro principali spazi (Hall, 1966) (Fig. 50) :

- **distanza intima** (0-45 cm);
- **distanza personale** (45–120 cm) per l'interazione con familiari e amici;
- **distanza sociale** (1,2-3,5 metri) per la comunicazione tra conoscenti o il rapporto insegnante-allievo;
- **distanza pubblica** (oltre i 3,5 metri) per le pubbliche relazioni.

É importante sottolineare però che, come sottolinea lo stesso Edward Hall nel suo lavoro, gli aspetti che riguardano la prossemica sono influenzati dalla cultura di riferimento e che queste distanze possono anche variare da luogo a luogo.

Nel Nord Europa, per esempio, la distanza normale tra due persone che parlano è maggiore che in Italia e nei paesi mediterranei, mentre gli arabi preferiscono stare molto vicini tra loro rispetto agli europei e agli asiatici, che si tengono invece fuori dal raggio di azione del braccio. Esistono poi altri fattori sociali che possono influenzare queste distanze, come ad esempio la presenza di sistemi sociali basati su caste, dove l'appartenenza a specifiche classi impone determinate regole di comportamento e relazione tra gli individui.



*Fig. 50 Zone della distanza interpersonale di Hall*



Riguardo invece l'aspetto del concetto di ruolo, esiste in letteratura un lavoro che bene argomenta il concetto di interazioni sociali tra le persone utilizzando la metafora del teatro ed i concetti di performance e performer (Goffman, 1959).

Una "performance" può essere definita come tutte le attività di un determinato partecipante o "performer" in una determinata occasione che servono ad influenzare in qualsiasi modo gli altri partecipanti. Considerando un particolare partecipante e la sua esibizione come punto di riferimento di base, possiamo riferirci a coloro che contribuiscono a tali esibizioni assumendo il ruolo di pubblico, osservatori o co-partecipanti.

Avendo presentato questo schema, col termine interazione sociale il lavoro di Goffman fa riferimento all'influenza reciproca esercitata dagli individui sulle azioni degli altri attori quando si trovano in presenza fisica immediata reciproca, cioè faccia a faccia, e che ritroviamo anche come parte fondamentale della definizione precedentemente introdotta di contesto sociale.

Questa influenza reciproca, si riflette poi insieme ad altri fattori sul comportamento che gli individui seguono e decidono di utilizzare all'interno delle situazioni in cui si trovano coinvolti, come ampiamente argomentato anche all'interno dello studio che introduce la Social Cognitive Theory (SCT) (Bandura, 1986).

I fattori che Bandura prende in considerazione nel suo studio sono fondamentalmente tre (Fig. 51) ovvero:

1. fattori personali interni, costituiti da elementi cognitivi, affettivi e biologici;
2. il comportamento messo in atto in un dato contesto;
3. gli eventi ambientali che circoscrivono l'individuo e la condotta.

Tutti e tre insieme concorrono in una relazione reciproca e triadica con influenze che variano a seconda delle attività, delle circostanze, e del tempo necessario ad un elemento per sviluppare i suoi effetti.

La Social Cognitive Theory è caratterizzata, oltre che dalla presenza di questi tre fattori, anche dall'aver una prospettiva definita "human agency", secondo la quale gli individui operano all'interno di questa relazione non solo in forma passiva venendo modellati da ambienti o forze interiori ma anche in forma attiva in quanto auto-sviluppanti, autoregolanti, autoriflessivi e proattivi.

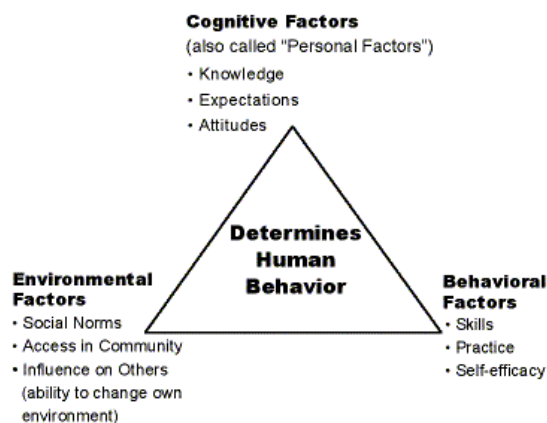


Fig. 51 Fattori Human Behaviour

In accordo con questo studio l'approccio sociale cognitivo delinea quattro elementi cardini collegati alla figura dell'individuo ovvero personalità, capacità, condotta e mete.

Con il termine personalità si fa riferimento ad un sistema aperto, caratterizzato da elementi funzionali afferenti alla sfera cognitiva ed emotiva che emergono dalle interazioni dell'individuo con il contesto, allo scopo di regolarne la condotta e lo sviluppo.

Le capacità sono intese come caratteristiche dell'individuo su cui si fonda la sua interazione con l'ambiente circostante, e ne vengono identificate cinque differenti tipologie di base:

1. la capacità di simbolizzazione, che corrisponde alla capacità delle persone di rappresentare simbolicamente la conoscenza. Il linguaggio rappresenta l'esempio più evidente della capacità cognitiva di ragionare usando simboli astratti;
2. la capacità vicaria, ovvero la capacità di acquisire conoscenze, abilità o competenze mediante l'osservazione o il modellamento di altre persone;
3. la capacità di previsione, ovvero la capacità di anticipare gli eventi futuri, estremamente rilevante sia a livello emotivo che motivazionale, in termini, per esempio, di timore degli eventi che hanno da venire;
4. la capacità di autoregolazione, che corrisponde alla capacità di stabilire obiettivi e di valutare le proprie azioni facendo riferimento a standard interni di prestazione;
5. la capacità di autoriflessione, che corrisponde alla capacità di riflettere in modo consapevole su noi stessi.

Esse assegnano a ciascuna persona un ruolo proattivo, selettivo e trasformativo nei confronti dell'ambiente.

L'elemento della condotta è sorretto e guidato da strutture cognitivo-valutative (convinzioni di efficacia personale, aspettative e standard personali) che attestano le modalità in cui le capacità sono state messe alla prova ed organizzate nel corso dello sviluppo.

L'ultimo elemento, quello delle mete si riferisce a quello che l'individuo si prefigge come scopo e le strategie che vengono impiegate per il suo raggiungimento, regolandone la sua motivazione. Esse riflettono la capitalizzazione dall'esperienza e determinano il grado in cui l'individuo è capace di concertare l'espressione delle proprie capacità e la realizzazione delle proprie potenzialità con le opportunità e i vincoli delle circostanze.

Questo aspetto riflessivo è uno dei punti centrali della teoria e dell'analisi di Bandura e viene definito meccanismo della self-efficacy, cioè la percezione del senso di efficacia che gli individui attribuiscono alle loro capacità di manipolare gli eventi e le cose.

La convinzione di efficacia esercita una propria funzione *agentica* in modo diverso a seconda del dominio d'azione e del contesto analizzato e influenza le scelte, le aspirazioni, i livelli di sforzo, di perseveranza, la resilienza, la vulnerabilità allo stress ed in generale la qualità della prestazione. L'efficacia personale è intesa come una capacità generativa in cui

le sottoabilità cognitive, sociali, emozionali e comportamentali sono coordinate e organizzate in maniera efficiente per assolvere a scopi specifici.

In ulteriori studi, tutti i principi dietro la concezione “human agency” di questa teoria vengono poi estesi identificando tre forme di questo concetto: personal, proxy e collective (Bandura, 2000).

Le prime due si concentrano sulla singola figura dell'individuo con due gradi diversi di esercitazione dell'*agentività* umana, mentre la terza viene presa in considerazione con gli individui che agiscono in forma organizzata di gruppi.

La personal agency è incentrata essenzialmente sugli effetti che si manifestano dalle azioni e dai comportamenti eseguiti direttamente dagli individui, mentre la seconda si riferisce agli effetti che scaturiscono da azioni ottenute e scaturite da altri agenti che operano per conto nostro per il raggiungimento dell'obiettivo.

La collective agency fa riferimento al fatto che più i gruppi si giudicano efficaci e più alte sono le loro aspirazioni collettive, maggiore è il loro investimento motivazionale nelle loro imprese, più forte è il loro potere di resistenza di fronte agli impedimenti, maggiore è la loro capacità di resistenza alle avversità e maggiori sono le loro prestazioni.

Il binomio connotazione sociale e tecnologia, ha fatto invece emergere in letteratura un importante studio denominato “Social Shaping of Technology (SST)” che è incentrato sull'esplorazione e sulla relazione esistente tra società e tecnologia, tra cui esiste un rapporto di influenza reciproca (MacKenzie & Wajcman, 1985). Secondo questo studio, che richiama diverse teorie di differente natura, bisogna non solo considerare l'impatto atteso dall'introduzione delle tecnologie all'interno della società ma anche come questi interi aspetti influenzano le tecnologie per aspetti economici, politici e culturali.

Tali aspetti possono esercitare le loro influenza lungo i diversi gradi di avanzamento di sviluppo tecnologico ovvero invention, development, innovation, transfer, and growth, competition, and consolidation e determinare il successo o il fallimento rispetto ad individui e gruppi, come spiegato in un interessante lavoro che prende in analisi la relazione esistente tra società, scienza e tecnologia (Cozzens et al., 1989).

Il focus che viene posto sul ruolo che occupano i gruppi sociali è quello di vederli operanti non solo nella definizione di un problema verso il quale un sistema tecnologico si pone come soluzione, ma anche su quello che esercitano sulla definizione dell'accettazione o meno della risoluzione individuata e sulla sua eventuale stabilizzazione successiva.

Volendo riassumere quanto fin qui discusso possiamo quindi dire che l'uomo viene inteso come animale sociale in quanto il suo comportamento è in qualche modo spinto dal desiderio e l'istinto di essere in presenza di altre persone ed interagire con loro, e che questa spinta e desiderio si riflettono anche sulle tecnologie con cui interagiamo comunemente ai giorni nostri.

Tutte queste considerazioni e riflessioni tengono un ruolo importante quando si devono sviluppare artefatti digitali che vanno ad agire all'interno di uno dei contesti sociali prima introdotti, in quanto ciascuno di essi oltre ad avere obiettivi differenti derivanti dall'inserimento ed utilizzo delle tecnologie ha le proprie regole, i propri meccanismi e i propri attori.

## **2.1 Home: il contesto casalingo**

Il primo contesto che viene introdotto è quello che quotidianamente ciascuno di noi frequenta per alcune parti della propria quotidianità ed è quello in cui avvengono le interazioni con famiglia e amici.

In letteratura esistono diversi studi riguardanti il concetto di "home", ma uno che ben ne definisce i contorni è quello che lo descrive come quel luogo spaziale e temporaneo in cui avvengono attività di vita domestica in connessione con una persona o una comunità come un nucleo familiare (Benjamin et al., 1995).

Dimensioni fondamentali per la comprensione di questo contesto sono quelle riconducibili ai concetti di privacy, identity e familiarity ognuna delle quale ricopre particolare enfasi su un differente aspetto del costruito domestico (Somerville, 1997).

Il primo aspetto si occupa di indagare le relazioni spaziali, mentre il secondo ed il terzo sono collegati rispettivamente agli aspetti psicologici e sociali legati alla costruzione storica, geografica e sociale del concetto di home.

L'aspetto della privacy introduce la presenza di un confine che stabilisce due dimensioni principali legate all'individuo, ovvero quella che sta dentro rispetto a tale confine e che definisce la sfera privata e quella che sta al di fuori di tale confine, stabilendo la sfera pubblica (Altman 1975).

Questo confine è soggetto a continue negoziazioni tra insiders e outsiders e anche in virtù del fatto che è un costruito sociale che può variare a seconda della grandezza dell'entità che viene presa come riferimento.

Il concetto di identity è strettamente legato a quello di privacy ed è costruito in maniera conscia rispetto a relazioni sociali preesistenti, a valori come classe, stato e potere o al punto di vista del soggetto, ovvero se in relazione con se stesso (self-identity) o con altri (group-identity).

L'ultimo concetto è quello di familiarità, cioè quello che riguarda la continuità e la stabilità delle relazioni con altri individui e che viene costruito dalle ripetute ed intenzionali interazioni e transazioni tra persone e gruppi di persone. La familiarità di un aspetto del mondo diventa tale maggiore è la presenza regolare all'interno della sua sfera privata.

Il concetto di famiglia è quello indubbiamente più rilevante all'interno del contesto casalingo e fa riferimento ad un'unità base della società, fondamento su cui si basa la vita

dell'individuo.

Ci sono alcune caratteristiche della famiglia rilevanti da citare come l'universalità, le basi emotive, le dimensioni limitate, la posizione nucleare nella struttura sociale, i regolamenti sociali e la natura permanente e temporanea (Kapur, 2018). I membri della famiglia sono tenuti a contribuire al benessere reciproco, svolgendo diverse funzioni nel loro essere famiglia così riassumibili: regolazione del comportamento sessuale, riproduzione, cooperazione economica, educazione, affetto, protezione e sostegno emotivo e stato sociale.

L'educazione dell'individuo, l'acquisizione di valori, norme e tratti culturali adeguati, i requisiti sanitari e medici degli individui sono tutti soddisfatti dai membri della propria famiglia.

Famiglia e società sono due entità che si influenzano reciprocamente condizionando la struttura, lo stile di vita, le condizioni di vita, posizione all'interno della comunità degli individui.

Oltre al concetto di famiglia, gli individui presenti in questo contesto possono essere di varia natura, e dipendono dal grado di relazione che intercorre tra loro e la vicinanza rispetto alla sfera privata dell'individuo, potendo distinguere sei gradi di relazione nominati family, friend, colleague/classmate, acquaintance e strangers (J. Wu, 2017)(Fig. 52).

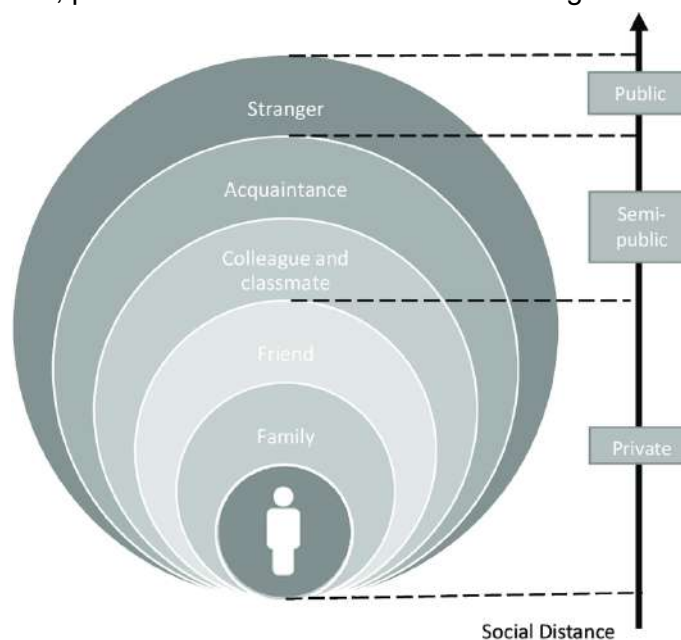


Fig. 52 Tipologie relazionali sociali

Tutti gli attori che ruotano intorno a questo contesto possono sviluppare empatia e sentimenti in relazione ad esso, raggruppabili in quattro gruppi principali differenziati per tipi di valore (Fox, 2002).

In primo luogo si può vedere la casa come semplice struttura fisica in grado di offrire riparo materiale, così come intenderla come un territorio che può offrire sicurezza e controllo, un luogo nello spazio di permanenza continuità e privacy.

La casa può essere anche vista come centro per l'identità personale, offrendo un riflesso delle idee e dei valori di una persona fungendo anche da indicatore dello stato personale ed infine si può intenderla come unità sociale e culturale centro delle attività e delle relazioni con la famiglia e gli amici.

L'applicazione delle tecnologie in questo contesto riguarda principalmente un campo di ricerca noto come "home computing" e lo sviluppo di soluzioni dedicate alla realizzazione di

servizi più o meno complessi ed articolati che sono legati al concetto di smart home e domotica.

L'area di home computing si interessa dello studio di come le tecnologie informatiche vengono localizzate, gestite e condivise tra i membri della famiglia.

Una considerazione di carattere generale e più sociologica/antropologica che bisogna fare legata all'utilizzo delle tecnologie è quello che il grado di presenza ed uso all'interno delle famiglie può variare anche in base a diversi fattori come reddito, istruzione, occupazione, etnia, vicinato e stile di vita (Yardi & Bruckman, 2012).

Sempre dalle analisi all'interno di questo campo di ricerca emergono inoltre tre aree principali di interesse, utili ad evidenziare gli effetti o le implicazioni delle interazioni sociali e tecnologiche nel contesto domestico (Frohlich & Kraut, n.d.):

- utilizzo del tempo domestico, nel dedicarsi a molteplici attività quotidiane e che fa emergere comportamenti abitudinari e ripetitivi;
- utilizzo degli spazi domestici, nell'organizzazione delle stanze e delle attività che si possono compiere e che fa emergere sentimenti di territorialità e qualità di predisposizione di alcuni ambienti per certe situazioni;
- utilizzo delle tecnologie domestiche, nel senso di quali tecnologie le famiglie intendono dotarsi per migliorare attività quotidiane legate al concetto di utilità.

La domotica è una scienza interdisciplinare che si occupa dello studio dell'implementazione di tecnologie adatte a migliorare la qualità della vita nella casa e più in generale negli ambienti antropizzati. Questa area è fortemente interdisciplinare con contaminazioni provenienti da diverse tecnologie e professionalità come ad esempio ingegneria edile, architettura, ingegneria energetica, ingegneria gestionale, automazione, elettrotecnica, elettronica, telecomunicazioni, informatica e design.

Il concetto di smart home descrive una casa che è dotata di prodotti collegati in rete (alias "prodotti smart," connessi tramite Wi-Fi, Bluetooth o protocolli simili) per permettere il controllo, l'automazione e l'ottimizzazione di funzioni domestiche quali la temperatura, l'illuminazione, la sicurezza, o l'intrattenimento. Queste operazioni devono essere accessibili sia da remoto attraverso dispositivi come smartphone e tablet sia tramite un sistema presente all'interno della casa stessa (Harper, 2003).

L'applicazione delle tecnologie immersive in un contesto come quello casalingo può apportare benefici che si basano sull'aumentare le capacità e le potenzialità degli elementi presenti all'interno dell'ambiente domestico, permettendo una condivisione di informazioni utili a migliorare il loro utilizzo e le loro prestazioni (Jiang et al., 2004).

Le tecnologie immersive possono essere quindi usate per migliorare la qualità della vita a persone sia normodotate che affette da disabilità, agendo come estensione del loro corpo e

sostituendosi a loro per l'esecuzione di attività semplici collegati ai movimenti, comunicazione e controllo ambientale (Edlinger et al., 2009)

Riepilogando le considerazioni fatte in questa sezione possiamo concludere dicendo che all'interno dell'ambiente casalingo la tecnologia viene considerata come mezzo utile all'esecuzione di compiti che hanno a che fare con l'organizzazione e la facilitazione delle pratiche che avvengono comunemente al suo interno e con i differenti attori coinvolti.

## **2.2 Work: il contesto lavorativo**

All'interno di questo contesto la tecnologia si pone con l'obiettivo di supportare attività sociali e collaborative all'interno degli ambienti produttivi e professionali.

Numerose ricerche hanno documentato come il contesto lavorativo eserciti un'influenza importante sul benessere e sul comportamento degli individui. Lo spazio di lavoro, dunque, non deve essere più inteso solo come un semplice luogo fisico, ma deve racchiudere il concetto ben più ampio di benessere dei lavoratori. Concetti che si riflettono poi di conseguenza sulla performance economica di un'azienda, in quanto la produzione di valore si determina infatti nell'ambiente lavorativo attraverso l'interazione tra lavoratori nello spazio di lavoro.

Questo piccola introduzione si ritrova negli studi legati al concetto "social facilitation effect" (Allport, 1924) che focalizzano la propria attenzione sulle performance dell'individuo quando lavora con altre persone invece che da solo.

Alcuni studi hanno inoltre dimostrato come questo effetto sia stimolato anche dalla sola presenza di altre persone all'interno dello stesso ambiente, cioè dal verificarsi di quel fenomeno definito *coaction*.

La presenza sul posto di lavoro dà modo agli individui di creare delle relazioni interpersonali, che si riflettono poi anche nelle capacità produttive e nei processi organizzativi in cui gli individui stessi sono coinvolti.

Lo studio di queste relazioni, che vengono definite *workplace relationships* (Sias, 2008), indaga le relazioni da molteplici punti di vista e in tutte le direzioni, come quelle che possono intercorrere tra supervisore e subordinato, coworker, amicizie lavorative o anche quelle relative al rapporto coi clienti.

L'utilizzo della tecnologia in ambienti lavorativi identifica la propria utenza con il termine di "digital workforce", cioè tutti gli individui che grazie alle loro interazioni con la tecnologia presenti e sfruttabili sul posto di lavoro hanno avuto modo di sviluppare diverse competenze consentendo loro di manipolare informazioni, costruire idee e utilizzare la tecnologia per raggiungere obiettivi strategici (Colbert et al., 2016; Hsi, 2007).

Il grado delle loro abilità e il loro comfort nel raggiungere i risultati desiderati utilizzando la tecnologia viene definita "digital fluency" (Briggs & Makice, 2012), aspetto che va oltre il

semplice saper come usare alcuni programmi o applicazioni di base e più legato alla capacità di selezionare e utilizzare gli strumenti e le tecnologie digitali appropriati. L'interesse verso l'applicazione delle tecnologie rispetto all'ambiente lavorativo ha origini molto profonde e ha dato luogo alla nascita di un filone di ricerca denominato Computer Supported Cooperative Work (CSCW), cioè lavoro cooperativo assistito dal computer, il cui scopo è lo studio delle modalità in cui il lavoro in team, o più in generale la cooperazione fra esseri umani, possa essere resa più efficace dall'uso di strumenti informatici (Grudin, 1994). L'origine di questo termine viene fatto risalire agli anni Ottanta quando una serie di fattori tecnologici e sociali portarono a una rapida crescita di interesse per i sistemi informatici intesi come supporto all'attività cooperativa ed evoluzione del precedente concetto di office automation.

Uno degli aspetti che incisero sicuramente in maniera maggiore fu la diffusione dei personal computer negli uffici e la loro successiva connessione in rete. Questo fatto fornì una base tecnologica adeguata alla crescita della presenza di tali sistemi e contemporaneamente all'aumento generalizzato di competitività nel mercato fece sorgere la necessità di nuove forme di organizzazione del lavoro, al prezzo di una aumentata complessità e dinamicità dei rapporti di cooperazione.

Nacque quindi l'interesse per lo sviluppo di nuove forme di software che potessero assistere ogni forma di cooperazione e di attività sociale in modo talmente profondo da fondere il concetto di software stesso e processi sociali coinvolti in un nuovo termine, definito groupware (Johnson-Lentz & Johnson-Lentz, 1982).

Questo termine è caratterizzato da due dimensioni che possono assumere diversi gradi di profondità e da due componenti che combinandosi tra loro danno luogo ad una matrice con diverse tipologie di interazioni (Ellis et al., 1991).

Le due dimensioni (Fig. 53) riguardano una quanto l'obiettivo e le attività da eseguire sono condivise da un maggior numero di persone (common task), mentre la seconda dimensione è legata a quanto lo spazio che viene condiviso durante le attività (shared environment).

Le due componenti che vanno invece a descrivere la matrice che definisce quattro tipologie di interazioni diverse sono quelli legati ai concetti di spazio e tempo.

Il concetto di tempo varia in due modalità, ovvero con attività che avvengono nello stesso tempo in modalità sincrona oppure in

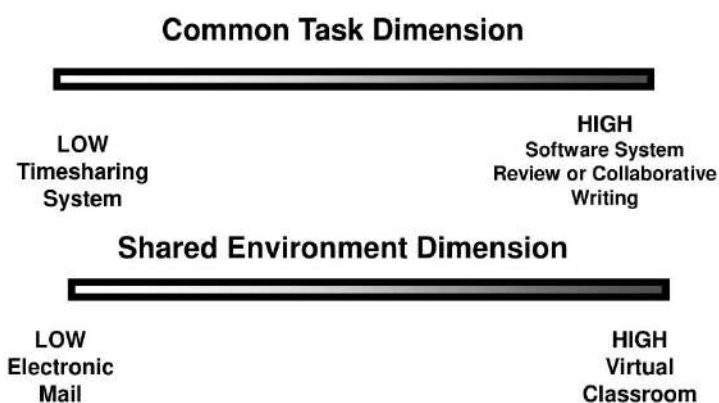


Fig. 53 Common task vs Shared environment



attività che avvengono in tempi diversi cioè asincroni.

Il concetto di spazio invece varia con attività che avvengono nello stesso spazio cioè co-located, oppure in attività che avvengono in posti differenti cioè in modalità remote.

L'incrocio di queste due componenti e queste variazioni dà luogo alle seguenti interazioni (Fig. 54):

- face to face, caratterizzate dall'avvenire nello stesso tempo e nello stesso posto fisico;
- continuous task, si svolgono nello stesso posto ma in tempi differenti;
- remote, attività avvengono nello stesso tempo e in modalità distribuita;
- communication+coordination, attività che avvengono in modalità distribuita e asincrona.

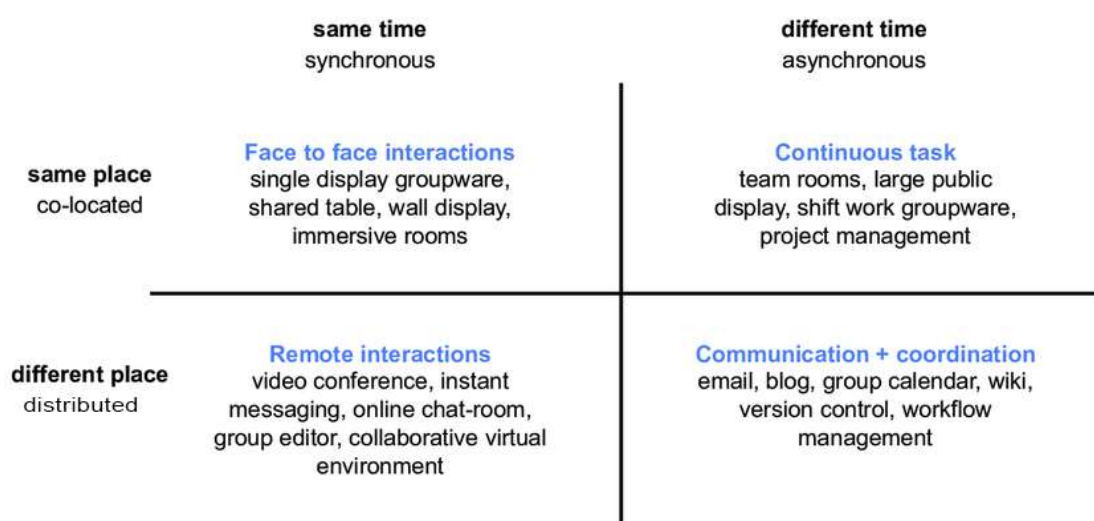


Fig. 54 Tipologie di interazioni lavorative

Fra le discipline scientifiche e i campi di ricerca che furono coinvolti dall'interesse per le possibilità offerte dal supporto tecnologico a questo tipo di attività vi furono la sociologia, la psicologia e l'antropologia e nello specifico del contesto lavorativo quelle per l'automazione d'ufficio, i fattori umani, l'organizzazione scientifica del lavoro e la teoria del management. Focalizzandoci sull'utilizzo delle tecnologie immersive legate a questo contesto possiamo dire che esse stanno agendo in due modi: uno trasformando le pratiche di lavoro e l'altro ridefinendo quelle che sono le modalità di progettare gli spazi di lavoro in modo da migliorare ergonomia, sicurezza ed efficienza del lavoratore senza dover creare fisicamente le postazioni e agli ambienti lavorativi (Grajewski et al., 2013; Schultze & Orlikowski, 2010). L'utilizzo di ambienti immersivi a supporto inoltre di CSCW permette di superare le barriere e i limiti imposti dalle tecnologie e le applicazioni legate in maniera vincolante alle nostre postazioni di lavoro e a tutte i sistemi basati su interfacce desktop, potendola considerare come una tecnologia abilitante per queste pratiche di lavoro collaborativo (Wexelblat, 1994). Quando si intende progettare e sviluppare questo genere di soluzioni bisogna sempre

considerare quelle che sono le pratiche dell'ambiente di lavoro in cui il sistema immersivo deve operare, in modo da conoscere i task e le procedure che il lavoratore deve poter eseguire e consentire l'esecuzione di interazioni fluide (Kruger et al., 1995).

L'analisi di queste soluzioni, fa emergere una categoria di sistemi definiti Collaborative Virtual Environments (Snowdon et al., 2001), che permettono il delineamento di quattro aspetti principali da considerare per la progettazione:

- shared context;
- awareness of others;
- negotiation and communication;
- flexible e multiple viewpoints.

L'aspetto del contesto condiviso fa riferimento, come anche evidenziato da altri studi, alla relazione che esiste tra le persone e lo spazio di lavoro, ovvero se vi è una fruizione che avviene in modalità teleconferenza o condivisa fisicamente, mettendo in evidenza problematiche differenti (Takemura & Kishino, 1992).

Alcune delle problematiche che si possono trovare in contesti lavorativi che utilizzano ambienti immersivi sono quelle che fanno riferimento alla capacità di controllo e manipolazione di oggetti virtuali quando le esperienze sono cooperative.

La consapevolezza riguarda il fatto di sapere chi è incluso nella fruizione e nell'interazione dei contenuti, ma può anche riguardare attività al di fuori dell'attuale fruizione in cui si è immersi come ad esempio la presenza di un collaboratore che non sta lavorando attivamente sull'attività condivisa. Può essere infatti importante sapere dove trovare qualcuno, in modo da poter modificare i nostri piani in base alla presenza di altri individui nelle vicinanze.

L'aspetto della negoziazione riguarda non solo il contenuto, ma anche la struttura delle attività in termini di ruoli e compiti. L'aspetto comunicativo non riguarda solo la capacità di potersi scambiare informazione ma anche la tipologia e il grado di formalità della conversazione sulla base delle relazioni sociali esistenti tra gli individui.

L'ultimo aspetto da considerare è quello legato al punto di vista degli individui rispetto ai contenuti virtuali, in modo da averne molteplici e flessibili al fine di rendere possibili rappresentazioni alternative in grado di adattarsi ai diversi ruoli che le persone assumono e alle diverse informazioni di cui hanno bisogno.

Ad esempio possono essere ricreate visualizzazioni "opposite", cioè con le persone coinvolte che sono una di fronte all'altro e coi contenuti virtuali nel mezzo, così come visualizzazioni "common", cioè con individui che osservano e agiscono sui contenuti dallo stesso punto di vista.

L'insieme di queste considerazioni hanno un rilevante peso nella progettazione e sviluppo di soluzioni immersive dedicate all'ambiente di lavoro e che devono avere l'obiettivo da un lato

di facilitare e velocizzare le pratiche lavorative e dall'altro quello di supportare e migliorare il proliferare di comportamenti collaborativi in quanto le persone quando si sentono connesse con altri lavorano duramente e meglio.

## **2.3 Public: il contesto degli spazi pubblici**

Questo contesto riguarda l'applicazione dell'uso delle tecnologie in spazi sociali pubblici come piazze e parchi, musei, eventi e raduni, centro commerciali, luoghi di governi nazionali come altri possibili luoghi sociali offerti dalla strada, dal parco, dai media, da Internet (Low, 2013).

Lo spazio pubblico è tradizionalmente differenziato dallo spazio privato in termini di regole di accesso, fonte e natura del controllo sull'ingresso in uno spazio, comportamento individuale e collettivo sanzionato in spazi specifici e regole d'uso. Mentre lo spazio privato è delimitato e protetto da norme statali di utilizzo della proprietà privata, lo spazio pubblico, sebbene lontano dalla libera regolamentazione, è generalmente concepito come aperto ad una maggiore o minore partecipazione pubblica. Il concetto di "spazio pubblico" può assumere significati molto differenti a seconda della società, luoghi e tempi rispetto al quale si contestualizza e, come tutto ciò suggerisce, il suo significato oggi è molto legato al contrasto tra spazio pubblico e privato. Ai giorni nostri infatti è impossibile concepire lo spazio pubblico al di fuori della generalizzazione sociale dello spazio privato e del suo pieno sviluppo come risultato dell'evoluzione della moderna società.

La presenza di Internet all'interno della lista delle possibili classificazioni e distinzioni di spazio pubblico, pur non essendo costituito da un vero e proprio spazio fisico, è un esempio dell'evoluzione di questo concetto e lo si deve al fatto che grazie alla sua connettività accessibile per tutti e ovunque è in grado di consentire alla cittadinanza di trovare nuovi modi di interagire economicamente, politicamente e socialmente tra loro. (Camp & Chien, 2000).

Queste caratteristiche lo portano quindi ad avere dei tratti in comune con gli altri spazi pubblici a tal punto che nell'ottobre del 1995 è stata redatta e pubblicata la Netiquette, ovvero un insieme regole informali del tutto comparabili alle regole civiche e formali che regolano le attività sociali<sup>11</sup>.

Tale insieme di regole servono per disciplinare il buon comportamento di un utente sul web di Internet, specie nel rapportarsi con gli altri utenti attraverso risorse come newsgroup, mailing list, forum, blog, reti sociali o e-mail in genere.

Il rispetto della netiquette non è imposto da alcuna legge, ma sotto un aspetto giuridico è spesso richiamata nei contratti di fornitura di servizi di accesso da parte dei provider.

---

<sup>11</sup> <https://it.wikipedia.org/wiki/Netiquette>

L'applicazione delle tecnologie immersive all'interno di questi contesti può dare luogo ad interessanti artefatti con scopi legati all'utilità generale, al marketing o ad altri più ludici, di intrattenimento e performativo con il risultato di poter rivoluzionare la nostra concezione degli spazi pubblici tradizionali. Quest'ultima considerazione è facilmente riscontrabile per quanto avvenuto ad esempio con il concetto di smart city - città intelligenti - che rimanda alla capacità di un centro urbano di gestire in modo innovativo le sue risorse economiche e ambientali, le politiche abitative e i trasporti, i metodi di amministrazione in relazione con il capitale umano, intellettuale e sociale di chi le abita<sup>12</sup>.

Rispetto al rapporto utenti-tecnologie, sulla base dell'assunto generico descritto da Goffman quando parla di performance e performer, all'interno di questo contesto emerge in maniera più netta la separazione tra l'utente in quanto attore principale (atteggiamento attivo) e l'utente visto come spettatore (atteggiamento passivo).

Seguendo questo paradigma è stato anche rivisto il concetto di interazione, frammentato in due parti - *manipulations* ed *effects* (Reeves et al., 2005) - a seconda del punto di vista di riferimento e identificate una serie di quelle che vengono descritte come "public interfaces", cioè il modo in cui si esprimono e realizzano le interazioni tra gli attori con un sistema tecnologico.

Le manipulations sono le azioni eseguite dall'utente principale dell'interfaccia, cioè il "performer", e comprendono manipolazioni di controlli fisici (pulsanti, mouse, joystick e così via), nonché gesti, movimenti e parole che vengono rilevate dall'interfaccia.

Con la dicitura effects, si intendono tutti i risultati che scaturiscono come risultato delle manipulations occorse durante l'interazione, come ad esempio la comparsa o la modifica di immagini, grafiche, suoni, l'attuazione di oggetti fisici oppure anche risposte che sono legate in maniera diretta alla figura del performer stesso.

La definizione di effects quindi non corrisponde meramente al semplice output del sistema, limitandosi al fatto di trovarsi puramente a livello tecnologico, ma possono anche essere trovati negli elementi umani a livello di risposte fisiche e/o emotive volontarie o involontarie. Sempre seguendo questo approccio è possibile ottenere una suddivisione della public interfaces in tre tipologie differenti.

La prima fa riferimento ai Mobile Personal Displays, ovvero spazi limitati dove il dettaglio delle interazioni che occorrono possono essere poco o del tutto visibili allo spettatore. Questa tipologia di fruizione può comunque dare luogo a delle particolari dinamiche di interazione tra gli attori in causa che, a seconda dello scopo, possono riposizionarsi dinamicamente con l'intento di vedere i display degli altri o di nascondere il proprio in maniera volontaria. Attraverso questa situazione la percezione degli spettatori più lontani

---

<sup>12</sup> [http://www.treccani.it/enciclopedia/smart-city\\_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/smart-city_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/)

dalla performance si limita a quella di manipolazioni più grezze e legate alle proprietà fisiche degli oggetti stessi o a quella degli effetti scaturiti da manipolazioni a loro poco percettibili come la pressione di un tasto.

La seconda tipologia ha a che fare con le Interactive Installations e che include una grande varietà di approcci per controllare manipulations and effects. Alcune installazioni sono molto legate alla comprensione che lo spettatore ha delle manipolazioni che avvengono, in modo da poter generare intrattenimento e coinvolgimento e di conseguenza la buona riuscita della performance in quanto tale. Alcune altre invece prevedono un diverso tipo di coinvolgimento dello spettatore, meno diretto con il semplice intento di catturare attenzione e suscitare curiosità.

L'ultima classificazione riguarda le artistic performances, intese come attività artistica che si avvale delle tecnologie per la sua esecuzione. Gli artisti che interagiscono con le tecnologie di fronte ad un pubblico non si accontentano sempre della semplice effettuazione di manipolazioni, ma possono attivamente cercare di amplificarle in modo da rendere le loro esibizioni più espressive, anche perché queste manipolazioni possono essere più o meno visibili a seconda della configurazione del set-up performativo.

Dal punto di vista dello spettatore oltre alla visualizzazione di manipolazioni ed effetti è possibile in certe situazioni che egli possa vedere ed ascoltare l'intero output del sistema, inclusi avvisi, messaggi di sistema e tutti gli effetti visibili delle interazioni del performer con il sistema operativo sottostante. Questo aspetto è interessante da un lato ma espone anche delle riflessioni legate a possibili criticità e/o problematiche in quanto il performer idealmente potrebbe voler nascondere informazioni utili solo a lui oppure desiderare di ridurre ed evitare possibili distrazioni.

Spostando la discussione sul concetto di luogo e modalità in cui la performance avviene, emerge una differente categorizzazione che evidenzia anche qui tre differenti tipologie (L. Hespanhol & Tomitsch, 2015) denominate performative interface, allotted interfaces e responsive ambient interfaces.

Le performative interfaces sono caratterizzate da zone interattive ben delimitate, con un numero limitato di partecipanti e conseguente divisione naturale tra performer (partecipante attivo) e spectators (partecipante passivo).

Le allotted interfaces condividono le stesse caratteristiche di base di quelle performative, ma sono abbastanza grandi da accogliere un gruppo di partecipanti. Il risultato di questa impostazione è che i singoli individui partecipanti non hanno più la visibilità completa dell'interfaccia, si muovono ed operano localmente nella propria sezione dell'interfaccia, e le interazioni diventano quindi distribuite nell'ambiente.

L'ultima categoria, quelle delle responsive ambient interfaces, si riferisce a interfacce urbane che tracciano e reagiscono alla presenza di persone, che tendono principalmente a fornire

feedback indiretti e generici rispetto a quelli legati ad individui specifici.

Da un ulteriore studio emergono altri importanti aspetti che descrivono sei modalità e finalità delle social interaction oltre che sette diverse strategie per la progettazione con le tecnologie in questo contesto (Luke Hespanhol & Dalsgaard, 2015).

Questo studio indica sei tipologie (modes) di social interaction che possono essere suscitate all'interno degli spazi pubblici e successivamente li organizza in tre gruppi che potremmo descrivere come gli obiettivi ultimi delle performance ovvero *spectacle*, *creativity*, *conversation*.

All'interno del primo gruppo troviamo modes legati al fatto di interrompere il normale flusso di attività urbane, trasformando i passanti in spettatori e, a seconda della loro natura, in performer attivi. Qui possiamo trovare due dimensioni ovvero quella *dell'appreciation* e quella della *self-expression*. La prima riguarda il semplice fatto di assistere al manifestarsi di un'espressione tecnologica, mentre il secondo fa riferimento al fatto di essere parte integrante e interattiva.

Il secondo gruppo comprende al suo interno allo stesso modo ulteriori due modes definite *playfulness* e *collective narratives*.

La prima tipologia, essendo caratterizzata da situazioni ludiche, allude al fatto di poter raggiungere un rilassamento generale di quelle che sono le norme sociali stabilite, mentre la seconda rimanda alla situazione in cui una public interface permette la simultanea interazione di multipli attori uscendo così dai confini e vincoli posti dall'ambiente.

L'ultimo gruppo include due modes denominate *triangulation* and *conversation* e nel primo caso riguardano le interazioni sociali che vengono avviate dal comune interesse per il contenuto della public interface, mentre il secondo si riferisce al fatto che questa supporta e promuove l'interazione sociale attraverso la reciproca consapevolezza delle altre persone nello spazio.

Analizzando le modalità di interazione sociale discusse sopra, all'interno dello studio vengono introdotti i *social interaction design patterns* (Fig. 55), ovvero strategie ricorrenti e riutilizzabili per progettare l'interazione tra le persone così come tra loro e l'ambiente circostante attraverso l'utilizzo dei media digitali.

Queste strategie sono sette e sono derivate dal raggruppamento di fattori ricorrenti di layout (ovvero layout spaziale, strategia di interazione e tipo di feedback) o modalità di interazione sociale. Ognuno di questi pattern è stato poi chiamato usando metafore con concetti familiari che operano in modo simile a corrispondenti reazioni sociali.

Utilizzando il raggruppamento di fattori di layout ricorrenti si producono tre pattern:

- Shadow Playing;
- Remote Control;
- Smooth Operator

Il raggruppamento che avviene utilizzando le modalità di interazione sociale produce invece altri quattro schemi:

- Soapbox;
- Amusement Park;
- Swarm;
- Automatic Gate

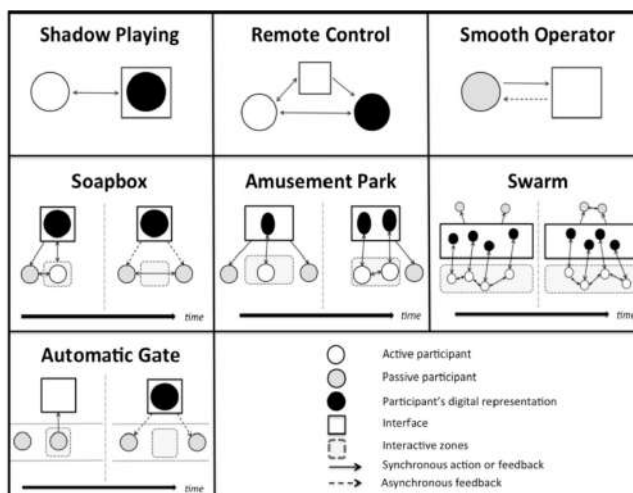


Fig. 55 Social interaction design patterns



Fig. 56 Esempio di public interface sviluppata da Google per il Festival of Lights di Berlino 2017

Riprendendo una descrizione dell'obiettivo generico di una "public interface" (Driscoll 1991) e attualizzandola sulla base di tutto quello discusso in questa sezione possiamo concludere dicendo che il focus dell'applicazione delle tecnologie all'interno di questo contesto sociale è quello di riuscire a coinvolgere rapidamente il visitatore occasionale, mostrare il soggetto, e facilitare le loro interazioni prestando attenzione a problematiche di contenuto, forma e modalità con tutte le implicazioni derivanti dal luogo, le tecnologie e i ruoli presenti (Fig. 56).

## 2.4 Education: il contesto scolastico e formativo

L'applicazione dell'uso della tecnologia all'interno del contesto di questa sezione si concentra sull'esplorazione di attività collegate all'apprendimento e alla formazione, una tematica talmente rilevante e attiva in ambito di ricerca da avere una sua precisa espressione usata come riferimento, cioè tecnologia educativa e spesso abbreviata in EdTech.

Tale termine viene definito e descritto dall'Associazione per le Comunicazioni e la Tecnologia Educativa (AECT) come "lo studio e la prassi etica di facilitare l'apprendimento e migliorare le prestazioni creando, utilizzando e gestendo adeguati processi e risorse tecnologici" ("Reflections on the 2008 AECT Definitions of the Field," 2008).

All'interno di questa macro categorizzazione rientrano diversi settori e discipline come la learning theory, computer-based training, online learning, e il m-learning laddove ci sia la presenza di dispositivi mobile.

Per comprendere meglio le diverse sfaccettature delle tecnologie educative bisogna elencare sia gli aspetti tecnologici che altri legati all'arte educativa ai quali questo termine è riferito:

- insieme di teorie e pratiche di approcci educativi all'apprendimento;
- insieme degli strumenti e mezzi tecnologici che agevolano la comunicazione, lo sviluppo e lo scambio della conoscenza;
- insieme di strumenti per la gestione degli studenti e del curriculum, e dei sistemi informativi per la gestione dell'istruzione
- insieme di strumenti dedicati ad attività di back-office come la gestione della formazione, della logistica, del budget e per l'archiviazione e l'analisi dei dati di apprendimento

A livello educativo bisogna anche introdurre quelle che sono le prospettive pedagogiche o teorie dell'apprendimento che possono essere prese in considerazione nella progettazione dell'interazione con la tecnologia educativa. Queste prospettive teoriche sono raggruppate in tre principali scuole di pensiero (Mergel, 1998):

- comportamentismo (behaviorism);
- cognitivismo (cognitivism);
- costruttivismo (constructivism).

Il comportamentismo si concentra sullo studio di comportamenti espressi che possono essere osservati e misurati, escludendo i processi mentali che possono occorrere.

Il cognitivismo invece ha come obiettivo lo studio dei processi mentali mediante i quali le informazioni vengono acquisite dal sistema cognitivo, elaborate, memorizzate e successivamente recuperate.



Il costruttivismo infine concepisce la conoscenza come costruzione basata sul vissuto personale e dove la mente umana dà significato e ordine alla realtà che si sta vivendo. Tutte queste prospettive giocano ruoli differenti nell'insieme di pratiche conosciute come Instructional Design (Gagné et al., 1988) e che vengono utilizzate per progettare, sviluppare e fornire sistematicamente prodotti ed esperienze didattici, sia digitali che fisici, in modo coerente e affidabile verso un'acquisizione efficiente, efficace, accattivante, coinvolgente e stimolante della conoscenza (Merrill, 1996; Wagner, 2011).

Focalizzandoci sull'applicazione delle tecnologie immersive al contesto education possiamo dire che sono un po' la naturale evoluzione delle soluzioni computer-assisted instruction (CAI), computer-based training (CBT) e che già molti anni prima della loro proliferazione attuale l'apprendimento immersivo era visto come molto orientato al costruttivismo e con un livello di scoperta e di apprendimento esperienziale che avrebbe stimolato maggiormente l'istruzione (Javidi & White, 1999).

Quelli che emergono come motivi validi per l'utilizzo di questo tipo di tecnologie in contesti educativi e di formazione scolastica sono riconducibili alle modalità di rappresentazione visuale delle informazioni, il fatto che questa modalità di fruizione possa motivare e coinvolgere maggiormente gli studenti e il fatto che non ha aspetti temporali e di luogo da dover rispettare in maniera forzata (Pantelidis, 2009).

Alcune tecnologie immersive forniscono nuove forme e metodi di visualizzazione attraverso metodi alternativi per la presentazione visiva del materiale, consentendo l'illustrazione più accurata di alcune caratteristiche, processi e altro rispetto ad altri mezzi.

Questo consente un esame sia ravvicinato di un oggetto così come l'osservazione da grande distanza per poter esaminare aree ed eventi non disponibili in modalità tradizionali. L'utilizzo di tecnologie immersive può aumentare la motivazione degli studenti attraverso la capacità di interazione con il mondo virtuale e la partecipazione attiva sia a livello individuale che collaborativa.

L'ultima ragione per un uso di queste tecnologie riguarda la possibilità di non avere una situazione legata in maniera forzata ad un tempo fisso come quello imposto dalla lezione in classe, permettendo allo studente di procedere al proprio ritmo nell'apprendimento.

Questi strumenti sono anche inclusivi in quanto permettono anche ai disabili di partecipare ad un ambiente di apprendimento, cosa che in altre modalità non sempre accade.

L'insieme di queste motivazioni non devono però costituire una buona giustificazione per un eventuale abuso del loro utilizzo, perché vanno considerati tanti aspetti della loro utilità rispetto all'obiettivo formativo.

A livello di letteratura vengono evidenziati una serie di suggerimenti utili a capire quando usare o meno tecnologie come la realtà virtuale per scopi educativi e formativi (Tab. 4) (Pantelidis, 1996).

usare se	non usare se
<ul style="list-style-type: none"> <li>- si deve effettuare una simulazione</li> <li>- l'utilizzo di oggetti reali è pericoloso, impossibile, scomodo o difficile</li> <li>- l'apprendimento nell'ambiente virtuale insegna quanto quello reale</li> <li>- l'interazione con un modello è motivante quanto quella con un oggetto reale</li> <li>- risulta un'alternativa attraente al dover organizzare viaggi con le classi, con problematiche di gestione costi e logistica.</li> <li>- l'aspetto di condivisione, collaborazione e copresenza è importante</li> <li>- le pratiche di creazione di un ambiente o modello simulato sono rilevanti</li> <li>- è richiesta la visualizzazione, manipolazione e riorganizzazione delle informazioni, utilizzando simboli grafici, in modo che possano essere più facilmente comprese</li> <li>- una situazione di formazione deve essere resa realistica</li> <li>- è necessario rendere percettibile l'impercettibile</li> <li>- bisogna sviluppare ambienti e attività partecipative che possono esistere solo in mondi generati da un computer</li> <li>- sono presenti compiti che coinvolgono la destrezza manuale o il movimento fisico</li> <li>- si vuole rendere l'apprendimento più interessante e divertente</li> <li>- è necessario dare ai disabili l'opportunità di fare esperimenti e attività che altrimenti non potrebbero fare</li> <li>- gli errori commessi dallo studente o dall'apprendista durante l'utilizzo della cosa reale potrebbero avere conseguenze devastanti e / o demoralizzanti per lo studente, dannosi per l'ambiente, in grado di causare danni involontari alla proprietà, in grado di causare danni alle apparecchiature o costosi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- non è possibile sostituire l'insegnamento / formazione con oggetti reali</li> <li>- è necessaria l'interazione con esseri umani reali, insegnanti o studenti</li> <li>- l'utilizzo di un ambiente virtuale potrebbe essere dannoso fisicamente o emotivamente</li> <li>- l'uso di un ambiente virtuale può comportare una "lateralization", una simulazione così convincente che alcuni utenti potrebbero confondere il virtuale con la realtà</li> <li>- lo sviluppo è troppo costoso per giustificare l'utilizzo rispetto al risultato di apprendimento atteso</li> </ul>

*Tab. 4 Suggestioni usi VR per scopi educativi*

Volendo fare un punto su quanto analizzato e discusso, nello specifico possiamo dire che l'utilizzo di queste tecnologie in questo campo comportano i seguenti benefici:

- risparmi in termini di materiali, utilizzo di spazi e tempi di apprendimento;
- apprendimento individualizzato;
- sviluppo di motivazione, interessi e capacità personali;
- sviluppo processi apprendimento differenti

Il primo punto sottolinea come il denaro a volte può costituire una barriera per l'apprendimento, in quanto sia le scuole che gli studenti possono avere risorse carenti in tale senso. La mancanza di fondi da una parte e il costo eccessivo dall'altra di materiale didattico come libri può causare difficoltà di accesso che possono incidere sull'apprendimento.

Queste tecnologie colmano le disparità educative, rendendo i contenuti accessibili a tutta la classe, da luoghi differenti, in diverse modalità e senza alcuna differenza tra gli studenti.

Il secondo punto fa riferimento ad uno dei maggiori problemi dell'educazione tradizionale, cioè la mancanza di tempo e risorse per fornire un insegnamento personalizzato a tutti gli studenti in classe. Le tecnologie immersive possono fornire invece agli insegnanti gli strumenti necessari per avere informazioni su ogni studente, in modo da sapere quale ha bisogno di più aiuto, quale sta facendo bene e chi lo sta davvero capendo.

Il punto collegato allo sviluppo di capacità individuali è collegato al fatto che le tecnologie immersive ridefiniscono e trasformano un po' il concetto tradizionale dell'aula e del suo contenuto.

La possibilità di rendere tutto maggiormente visivo ed interattivo è sicuramente attraente per gli studenti e questo li porterà a sviluppare interesse e coinvolgimento con la materia trattata. Leggere le parti del cuore umano potrebbe non essere esattamente interessante, ma osservare come funziona attraverso ad esempio l'uso della realtà aumentata può risultare senza dubbio molto più interessante.

Inoltre, gli studenti sono in grado di portare diversi punti di vista in classe e ognuno di loro avrà una prospettiva diversa su ciò che si sta imparando. Attraverso queste tecnologie sono in grado di esplorare e imparare di più su ciò che trovano interessante con la conseguenza di incoraggiare e stimolare la propria creatività, curiosità ed immaginazione.

L'ultimo punto riguarda invece la capacità di conservare la conoscenza più a lungo attraverso un diverso ciclo di apprendimento rispetto a quello tradizionale e riconducibile al concetto dell'imparare facendo o "learning by doing".

Gli svantaggi nell'utilizzo di usare questo tipo di tecnologie sono principalmente legati ai costi e ai tempi che sono a volte necessari per munirsi degli strumenti necessari e per imparare a utilizzare hardware e software, ai possibili effetti sulla salute e alla sicurezza e alla gestione della possibile riluttanza a utilizzare e integrare le nuove tecnologie in un corso o curriculum.

Le problematiche che possono incontrarsi nell'applicazione di questo tipo di tecnologie sono di tipo tecnologico, pedagogico e formativo, ma come sempre avvenuto con tutte le innovazioni tecnologiche queste possono svanire col passare del tempo e le tecnologie immersive verranno sempre più comunemente apprezzate ed utilizzate.

Per un'efficace implementazione della tecnologia, gli insegnanti devono credere che questa possa essere realmente utile per migliorare l'apprendimento, capire quali strategie di insegnamento sono più adatte all'occasione, comprendere quali sono i migliori tool per uno sviluppo efficace di contenuti e applicazioni in modo da averne piena coscienza e controllo oltre che la capacità di prevedere possibili evoluzioni e integrazioni di questi sistemi.

A livello di strategie utilizzabili, in letteratura esistono diverse tipologie di approcci impiegati al fine di progettare ambienti dedicati alla stimolazione dell'apprendimento e per questa ragione è stato necessario definire una classificazione basata sulle caratteristiche rilevanti, ovvero roles, location e task (H.-K. Wu et al., 2013).

Questa classificazione permette di categorizzare meglio approcci diversi, sapendo che ogni approccio può includere a sua volta diversi metodi e che questi sotto-approcci possono sovrapporsi tra loro. Inoltre, approcci presenti in diverse categorie possono condividere un background filosofico o un punto di vista psicologico educativo.

La categoria che pone al centro l'aspetto del ruolo fa riferimento al fatto che gli studenti non solo prendono parte ad un ambiente simulato, ma al fatto che adottano diversi modi di pensare accedere alle informazioni rispetto al ruolo che possono interpretare.

Questa categoria include approcci dedicati ad enfatizzare le interazioni e la collaborazione tra gli studenti come il participatory simulations, il role playing e il metodo jigsaw.

La seconda categoria, quella legata alla location, include invece approcci di apprendimento place-based or location-based learning e che mette in rilievo la possibilità di garantire allo studente un senso di autenticità quando immerso in un ambiente realistico rispetto allo spazio fisico in cui si trova.

L'ultima categoria mette al centro invece l'acquisizione di competenze attraverso attività da compiere utilizzando approcci definiti game-based, problem-based e studio-based learning. Concludendo possiamo dire che è importante conoscere l'insieme dei possibili benefici e svantaggi che possono essere generati dall'uso di queste tecnologie in contesti educativi e scolastici in modo da sapere come queste possono essere utilizzate al fine di promuovere efficacemente lo sviluppo cognitivo, facilitare e supportare l'apprendimento sia individuale che collaborativo.

## **2.5 Health: il contesto medico-sanitario**

In questo ultimo contesto vengono prese in considerazioni le interazioni collegate a situazioni in cui sono centrali la medicina, l'assistenza sanitaria, la salute e il benessere delle persone.

Da sempre il mondo dell'healthcare è stato oggetto di ricerca e applicazione tecnologica, interessando e fornendo alla tecnologia casi d'uso e scenari in cui avanzare producendo test e sviluppi, con risvolti sulle persone e sul sistema medico sanitario in generale trasformando le pratiche comunemente in uso al suo interno.

Questa evoluzione ed applicazione delle tecnologie all'interno dell'healthcare ha fatto emergere e coniare diverse terminologie di rilievo per denotare questo aspetto, come le Health Information Technology (HIT) e le eHealth.

Il primo termine in accordo con quanto riportato dall'Agency for Healthcare Research and Quality si pone come obiettivi principali (Shekelle et al., 2006):

- migliorare la qualità o l'efficacia dell'assistenza sanitaria;
- aumentare la produttività o l'efficienza dell'assistenza sanitaria;
- prevenire errori medici e aumentare l'accuratezza dell'assistenza sanitaria e la correttezza procedurale;
- ridurre i costi dell'assistenza sanitaria;
- aumentare l'efficienza amministrativa e i processi di assistenza sanitaria;
- ridurre le scartoffie e il tempo di lavoro improduttivo o inattivo;

- estendere le comunicazioni in tempo reale dell'informatica sanitaria tra gli operatori sanitari;
- espandere l'accesso a cure a prezzi accessibili;

Il secondo termine, cioè eHealth, fa riferimento al complesso delle risorse, soluzioni e tecnologie informatiche di rete applicate alla salute ed alla sanità, che ha dato la possibilità di creare sistemi come le cartelle cliniche elettroniche così come avere applicazioni di telemedicina, Evidence-based medicine, Consumer Health Informatics e Virtual healthcare teams.

In questo modo, con l'uso di applicazioni e tecnologie dedicate a precisi scopi si può permettere una comunicazione e un'interazione semplificata tra le diverse figure professionali coinvolte e i pazienti interessati.

L'applicazione delle tecnologie immersive in questo contesto ha quindi come principali obiettivi gli sviluppi legati ai concetti di simulazione, training, riabilitazione e innovazione al fine di rendere questo contesto più sicuro, efficiente ed efficace.

Il concetto di simulazione viene definito come una tecnica, non una tecnologia, per sostituire o amplificare esperienze reali con esperienze guidate che evocano o replicano aspetti sostanziali del mondo reale in modo completamente interattivo (Gaba, 2004).

Attraverso l'uso di un simulatore gli studenti esercitano il loro mestiere in scenari progettati per migliorare il processo decisionale clinico, il pensiero critico e il lavoro di squadra grazie ad una serie di fattori rilevanti rispetto a lezioni tradizionali (Taekman & Shelley, 2010):

- interactivity and immediacy, fare scelte e vedere immediatamente il risultato delle azioni;
- knowledge in context, applicare le conoscenze in situazioni realistiche;
- time for reflection, permettere agli studenti di avere il tempo per pensare alle proprie scelte rispetto alle conseguenze sul paziente;
- group learning (learning from peers and from facilitator);

Questi fattori si ribattono in una serie di vantaggi per entrambe le tipologie di ruoli che un individuo può esercitare all'interno di questi scenario, cioè learners e facilitators.

I learners sono coloro i quali fruiscono e interagiscono con i simulatori mentre i facilitators, sono quelle figure che hanno lo scopo di modellare gli obiettivi dell'esperienza di apprendimento.

Il ruolo dell'insegnante/facilitatore passa dall'essere in evidenza ad un ruolo di supporto, come guida per gli studenti affinché possano mantenere una giusta direzione, aiutandoli a superare i problemi quando si presentano ma lasciandogli la responsabilità di come apprendono, sia individualmente che in gruppo.

I learners hanno la possibilità di vivere in prima persona gli elementi chiave della cura del paziente in una modalità che non mette in pericolo vite e quindi comprendere sia condizioni

comuni come quelle che possono presentarsi una sola volta nella loro intera carriera con la possibilità di mettere in pratica le loro abilità cognitive, psicomotorie ed affettive.

L'uso di queste soluzioni permette inoltre di ripetere i processi finché non si sono completamente acquisite le competenze necessarie, sperimentando anche approcci alternativi oppure facendo intenzionalmente errori con lo scopo di porvi rimedio.

Essendo inoltre situazioni simulate, quindi orientate ad una rappresentazione ad alta fedeltà della realtà, entrano in gioco anche vantaggi legati alla capacità di prendere decisioni visto che le proprie scelte agiscono direttamente sul paziente oltre che altri vantaggi legati all'acquisizione e al miglioramento di competenze di collaborazione grazie alla possibilità di lavorare in team per raggiungere obiettivi simili alla vera pratica clinica.

Le altre opportunità offerte dai simulatori sono quelle che danno ai facilitatori la possibilità di standardizzare il processo di apprendimento assicurandosi che ogni learners possa utilizzare le stesse funzionalità, e anche la possibilità di monitorare i progressi dei learners registrando successi e fallimenti, tracciandone i miglioramenti e confrontandone le performance.

A livello più generico i simulatori hanno altri vantaggi legati alla scalabilità, ripetibilità del sistema e all'anonimato delle prestazioni e alla standardizzazione della valutazione.

Nonostante il successo della simulazione ad alta fedeltà nel mondo healthcare, esistono anche delle limitazioni dovute principalmente al fatto che la creazione di queste soluzioni richiede attrezzature costose, un'infrastruttura di video e computer complessa oltre che personale dedicato per assicurare una corretta esecuzione e manutenzione.

Altre limitazioni derivano dal fatto che, essendo situazioni che devono replicare fedelmente la realtà, il livello di fedeltà della rappresentazione deve coinvolgere diversi aspetti (ambientale, sociale, anatomico e temporale) e ognuno di questi deve essere ben sviluppato, altrimenti si può correre il rischio di avere effetti negativi sulla percezione e l'immersione col sistema.

Un'altra limitazione è quella data dalla difficoltà di valutare la reale efficacia di questi tipi di sistemi sui comportamenti e sulle pratiche acquisite dai learners e sulla quale tutt'oggi esistono studi dedicati all'indagine di queste tematiche (Akl et al., 2010).

Con le tecnologie immersive l'obiettivo di una formazione personalizzata ed interattiva è reso disponibile ed applicabile grazie alla capacità di avere sistemi real-time e sempre disponibili a guidare lo studente in ogni fase del processo di apprendimento, aspetto prima poco realizzabile e praticabile.

## 3 Progettare l'esperienza immersiva: teorie, approcci e metodi da seguire

Dopo aver argomentato l'aspetto tecnologico, cioè i sistemi immersivi, e l'aspetto più umanistico del presente lavoro, cioè la presentazione dei contesti sociali, possiamo passare alla descrizione di quello che abbiamo inizialmente introdotto come "esperienza immersiva". In questa parte del lavoro verrà prima di tutto inquadrata tale definizione per poi passare a descrivere quali sono le teorie e gli approcci che devono essere seguiti per progettare e valutare l'esperienza nel migliore dei modi.

Infine verrà descritto il modello CUTE sviluppato che nasce con l'idea di fornire un framework agile per poter organizzare le componenti attive nella realizzazione di questo tipo di esperienze, in modo da poter far emergere in maniera rapida e ordinata quelli che sono i diversi bisogni e requisiti.

Tale modello si basa sull'identificazione di nove elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva e che si riflettono su quattro variabili, alle quali sono collegate specifiche domande di progettazione.

### 3.1 Esperienza immersiva: definizione e spiegazione del significato

Come già precedentemente fatto per le altre sezioni e definizioni composte, anche quella di esperienza immersiva verrà affrontata spezzandola e analizzandola nelle due parole che la formano.

In virtù del fatto di aver ampiamente discusso il significato della connotazione nel capitolo 1 di questo lavoro, in questa sezione ci soffermeremo maggiormente su quello di esperienza.

Tra i lavori che è possibile trovare in letteratura che definiscono il concetto di esperienza, quello che è stato trovato maggiormente rilevante è quello che lo definisce come *l'insieme di sensazioni che le persone percepiscono mentre interagiscono con l'ambiente e le altre intorno a loro e che vengono trasformate in "conoscenza"* (Buchenau & Suri, 2000).

Uno studio che si pone come anello di congiunzione tra i due singoli concetti è quello che cataloga le possibili human experiences sulla base della modalità in cui questa viene provata (sensoriale o non sensoriale) e sulla base della natura degli oggetti che vengono percepiti (reale- immaginario-virtuale [para-autentico vs. artificiale]) (K. M. Lee, 2004).

Queste tre tipologie sono così classificate (Fig. 57):

- real experience, è l'esperienza sensoriale di oggetti reali;
- virtual experience, è l'esperienza sensoriale o non sensoriale di oggetti virtuali;
- hallucination, è l'esperienza non sensoriale di oggetti immaginari.

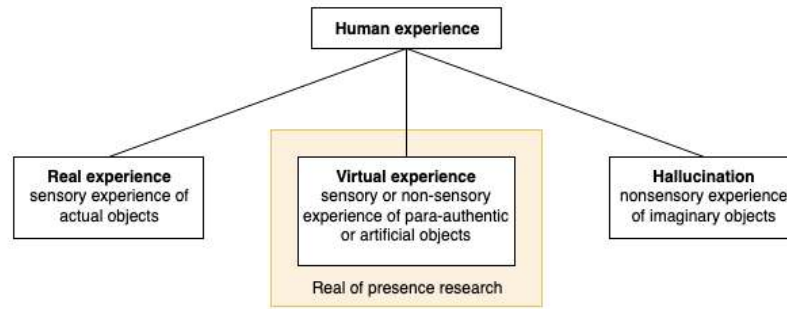


Fig. 57 Tipologia di Human Experience

Quella delle tre più strettamente collegata all’esperienza immersiva è ovviamente la virtual experience, che per essere vissuta necessita come abbiamo detto di essere stimolata a livello sensoriale in modo da elicitare una risposta percettiva.

Questo schema è stato formalizzato a livello generale nel S-O-R framework, lavoro in cui viene descritta la relazione esistente tra stimolo-organismo-risposta (Mehrabian, 1974), secondo il quale la percezione di stimoli (ad esempio, la prestazione di un sistema di informazione) evoca degli stati emotivi negli individui che a loro volta determinano delle risposte comportamentali.

Tale framework è stato successivamente poi anche validato e frequentemente utilizzato in diversi studi e contesti come quelli legati all’accettazione di artefatti tecnologici e trova applicazione anche rispetto alle tecnologie immersive (Suh & Prophet, 2018) (Fig. 58).

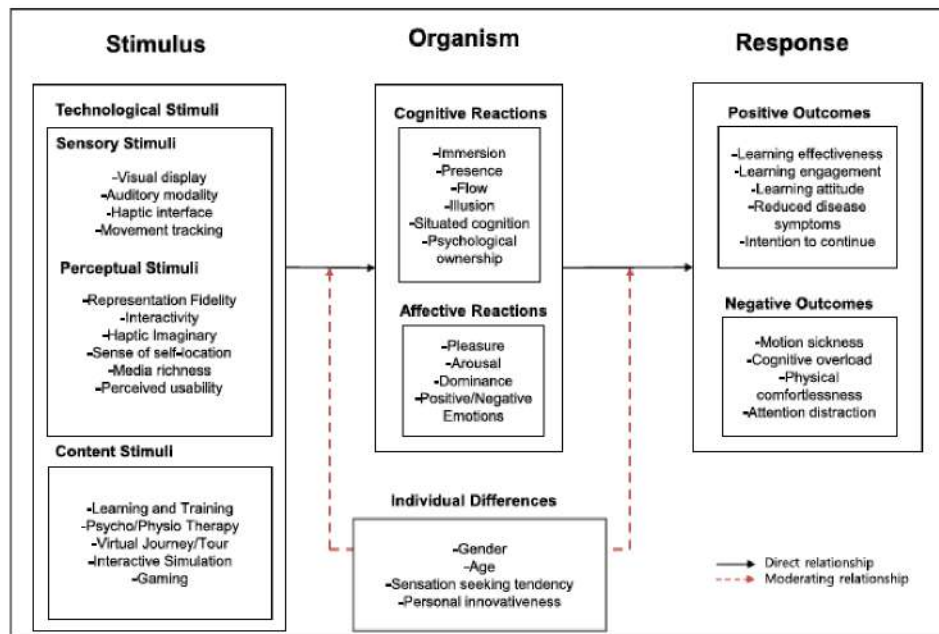


Fig. 58 SOR framework applicato alle tecnologie immersive

Seguendo questo schema gli autori dello studio identificano e classificano differenti elementi per ciascuna delle tre componenti (stimolo-organismo-risposta) che possono emergere con il loro utilizzo.



Parlando della componente legata allo stimolo possiamo dire che questo è caratterizzato da una duplice natura, quella tecnologica e quella di contenuto.

La natura tecnologica racchiude al suo interno un aspetto *sensory* dello stimolo che riguarda la parte sensoriale, cioè quella che va ad agire sui nostri sensi come ampiamente descritto nel capitolo 1 di questo lavoro, e un altro aspetto denominato *perceptual* che include le sensazioni che l'utente percepisce durante la fruizione (Tab. 5).

Perceptual stimuli	
Interactivity	La funzione di un sistema in grado di rilevare l'input di un utente e rispondere alla nuova attività istantaneamente
Representational fidelity	Il grado di realismo degli oggetti o degli scenari rappresentati in un ambiente immersivo. La fedeltà rappresentativa offre agli utenti una grafica ricca, cambiamenti fluidi e un comportamento coerente degli oggetti e, di conseguenza, gli utenti si sentono immersi più facilmente
Imagination	Funzionalità del sistema che innesca la capacità della mente umana di percepire e immaginare in senso creativo le cose inesistenti
Haptic imagery	La capacità di creare una sensazione di tocco e di trasferire accuratamente i contenuti delle informazioni mentre si tocca qualcosa in modo da sentirne la consistenza
Perceived sense of self-location	La sensazione che l'io di un utente si trovi all'interno del corpo dell'avatar
Media richness	La ricchezza dei media rende un'esperienza di simulazione più autentica grazie a varie stimolazioni sensoriali e segnali multipli.
Perceived usability	La percezione complessiva dell'utente delle caratteristiche del sistema di una tecnologia, che si riferisce alla misura in cui una tecnologia può essere utilizzata per raggiungere determinati obiettivi con facilità, efficacia, utilità, efficienza e soddisfazione in un ambiente immersivo

Tab. 5 Elenco dei perceptual stimuli

La natura legata al content dello stimolo invece fa riferimento alla finalità e all'obiettivo che intende raggiungere l'interazione con un sistema immersivo e del quale viene fornito un elenco riepilogativo (Tab. 6).

Content stimuli	
Learning and training	Gli utenti elaborano mentalmente varie risorse informative e per mantenere la motivazione abilitando la fusione concettuale, vengono evidenziate le funzionalità dei contenuti che facilitano l'interazione sociale, come la collaborazione per la risoluzione dei problemi e la stimolazione della motivazione e delle prestazioni. Fornire vari livelli di difficoltà aumenta la motivazione degli utenti nel comprendere l'argomento trattato.
Psycho- and physiotherapy	Varie tecniche psicologiche che utilizzano ambienti immersivi vengono utilizzate per trattare il dolore nell'industria medici, in quanto i pazienti interagiscono con oggetti virtuali o personaggi che suscitano risposte emotive paragonabili a quelle prodotte da stimoli reali, distogliendo la loro attenzione da dolore, stress e ansia.
Virtual journeys and tour	In un mondo sintetico, gli utenti sono percettivamente convinti di essere davvero "li". È stato provato che la fruizione immersiva di ambienti ricreati è in grado di suscitare sensazioni coerenti e aspettate con il corrispettivo reale
Interactive simulation	Gli utenti grazie all'ambiente immersivo interagiscono con espressioni

	facciali, figure e ambienti simulati mentre interagiscono con gli oggetti. Le funzionalità di contenuto che consentono la creazione e la manipolazione di oggetti suscitano emozioni positive per l'utente. Per stimolare le esperienze narrative degli utenti, il contenuto della simulazione interattiva dovrebbe incorporare la logica cronologica in termini di personaggi, eventi, immagini e contenuti informativi.
Gaming	Il contenuto del gioco immersivo varia a seconda che il gioco sia progettato in modo tale che i giocatori abbiano un'esperienza competitiva o collaborativa. In generale, i giochi collaborativi in contesti immersivi sono stati trovati più efficaci nel facilitare il coinvolgimento cognitivo degli utenti e la presenza spaziale / sociale / temporale perché consentono a più partecipanti di condividere gli spazi fisici e virtuali che li circondano e giocare insieme agli avversari.

Tab. 6 Tipologia di content stimuli

La seconda componente, quella dell'organism, è caratterizzata dalla presenza di reazioni negli utenti intese come effetti conseguenti allo stimolo e differenziate sulla base della loro natura in *cognitive* ed *affective*.

Le reazioni cognitive (Tab. 7) rappresentano i processi mentali che si verificano quando un utente interagisce con un sistema immersivo oltre a quelli di immersion e presenza già precedentemente descritti e approfonditi.

Cognitive reactions	
Flow	Stato psicologico soggettivo di controllo, attenzione, curiosità e interesse intrinseco accompagnato da una perdita di autocoscienza e auto-rafforzamento del legame di interattività uomo-computer
Illusion	Identifica sia la forte illusione di trovarsi in un luogo nonostante la certezza della consapevolezza che non ci sei (place illusion) sia il fatto che ciò che sta accadendo è reale anche se sai che non è reale (plausibility illusion)
Situated cognition	In un ambiente immersivo gli utenti fondono cognitivamente informazioni virtuali e contesto reale, il che gli dà la sensazione di trovarsi in contesti autentici migliorando le loro prestazioni
Psychological ownership	Gli utenti si preoccupano di controllare oggetti virtuali che sembrano simili al loro corpo fisico reale in modo che possano allineare i loro sé virtuali con i loro sé fisici reali

Tab. 7 Elenco cognitive reactions

Le reazioni affective (Tab. 8) vengono descritte come le risposte emozionali che insorgono mentre un utente interagisce con una tecnologia e che possono influenzare le performance.

Affective reactions	
Pleasure	Il grado in cui la tecnologia immersiva evoca un'emozione piacevole (o spiacevole) negli utenti
Arousal	Il grado di intensità dell'emozione piacevole o spiacevole
Dominance	Il controllo e la natura dominante dell'emozione
Positive emotions	piacere, divertimento, felicità, fiducia e speranza
Negative emotions	noia, ansia, depressione, tensione, paura, rabbia e ira

Tab. 8 Elenco affective reactions

Oltre alle reazioni affettive l'utilizzo di tecnologie immersive ha delle conseguenze dirette sull'ultima componente, ovvero la response. Queste conseguenze sono legate ai risultati che possono emergere dal loro utilizzo e che possono portare gli utenti a cambiare i loro comportamenti nel corso del tempo e possono essere di tipo positivo (Tab. 9), con reali benefici sull'apprendimento, inteso come l'acquisizione o la modifica di conoscenze e valori così come di tipo negativo (Tab. 10), suscitando fastidi e sensazioni spiacevoli.

Positive outcomes	
Learning effectiveness	Miglioramento dei processi e dei risultati dell'apprendimento, incluso il livello di conoscenza dei contenuti, rendimento scolastico, rendimento, abilità, abilità e altri
Learning engagement	Aumento della quantità di tempo trascorso con sistemi immersivi, una maggiore frequenza di interazioni
Learning attitude	Miglioramento degli atteggiamenti nei confronti dei materiali di apprendimento dopo aver sperimentato immersività
Task performance	Miglioramento dell'efficienza (ovvero tempo di completamento inferiore alla media per le azioni corrette) e accuratezza (ovvero, percentuale di errore globale media inferiore / percentuale di successo più elevata per le attività)
Reduced disease symptoms	Riduzione dei sintomi della malattia (ad es. dolore, stress psicologico e malattie mentali)
Intention to use	Intenzionalità nell'uso di tecnologie immersive

Tab. 9 Elenco positive outcomes

Negative outcomes	
Motion sickness	Senso avverso di disagio, disorientamento, nausea, vomito e simili comune negli utenti che sperimentano sistemi immersivi attraverso HMD
Physical discomfort	Sensazione di disagio fisico segnalato ad esempio nei casi in cui si doveva tenere oggetti a livello degli occhi per una corretta visualizzazione nell'ambiente immersivo
Cognitive overload	Una dimensione dello schermo limitata può travolgere l'utente per via della compressione della quantità di informazioni presentate in poco spazio
Distracted attention	La tecnologia immersiva spesso non riesce a bilanciare la distribuzione dell'attenzione di un utente tra virtuale e spazi fisici, inducendoli a interagire eccessivamente con l'informazione e la tecnologia virtuali portandoli ad ignorare l'ambiente reale e/o il processo di apprendimento

Tab. 10 Elenco negative outcomes

Unendo le diverse interpretazioni possiamo dunque dire che un'esperienza immersiva può essere definita come *l'insieme delle sensazioni che le persone percepiscono mentre interagiscono con un sistema immersivo all'interno di un ambiente (contesto sociale) definito e che vengono trasformate in conoscenza.*

### 3.2 Dalla progettazione alla valutazione: teorie, approcci e strumenti

Lo sviluppo e la concretizzazione di un'esperienza immersiva possiamo dire che si suddivide in due fasi principali, ovvero la progettazione e la valutazione. Per entrambe esistono una serie di teorie, modelli, concetti e strumenti importanti da conoscere per poter realizzare i task ad esse collegate.

Nel corso del mio lavoro di dottorato, e anche precedente, mi sono dovuto spesso confrontare con molte di queste considerazioni tanto da usarle o seguirle quando necessarie nelle mie pratiche di sviluppo. Descrivendo generalmente il campo di ricerca dell'elaborato, possiamo dire che rientra nell'ambito della Human Computer Interaction (HCI), ovvero lo studio della progettazione e l'uso della tecnologia informatica, focalizzata sulle interfacce tra persone(utenti) e computer.

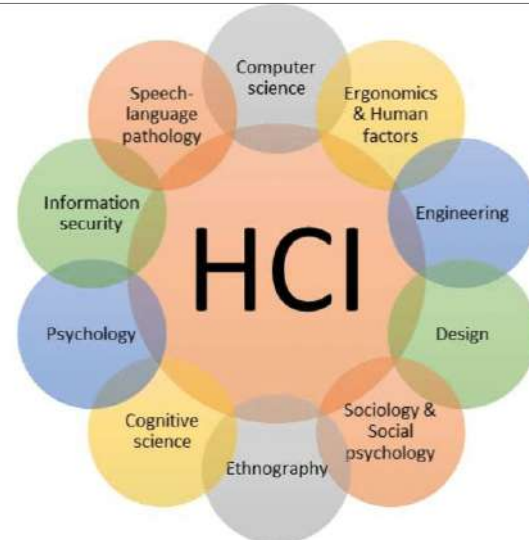


Fig. 59 Discipline HCI

Tale termine è stato reso popolare dalla pubblicazione del libro “The Psychology of Human – Computer Interaction” (Card et al., 1983), ma il suo primo uso noto risale al 1975 (Carlisle, 1976).

I ricercatori nel campo dell'HCI si occupano sia di osservare i modi con cui le persone interagiscono con i computer, sia della progettazione di tecnologie che consentono agli esseri umani di interagire con i computer in modalità nuove e differenti.

Come campo di ricerca, nell'interazione uomo-computer confluiscono conoscenze derivanti da campi di studio come informatica, scienze comportamentali, design, studi sui media e molti altri ancora (Fig. 59).

Questo campo di ricerca descrive e considera l'interazione tra uomo e computer in maniera simile a quello che potrebbe avvenire tra uomo e uomo, quindi come una sorta di dialogo aperto e flessibile (open-ended), a differenza dell'interazione che si può avere con un qualsiasi altro dispositivo considerato semplice per via del suo utilizzo limitato.

Questa osservazione è da ritenersi di primaria importanza nella comprensione ed applicazione delle considerazioni teoriche che vengono affrontate in questo campo di ricerca.

Tale scambio di informazioni tra uomo e computer è definito come “loop of interaction” (Fig. 60) ed è caratterizzato dai seguenti aspetti:

- visual based: l'interazione visiva con il computer umano è probabilmente l'area più diffusa nella ricerca di Human Computer Interaction (HCI);
- audio based: l'interazione basata sull'audio tra un computer e un essere umano è un'altra area importante nei sistemi HCI e tratta le informazioni acquisite da diversi segnali audio;
- task environment: le condizioni e gli obiettivi fissati per l'utente;
- machine environment: l'ambiente a cui è collegato il computer, ad es. un laptop nel dormitorio di uno studente universitario;
- areas of the interface: I e aree non sovrapposte coinvolgono processi umani e informatici non pertinenti alla loro interazione. Nel frattempo, le aree sovrapposte riguardano solo i processi relativi alla loro interazione;
- input flow: il flusso di informazioni che inizia nel “task environment”, quando l'utente ha alcune attività che richiedono l'utilizzo del computer;
- output: Il flusso di informazioni che ha origine nel “machine environment”;
- feedback: fornito attraverso l'interfaccia e serve a valutare, moderare e confermare i processi che intercorrono tra l'essere umano e l'interfaccia al computer e viceversa. È uno degli aspetti fondamentali nella progettazione e nello sviluppo di prodotti interattivi. Esso deve avvenire presto e spesso, accompagnando le azioni degli utenti impedendo loro di compiere errori. Generalmente può essere di 3 tipologie ovvero visivo, uditivo e motorio;
- fit: è la corrispondenza tra la progettazione del computer, l'utente e l'attività per ottimizzare le risorse umane necessarie per eseguire l'attività.

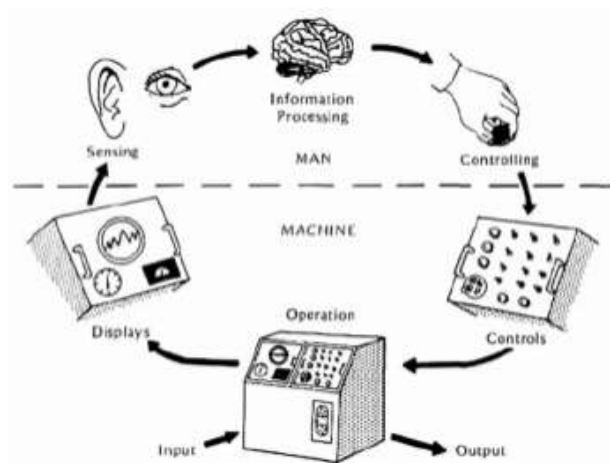


Fig. 60 Loop of interaction

Questo campo di ricerca abbiamo detto essere contaminato da studi provenienti da altri campi complementari ed incentrati ad esempio su *human factors* ed *ergonomics*. Questa contaminazione tra i campi ha permesso la nascita di una disciplina rilevante nello studio dell'interazione uomo-macchina, ovvero l'ergonomia cognitiva e che possiamo definire come quella branca dell'ergonomia che si occupa dell'interazione tra l'uomo e gli strumenti per l'elaborazione di informazione studiando i processi cognitivi coinvolti (percezione,

attenzione, memoria, pensiero, linguaggio, emozioni), e suggerendo delle soluzioni per migliorare tali strumenti.

Quando si intende migliorare l'utilizzo di strumenti tecnologici gli obiettivi che si devono tenere a mente sono quelli legati ai concetti di usabilità ed accessibilità, sapendo il loro significato e le loro differenze.

L'insieme di queste considerazioni devono essere rilevanti all'interno del processo che porta alla realizzazione concreta di prodotti e servizi e che può essere diviso concettualmente in due fasi, la progettazione (design) e la sua valutazione (evaluation).

Nelle sezioni che seguono verranno descritte teorie, approcci e strumenti utili a tali scopi e che sono stati seguiti ed utilizzati lungo il mio percorso dottorale.

### **3.2.1 Usabilità ed accessibilità: definizione, obiettivi e differenze**

La definizione del termine usabilità è stabilita dall'ISO (International Organization for Standardization) e universalmente riconosciuta come l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione con le quali determinati utenti raggiungono determinati obiettivi in determinati contesti<sup>13</sup>.

Il termine efficacia si riferisce all'accuratezza e completezza con cui gli utenti raggiungono specifici obiettivi, considerando il livello di precisione con cui l'utente riesce a realizzare i suoi scopi, misurandolo numericamente in qualche modo.

L'efficienza si riferisce a come la quantità di risorse spese in relazione all'efficacia, dove tali risorse potranno essere di natura differente secondo le situazioni e anch'esse soggette a quantificazione. Un esempio di questo assunto può essere il tempo impiegato per ottenere un determinato risultato o il numero di operazioni di un certo tipo da effettuare.

La soddisfazione, infine, è definita come l'assenza di disagio e la presenza di atteggiamenti positivi verso l'uso del prodotto.

Ulteriori aspetti caratterizzanti di un sistema usabile sono la:

- facilità di apprendimento: l'utente deve raggiungere buone prestazioni in tempi brevi;
- facilità di memorizzazione: l'utente deve poter interagire con un'interfaccia anche dopo un periodo di lungo inutilizzo, senza essere costretto a ricominciare da zero;
- sicurezza e robustezza all'errore: l'impatto dell'errore deve essere inversamente proporzionale alla probabilità che lo stesso accada.

Questo insieme di considerazioni si fondano sulla presenza dell'elemento base dell'interazione, ovvero l'azione che si esercita e che è caratterizzata dalla presenza di due aspetti principali: esecuzione e valutazione.

---

<sup>13</sup> ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts

L'aspetto dell'esecuzione si riferisce alla fase in cui pianifichiamo ed effettuiamo le azioni sul sistema, mentre la valutazione è la fase in cui confrontiamo quello che è successo con lo scopo che volevamo inizialmente raggiungere.

L'approfondimento di questo semplice modello dà luogo ad un modello più articolato che struttura l'esecuzione di un'azione in 7 passi differenti:

1. formulare lo scopo, (che scopo voglio raggiungere?);
2. formulare l'intenzione (cosa posso fare per raggiungere lo scopo?);
3. identificare l'azione (quali azioni devo compiere per raggiungere lo scopo?);
4. eseguire l'azione;
5. percepire lo stato del sistema (come è cambiato la situazione dopo l'azione?);
6. interpretare lo stato del sistema (lo stato è cambiato dopo le mie azioni ora è necessario interpretarlo nuovamente);
7. valutare il risultato rispetto all'obiettivo iniziale (il mio scopo è stato raggiunto?);

Questo modello, nella sua semplicità, può essere applicato a qualsiasi tipo di azione laddove per l'analisi di azioni complesse è richiesta la loro scomposizione in sotto-azioni più semplici, ciascuna delle quali comporta l'osservazione attraverso il modello dei sette stadi descritto.

La semplicità e la ricorsione dell'applicabilità del modello permettono di individuare con grande chiarezza i momenti in cui possono presentarsi dei problemi nel percorrere i sette stadi dell'azione.

Infatti è possibile che si possa incontrare delle difficoltà nel passare da uno stadio all'altro o, come dice Norman nell'attraversare i golfi che li separano. In particolare, ci sono due golfi che possono essere particolarmente difficili da superare:

- il golfo della esecuzione, che separa lo stadio delle intenzioni da quello delle azioni
- il golfo della valutazione, che separa lo stadio della percezione dello stato del mondo da quello della valutazione dei risultati.

Il superamento di questi golfi attraverso opportune tecniche di design permetterà di poter definire il sistema progettato usabile nella sua globalità.

Come mette bene in evidenza la definizione dell'ISO 9241, l'usabilità è un concetto relativo in quanto è necessario specificare per quali utenti, per quali obiettivi e in quali contesti d'uso il prodotto deve risultare usabile.

Per poter fare riferimento a prodotti e i servizi destinati a un'utenza generica, e che devono poter risultare usabili a tutti e in contesti altrettanto generici, è stato coniato il termine di usabilità universale (universal usability) (Shneiderman, 2000).

Al fine di valutare al meglio l'usabilità di prodotto, è possibile eseguire dei test con utenti reali chiamati a compiere delle semplici operazioni che caratterizzano il prodotto, evidenziandone pregi e difetti. Inoltre, è possibile procedere alla misurazione dell'usabilità attraverso

complesse tecniche, capaci di dare una valenza più o meno oggettiva, al grado di usabilità di un prodotto.

L'insieme di possibilità di valutazione variano a seconda del metodo, del tipo e dello stadio del progetto in cui questa pratica avviene, includendo diversi modelli con approcci differenti tra loro come i cognitive modeling methods, inspection methods, inquiry methods, prototyping methods, testing methods (Genise, 2002).

Il termine accessibilità nasce in ambito architettonico per indicare la possibilità di accedere agli edifici da parte di persone con disabilità motorie senza la presenza di barriere architettoniche che ne ostacolano la mobilità. Il termine è stato successivamente adottato anche nell'ambito dell'informatica per indicare la capacità di un dispositivo, di un servizio, di una risorsa o di un ambiente d'essere fruibile con facilità da una qualsiasi tipologia d'utente. Nell'uso comune, il termine accessibilità è associato soprattutto ai soggetti disabili, ma può anche venire usato spesso con una valenza più ampia, indicando la possibilità di accesso ai sistemi non solo da parte di portatori di handicap in senso stretto, ma anche da chi soffre di impedimenti temporanei o dispone di attrezzature obsolete o non idonee come ad esempio connessioni internet molto lente. Anche questi esempi costituiscono delle "barriere" che sono in grado di separare l'utente dagli strumenti informatici, compromettendone o impedendone l'utilizzo.

In tutti i paesi questo aspetto viene preso in grande considerazione da diverso tempo, tanto da portare alla creazione di appositi standard internazionali e alcune leggi nazionali che definiscono l'accessibilità per i sistemi informatici.

In Italia ad esempio è presente la Legge Stanca del 9 gennaio 2004, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale il 17 gennaio 2004 e resa operativa dal Decreto Ministeriale dell'8 Luglio 2005, mentre negli Stati Uniti è in vigore la cosiddetta Section 508 che viene seguita come linea guida in tutto il mondo.

Le pratiche di valutazione dell'accessibilità fanno riferimento ad una serie di strumenti che possono essere sia esistenti o da sviluppare appositamente e che devono essere utilizzati per condurre test specifici riguardo il caso e il sistema da analizzare.

A differenza dell'usabilità, il termine accessibilità viene utilizzato con un significato assoluto in quanto indicando un sistema come accessibile si vuole intendere che lo dovrebbe essere per tutti (o quasi).

Questa differenziazione permette la concezione di sistemi che possono risultare usabili ma non accessibili. Infatti, un sistema potrebbe risultare efficace, efficiente, soddisfacente e quindi usabile per utenti dotati di normali abilità e dotazione tecnologica, ma inaccessibile ad altri utenti che non si trovano nelle stesse favorevoli condizioni.



### 3.2.2 Interaction Design: l'arte di progettare artefatti

Nel dover progettare l'interazione e l'esperienza, un insieme di attività e pratiche che è importante conoscere e tenere a mente è quello che viene descritto con il termine "interaction design" (IxD).

L'origine di questa espressione e denominazione la si deve a Bill Moggridge, dirigente dell'azienda di design IDEO che, a cavallo degli anni '80 e '90, coniò il termine per indicare l'insieme di pratiche che lui e i suoi colleghi stavano adottando per lo sviluppo di servizi e prodotti.

In letteratura esistono diverse definizioni che differiscono per pochi aspetti l'una dall'altra, ma quella che racchiude in maniera più precisa il concetto di Interaction Design è quella che lo descrive come *"la progettazione di prodotti interattivi che supportino gli esseri umani nelle loro attività lavorative e nella loro vita quotidiana"* (Y. Rogers et al., 2011).

Lo scopo fondamentale dell'Interaction Design è quello di rendere possibile e facilitare al massimo per un essere umano l'uso e l'interazione con macchine (meccaniche e digitali), e la fruizione di servizi e sistemi complessi in modo proficuo e soddisfacente.

La natura dell'Interaction Design è di tipo multidisciplinare (Fig. 61) in quanto influenzata sia da aspetti appartenenti a studi

legati allo sviluppo informatico (ingegneria, ergonomia, informatica, design) sia ad altri ambiti di appartenenza diversa (psicologia cognitiva, la scienza del comportamento, etc..).

Per via di questa sua natura il riferimento allo studio e alla progettazione dell'interazione non è solo limitato alle modalità con cui essa avviene, ma è volto anche a valorizzare aspetti sia di carattere fisico, dinamico, intellettuale, che comportamentale ed emozionale della relazione che si stabilisce tra l'uomo e l'artefatto.

Inoltre questo termine è diventato col tempo sempre più accettato e utilizzato nel mondo della ricerca e dei professionisti del settore come termine ombrello di tutta una lunga serie di terminologie che venivano usati in precedenza con l'intento di mettere in rilievo la natura che era al centro del "design" (e.g. interface design, experience design, product design,..)

Questo insieme di pratiche ha 4 tipi di approcci (Saffer, 2007)(Tab. 11) per la progettazione

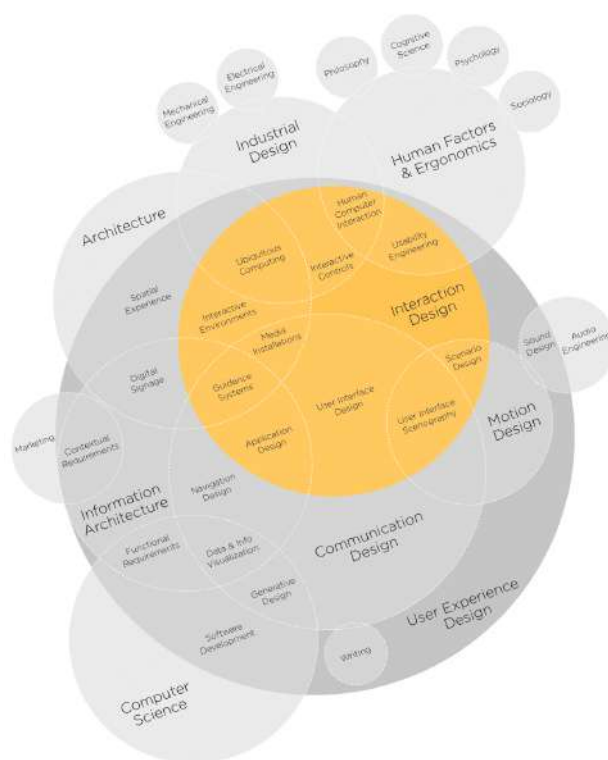


Fig. 61 Discipline IxD

e lo sviluppo di quelli che abbiamo fin qui descritto come artefatti digitali, ovvero quei prodotti che vengono realizzati a seguito della fase progettuale: un sito web, un'applicazione mobile o un'installazione interattiva. Tali approcci sono così riepilogabili:

- design centrato sull'utente (user-centered design, UCD);
- design centrato sulle attività (activity-centered design);
- design dei sistemi (systems design);
- design di genio (genius design);

Approccio	Idea generale	Utenti	Designer
Design centrato sull'utente	Si focalizza sui bisogni e obiettivi dell'utente	Guidano il design	Traduce i bisogni e gli obiettivi degli utenti
Design centrato sulle attività	Si focalizza sui compiti e sulle attività che bisogna completare	Eseguono le attività	Crea strumenti per le azioni
Design di sistemi	Si focalizza sui componenti di un sistema	Fissano gli obiettivi del sistema	Accerta che tutte le parti del sistema siano a posto
Design di genio	Si affida all'abilità e alla saggezza dei designer impiegati per realizzare i prodotti	Fonte di convalida	È sorgente dell'ispirazione

*Tab. 11 Approcci di design*

Il primo approccio si focalizza sui bisogni e gli obiettivi dell'utente, seguendo una filosofia che si basa sul concetto del "gli utenti lo sanno meglio" in quanto questi ultimi conoscono i propri bisogni, preferenze e aspettative nell'utilizzo di prodotti e servizi.

In questo tipo di approccio il designer deve trasferire la raccolta e la conoscenza di questi bisogni e obiettivi sulla progettazione e lo sviluppo del prodotto finale.

Il secondo approccio si focalizza invece sui task, cioè le attività che bisogna eseguire e completare per il raggiungimento di un obiettivo. In questo approccio i designer creano strumenti per permettere l'esecuzione di tali azioni.

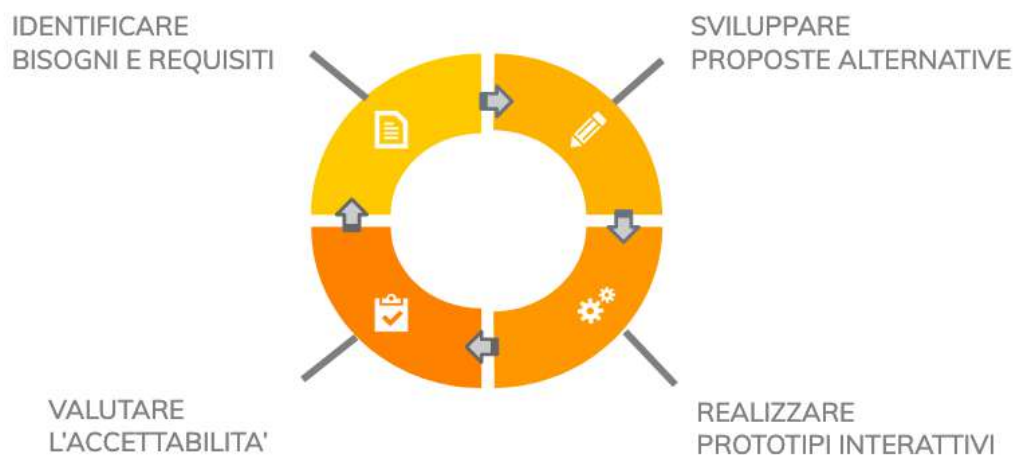
Il terzo approccio invece si focalizza sulle componenti di un sistema mettendo al centro le modalità d'uso e il contesto in cui questo viene utilizzato, con l'intento di prevedere i possibili usi del sistema e il designer deve accertarsi che tutte le parti del sistema siano al posto corretto e lavorino in maniera funzionale.

L'ultimo approccio pone l'accento sulla centralità del ruolo del designer, in quanto si affida quasi totalmente alla sua saggezza ed esperienza per le decisioni di design mentre gli utenti sono coloro che convalidano tali scelte. Da questo tipo di approccio possono nascere prodotti di grande effetto come è successo ad esempio con l'iPod di Apple.

A prescindere dal tipo di approccio che viene scelto di utilizzare, la pratica dell'interaction design si articola in un processo strutturato in 4 attività principali:

- identificazione dei bisogni e dei requisiti
- sviluppo di proposte alternative
- realizzazione di prototipi interattivi
- valutazione dell'accettabilità

Tale processo viene definito iterativo (Fig. 62) per via della natura intrecciata delle singole attività che portano gli artefatti ad essere rivisti e rivalutati diverse volte alla luce delle considerazioni emerse nelle diverse fasi del processo progettuale.



*Fig. 62 Processo iterativo dell'interaction design*

L'interaction design si basa inoltre sul seguire e perseguire l'utilizzo di diversi concetti e principi quali:

- l'uso di metafore;
- l'affordance;
- trasparenza;
- manipolazione diretta;
- aperto, molteplice, continuo

Il primo punto rimanda all'esempio di quello che ormai comunemente utilizziamo e conosciamo come desktop del computer. In questi sistemi, basati su finestre e icone, tutti gli elementi rimandano a significati comunemente adottati sul mondo del lavoro come cartelle e cestino. La forza di queste metafore viene data dalla coerenza con cui si legano i concetti e rispettando il fatto di applicare soluzioni comuni per problemi simili.

Il concetto di affordance rimanda alla presenza di aspetti visivi nel design che dovrebbero funzionare come inviti per l'interazione, ovvero che siano in grado di suggerire all'utente le azioni appropriate da eseguire sull'artefatto. Questo termine fu introdotto dallo psicologo James J. Gibson, che lo definì come l'insieme delle possibili azioni latenti nell'ambiente,

misurabili obiettivamente e indipendenti dall'abilità dell'utente di riconoscerle.

Successivamente Norman, applicando il termine all'interazione uomo-macchina, lo descrisse appunto come le possibili azioni che sono prontamente riconoscibili dall'utente, legando tale concetto non solo alle proprietà fisiche ma anche agli obiettivi, piani e valori di esperienze passate con altri tipi di oggetti e/o affordance.

Il principio della trasparenza riconosce all'utente la capacità di comprendere gli stati e il funzionamento del sistema con cui interagisce in modo da essere tenuto al corrente di eventuali cambiamenti, ottenendo quindi un'interazione fluida ed ottimale grazie all'utilizzo di tecniche legate al principio di fornire feedback descritto precedentemente con l'HCI.

Nel paradigma della "direct manipulation" si fa riferimento invece alla visibilità degli elementi che devono essere controllati. Le azioni che si possono effettuare devono poter essere reversibili e la presenza di comandi complessi deve essere implementata attraverso azioni dirette sugli oggetti.

I concetti di aperto, molteplici e continuo vengono introdotti in relazione al considerare le qualità di apertura, molteplicità e continuità rilevanti nel processo di comprensione del nostro rapporto con gli artefatti e quindi nell'individuazione di implicazioni di design (De Michelis, 1998).

La qualità di apertura di un artefatto rimanda al grado di accessibilità, apprendibilità e possibilità di essere combinato con altri artefatti come accade coi pezzi di lego. Questa qualità si lega alla sua capacità di essere usato e percepito in diversi modi, potenzialmente infiniti.

La molteplicità rimanda alla possibilità di poter realizzare artefatti con diverse componenti che condividono le stesse qualità, mentre l'aspetto di continuità fa riferimento alla possibilità di poter passare da un componente o una funzionalità all'altra senza interruzioni spaziali e/o temporali.

Seguendo il concetto in cui l'interazione può essere inteso come un dialogo che avviene tra uomo e macchina e applicandolo all'interaction design, viene utile citare la descrizione di John Kolko che nel suo libro "*Thoughts on interaction design*" (Kolko, 2010) lo descrive come:

*"the creation of a dialogue between a person and a product, system, or service. This dialogue is both physical and emotional in nature and is manifested in the interplay between form, function, and technology as experienced over time"*

Questa descrizione piuttosto recente ci dà modo di introdurre quelle che Gillian Crampton Smith descrive come "dimensioni" dell'interaction design, riprendendo il concetto dell'evoluzione avvenuta nel mondo del cinema (Moggridge, 2007).

Ciascuna delle dimensioni (Fig. 63) fa riferimento ad una diversa modalità di linguaggio che viene usata all'interno del dialogo uomo-macchina per comunicare con gli utenti e sono classificate nel seguente modo:

- 1D Words**, sono le parole e devono essere significative, semplici da capire, comunicare informazioni agli utenti senza opprimerli;
- 2D Visual Representations**, sono gli elementi grafici come immagini, tipografia e icone con cui gli utenti interagiscono. Questi di solito integrano le parole utilizzate per comunicare o rafforzare le informazioni fornite agli utenti;
- 3D Physical Objects or Space**, riguarda gli oggetti usati per l'interazione (controller, tastiere, touchscreen, device, etcetc) e lo spazio fisico in cui questa avviene;
- 4D Time**, inteso sia come i cambiamenti che avvengono nell'artefatto col trascorrere del tempo (video, suoni, animazioni), sia come il tempo trascorso dagli utenti nell'uso dell'artefatto, con la capacità di comprendere l'evoluzione delle loro interazioni e monitorarne lo stato di avanzamento.

Successivamente questa prima classificazione è stata arricchita da Kevin Silver<sup>14</sup>, senior interaction designer at IDEXX Laboratories, con l'aggiunta di una quinta dimensione rilevante ovvero:

- 5D Behaviour**, è quello che definisce le interazioni con l'artefatto. Include i meccanismi previsti di un prodotto tra cui quelli legati ai concetti di azione, operazione, presentazione e reazione.

La combinazione di queste dimensioni concorre a creare quella che viene definita come "form of interaction" - cioè la forma dell'interazione -, ovvero il risultato di questo dialogo - conversation - fra uomo e macchina.

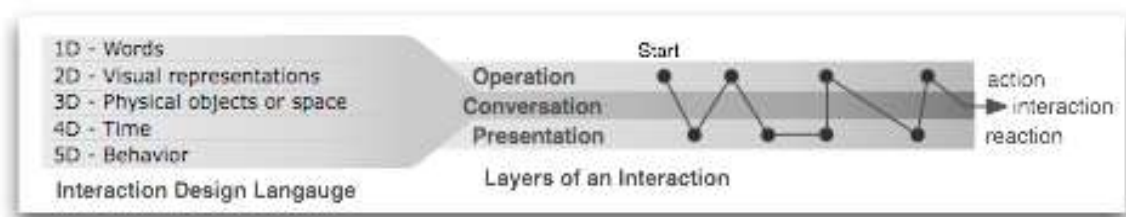


Fig. 63 Dimensioni dell'interaction design

Oltrepassando i concetti fin qui astratti viene da chiedersi quali siano gli elementi di design che un interaction designer deve poter e saper manipolare al fine creare artefatti di qualità. La risposta a questa domanda viene data dalle parole *movimento, spazio, tempo, aspetto visivo, consistenza fisica e suono* (Saffer, 2007).

<sup>14</sup> What Puts the Design in Interaction Design, Silver K, <https://www.uxmatters.com/mt/archives/2007/07/what-puts-the-design-in-interaction-design.php>

Il movimento è alla base dell'interazione in quanto è quel qualcosa che da luogo a variazioni sufficienti in gradi di innescare azioni e comunicazioni.

Lo spazio fornisce contesto al movimento e può essere sia 2D che 3D a seconda che questo spazio sia quello di uno schermo digitale, lo spazio fisico e analogico che tutti abitiamo o quello virtuale replicato all'interno di esperienze immersive.

Il tempo è ciò che crea il ritmo dell'interazione, dove il tempo digitale non è paragonabile a quello umano in quanto il tempo digitale viene misurato in millisecondi e i cambiamenti in questo lato possono essere anche istantanei. Inoltre la variabile tempo va tenuta in considerazione anche per tutte le tematiche che hanno a che fare con l'esecuzione dei task e la gestione delle infrastrutture HW e SW, in quanto latenze o tempi eccessivamente ridotti potrebbero creare frustrazione e rabbia negli utenti rendendo gli artefatti poco invitanti o addirittura inutilizzabili.

L'aspetto visivo fornisce indizi su come l'oggetto si comporta e su come dovremmo interagire con esso a seconda delle proprietà che esso possiede e ci comunica.

Questo elemento è collegato al concetto di affordance precedentemente introdotto e che abbiamo detto essere influenzato da conoscenze contestuali e culturali in grado di suscitare reazioni diverse sotto il punto di vista di utilizzo, contenuto emotivo ed altri attributi significativi come l'economicità, l'utilità, la semplicità e la durevolezza dell'oggetto.

Controllare questo elemento significa saper giocare a livello di design con proporzioni, struttura, dimensioni, forma, peso e colore dell'oggetto da realizzare.

La consistenza fisica (texture), anche se per certi versi possiamo collegarla o includerla all'elemento dell'aspetto visivo di un oggetto, va trattata separatamente in quanto anch'essa è in grado di trasmettere una propria affordance e un proprio contenuto emotivo grazie all'uso di vibrazione e calore.

Il suono è un elemento che a volte può risultare minore in termini di impegno nelle fasi di progettazione e sviluppo di artefatti, ma non per questo va sottovalutata la sua importanza, specialmente quando abbiamo a che fare con l'implementazione di avvisi, notifiche o dispositivi ambientali.

Questo ultimo elemento è composto da tre variabili differenti che possono essere regolate al fine di ottenere il risultato desiderato e cioè la tonalità (pitch), il volume e qualità del timbro o tono.

Controllare tutti questi elementi, saperli manipolare con coscienza e sapienza fanno la differenza nella progettazione generale e anche nei dettagli di ogni tipo di artefatto.

Dal punto di vista invece tecnico e pratico, per poter quindi progettare concretamente artefatti, un professionista o ricercatore nel campo dell'interaction design si avvale di strumenti suddivisibili in due categorie derivanti fondamentalmente dalla tipologia della loro natura fisica, cioè strumenti digitali e strumenti materiali.

All'interno della prima divisione possono essere raggruppati tutti quelli che sono i software che possono dare una mano all'interaction designer nelle varie fasi di progettazione.

Questi strumenti subiscono un'ulteriore suddivisione in quattro sotto-categorie diverse a seconda del loro utilizzo:

- **diagrammazione**, utili a realizzare grafici e diagrammi per avere un concept schematico e visuale del progetto;
- **disegno o illustrazione**, per la costruzione di modelli simulativi dei servizi e prodotti;
- **prototipazione**, vengono utilizzati per creare i primi prototipi tipicamente di prodotto digitali anche se nell'ultimo periodo grazie allo sviluppo della stampa 3D questo strumento è esteso alla progettazione di prodotti fisici;
- **presentazione**, utili per la creazione di testi e diapositive in cui discutere ed illustrare il proprio lavoro.

Nonostante il grande utilizzo di questi strumenti e le grandi potenzialità che hanno ormai ai giorni nostri, va però detto che la presenza di strumenti di natura fisica non è stata ancora del tutto rimpiazzata o eliminata.

Il motivo di questa continua e costante presenza la si deve alla velocità d'uso e all'immediatezza dei primi risultati su cui poter ottenere feedback e quindi effettuare le opportune considerazioni.

Prima di cominciare a metter mano su qualcuno degli strumenti digitali prima proposti vi è quasi sempre un primo passaggio effettuato con carta, matite, penne o lavagne.

Gli strumenti che emergono da questa tipologia di natura fisica sono:

- **schizzi e modelli**, possono essere assemblati in poco e dare una prima idea del concept suscitando commenti e riflessioni;
- **storyboard**, illustrazione con parole ed immagini di come sarà l'esperienza di un prodotto o servizio;
- **analisi e flussi dei compiti**, lista delle attività che si deve supportare e la loro seguente messa in ordine;
- **casi d'uso**, servono per descrivere a grandi linee le funzionalità del prodotto;
- **mood board**, consiste in un collage di elementi reperiti su diverse fonti con l'intento di esplorare il panorama emotivo di un prodotto;
- **wireframe**, illustrano la struttura e la gerarchia delle informazioni e delle funzionalità;
- **prototipi**, possono esistere sia sotto forma cartacea che fisica e precedere a volte quella che sarà la versione digitale o interattiva.

L'insieme di questi strumenti, uniti a tutti i concetti introdotti in questa sezione dell'elaborato, concorrono a formare le fondamenta dell'Interaction Design utili alla progettazione ed al

successivo sviluppo di prodotti intelligenti ed ingegnosi, affidabili, reattivi, ludici e piacevoli da usare.

### **3.2.3 User Centered Design: la centralità dell'utente nella progettazione**

Abbiamo visto precedentemente come nelle pratiche dell'interaction design di fatto esistano quattro tipi di approcci differenti e come differiscono tra loro per la centralità del loro focus. Tra i quattro citati, quello che è stato maggiormente rilevante per lo scopo di questo lavoro è quello che fa dell'utente parte centrale delle sue attenzioni e cioè l'User Centered Design (UCD).

Il termine ha avuto origine nel laboratorio di ricerca di Donald Norman presso l'Università della California di San Diego (UCSD) negli anni '80 ed è stato ampiamente utilizzato dopo la pubblicazione di un libro intitolato "*User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*" (Norman & Draper, 1986).

È sempre Norman che, in studi seguenti alla prima pubblicazione sul tema, approfondisce questo concetto ed approccio elaborando quelli che sono sette principi da seguire nelle pratiche di design (Donald Norman, 1988):

1. usare sia la conoscenza nel mondo sia la conoscenza interiorizzata;
2. semplificare la struttura dei compiti;
3. rendere le cose visibili riducendo i cosiddetti "golfi di esecuzione e di valutazione";
4. impostare bene le correlazioni, sfruttando un mapping naturale;
5. sfruttare il potere dei vincoli, sia naturali che artificiali;
6. progettare tendendo in considerazione la possibilità di errori;
7. quando tutto il resto fallisce, basarsi su standard internazionali riconosciuti;

All'interno di questo processo vengono messi in grande rilievo i bisogni, i desideri e i limiti dell'utente con l'intento di massimizzare l'usabilità del prodotto stesso in modo che l'utente possa intuire il da farsi e capire cosa sta succedendo.

Seguendo questo tipo di approccio infatti, l'artefatto non viene più progettato con la pretesa di imporre all'utente un apprendimento delle sue caratteristiche e modalità d'uso, ma piuttosto viene modellato sulle sue esigenze e volontà influenzando i processi legati alla progettazione e allo sviluppo di artefatti.

Il coinvolgimento dell'utente può avvenire a diversi livelli di profondità e durante diverse fasi del processo di design, per questo motivo la figura dell'utente in questo processo non è solamente riconducibile a coloro che andranno ad usare un artefatto per raggiungere un obiettivo specifico.

In un lavoro interessante che è possibile trovare in letteratura a tal proposito (Eason, 1988), vengono identificate e descritte tre differenti tipologie di utenti legate al grado di utilizzo e interazione con l'artefatto realizzato o da realizzare.



Secondo questo lavoro gli utenti possono essere classificati in:

- **primari**, i reali utilizzatori dell'artefatto;
- **secondari**, quelli che usano saltuariamente o tramite un intermediario l'artefatto;
- **terziari**, quelle persone che saranno interessate dall'uso del manufatto o che prenderanno decisioni in merito al suo acquisto.

Nella progettazione di un prodotto o un servizio di successo intervengono quindi diverse persone e diverse figure che hanno ciascuna diritto o dovere di intervenire a seconda del ruolo che ricoprono o a seconda della fase progettuale in cui il ciclo si trova.

Queste persone sono generalmente identificate con il termine di stakeholders, che si riferisce agli individui o alle organizzazioni che hanno un interesse legittimo nei confronti del sistema o che hanno un'influenza (diretta o indiretta) sull'individuazione dei requisiti (Kotonya & Sommerville, 1998).

Questa definizione porta quindi ad includere nel gruppo degli stakeholders persone che appartengono a diverse aree e non solo al ristretto gruppo di individui che utilizzano il prodotto, ma anche a quelli appartenenti ad esempio al team di sviluppo e ai manager. L'appartenenza a gruppi diversi farà emergere punti di vista (Fig. 64) e necessità differenti con livelli di influenza diversi quindi sulle fasi di progettazione e sviluppo.

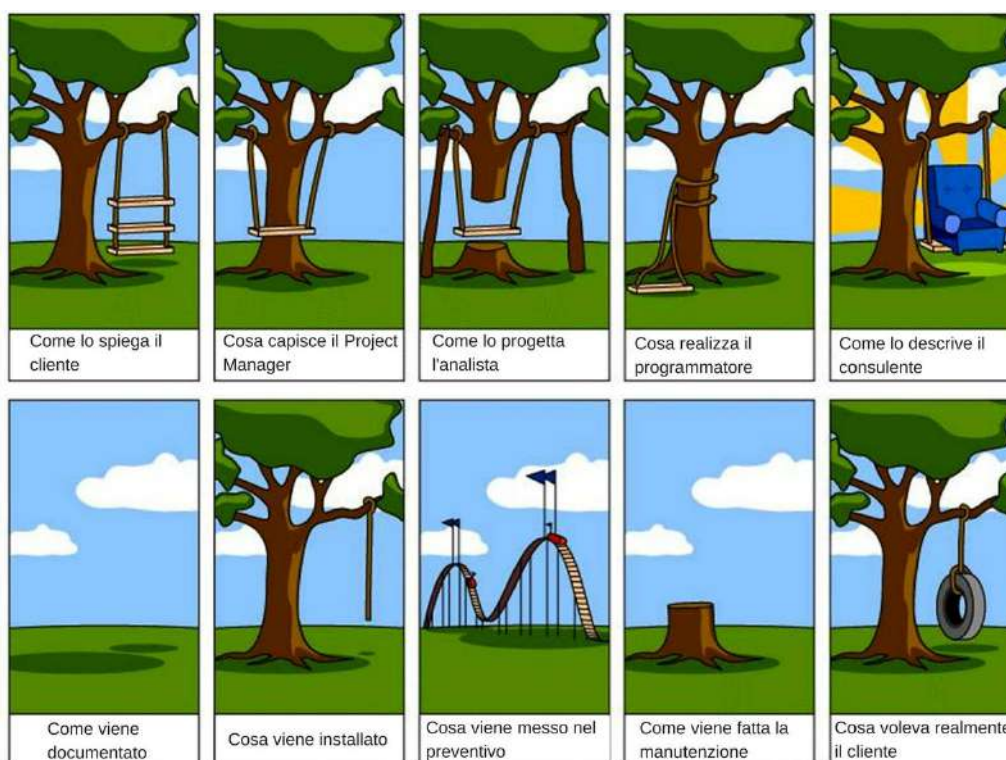


Fig. 64 Differenze tra visioni degli stakeholders

Secondo tutte queste considerazioni quindi i modi in cui gli utenti partecipano possono variare, potendo avere un coinvolgimento relativamente leggero in quanto consultati esclusivamente in merito alle loro esigenze oppure dediti all'osservazione e alla

partecipazione ai test di usabilità. D'altra parte, il loro coinvolgimento può anche essere più intenso con gli utenti che partecipano durante la progettazione come fossero partner dello sviluppo (Abrás et al., 2004).

Da questi presupposti nasce quindi una categorizzazione di quelle che sono le possibili modalità di coinvolgere l'utente (Tab. 12) a seconda della fase della progettazione con scopi differenti.

Tecnica	Scopo	Fase della progettazione
Interviste e questionari	Raccogliere dati relativi a esigenze e aspettative degli utenti.	Prima dell'inizio del ciclo di progettazione
	Raccolta di dati qualitativi in relazione alla soddisfazione delle esigenze degli utenti; valutazione del design del prodotto finale.	Fase finale
Focus group	Includere diverse tipologie di stakeholder per discutere di questioni e requisiti.	Fase iniziale del ciclo di progettazione
Osservazioni sul posto	Raccogliere informazioni riguardo all'ambiente in cui l'artefatto verrà utilizzato.	Fase iniziale del ciclo di progettazione
Giochi di ruolo e simulazioni	Valutare alternative di design, proposte aggiuntive e raccogliere informazioni sulle esigenze e sulle aspettative degli utenti.	Fase iniziale e intermedia del ciclo di progettazione
Test di usabilità	Raccolta di dati quantitativi sull'usabilità del prodotto finale.	Fase finale

*Tab. 12 Modalità coinvolgimento utenti*

L'obiettivo finale di questo tipo di approccio è quello di avere risvolti positivi per quel che concerne l'usabilità di un artefatto e la user-experience dell'utente che vi interagisce.

### 3.2.4 User Experience: definizione e strumenti per la valutazione

Il concetto di user-experience venne introdotto da Donald Norman con l'obiettivo di andare oltre i limiti di altri termini fino a quel momento utilizzati come *"human interface"* o *"usability"* (Norman et al., 1995), in modo da creare un termine che potesse ricoprire tutti gli aspetti legati alla relazione esistente tra una persona e un prodotto, servizio o sistema.

Tale termine infatti non include solo le percezioni personali su aspetti quali l'utilità, la semplicità d'utilizzo e l'efficienza del sistema, ma coinvolge anche tutti gli aspetti esperienziali, affettivi, l'attribuzione di senso e di valore collegati ad un prodotto o servizio, all'interazione con esso e quanto ad esso correlato, come anche definito dallo standard ISO

9241-210<sup>15</sup>.

Le fasi di progettazione, le pratiche di design e gli sviluppi legati alla user experience focalizzano quindi la loro attenzione non sulla valorizzazione dell'artefatto in quanto tale, ma sul vissuto dell'utente in relazione ad esso. Un'importante discussione in merito a quelli che sono i fattori che possono determinare la risposta umana durante l'instaurarsi di questo tipo di relazione è quella condotta da Norman in cui descrive l'esistenza di 3 livelli differenti che agiscono sull'emozione e la percezione di ogni singolo individuo (Norman, 2007).

Il primo livello è legato allo strato automatico e precablato del nostro cervello e viene definito viscerale; il secondo denominato comportamentale è collegato ai processi cerebrali che controllano il comportamento quotidiano; infine l'ultimo livello è la parte contemplativa del cervello e per questo definita riflessiva.

Questo fatto di derivare ciascuno da un diverso ambito del cervello richiede necessità ed attenzioni differenti che si riflettono nei processi implicati durante le fasi di design.

A livello viscerale comandano caratteristiche legate alla connotazione fisica di oggetti e strumenti come aspetto, sensazioni e suono e che ci porta ad esprimere giudizi qualitativi come "carino", "bello", "brutto". In questo stadio del design entrano in gioco aspetti anche culturali e personali che vanno tenuti in considerazione mentre si progetta e sviluppa un artefatto che dovrà essere utilizzato, curandone quindi la grafica, la pulizia, la bellezza oltre le sensazioni fisiche e strutturali.

Nel livello comportamentale invece non è l'aspetto ciò che conta, ma la prestazione e altre considerazioni basate sull'utilizzo come la funzione, la comprensibilità, l'usabilità e la sensazione fisica.

L'ultimo livello, quello riflessivo, è legato al messaggio, alla cultura e al significato di un prodotto e del suo impiego, andando a toccare componenti collegate ai ricordi personali che possono essere evocati, l'immagine che abbiamo di noi stessi e il messaggio che il prodotto è in grado di trasmettere agli altri.

Il processo di ottimizzazione della user experience è per sua natura circolare e prevede una continua interazione con gli utenti che, con i loro feedback, ne guidano la definizione al fine di ottimizzare la loro relazione con l'artefatto e migliorare il grado di soddisfazione percepito durante l'uso.

Per misurare questo grado di soddisfazione dell'utente esistono diverse modalità sia esplicite che implicite.

---

<sup>15</sup> ISO 9241-210:2010. Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human-centered design for interactive systems (formerly known as 13407). International Organization for Standardization (ISO). Switzerland.

I metodi espliciti della valutazione esplorano le riflessioni dell'utente sui propri sentimenti o pensieri, raccogliendo le sue opinioni attraverso dei test di usabilità, valutazione delle emozioni, metodi creativi o la compilazione di reportage e questionari.

Un piccolo approfondimento per questa modalità va fatto introducendo lo User Experience Questionnaire (UEQ), in quanto verrà successivamente utilizzato nella descrizione dei progetti realizzati.

Lo UEQ rientra nella categoria degli strumenti per la valutazione della UX di tipo esplicito e longitudinale, in quanto l'utente intervistato è consapevole di essere sottoposto a un test in cui gli si chiede esplicitamente di riflettere sui propri pensieri e opinioni, ed è longitudinale, poiché viene somministrato dopo l'utilizzo del prodotto da parte dell'utente (Laugwitz et al., 2008; Schrepp et al., 2014).

Tale strumento prevede l'utilizzo di scale apposite per poter misurare sia parametri di usabilità (qualità pragmatiche) sia aspetti di natura soggettiva legati all'accettabilità dei prodotti da parte degli utenti (qualità edoniche).

La struttura dell'UEQ è di natura semplice, con item organizzati secondo la struttura del differenziale semantico, per cui ogni elemento è rappresentato da due termini con significati opposti. L'ordine di tali termini è randomizzato: metà degli item di una scala inizia con il termine positivo e l'altra metà con il negativo. La preferenza può essere espressa su una scala che va da -3 a +3, dove -3 rappresenta la risposta più negativa, 0 una risposta neutra, e +3 la risposta più positiva.

L'UEQ indaga riguardo aspetti relativi alle seguenti 6 scale:

- attrattiva: l'impressione generale del prodotto, la piacevolezza e l'attrattiva;
- chiarezza: la facilità nel familiarizzare con il prodotto e nell'imparare ad usarlo;
- efficienza: la velocità con cui il prodotto reagisce e supporta gli utenti nel realizzare gli obiettivi in modo rapido e pragmatico;
- affidabilità: la sicurezza dell'utente, la capacità di controllare l'interazione e la sensazione di essere supportato nell'esecuzione delle attività;
- stimolazione: la motivazione, l'esaltazione e l'interesse suscitati nell'utente da parte del prodotto;
- novità: la creatività del design del prodotto e la capacità di suscitare curiosità negli utenti.

L'insieme di questi aspetti hanno reso il questionario UEQ uno strumento validato e un modo comunemente accettato per misurare la User Experience dei prodotti interattivi, essendo anche disponibile in più di 20 lingue e comprensivo di materiale supplementare per l'analisi dei dati.

I metodi impliciti di valutazione della User Experience invece si basano sulla misurazione di ciò che gli utenti non esprimono in maniera diretta e/o cartacea, ma attraverso l'utilizzo di tecnologie e metodi specifici quali:

- l'eye-tracking: il riconoscimento e l'analisi dei movimenti degli occhi;
- l'attention tracking: il tracciamento dello spostamento del fuoco dell'attenzione dell'utente;
- lo user tracking: l'analisi degli spostamenti dell'utente;
- la misurazione delle reazioni cutanee;
- l'elettroencefalografia: il monitoraggio dell'attività del cervello;
- gli studi di tipo osservativo: l'osservazione del linguaggio del corpo dell'utente

L'insieme di queste conoscenze e considerazioni permettono di ottimizzare lo studio e le pratiche legate all'User Experience Design ovvero il processo volto ad aumentare la soddisfazione e la predisposizione dell'utente migliorando l'usabilità, la facilità d'uso e il piacere fornito nell'interazione con l'artefatto.

### **3.3 CUTE: ideazione di un modello a 4 variabili**

Nel corso delle mie esperienze personali, professionali e formative ogni volta che mi avvicinavo allo sviluppo di artefatti digitali di qualsiasi tipo mi sono sempre reso più conto come fosse importante la parte di progettazione e quindi tutte quelle fasi descritte nella sezione precedente quando sono stati introdotti teorie e metodi.

Per mia natura, orientata al raggiungimento dell'obiettivo, è capitato talvolta di passare direttamente allo sviluppo in quanto mi sembra facile e immediata l'analisi dei bisogni e requisiti richiesti dal progetto in questione. Purtroppo è anche capitato invece che, seguendo il processo iterativo dell'interaction design, in una seconda analisi più approfondita di quanto sviluppato emergessero delle considerazioni che con maggiore calma in una fase precedente avrebbero portato benefici in termini di tempo e risorse impiegate.

Nel mio percorso di ricerca, data la volontà di progettare e sviluppare molteplici progetti e con il desiderio di evitare sprechi di vario tipo ho voluto quindi concentrarmi, ogni volta che affrontavo un progetto, sulla descrizione dell'attività in modo da seguire analisi un po' più curate e ponderate.

Nel mondo della ricerca è importante infatti seguire metodi e schemi che a livello generale ti permettano di descrivere i problemi in modo da, come abbiamo visto precedentemente con l'introduzione delle pratiche di interaction design, ricavarne informazioni utili alla loro risoluzione.

Un approccio, basilico, che viene sempre utile e comodo è quello di porsi delle domande circa lo scenario e il problema o il progetto che si intende sviluppare in modo da far emergere vincoli e requisiti.

Fin dai primi studi scolastici, ci sono stati due metodi che mi sono stati descritti e che ho sempre cercato di riutilizzare, nel corso della mia vita professionale ed educativa, per riuscire a darmi delle risposte, permettendomi di giungere a delle conclusioni quando dovevo affrontare un problema.

Il primo è il metodo sperimentale di Galilei, articolato in fasi dedicate all'osservazione del fenomeno di interesse, formulazione di ipotesi, verifica e discussione finale sulla base dei dati analizzati e registrati.

Il secondo è il cosiddetto metodo delle 5W, *Five Ws*, considerato un pilastro nelle procedure di problem solving e che trova applicazione con successo in un range di operazioni che varia dal semplice chiarirsi le idee fino a progettare artefatti di diversa natura (un romanzo, un articolo di giornale, una campagna media, un prodotto, un servizio, un'innovazione, ecc.). Questo metodo, che alcuni allargano aggiungendo un sesto elemento con la lettera H ottenendo quindi la sigla 5W1H (Fig. 65), permette di rispondere alle domande:

- Who? [«Chi?»]
- What? [«Che cosa?»]
- When? [«Quando?»]
- Where? [«Dove?»]
- Why? [«Perché?»]

Volendo includere il sesto elemento H alla lista bisogna aggiungere:

- How? [«Come?»]

Rispondere a queste domande mi ha sempre dato la possibilità di concepire una mappa

mentale della situazione e scoprire più facilmente connessioni tra gli elementi che si sta valutando, con la possibilità di rivederla e aggiornarla con successive analisi.

Applicando questo approccio alle research questions focalizzate su ciò che caratterizza un'esperienza immersiva insieme ad un'analisi e un approfondimento di tutte le considerazioni descritte nelle precedenti sezioni di questo elaborato, si può delineare una lista di elementi caratterizzanti da tenere in considerazione durante la progettazione di questo tipo di esperienze e così definiti: *social contexts, environment, content, fruition, people relation, people disabilities, involved display, tracking e outcomes*.

L'elemento del social contexts riguarda il dominio applicativo in cui l'esperienza immersiva viene vissuta e può variare tra i cinque definiti e descritti nel capitolo precedente (home, work, public, education, health).

Il secondo elemento, quello dell'environment, è concettualmente basato sul virtual continuum di Milgram e serve a descrivere i gradi di realtà fisica e virtuale presenti e coinvolti nell'esperienza immersiva.



Fig. 65 Modello 5W+1H

La sua variazione va da un ambiente interamente reale ad uno puramente virtuale, con i gradi intermedi caratterizzati da sola combinazione o anche interazione tra le due realtà in gioco.

L'ambiente puramente reale è caratterizzato dalla mancanza di stimoli che stanno alla base di percezioni virtuali o ricostruite, ma dalla presenza di componenti digitali/informatiche che integrate all'interno di elementi reali e tangibili permettono di creare un sistema che genera un'esperienza immersiva.

Il terzo elemento è quello del content, il quale descrive la tipologia e la forma di contenuto che si devono veicolare all'interno dell'esperienza e che può essere di vario tipo come learning and training, psycho- and physiotherapy, virtual journeys and tour, interactive simulation o il gaming.

L'elemento successivo è la fruition, che si riferisce al grado di copresenza degli utenti rispetto all'immersione e all'interazione col sistema immersivo. Questa variazione include alternative sia in cui si trova un solo utente immerso nell'esperienza in maniera solitaria o con audience, così come la possibilità di avere un numero maggiore di utenti immersi, per poi in un'ultima ipotesi avere utenti che vivono l'esperienza immersiva solo in qualità di spettatori.

Esistono poi due elementi che riguardano in maniera più specifica le persone coinvolte nell'esperienza immersiva, ovvero la people relation e le people disabilities.

L'elemento della people relation descrive il grado di relazione sociale esistente tra gli utenti che interagiscono col sistema immersivo e può essere *none* laddove gli utenti vivano in maniera separata ed indipendente l'esperienza immersiva, così come invece avere una relazione di tipo *subordinate* laddove vi siano dei ruoli da rispettare oppure *equal* dove gli utenti si influenzano a vicenda ma sono tutti lo stesso piano.

L'aspetto delle people disabilities tiene in considerazione la presenza di possibili disabilità sia di tipo cognitivo che fisico.

L'elemento dell'involved display è quello che delinea l'insieme delle interfacce che devono essere utilizzate e coinvolte nella stimolazione sensoriale all'interno dell'esperienza e può assumere valori legati alle diverse tipologie di display definite precedentemente ovvero *visual, aural, haptic, olfactory, taste, vestibular*.

Infine, restano gli elementi di tracking e outcomes, che indicano rispettivamente la possibilità di un'esperienza immersiva di dover tracciare il movimento nello spazio di corpi umani, parti di esso, oppure oggetti e l'obiettivo o gli obiettivi da perseguire come finalità.

Gli outcomes fanno riferimento alla tabella precedente (Tab. 9) in cui si descrivono i "positive outcomes" ovvero learning effectiveness, learning engagement, learning attitude, task performance, reduced disease symptoms, intention to use.

Elemento	valori	descrizione
social context	Home Work Public Education Health	Il dominio applicativo in cui l'esperienza immersiva viene vissuta
environment	Only real (totalmente fisico) Combined ma overlay Combinato ed interagente Only virtual (totalmente digitale)	Il grado di realtà fisica e virtuale presenti e coinvolti nell'esperienza immersiva
content	Learning and training Psycho- and physiotherapy Virtual journeys and tour Interactive simulation Gaming	La tipologia e la forma di contenuto che si devono veicolare
fruition	One alone One + audience Multi Multi + audience Audience only	Il grado di copresenza rispetto all'immersione e all'interazione col sistema immersivo
people relation	none subordinate equal	Il grado di relazione sociale esistente tra gli utenti che interagiscono col sistema immersivo
people disabilities	cognitive physical	La considerazione della presenza di possibili disabilità
involved display	visual aural haptic olfactory taste vestibular	L'insieme delle interfacce che sono utilizzate e coinvolte nella stimolazione sensoriale
tracking	body parts object	La possibilità di dover tracciare il movimento nello spazio di corpi umani o oggetti
outcomes	Learning effectiveness Learning engagement Learning attitude Task performance Reduced disease symptoms Intention to use	L'obiettivo o gli obiettivi da perseguire

*Tab. 13 Elementi caratterizzanti esperienza immersiva*

Sulla base delle precedenti considerazioni erano emersi a livello di outcomes anche altre variazioni di tipo negativo, ma si presuppone che questi non facciano parte degli obiettivi che si intende perseguire a livello di progettazione e sviluppo. Inoltre, queste ultime variazioni, seppure rilevanti e da annotare qualora dovessero presentarsi, rientrano più facilmente in una serie di possibilità che possono emergere successivamente in fase di valutazione



dell'esperienza, e per tali motivi vengono esclusi dalla lista degli elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva.

Seguire questo schema permette di utilizzare un processo logico che aiuta a scomporre il problema in ambiti più ristretti, potendo quindi concentrarsi sui singoli aspetti senza disperdere le energie sulla grandezza dell'intero problema.

Questo approccio ha portato a trovare ed analizzare ripetutamente delle componenti comuni all'interno dei diversi progetti, le cui analisi erano influenzate dagli elementi caratterizzanti prima introdotti. Tali componenti possono essere così riepilogate:

- contesto, nel modello menzionato come *context*;
- utenza, nel modello menzionato con *users*;
- tecnologie, nel modello menzionato con *technology*;
- competenze, nel modello menzionato con *expertise*;

L'insieme delle riflessioni ha fatto in modo che queste componenti venissero organizzati in un modello a quattro variabili, denominato CUTE (**C**ontext, **U**sers, **T**echnology, **E**xpertise), utile alla progettazione e sviluppo di esperienze immersive.

## CUTE MODEL

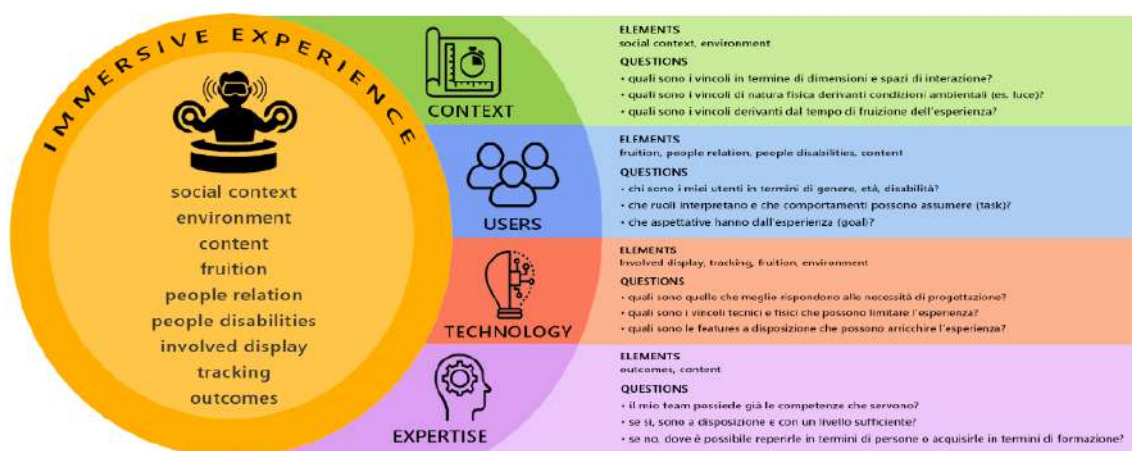


Fig. 66 Modello CUTE

L'unione delle conoscenze e delle considerazioni provenienti dall'analisi di ciascuno dei quattro fattori permette infatti di avere quella consapevolezza necessaria a fare scelte che facilitino la realizzazione di prototipi e di prodotti finali, riducendo il rischio di incorrere in problemi o errori rispetto agli elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva.

Nelle prossime sezioni si descriverà il modello CUTE riportando per ciascuna variabile gli elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva coi quali è in relazione, argomentazioni di letteratura per meglio inquadrare la tematica della singola componente ed infine precise domande a cui rispondere in fase di progettazione.

### 3.3.1 C come Context

Il primo aspetto fa riferimento al fatto di conoscere dove e in che situazioni l'artefatto sarà utilizzato, in modo da permettere l'emergere di considerazioni importanti per la progettazione riguardo agli elementi social context ed environment che caratterizzano l'esperienza immersiva.

Grazie ad una buona analisi infatti è possibile avere una visione di quelli che sono limiti e vincoli ambientali da non trascurare.

In letteratura esistono diverse definizioni che intendono descrivere gli aspetti principali di questo termine, ma quella che maggiormente lo descrive in maniera completa è quella che lo vede come *una qualsiasi informazione che può essere utilizzata per caratterizzare la situazione di un'entità dove con entità si intende una persona, un luogo o un oggetto considerato pertinente all'interazione tra un utente e un'applicazione, incluso l'utente e le applicazioni stesse* (Abowd et al., 1999).

All'interno di questa definizione emergono quelle che sono le categorie principali di contexts che caratterizzano la situazione in cui un'entità è coinvolta, ovvero location, identity, activity e time.

Le singole categorie danno accesso ad una serie di informazioni ed una successiva loro combinazione dà accesso ad ulteriori informazioni secondarie in grado di estendere e completare il quadro di conoscenza e comprensione del contesto.

Un altro importante studio, condotto per la formulazione di un modello che descrivesse a cosa ci si riferisce quando si parla di context, ha permesso la creazione di una struttura organizzata in due fattori principali, cioè *human factors* e *physical environments* (Schmidt et al., 1999).

Questa struttura comprende per gli aspetti human factors le variabili di *use, social environment e task* mentre per la parte del physical environments le variabili *condition, infrastructure e location*.

Estendendo questi concetti alla dimensione sociale dell'individuo, e quindi alle interazioni che l'individuo può creare con altri individui o sistemi informativi, si ottengono i cinque contesti sociali precedentemente descritti, ovvero home, work, public, education e health.

Il concetto di context può essere anche interpretato dal punto di vista della tecnologia, infatti spesso si parla di applicazioni context-aware, cioè che sono consapevoli del contesto in cui ci si trova e grazie a questo possono adattare il loro comportamento.

La consapevolezza del contesto viene utilizzata per progettare interfacce utente innovative e viene spesso discussa come parte integrante di discipline con forti legami con la 'Human Computer Interaction' come *ubiquitous and wearable computing*.

Mentre la wearable computing è una disciplina che riguarda principalmente gli sforzi di includere dispositivi intelligenti all'interno di oggetti che possono essere indossati da un

utente, inclusi abbigliamento, orologi, occhiali, scarpe e articoli simili (Starner, 1996), l'ubiquitous computing è una disciplina in cui l'elaborazione delle informazioni è integrata direttamente all'interno di oggetti e attività di uso quotidiano (Weiser, 1993). La natura di quest'ultima influenza altri settori e discipline come il distributed computing, mobile computing, location computing, mobile networking, sensor networks, context-aware smart home technologies e artificial intelligence (Poslad, 2011).

Tale disciplina viene anche descritta come calcolo pervasivo, intelligenza ambientale o utilizzando il termine inglese *everyware*, riferendosi a questo settore come l'elaborazione di informazione che si dissolve in comportamento (Greenfield, 2010) ed è composto da tre livelli differenti.

Il primo livello si occupa di gestire i task, monitorando lo stato, mappandoli rispetto ai servizi ambientali e gestendo dipendenze anche complesse.

Il secondo livello si riferisce alla gestione dell'ambiente, ovvero monitorare le risorse presenti e le loro capacità, mappare le necessità dei servizi ambientali e capacità dell'utente.

L'ultimo livello fa riferimento all'ambiente in quanto tale, e quindi alla disponibilità ed affidabilità delle risorse presenti.

Studi legati a questo elemento permettono di evidenziare quelle che sono le proprietà principali di cui deve essere dotato un sistema di context-aware:

1. presentazione di informazioni e servizi agli utenti;
2. esecuzione automatica di un servizio nei confronti di un utente;
3. tagging di informazioni recuperabili anche successivamente.

Questo insieme di considerazioni permettono di evidenziare due dimensioni di sistemi context-aware, ovvero *l'information* e il *command* che variando nella natura automatica o manuale danno luogo a quattro differenti categorie (Bisgaard et al., 2005) (Tab. 14).

	Manual	Automatic
Information	Proximate selection & Contextual Information	Automatic contextual reconfiguration
Command	Contextual commands	Context-triggered actions

Tab. 14 Dimensioni e nature di sistemi context-aware

La proximate selection avviene quando le informazioni vengono richieste dall'utente e vengono presentate in base al contesto in cui è inserita l'esperienza, mentre avviene un automatic contextual reconfiguration quando i sistemi applicano automaticamente una nuova configurazione a seconda dei cambiamenti nel contesto stesso.

A livello di comandi invece esistono azioni che si basano su elementi di interfaccia rilevanti per il contesto di riferimento e altre che vengono invece automaticamente generate quando cambia qualcosa a livello diretto nel contesto.

Volendo riepilogare possiamo dire che il concetto di contesto nella sua accezione singola fa quindi riferimento allo spazio fisico e sociale in cui le persone vivono, in cui qualcosa accade o si sviluppa e in cui incidono fattori ambientali ma anche culturali legati a dove l'individuo è stato educato o vive, oltre che alle persone e le istituzioni con cui interagisce.

Conoscere queste informazioni sul contesto in cui l'artefatto e l'esperienza immersiva devono essere fruiti permette di rispondere alle domande:

- quali sono i vincoli in termine di dimensioni e spazi di interazione?
- quali sono i vincoli di natura fisica derivanti condizioni ambientali (es. luce)?
- quali sono i vincoli derivanti dal tempo di fruizione dell'esperienza?

### **3.3.2 U come Users**

Il secondo componente descrive l'importanza di sapere chi userà ciò che si sta realizzando e questo tipo di analisi riguarda gli elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva descritti con i termini di fruition, people relation, people disabilities e content.

L'importanza di questo fattore è rilevante in quanto la progettazione e lo sviluppo deve essere incentrato sulle proprietà e caratteristiche degli utenti, sulla base di quelle che sono le loro attitudini ed esperienze che possono influenzare il raggiungimento di obiettivi specifici.

Nel corso degli anni la figura dell'uomo è stata oggetto di studi di varia natura in quanto è una macchina complessa e articolata del quale molto si conosce, ma che comunque tende ancora di tanto in tanto a regalare novità e sorprese.

Abbiamo descritto precedentemente l'origine e i comportamenti dell'uomo come animale sociale, le implicazioni riguardanti aspetti sociologici dell'essere, l'uomo-utente al centro dei processi dell'interaction design e di un approccio di design di tipo user-centered e che costituiscono le premesse base su cui si articola questa sezione.

Da un punto di vista del presente lavoro il focus della figura dell'essere umano viene posizionato su di lui in quanto utente e quindi su come questo interagisce con gli artefatti digitali. È importante sapere quindi quali sono i meccanismi fisici che vengono stimolati, le sensazioni che vengono percepite, le azioni che è in grado di compiere e altri possibili eventi che possono essere generati nell'interazione che avviene con un sistema immersivo.

Alcune di queste nozioni sono state descritte nelle sezioni precedenti del presente lavoro, quando abbiamo discusso la stimolazione del "sense of immersion" e quindi descritto le meccaniche dei sensi e dei ricettori umani, oppure quando parlando di user-centered design abbiamo discusso il ruolo dell'utente nelle varie fasi di progettazione.

In questa parte del lavoro discuteremo invece di alcune questioni legate, nello specifico del nostro modello, al momento in cui questo fruisce l'esperienza e quindi sul come mantenere il coinvolgimento e l'attenzione dell'utente mentre interagisce col sistema, come questo può

commettere errori e perché, in modo da progettare bene e meglio (Weinschenk, 2011, 2015).

Legato a questo concetto di utente ci sono alcuni fattori che vanno presi in considerazione durante la progettazione di un artefatto immersivo e che sono sia di carattere generale che specifici legati all'uso di un sistema immersivo.

A livello generale fattori rilevanti sono da considerarsi il genere, l'età e la presenza di disabilità fisiche o cognitive nei possibili end-users.

Affrontando il tema del genere è stato riscontrato che le donne sono maggiormente predisposte nell'ottenere negative outcomes (es. motion sickness) rispetto agli uomini quando si trovano a fruire di un'esperienza immersiva attraverso HMD e che gli uomini sono maggiormente predisposti ad un utilizzo di questo tipo tecnologie (Arino et al., 2014; Lin, 2017; Munafo et al., 2017).

Per quel che riguarda la tematica legata all'età, gli utenti più giovani hanno maggiori probabilità di accettare tecnologie immersive rispetto agli utenti più anziani, creando più facilmente un modello mentale quando si trovano in ambienti immersivi (Arino et al., 2014; Coxon et al., 2016).

Il tema della disabilità è invece un argomento complesso e molto articolato che riguarda da sempre il mondo della tecnologia, qui inteso come mezzo o strumento in grado di abbattere barriere di ogni tipo migliorando usabilità e accessibilità dei sistemi apportando quindi benefici nella vita quotidiana, nel lavoro e nel tempo libero delle persone.

Le tecnologie che vengono progettate e impiegate nella risoluzione di queste tipologie di problemi vengono definite Assistive Technologies (AT) e vengono usate da persone diversamente abili in modo da poter usufruire di servizi che altrimenti risulterebbero difficili o impossibili per loro. Questa tipo di tecnologie sono caratterizzate da un insieme di tecniche e dispositivi particolari creati in funzione di ogni tipo di disabilità (Cook & Polgar, 2014).

A livello di dispositivi questi possono essere divisi in diverse categorie, da quelli che operano come ausilio motorio (es. stampelle o sedie a rotelle, esoscheletri), a quelli che operano come ausilio didattico (es. autocorrettori o gestori di flow-chart), fino ad arrivare a veri e propri dispositivi informatici che aiutano la persona ad interfacciarsi sia con un computer, sia in modo più generale con tutte le diverse tecnologie informatiche.

L'interesse per questo tipo di tecnologie e per la loro applicazione è molto forte e di rilievo nel mondo della ricerca, a tal punto che nel corso del tempo sono stati concettualizzati diverse filosofie di approccio e di design come *design for all*, *universal access* e *inclusive design* (Persson et al., 2015).

A livello specifico, invece emergono due fattori da tenere in considerazione ovvero la *sensation-seeking tendency* e la *personal innovativeness*.

La prima riguarda un tratto personale che caratterizza una persona portandola a cercare

intenzionalmente esperienze nuove, eccitanti e intense per soddisfare il suo bisogno di sensazioni. Gli utenti con una bassa sensation-seeking tendency, o ricerca di questo tipo, sperimentano un più forte senso di presenza in un ambiente immersivo rispetto a quelli con una elevata sensation-seeking tendency (Jin, 2013; Lin, 2017).

Il fattore di personal innovativeness invece si riferisce alla propensione di un individuo a sperimentare nuove tecnologie dell'informazione. Quando un utente ha un alto livello di ricerca e sperimentazione di innovazione è più probabile che abbia un alto livello di attenzione comportamentale nell'uso di una tecnologia immersiva (Kourouthanassis et al., 2015).

Oltre a questi fattori, ve ne sono altri come il ruolo delle emozioni e della cultura degli individui e quindi legati più alla soggettività della persona.

Sul ruolo delle emozioni e sulla loro identificazione ci sono stati diversi studi che hanno portato nel tempo all'identificazione di sei basic emotions (Ekman, 1999) sulla base dello studio delle espressioni facciali: rabbia, disgusto, paura, felicità, tristezza e sorpresa (Fig. 67).

Nell'avanzare di studi legati alle emozioni è stato teorizzato che potrebbero esistere altre emozioni universali oltre queste sei, estendendo questa lista ed includendo elementi come divertimento, soggezione, contentezza, desiderio, imbarazzo, dolore, sollievo e simpatia sulla base di evidenze trovate nell'analisi di espressioni sia facciali che vocali.



*Fig. 67 Le sei basic emotions*

Ulteriori studi hanno trovato espressioni facciali riconducibili a noia, confusione, interesse, orgoglio e vergogna, nonché espressioni vocali di disprezzo, interesse, sollievo e trionfo (Cordaro et al., 2016, 2018; Keltner et al., 2019).

Conoscere questi aspetti è importante in quanto poi le emozioni che vengono provate sono quelle che determinano inoltre le sensazioni che permettono all'utente di sentirsi più o meno coinvolto con quanto sta fruendo e che creano un legame con i ricordi dell'esperienza riflettendosi, come abbiamo visto, sulla user experience.

Una volta descritta la figura dell'utente, delle sue sfaccettature e di ciò che bisogna tenere a mente possiamo quindi rispondere, quando progettiamo la nostra esperienza, alle domande:

- chi sono i miei utenti in termini di genere, età, disabilità?
- che ruoli interpretano e che comportamenti possono assumere (task)?
- che aspettative hanno dall'esperienza (goal)?

### 3.3.3 T come Technology

Il terzo punto si concentra sull'aspetto delle tecnologie da scegliere ed utilizzare per lo sviluppo e il raggiungimento dell'obiettivo iniziale, ed è influenzato dagli elementi involved display, tracking, fruition ed environment legati all'esperienza immersiva.

Avere una vasta e profonda conoscenza tecnologica permette di scegliere quale sia la più appropriata per l'artefatto da realizzare, in quanto molte tecnologie e dispositivi possono essere simili come approccio ma possono nascondere differenze che possono incidere sulle scelte progettuali e di conseguenza sul risultato.

Tale conoscenza tecnologica fa riferimento alla capacità di sapere il livello di avanzamento tecnologico e che viene spesso identificato con la locuzione "stato dell'arte".

La versione originale inglese di questa denominazione si riferisce al più alto livello di sviluppo di un dispositivo in un campo tecnico o scientifico, realizzato in un certo momento, con significato, quindi, analogo a "all'avanguardia, d'avanguardia"<sup>16</sup>.

In italiano, invece, la locuzione indica il punto cui sono arrivate le ricerche in una determinata disciplina, in una prospettiva quindi di momento di ricapitolazione dei dati acquisiti e stabilizzati nei diversi ambiti di ricerca (abbastanza vicino a stato delle cose- quando invece si dovrebbe dire "allo stato").

Avere coscienza dello stato dell'arte riguardante la tecnologia significa avere conoscenza di ciò che esiste rispetto anche a quello che viene definito ciclo di vita di una tecnologia (Fig. 68) e composto dalle seguenti fasi:

- ricerca e sviluppo (R&D) (a volte chiamata "bleeding edge") quando i redditi sono negativi e dove le prospettive di fallimento sono alte;
- ascent, quando sono stati recuperati i costi immediati e la tecnologia inizia a raccogliere consensi raggiungendo il punto di "leading edge" (punto A);
- maturità, fase in cui il guadagno è alto e stabile col mercato che va in saturazione (punto M);
- declino (o fase di decadimento), fase di riduzione degli introiti e dell'utilità della tecnologia (punto D).

---

<sup>16</sup> <https://accademiadellacrusca.it/it/consulenza/lo-stato-dellarte/234>

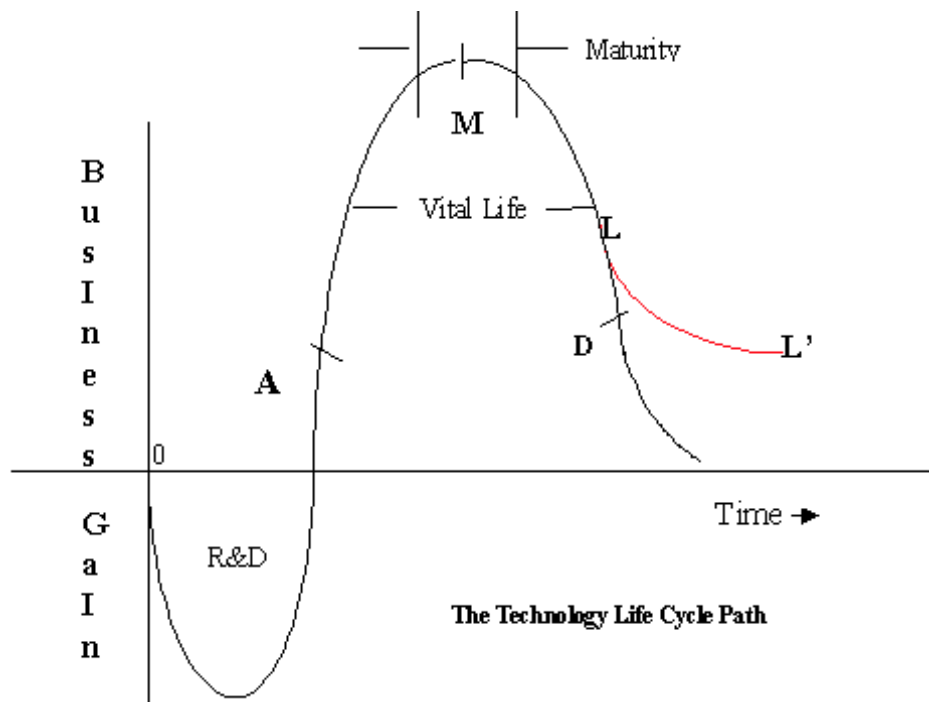


Fig. 68 Il ciclo vitale di una tecnologia

Queste fasi del ciclo di vita della tecnologia definiscono dei precisi momenti tecnologici ovvero *innovation, syndication, diffusion e substitution*.

La fase di *innovation* rappresenta la nascita di un nuovo prodotto, risultato del processo derivante dalle attività di ricerca e sviluppo che genera nuove idee a seconda delle esigenze e dei fattori di conoscenza presenti nei laboratori. A seconda dell'allocazione delle risorse e anche dell'elemento di cambiamento, il tempo impiegato, e che incide sulla fase di innovazione così come nelle fasi successive, varia notevolmente.

La fase di *syndication* rappresenta il momento in cui avviene la dimostrazione e la commercializzazione di una nuova tecnologia, come prodotto o processo caratterizzato da potenziale utilizzo nell'immediato. Accade spesso che molte innovazioni restino sospese nei laboratori di ricerca e sviluppo per molto tempo e che solo una percentuale molto piccola di questi diventi un reale prodotto e quindi commercializzata. La commercializzazione dei risultati della ricerca dipende da fattori sia tecnici che non tecnici, come ad esempio quelli legati a fattori economici.

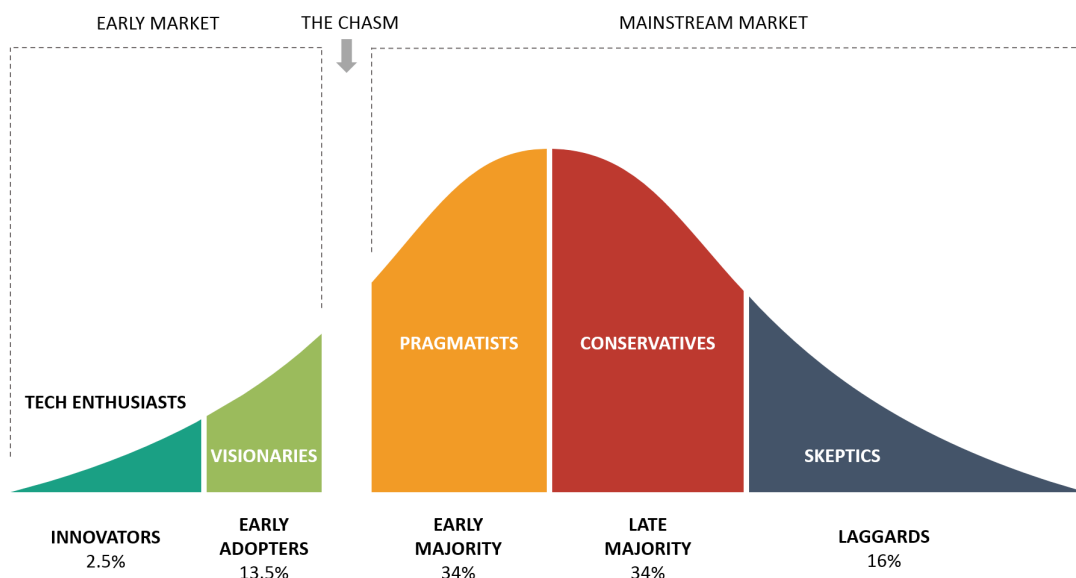
La terza fase, quella di *diffusion*, si riferisce alla penetrazione nel mercato di una nuova tecnologia attraverso l'accettazione dell'innovazione da parte dei potenziali utenti della tecnologia, ed è influenzata da fattori legati alla domanda e offerta di mercato.

L'ultima fase è quella della *substitution* e che rappresenta il declino nell'uso o l'eventuale estensione di una tecnologia, dovuta alla sostituzione con un'altra tecnologia innovativa o più matura. Questa fase è influenzata da molteplici fattori sia tecnici che non tecnici, come ad esempio dinamiche di mercato che incidono sui tempi della sostituzione tecnologica.



Il cambiamento e l'innovazione tecnologica si riflettono anche sugli individui che vengono divisi e distribuiti in categorie a seconda del loro grado di risposta all'innovazione (E. M. Rogers, 2003) (Fig. 69):

- innovators, costituisce il 2,5% della distribuzione e sono gli individui ansiosi ed eccitati di provare nuove idee;
- early adopters, costituisce il 13,5% della distribuzione con individui che col loro uso tolgono il velo d'incertezza degli altri sulle innovazioni;
- early majority, costituisce il 34% della distribuzione con gli individui che seguono con deliberata volontà l'adozione di innovazioni ma raramente sono i primi a farlo
- late majority, costituisce il 34% della distribuzione con individui che accettano l'innovazione solo dopo che queste hanno raggiunto un grado diffuso
- laggards, costituisce il 16% della distribuzione e sono gli individui che per ultimi rispondono all'accettazione dell'innovazione per via di resistenze di varia natura



*Fig. 69 Ciclo adozione tecnologia-utenti*

Fra queste categorie, e con maggior precisione tra gli early adopters e gli early majority, vi è una spaccatura detta "chasm" che identifica un punto in cui molte innovazioni si perdono prima di raggiungere il grosso del mercato.

Una buona conoscenza ed un'analisi pertinente di queste considerazioni legate alla tecnologia permette di rispondere a domande del tipo:

- quali sono quelle che meglio rispondono alle necessità di progettazione?
- quali sono i vincoli tecnici e fisici che possono limitare l'esperienza?
- quali sono le features a disposizione che possono arricchire l'esperienza?

### 3.3.4 E come Expertise

L'ultimo aspetto, legato agli elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva di outcomes e content, riguarda essenzialmente le competenze che lo sviluppo richiede per il suo compimento e una sua analisi. Questo unito alla conoscenza di quelli che sono i limiti e i punti di forza del team di lavoro è da considerarsi estremamente importante per una realizzazione soddisfacente di artefatti.

Questo concetto è fortemente legato a quello di conoscenza, intesa come la consapevolezza e la comprensione di fatti, verità o informazioni ottenute attraverso l'esperienza o l'apprendimento (Fig. 70).



Fig. 70 Elementi collegati al concetto di expertise

L'expertise quindi viene descritta come il fatto di possedere un ampio corpo di conoscenze e abilità procedurali tali da renderle utili quando si manifesta un problema (Chi et al., 1981) e facendo considerare l'individuo esperto di determinate discipline.

Il concetto di conoscenza è tanto rilevante da aver fatto emergere una disciplina detta *knowledge management* che si focalizza sulla gestione e sulla condivisione della conoscenza e che affonda le sue radici in molteplici campi come l'organizzazione aziendale, la sociologia, le scienze cognitive, l'archivistica e a livello operativo, l'informatica.

Gli obiettivi per cui le aziende decidono di attuare strategie di knowledge management riguardano tipicamente le aree del miglioramento delle performance, acquisizione o mantenimento del vantaggio competitivo, agevolazione dell'innovazione e del miglioramento continuo.

La conoscenza può essere organizzata in due dimensioni principali, cioè tacita ed esplicita (Rubenstein-Montano et al., 2001), che possono essere rappresentate in una matrice descrivendo il cosiddetto "modello della trasformazione di conoscenza", ovvero una teoria generale della creazione di conoscenza organizzativa che illustra i passaggi da un tipo di conoscenza ad un altro.

La conoscenza tacita è quella conoscenza non codificata, non contenuta in testi o manuali, non gestita attraverso flussi comunicativi strutturati, ma che esiste nella testa degli individui e che è difficile da esprimere, rappresentare e comunicare.

La conoscenza esplicita invece fa riferimento a quella conoscenza che può essere rappresentata e trasferita da un individuo ad altri tramite un supporto fisico come un libro o un filmato così come anche direttamente attraverso una conversazione o una lezione.

Questi passaggi di stato (Fig. 71), detti combinazione o conversione, disegnano un andamento a spirale derivante dai processi sociali che innescano questi cambiamenti:

- socializzazione (da conoscenza tacita a tacita, in persone diverse che interagiscono);
- esteriorizzazione o esternalizzazione (da conoscenza tacita a esplicita, tramite formalizzazione);
- combinazione (da conoscenza esplicita a esplicita, tramite elaborazioni o semplici trasferimenti);
- interiorizzazione (da conoscenza esplicita a tacita, tramite apprendimento e assimilazione).

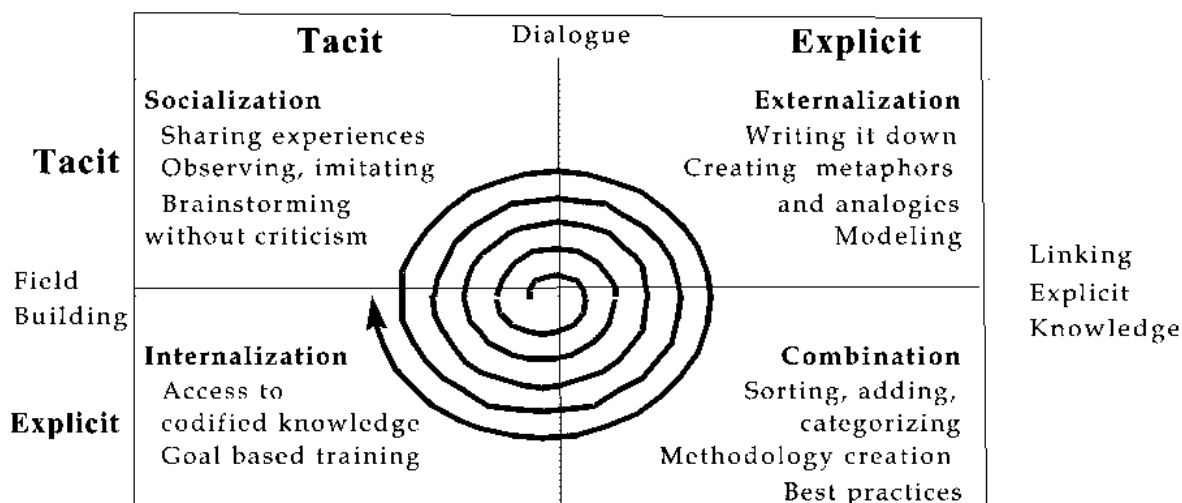
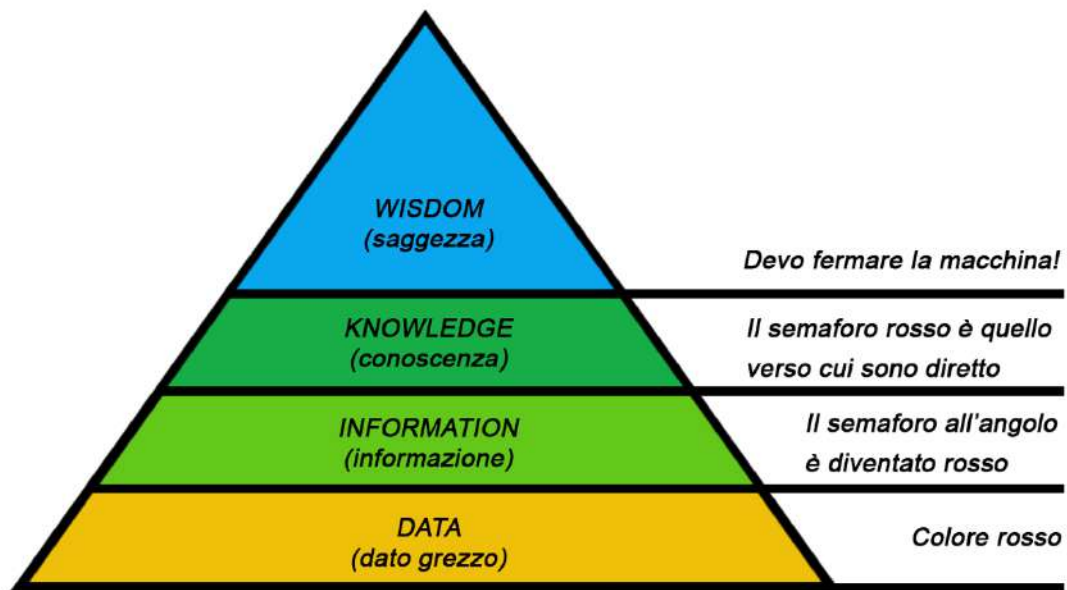


Fig. 71 Processi di conversione della conoscenza

Il ciclo della conoscenza non è limitato alla semplice trasmissione di dati e informazioni, in quanto vi è rapporto gerarchico rappresentabile con una figura piramidale (Fig. 72).

Alla base ci sono i dati, ovvero il materiale "grezzo" e abbondante dell'informazione, mentre un gradino più sopra c'è l'informazione in quanto tale, cioè i dati selezionati e organizzati per essere poi comunicati. Ancora più sopra c'è la conoscenza, cioè l'informazione rielaborata, contestualizzata e applicata alla pratica, infine al vertice troviamo la saggezza, che indica la conoscenza generata dall'intuizione e dall'esperienza.



*Fig. 72 Piramide Knowledge Management*

La disciplina del knowledge management si focalizza su come poter mettere al servizio delle organizzazioni le conoscenze professionali specifiche degli individui al loro interno, il che la porta ad essere considerata per certi versi come una sorta di “filosofia” della collaborazione e della condivisione negli ambienti di lavoro.

La conoscenza può essere intesa anche come un patrimonio dell’individuo a disposizione delle organizzazioni, che può essere raggiunto con anni di esperienza e anche spostato con l’individuo all’interno delle organizzazioni in cui egli opera, generando nuova conoscenza attraverso la condivisione e l’elaborazione delle informazioni contenute in questo patrimonio. È quindi importante capire come vengono acquisite le competenze, come possono essere insegnate e in che modo queste possano essere rappresentate nel modo migliore a chi le deve apprendere, con l’obiettivo di poterle avere sempre a disposizione.

Da quest’ultima considerazione emerge quello che, a mio avviso, sarà in futuro una questione legata al grado di diffusione della conoscenza, secondo la descrizione data ad inizio sezione, rispetto all’innovazione tecnologica ed ingegneristica che stiamo vivendo nel presente momento.

Precedentemente la conoscenza di determinate pratiche in uno specifico contesto era in possesso di un ampio numero di persone che le utilizzavano per il raggiungimento dei loro obiettivi e che nel corso del tempo le tramandavano ai futuri possessori ed utilizzatori.

L’innovazione tecnologica, che con l’automazione e l’informatizzazione, sta cambiando le pratiche lavorative abilitando l’utilizzo di strumentazioni che supportano o sostituiscono i lavoratori nell’esecuzione dei gesti utili al raggiungimento dello scopo finale.

Questo processo, porta a pensare, che in futuro il concetto di conoscenza possa essere suddiviso in possessori di conoscenza applicativa e abilitante.

I primi sono individui che possiedono la comprensione reale e diretta delle problematiche e delle procedure utili alla concretizzazione del risultato atteso, mentre i secondi sono individui tecnici e legati al campo informatico che conoscono le procedure ingegneristiche utili all'implementazione di strumenti che possano aiutare o sostituire l'individuo primario nell'esecuzione delle attività necessarie. Questa suddivisione disegna quindi una concentrazione di conoscenza primaria ed applicativa in un numero ristretto di persone ed un aumento di figure in possesso di conoscenza abilitante o secondaria utile alla progettazione, sviluppo e manutenzione di tecnologie utili al conseguimento di obiettivi specifici.

Da un punto di vista del modello elaborato, e tenendo in considerazione la descrizione di expertise e conoscenza, quello che si intende importante per lo sviluppo di soluzioni immersive è quello di capire e comprendere quelle che sono necessarie alla realizzazione dell'esperienza.

Una volta identificate queste expertise richieste e necessarie è possibile rispondere a domande quali:

- il mio team possiede già le competenze che servono?
- se sì, sono a disposizione e con un livello sufficiente?
- se no, dove è possibile reperirle in termini di persone o come è possibile acquisirle in termini di formazione?

## 4 Realizzazioni e contributi: sviluppi legati a casi d'uso reali

Lungo questi anni di percorso dottorale, sono diverse le idee che ho tentato di concepire e portare avanti a livello progettuale e di sviluppo, o alle quale ho avuto la fortuna di collaborare per contribuire secondo le mie possibilità e capacità.

Uno dei miei principali obiettivi e motivi che mi hanno spinto nell'approcciare quest'avventura era quello di riuscire ad applicare le mie competenze e le mie considerazioni al più vasto numero di attività, possibilmente anche diverse tra loro.

Questo da un certo punto di vista può essere percepito come un possibile rischio di disperdere energie in maniera poco produttiva, ma al contrario vedevo in questo modo di lavorare la possibilità di apprendere maggiori conoscenze riguardo ai dispositivi e alle tecnologie esistenti. Procedendo infatti su un singolo progetto o un singolo contesto il rischio era quello di focalizzarsi troppo su un singolo aspetto e/o tecnologia e quindi perdere di vista l'evoluzione o le capacità delle altre.

La mia natura curiosa e affamata vedeva in questo percorso dottorale la giusta opportunità di ampliare il proprio bagaglio di conoscenze e competenze, rafforzando i miei interessi e rendendomi ancora più completo ed in grado di fare scelte progettuali ponderate conoscendo possibilità, limiti, pregi e i difetti offerti dal panorama tecnologico attuale.

All'interno delle attività da me condotte nel 3DLabFactory (Fig. 73) ho avuto modo di contribuire, partecipare ed apportare la mia esperienza in prima persona all'interno di diversi gruppi di lavoro, con la possibilità di seguire e supervisionare anche parte delle altre figure coinvolte nelle varie fasi delle sperimentazioni.



*Fig. 73 Logo 3DLabFactory*

Alcuni di questi progetti, hanno avuto un'evoluzione lineare e quindi un inizio e una fine con formazione di gruppi di lavoro che hanno dato luogo a sperimentazioni, valutazioni dell'esperienza e pubblicazioni.

Altri progetti sono invece rimasti in fase intermedie e più embrionali, ma sono stati ugualmente utili ai fini della mia ricerca personale, in quanto hanno contribuito alla evidenziazione delle differenze progettuali dovute alle analisi dei diversi contesti sociali e all'uso delle varie tecnologie, andando a rafforzare la concezione del modello CUTE

sviluppato e la sua applicazione rispetto all'esperienze immersive utilizzando un insieme di tabelle sviluppate per la selezione dei valori degli elementi caratterizzanti (appendice A). I progetti avviati all'inizio del percorso di dottorato hanno potuto subire maggiori iterazioni e contributi nel corso del tempo, arrivando ad un livello di concretezza ed una serie di risultati maggiori rispetto a quelli avviati nelle ultime fasi.

La presentazione e discussione dei singoli progetti avverrà secondo un criterio che si basa sul grado di completezza e stato di avanzamento del singolo lavoro, tenendo quindi anche conto anche della temporalità dell'inizio dei contributi e sviluppi sul progetto.

## **4.1 Software e Hardware: descrizione di strumenti comuni ai progetti**

Prima di passare alla descrizione dei singoli contributi mi sembra doveroso introdurre quelli che sono alcuni dei tools software e hardware maggiormente utilizzati in questo lavoro e che si possono trovare in comune tra i singoli progetti, descrivendoli una volta invece che ripetutamente.

### **4.1.1 Unity3D: game engine multipurpose**

Unity3D nasce come game engine per lo sviluppo di videogiochi dai contenuti 3D, ma nel corso del tempo si è evoluto affermandosi come ambiente di sviluppo ideale per artefatti digitali di diversa natura e destinazione.

La mia esperienza con questo ambiente di sviluppo è iniziata con un timido approccio nel 2010 quando stavo preparando la tesi di laurea triennale sviluppando con Microsoft Kinect, ed è poi ripresa nel 2011 nel corso del master 3D con un maggior impatto durante la collaborazione avvenuta sul progetto eLaparo4D che più tardi verrà descritto.

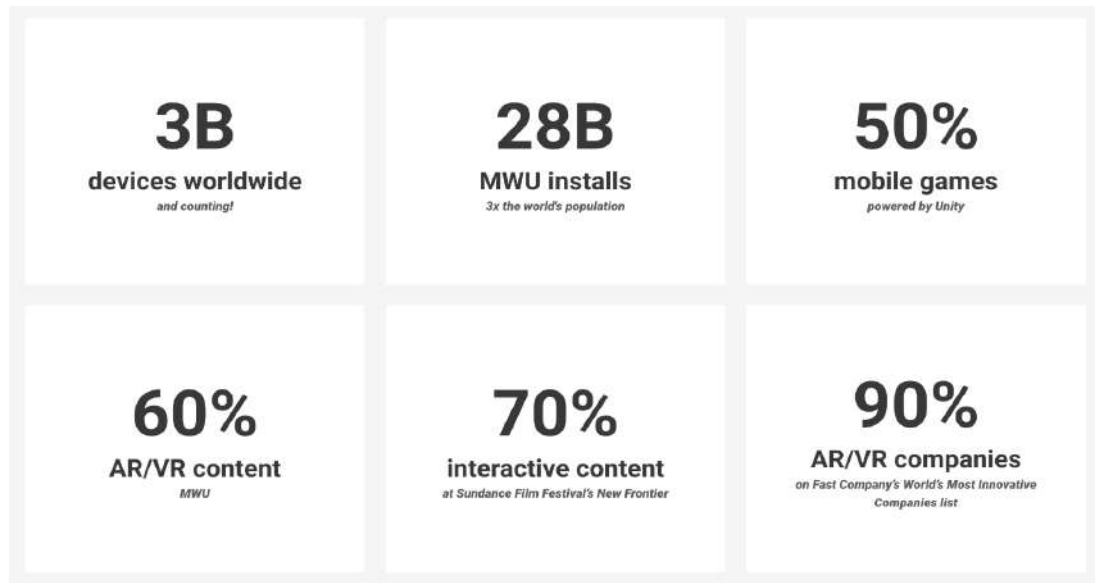
Oltre a questi motivi, tra le ragioni del mio utilizzo di Unity3D vi rientrano una serie di fattori collegati allo sviluppo di tale software:

- la presenza di una buona documentazione;
- l'esistenza di una vasta community online;
- l'utilizzo di versione gratuita;
- la possibilità di sviluppare cross-platform;
- il rilascio di librerie SDK dedicate di manufacturer;
- l'opportunità di trovare demo e features pronte all'uso sull'asset store.

Questi sono anche i motivi che fanno di Unity3D un importante player all'interno di quello che riguarda il mercato di giochi ed esperienze immersive sviluppate nel mondo<sup>17</sup>(Fig. 74).

---

<sup>17</sup> <https://unity3d.com/public-relations>



*Fig. 74 Statistiche mercato Unity*

L'utilizzo di Unity3D è utile e funzionale per progetti che rientrano in casi applicativi appartenenti ai settori del:

- Games;
- Automotive, Transportation & Manufacturing;
- Film, Animation & Cinematics;
- Architecture, Engineering & Construction;
- Brands & Creative Agencies;
- Gambling;
- EdTech;
- XR.

Per poter sviluppare in Unity3D ci sono diverse cose da dover sempre tenere a mente ma diciamo che le tre principali parole di cui sapere bene il significato sono le seguenti:

- Gameobject;
- Component;
- Property;

Un gameobject (GO) indica ogni entità presente all'interno della scena virtuale ed è caratterizzato da un nome e alcune proprietà di base che ne permettono il posizionamento nello spazio 3D.

I component sono pezzi funzionali dei GO che ne caratterizzano i comportamenti e l'aspetto attraverso le differenti caratteristiche e finalità. Possono essere aggiunti, tolti o modificati secondo le necessità richieste dallo sviluppo.

Le property sono attributi dei componenti e caratterizzati da variabilità sulla base del componente a cui appartengono e del valore che assumono.

Un gameobject può quindi avere più componenti che avranno diverse proprietà,



permettendo anche la presenza di diversi gameobject che possono condividere component identici ma che assumono valori differenti nelle sue proprietà. Questo permette così il verificarsi di comportamenti e risposte diverse per ciascun gameobject.

I componenti presenti in Unity sono diversi e con finalità differenti tra loro a seconda che si voglia modificare o controllare aspetti legati alla fisica, alla visualizzazione o al comportamento di un GameObject.

Tra tutti quelli esistenti, quello di cui bisogna avere conoscenza certa è il Transform, componente fondamentale perché determina la posizione di un GameObject nella scena attraverso il controllo della sua posizione, rotazione e scala.

Oltre alle conoscenze dei concetti base di Unity3D è bene sapere come questo ambiente di sviluppo è organizzato, in modo da sapere cosa ciascuna delle aree delle interfacce visualizza e permette di fare.

A livello generale le sezioni più importanti e comunemente usate all'interno dell'editor sono (Fig. 75):

- scene view, viene mostrata in tempo reale la scena composta da gameobject 2D e 3D;
- game view, visualizza l'anteprima e il compiersi dell'esperienza virtuale agli utenti e dipende dalla principale telecamera attiva;
- hierarchy view, questa area mostra l'elenco di tutti gli elementi che compongono la scena corrente in maniera organizzata secondo il loro grado parenting con altri GO;
- project view, include le risorse presenti nella cartella di lavoro come i modelli, i materiali, le scene, gli script, le animazioni, i suoni, texture, ecc;
- inspector view, mostra le informazioni relative al GameObject selezionato all'interno della scene view o della hierarchy;
- la console, dove sono riportati i messaggi di errore e di debug dell'applicazione

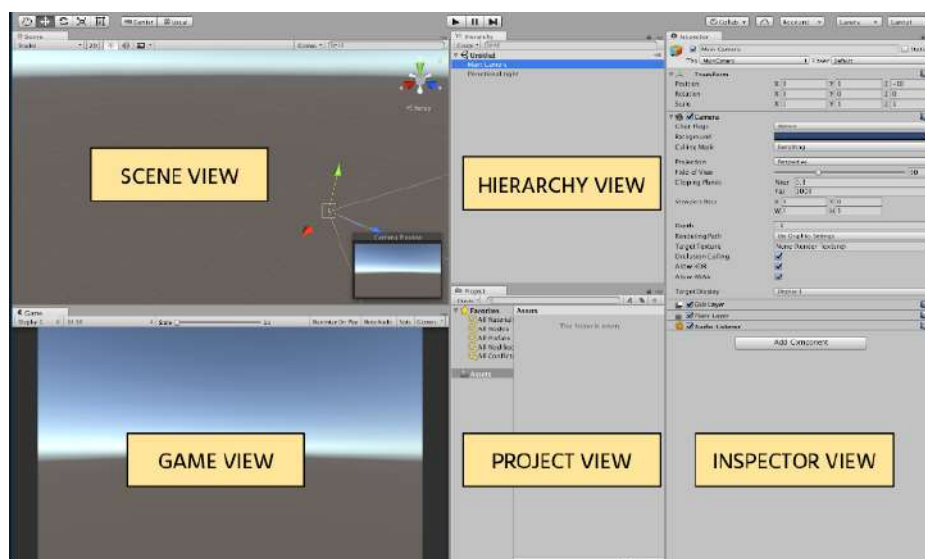


Fig. 75 Sezioni Unity editor

Un elemento che va descritto tra i tanti presenti all'interno di Unity è quello del Canvas, elemento che viene inserito dalla versione 4.6 beta e che rientra in una serie di aggiornamenti di Unity3D fatti per mettere a disposizione degli sviluppatori un insieme di strumenti molto flessibili per la realizzazione di interfacce utente all'interno dei progetti interattivi.

Questo strumento è il contenitore dei GO che compongono l'interfaccia utente, ed è in pratica costituito da un GameObject con component Canvas e altri GO all'interno di esso che vanno a rappresentare pulsanti, testi, immagine e altro ancora.

La caratteristica principale di questo strumento è quella di possedere tre differenti modalità di rendering che definiscono il comportamento di questo oggetto all'interno dell'applicazione:

- **Screen Space – Overlay:** in questa modalità di render il Canvas viene automaticamente posizionato nella parte superiore della scena. Gli elementi UI saranno quindi visualizzati davanti a qualunque oggetto presente nella scena.
- **Screen Space – Camera:** modalità simile alla precedente se non per il fatto che in questo caso è possibile regolare la distanza con gli elementi UI mediante la scelta di una videocamera. È possibile quindi selezionare per quale delle videocamere presenti nella scena devono essere rispettati i differenti valori per la corretta visualizzazione. Se l'utente volesse ubicare elementi dell'interfaccia ad esempio dietro un GameObject presente in scena, con questa modalità è possibile farlo.
- **World Space:** il Canvas si comporta come un qualunque oggetto nella scena, infatti ha una posizione, orientazione e dimensione precisa nello spazio tridimensionale.

La conoscenza di questi aspetti principali permette un primo approccio con quello che è Unity3D, in modo da poter cercare di sviluppare artefatti con differenti modalità di interazione e differenti modalità di pubblicazione.

In mercato esistono molti competitor di Unity3D, tra i quali possiamo citare Unreal Engine e CryEngine, ma Unity3D porta in dote con sé alcune caratteristiche di versatilità e potenziale che lo rendono un valido strumento al servizio di professionisti e ricercatori nel campo dell'interazione.

#### **4.1.2 Node.js: piattaforma modulare**

Node.js è una piattaforma modulare che viene utilizzata per creare facilmente applicazioni scalabili e alla cui base vi è il runtime JavaScript V8 di Google Chrome.

Il modello che viene usato da Node.js è di tipo event-driven e che sfrutta quindi un sistema di I/O non concorrenti, rendendolo un framework di sviluppo efficiente e perfetto per contesti in cui si utilizzino un'intensa quantità di dati o per applicazioni che necessitano di funzionalità real-time.

Grazie a questo framework è possibile creare applicazioni che attraverso l'utilizzo di diversi

moduli, reperibili online o altri che possono essere sviluppati in maniera autonoma, sono in grado di assolvere a tutte le funzioni necessarie.

Questi moduli vengono gestiti attraverso NPM (Node Package Manager), ovvero un sistema di librerie già pronte e già scritte da altri sviluppatori. Queste librerie sono anche già catalogate permettendo la possibilità di effettuare ricerche, selezionare qual è il pacchetto di interesse e installarlo all'interno del progetto con una singola riga di comando.

Successivamente all'installazione lo si può subito utilizzare, importando la libreria e richiamando le funzioni di interesse. Il sistema NPM si occupa inoltre di gestire anche tutte le dipendenze tra i vari pacchetti e che possono essere di tre tipologie differenti:

- moduli di sistema;
- moduli sviluppati internamente;
- moduli di terze parti scaricate da repository on-line.

La prima release di Node.js risale al 2009 ed è stata sponsorizzata dalla società californiana Joyent, raggiungendo popolarità in tempi molto brevi e con tempi di release molto frequenti, il che unito alla sua struttura modulare la rendono una piattaforma idonea per molteplici scopi soprattutto dove si necessitano dinamiche efficienti in scenari con criticità relative all'elevato traffico di rete.

#### 4.1.3 Arduino e Raspberry: piccoli cervelli da grandi potenzialità

Arduino (Fig. 76) è una piattaforma Hardware e Software open-source per la realizzazione di progetti che utilizzano sensori, attuatori, e comunicazione con altri dispositivi.

È stata ideata e sviluppata nel 2005 da alcuni membri dell'Interaction Design Institute di Ivrea come strumento per la prototipazione rapida e dedicata a scopi hobbistici, didattici e professionali.

L'origine del nome lo si deve a quello del bar di

Ivrea frequentato dai fondatori del progetto, nome che richiama a sua volta quello di Arduino d'Ivrea, Re d'Italia nel 1002.

L'utilizzo di Arduino permette la realizzazione in maniera relativamente rapida e semplice di piccoli dispositivi atti a controllare luci, velocità per motori oppure automatismi legati alla lettura della temperatura e dell'umidità.

Per via della sua modularità può essere incluso anche in molti altri progetti che utilizzano altri diversi tipi sensori, attuatori per la comunicazione con altri dispositivi.



*Fig. 76 Logo Arduino*

La parte HW è composta da una larga famiglia di schede elettroniche (Fig. 77) con caratteristiche tecniche, prezzi e modalità di funzionamento differenti mentre l'ambiente software è invece univoco e comune a tutte le schede.



*Fig. 77 Famiglia schede Arduino*

La piattaforma Arduino nelle sue componenti segue le filosofie di Open Hardware e Open Source per quel che riguarda il software di sviluppo.

Gli schemi hardware infatti sono distribuiti in modo da poter essere utilizzati nei termini legali di una licenza Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 e sul sito ufficiale Arduino sono anche presenti, per alcune versioni della scheda, il layout originale e i file di produzione.

Il codice sorgente per l'ambiente di sviluppo integrato e le librerie sono invece disponibili, e concessi in uso, secondo i termini legali contenuti nella licenza GPLv2.

Per poter implementare il comportamento interattivo con la schede Arduino esse vengono fornite con funzionalità di input/output (I/O) attraverso l'utilizzo di connettori di tipo femmina collocati sulla parte superiore delle schede oppure attraverso estensioni note con il termine di shields.

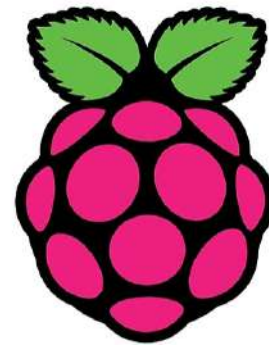
La relazione tra i segnali raccolti in input e la logica presente sulla scheda determina il comportamento della scheda attraverso attuatori pilotati dal programma fornendo le istruzioni per mezzo dei canali di output in dotazione.

I canali I/O presenti sulle schede Arduino possono essere di tipo analogico o digitale, con conseguenze legate al funzionamento e all'uso diretto.

I connettori legati ad un funzionamento di tipo analogico sono dedicati all'ingresso di segnali analogici che ricevono valori di tensione letti da sensori esterni, fino a un massimo di 5 Volt. Questi segnali sono convertiti in 1024 livelli discreti (da 0 a 1023).

I connettori di questa tipologia possono essere riprogrammati per funzionare come normali entrate/uscite digitali, aumentando quindi il numero di queste uscite mentre i connettori digitali non possono essere usati come analogici.

Raspberry Pi (Fig. 78) invece è un single-board computer di basso costo con sistema operativo Linux e composto da una serie di componenti audio, video e di memoria ai quali si aggiungono 40 pin GPIO (General Purpose Input/Output) che permettono di avere un controllo sugli input/output, dando la possibilità di collegare accessori esterni come schede logiche, sensori e pulsanti ampliando potenzialità ed utilizzi.



**Raspberry Pi**

*Fig. 78 Logo Raspberry Pi*

Il progetto si basa su un system-on-a-chip di fabbricazione Broadcom (BCM2835, oppure BCM2836 per il Raspberry Pi 2, o BCM2837 per Raspberry Pi 3), incorpora un processore ARM, una GPU VideoCore IV, e una capacità di memoria RAM di 256MB, 512MB o 1GB. Il progetto non prevede né hard disk né unità a stato solido, affidando le funzioni di boot e memoria non volatile ad una scheda SD.

I primi sviluppi sono stati iniziati nel 2006, ma con alcune concezioni diverse rispetto a quelle che possiamo identificare con quella attuale e vede la prima comparsa nel febbraio 2012 quando venne rilasciato un proof of concept dell'architettura attuale e del quale nel corso del tempo si sono realizzate diverse revisioni differenziate da un numero identificativo nel nome del dispositivo.

A seconda di questo numero di revisione è anche possibile trovare diverse versioni (Fig. 79):

- Modello A
- Modello A+
- Modello B
- Modello B+
- Modello Zero
- Modello Zero W



*Fig. 79 Esempi di schede Raspberry*

Le diverse versioni di schede si differenziano tra loro per dimensioni e capacità hardware che la rendono più o meno completa rispetto alla funzionalità che deve permettere e rendere possibile, come ad esempio quelle legate alla connessione internet o ad altre interfacce esterne.

La Raspberry Pi Foundation diffonde ufficialmente sistemi operativi basati su GNU/Linux, fra cui NOOBS e Raspbian, ambedue basate su Debian GNU/Linux.

La differenza tra NOOBS e Raspbian è che il primo è costituito da un installer semplificato mentre il secondo propone un procedimento di installazione testuale come Debian.

Esistono inoltre diverse distribuzioni per utilizzare Raspberry Pi come Media Center e basate su Kodi come OpenELEC, XBian e OSMC.

L'ultima versione, Raspberry Pi 4 Model B (Fig. 80), è stato immesso sul mercato nel giugno 2019, monta un Broadcom BCM2711 quad-core a 1.5 Ghz e porta in dote diverse novità rispetto ai predecessori:

- RAM LPDDR4 (con versioni da 1, 2 e 4 GB di RAM);
- due porte micro-HDMI con supporto al 4K;
- modulo Wi-Fi dual band 802.11ac;
- Bluetooth V5.0;
- due porte USB 3 + due porte USB 2;
- alimentazione mediante il nuovo connettore USB-C.



*Fig. 80 Raspberry PI 4 Model B*

L'insieme di queste sue caratteristiche lo rendono uno strumento ideale ad assolvere diversi compiti in cui deve essere utilizzato come cervello in grado di dare vita a oggetti tecnologici, invenzioni e artefatti di ogni genere.



#### 4.1.4 META Vision: visore per AR

I Meta 2 sono un tipo di HMD che utilizzano occhiali binoculari sviluppati nel 2017 da Meta, un'azienda della Silicon Valley, in cui i contenuti fruibili possono essere sia presentati semplicemente come livelli sovrapposti alla scena reale, oppure come oggetti in grado di reagire e interagire con gli elementi reali grazie alla possibilità di mappare l'ambiente.

Il visore Meta (Fig. 81) non è comunque l'unico dispositivo di tipo HMD presente sul mercato che può essere utilizzato per sviluppare

artefatti di realtà aumentata, ma sia per caratteristiche tecniche e accessibilità in termini di tempi e costi è quello che meglio incontrava le necessità di ricerca implicate nei progetti che verranno discussi.

Ne esistono infatti altri accessibili sia a livello consumer che industriale e quelli che maggiormente possono essere associati come competitor o alternative a questo dispositivo sono HoloLens di Microsoft e il Magic Leap One della Magic Leap.

Tuttavia, come si può evincere dalla tabella (Tab. 15), l'aspetto che fa dei Meta un dispositivo particolarmente interessante rispetto agli altri è quello collegato al fatto di possedere un campo visivo maggiore rispetto agli altri, ovvero di 90° e che li rende gli occhiali con il più largo campo di visione sul mercato.

Tale dato fa riferimento al grado di FOV diagonale che indipendentemente dal rapporto dell'aspect ratio, cioè l'aspetto della visualizzazione (1:1, 4:3, 3:2, 16:9, ecc), equivale sempre alla misura del diametro della circonferenza che circoscrive il fotogramma massimo destinato alla rappresentazione della percezione.



*Fig. 81 Visore Meta*

	Microsoft HoloLens 2	Meta 2 AR	Magic Leap
Tipologia	Realtà aumentata e realtà mista	Realtà aumentata e realtà mista	Realtà aumentata e realtà mista
Design e tecnologia	Head-mounted display Optical see-through Binoculare	Head-mounted display Optical see-through Binoculare	Head-mounted display Optical see-through Binoculare
Applicazioni	Esperienze specifiche e attività quotidiane	Esperienze specifiche	Esperienze specifiche e attività quotidiane
FOV	52° diagonale	90° diagonale	50° diagonale
Risoluzione	2048 x 1080	2550x1440	1920x1080
Refresh rate	120 Hz	60 Hz	60 Hz
Interazione	Speech recognition Gesture recognition Eye-recognition	Gesture recognition	Gesture recognition Eye recognition
elaborazione	Unità mobile autonoma	Tethered	Unità mobile autonoma
Connettività	Bluetooth Wi-Fi	/	Bluetooth Wi-Fi

*Tab. 15 Confronto tra dispositivi AR*

I Meta 2 AR sono dotati di display ad alta definizione, della tecnologia immersiva di surround sound che consente la percezione dell'audio diffuso e di un sistema di gesture recognition che permette l'interazione diretta con le mani sui contenuti fruiti.

La fruizione delle immagini stereoscopiche tridimensionali può avvenire unicamente mediante il collegamento del dispositivo ad un computer, che processa i dati e le immagini catturate dai sensori presenti e che deve rispecchiare determinate specifiche:

- Graphics: NVIDIA GTX 960 / AMD R9 280
- CPU: Intel Core i7 (desktop CPU)
- Memory: 8GB RAM
- Game Engine: 64-bit Unity 5.3x
- Storage: 10GB
- Video: HDMI 1.4b
- Sound Card: Intel HD-compatible sound card
- USB Ports: USB 3.0
- OS: Windows 8.1 64-bit or newer



#### 4.1.5 Oculus: famiglia di visori VR

Il nome Oculus identifica una società tecnologica americana fondata da Palmer Luckey, Brendan Iribe, Michael Antonov e Nate Mitchell nel luglio 2012 a Irvine, in California, con sede a Menlo Park. Tale azienda è specializzata in prodotti hardware e software di realtà virtuale e dal 2013 controllata dalla Facebook Inc.

Nell'aprile 2012, Luckey annunciò il Rift, un visore per la realtà virtuale progettato per i videogiochi, lanciando nell'agosto successivo una campagna Kickstarter per rendere il visore disponibile anche a sviluppatori esterni. La campagna ha avuto un enorme successo raccogliendo \$ 2,4 milioni, dieci volte l'obiettivo originale di \$ 250.000.

Da quella campagna vennero sviluppati e rilasciati due modelli di pre-produzione ovvero Oculus VR DK1 (Development Kit 1) e Oculus VR DK2 (Development Kit 2).

L'acquisizione da parte di Facebook ha permesso di rilasciare invece nel marzo 2016 il prodotto di consumo Oculus Rift "CV1", con un nuovissimo design che incorporava display VR specializzati, audio posizionale e sistema di tracciamento a infrarossi.

L'attuale linea di prodotti Oculus è composta da tre modelli; le cuffie Oculus Rift S per PC, nonché Oculus Go e Oculus Quest (Fig. 82), visori standalone che contengono hardware di elaborazione mobile integrato e non richiedono un PC per funzionare.

Oculus Rift S è l'evoluzione della prima versione commerciale del prodotto per PC e, seguendo quanto dichiarato nel 2018 da Mark Zuckerberg, mostra la politica aziendale di iterazione con una seconda generazione di questi prodotti nel prossimo futuro.



*Fig. 82 Famiglia visori Oculus*

Tra le attrezzature a disposizione del 3DLabFactory era presente la prima versione commerciale (Fig. 83) del prodotto sviluppato da Oculus e caratterizzato dalle seguenti specifiche:

- Display: OLED;
- Risoluzione: 2160x1220;
- Platform: Oculus Home;
- Tracking area: 5 x 11 feet;
- Gradi di libertà: 6;
- Built-in-audio;
- Refresh Rate: 90 Hz;
- Field of View: 110° (diagonale);
- Sensori: accelerometro, giroscopio, magnetometro, sistema di tracciamento camera “Constellation”;
- Cablaggio: HDMI, USB 2.0, USB 3.0;
- Per poter utilizzare tale dispositivo bisogna che il computer su cui si lavora rispetti inoltre i seguenti requisiti;
- Sistema operativo: Windows 10;
- Processore: Intel i5-4590/AMD Ryzen 5 1500X o superior;
- RAM: 8GB;
- Scheda Grafica: NVIDIA GTX 1060/AMD Radeon RX 480 o superiore, oppure  
NVIDIA GTX 970/AMD Radeon R9 290 o superiore.
- Output video: HDMI 1.3;
- Connessione dati: USB 3.0.



Fig. 83 Oculus Rift CV1

## 4.2 eLaparo4D: sviluppo di un simulatore videolaparoscopico

### 4.2.1 Descrizione progetto

Il progetto eLaparo4D nasce nel 2011 dalla collaborazione tra Università degli Studi di Genova, l'ospedale San Martino di Genova e due aziende genovesi Emac e MCS, orientata allo sviluppo di un progetto di ricerca e sviluppo per lo sviluppo di un prototipo per la simulazione di situazioni di chirurgia laparoscopica. Alcune peculiarità del progetto, finanziato nell'ambito del bando POR 1.2.2, sono state poi brevettate in Italia (brevetto n. IT102016000047612 "Simulatore di Interventi in laparoscopia") ottenendo il TRL 6 secondo la metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia (Fig. 84). Le motivazioni principali dietro questo progetto si ritrovano nella presenza di un elenco limitato di simulatori ben



Fig. 84 Valutazione maturità tecnologie

posizionati sul mercato, ma caratterizzati da un alto costo e dal fatto che ci sono ancora molti requisiti di apprendimento impegnativi da affrontare, come ad esempio lo sviluppo di un feedback tattile raffinato, la necessità di una configurazione operativa realistica, la complessità di fattori umani oltre che la presenza di un framework destinato a migliorare e valutare il processo di apprendimento (Gaudina et al., 2013).

eLaparo4D è una piattaforma innovativa di simulazione in realtà virtuale con haptic feedback per attività di training in ambito di chirurgia mini-invasiva, ad esempio laparoscopica e/o nefrologica. Il progetto eLaparo4D ha come obiettivo il design e la realizzazione di un sistema di training per studenti specializzandi (in modalità e-learning) integrato con un simulatore di operazioni in video-laparoscopia e/o in ecografia, in grado di unire i vantaggi della realtà virtuale (sicurezza, modificabilità, multimodalità, etc.) e la fisicità dei diffusi box-trainers.

La ricerca dietro a questo ambizioso progetto include ambiti differenti, con relativi vincoli e problematiche specifiche, spesso ancora aperte. In particolare, i punti salienti del progetto di ricerca eLaparo4D (Fig. 85) sono:

- simulazione virtuale, visiva e fisica dell'interno dell'addome umano o della zona renale;
- integrazione di soluzioni di interazione che supportino un force feedback realistico;
- ricostruzione fisica dell'ambiente operatorio, dove inserire il simulatore virtuale;
- realizzazione di un set di esercizi propedeutici all'utilizzo di veri strumenti per la video-laparoscopia



*Fig. 85 Setup Elaparo4D*

Lungo il mio percorso formativo ho avuto modo di seguire dall'inizio l'evolversi di questa piattaforma contribuendo in maniera importante a diverse funzionalità del progetto ed è stato per me conseguenza naturale portare avanti alcuni aspetti di questo progetto all'inizio del mio percorso dottorale come segno di continuità.

Lo sviluppo delle attività ha visto interessato anche Hamza Zaghdoudi, studente magistrale di Ingegneria Informatica e coinvolto durante il suo periodo di tesi presso il 3DLabFactory

## 4.2.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	
Public	
Education	
Health	X

Content	
Learning and training	X
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	X
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	X
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	X
Combined ma overlay	X
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	X
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	
objects	X

People relation	
none	
subordinate	X
equal	

People disabilities	
cognitive	
physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	X
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	X
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

### Context

A livello di contesto quello che possiamo dire per questo progetto è che riguarda il dominio dell'health, e con più precisione lo scenario legato alla formazione e alla simulazione medica.

L'esperienza, riguardante principalmente l'ambiente reale, offre dei vincoli legati alla simulazione degli spazi e degli ingombri presenti in sala operatoria quando si effettuano interventi di laparoscopia, quindi la presenza di un corpo umano con una certa disposizione, un lettino operatorio e tutte le strumentazioni utili allo sviluppo dell'esperienza. In questo

caso ci si è quindi dotati di un manichino, che simulasse lo spazio operatorio occupato da un corpo fisico con la replica più fedele possibile della posizione, orientamento e inclinazione dello stesso rispetto al lettino su cui tradizionalmente è adagiato.

Alla presenza di questo manichino si aggiunge la presenza di tutta una serie di dettagli che vanno a replicare ingombri presenti nella realtà, in modo da rappresentare in maniera realistica l'esperienza reale, come ad esempio cavi e altri accessi legati alle strumentazioni tecniche.

Per quel che riguarda la naturale temporale dell'esperienza vi è un tempo limite da rispettare per alcuni esercizi di formazione, mentre nella parte simulativa è importante poter tracciare il tempo che viene impiegato nell'esecuzione dei task in modo da monitorare le performance degli utenti.

### *Users*

Gli agenti del settore si dividono in due categorie principali ovvero medici chirurghi esperti e specializzandi, con la possibilità, sulla base dell'esperienza maturata, di ricoprire ruoli e dinamiche diverse all'interno delle varie fasi del progetto e con una relazione di tipo subordinata.

Le due figure possono collaborare all'interno dell'esecuzione di una pratica simulativa oppure essere contrapposti da un'interazione basata sulla supervisione delle attività che vengono compiute.

In questo senso quindi esiste un ruolo di learner, cioè uno studente che esegue un percorso formativo per l'acquisizione delle competenze e uno di trainer per l'effettiva verifica delle competenze necessarie e le performance delle attività eseguite.

Gli studenti quindi hanno delle attività basate in step sequenziali, organizzate in esercitazioni differenziate per le competenze che vanno acquisite e che aumentano di difficoltà con l'avanzare del completamento positivo.

I trainers, cioè che chi supervisiona, può avere accesso ad un insieme di statistiche per verificare l'impegno profuso oltre che utilizzare la piattaforma per poter effettuare dimostrazioni pratiche legate all'esperienza reale.

L'obiettivo comune è quello di rendere i learners consci delle problematiche che si possono incontrare in sala operatoria, far acquisire loro familiarità con i dispositivi da usare e gli spazi vitali in cui si troveranno ad operare, in modo da ridurre i tempi di adattamento al contesto reale e poter approcciare in maniera più rapida e sicura alle pratiche operative.

Oltre a questi ruoli è previsto un ruolo più amministrativo della piattaforma, con un utente qualificato come tecnico per la gestione di tutte le questioni hardware e software, al quale

viene dato accesso riservato ad una serie di funzioni per la calibrazione e la manutenzione del sistema.

### *Technology*

A livello tecnologico eLaparo4D è stato costruito nel corso del tempo con una piattaforma modulare basata sullo sviluppo di un server node.js, permettendo l'integrazione di molteplici componenti col progredire del tempo. Alla base di tutta l'esperienza vi è uno sviluppo basato su dispositivi robotici ai quali si aggiungono tutta una serie di sensori e attuatori per la realizzazione di funzionalità rilevanti come ad esempio la gestione del ritorno aptico, che è stato nel corso del tempo brevettato<sup>18</sup> (Fig. 86).



*Fig. 86 Dettaglio sistema brevettato*

L'intervento di sviluppo effettuato in questa parte di progetto è stato utilizzare tutte le tecnologie e funzionalità già presenti nel progetto e lavorare cercando di aggiungere funzionalità dedicate principalmente al gruppo dei learners, con l'aggiunta da un lato di un sistema dedicato al replay delle proprie performance in cui poter quindi effettuare segnalazione di errori, correzioni aumentate e da un altro lato inserire una parte in cui aumentare le informazioni utili di cui avere costantemente nozione.

Il primo aspetto è stato quindi realizzato tramite la registrazione delle coordinate dei movimenti che venivano registrati durante l'esperienza per poi successivamente riprodurle, come fossero la reale origine del movimento da usare per l'interazione. L'aspetto aumentato di questa interazione, viene data dal visore Meta 2 che, permettendo una visione contemporanea dell'ambiente reale e di quello virtuale, consente di visualizzare il replay di quanto eseguito e al contempo visualizzare come overlay sulla vista virtuale eventuali segnalazioni, informazioni o altro materiale che il formatore può inviare all'ambiente virtuale e che viene visualizzato in sovrapposizione al monitor reale.

Utilizzando lo stesso visore, nella parte simulativa dell'esperienza, è possibile visualizzare in uno stile simile ad un videogioco informazioni che aumentino il livello di coscienza dello stato del paziente come ad esempio parametri vitali e biologici.

---

<sup>18</sup> brevetto n. IT102016000047612 "Simulatore di Interventi in laparoscopia"



## Expertise

Le competenze necessarie allo sviluppo erano principalmente legate allo sviluppo software per funzionalità di realtà aumentata, comunicazione e salvataggio dati. Tutte competenze che la mia figura era in grado di ricoprire, tuttavia ci si è avvalso della collaborazione di un tesista magistrale di Informatica interessato alle tematiche dell'uso di tecnologie innovative ed immersive in modo da suddividere gli sviluppi da effettuarsi in blocchi. Questo ha consentito quindi di focalizzare meglio le mie attività sulla parte più rilevante ed immersiva, legata allo sviluppo delle funzionalità dell'interfaccia e delle interazioni di realtà aumentata ma senza perdere la supervisione su altri aspetti complementari e velocizzando la realizzazione del tutto.

### 4.2.3 Sviluppi e risultati

Al fine di meglio descrivere in questa sezione quanto realizzato e il tipo di contributo portato alla piattaforma eLaparo4D nel percorso di dottorato è bene fare una breve introduzione circa la struttura che compone il simulatore sviluppato nel corso del tempo.

Tale struttura è divisa a livello logico in due componenti principali, ovvero un lato server e un lato client (Fig. 87).

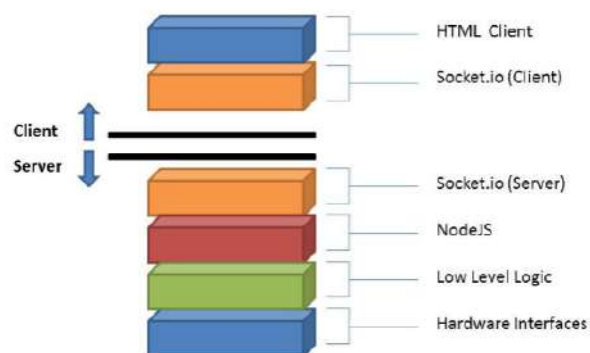


Fig. 87 Architettura software Elaparo4D

Il lato server funziona come fosse un gateway tra diversi elementi, occupandosi della gestione dell'acquisizione delle informazioni da tutte le interfacce esterne presenti, l'elaborazione dei dati, la memorizzazione in un database e l'interscambio con l'altro lato del sistema.

Tale parte è sviluppata su un'architettura che fa di Node.js la parte centrale di tutte le funzionalità, per via della sua natura modulare e flessibile che lo ha reso lo strumento ideale per acquisire i dati da dispositivi quali i Phantom Omni (Fig. 81) e la board arduino a cui erano collegati i sensori utilizzati per la gestione del feedback aptico.

Il lato client è destinato alla visualizzazione dell'interfaccia utente che viene usata per la visualizzazione dell'esperienza immersiva e per la gestione delle funzionalità dell'intera



Fig. 88 Phantom Omni



piattaforma.

Questo lato del sistema è costituito da un'applicazione web che ospita l'interfaccia generale dell'intera piattaforma eLaparo4D, suddivisa in opportune sezioni che permettono di visualizzare dati dell'utente, il riepilogo delle sue performance eseguite oltre che le schermate in cui accedere alle parti di esercitazioni della basic skills o di simulazione dell'intervento.

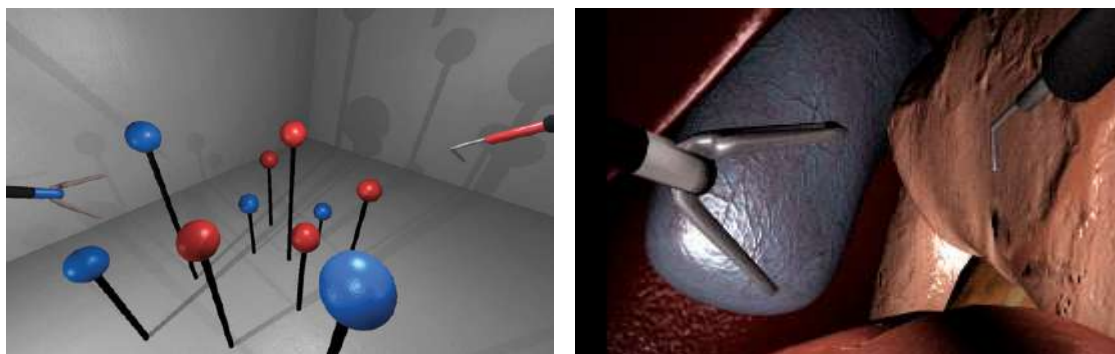
Queste due ultime componenti sono state realizzate utilizzando Unity3D come ambiente di sviluppo principale, in quanto permette la ricezione di informazioni dall'esterno sia nelle fasi di development che di deploy e utili nel nostro a caso manipolare gli strumenti laparoscopici nell'ambiente virtuale.

Sulla base della struttura presentata è stato possibile integrare alcune funzionalità che andassero ad ampliare quanto il sistema già consentiva di effettuare a tutti gli agenti presenti nel contesto.

Nello specifico si è pensato potesse essere interessante aumentare funzionalità legate alle performance del praticante, con la possibilità di rivedere quanto effettuato e poter ricevere feedback costruttivi dai supervisor e dagli esperti della disciplina attraverso un sistema aumentato in cui visualizzare note e suggerimenti visivi.

Il sistema di registrazione delle performance è stato sviluppato inserendo algoritmi dedicati alla memorizzazione delle coordinate delle posizioni nello spazio-tempo all'interno di variabili per tutta la durata dell'esperienza, salvandoli poi in maniera persistente e organizzati in modo da associare metadati informativi alla registrazione, come la data e la durata dell'esperienza.

Tale soluzione può essere adottata sia per quel che concerne la pratica delle basic skills (Minuto et al. 2018) che la pratica simulativa in quanto entrambe condividono la stessa modalità di ricezione e invio di informazioni e dati, differenziandosi solamente per il contenuto dell'esperienza simulativa in sé (Fig. 89).



*Fig. 89 Basic skills e simulation*

La capacità di poter rivedere quanto fatto permette l'analisi a posteriori della propria performance, permettendo il verificarsi sia di momenti di self-assessment che di discussione

e conversazione con utenti esperti per analizzare comportamenti e pratiche operatorie. Questa funzionalità è resa possibile dalla possibilità di mettere in pausa il sistema e discutere insieme ad altri agenti delle manovre effettuate argomentando possibili errori o riflessioni, in modo da comprendere il pensiero che ha portato all'esecuzione di determinate azioni o suggerire altre possibili alternative.

Tale interazione può essere effettuata in due modalità, una basica e una aumentata.

Nella prima modalità viene usata la visualizzazione dell'interfaccia tradizionale e si va a conversare ed aggiungere contenuti digitali direttamente su quanto visualizzato sul monitor.

La seconda modalità prevede la visualizzazione, attraverso l'utilizzo di un visore dedicato, di contenuto digitale messo in sovrapposizione all'interfaccia che viene rappresentata sul monitor. In questo modo si mantiene un distacco percettivo tra le due interfacce visive, permettendo una facilità di comprensione potenzialmente maggiore.

L'interazione che si verifica è che quella che prevede uno scenario in cui è presente un utente immerso, ma con la percezione del mondo reale e un utente esterno che, dotato di uno strumento apposito (es. tablet), è in grado di comunicare con il visore inviando sia messaggi semplici che disegni articolati e complessi i quali agendo in modalità ghost (overlay) possano permettere la comprensione di quanto si vuole trasmettere come conoscenza.

L'utilizzo di questa ultima modalità è stata poi ipotizzata essere utile per pratiche diverse dalla formazione collaborativa e più legate alla pratica individuale delle esperienze di training e simulazione.

Attraverso un utilizzo del genere, si è pensato potesse essere utile utilizzare un visore di realtà aumentata che attraverso la sovrapposizione di dati ambientali e del paziente permettesse la lettura rapida di informazioni rilevanti durante le pratiche operative.

Ovviamente quest'ultimo tipo di sviluppo deve essere poi valutato e validato dai potenziali utenti finali per verificare che non si presentino problemi legati all'ergonomia e alla user experience generale.

Quanto realizzato nella discussione della presente sezione ha portato alla pubblicazione di un articolo scientifico legato alla descrizione della creazione e del potenziale legato a questa esperienza immersiva.

Questa esperienza, che può risultare innovativa nel campo della simulazione e formazione medica, va ad inserire un ulteriore tassello di innovazione all'interno di un progetto già molto ambizioso e innovativo per sua natura per quanto sviluppato nei suoi anni di progetto.

La direzione futura di ulteriori sviluppi deve partire dall'insieme degli avanzamenti fatti fin qui nell'intero progetto eLaparo4D, definendo dei punti di partenza che funzionino da linee guida per il miglioramento o il redesign del sistema. In questo modo sarà possibile poter continuare a creare contributi scientifici e al contempo provare a concretizzare gli anni di

ricerca fatti, con la realizzazione di un reale prodotto usabile all'interno di contesti medici con la finalità di apportare benefici alla formazione del personale per l'acquisizione di competenze e conoscenze.

## 4.3 eBSim: sviluppo di un simulatore di parto low-cost

### 4.3.1 Descrizione progetto

Il progetto eBSim (Fig. 90) nasce nel corso dell'anno 2015 quando con lo studio, l'approfondimento e la ricerca delle tematiche e delle problematiche nel campo della simulazione medica e dell'utilizzo delle tecnologie immersive in questo tipo di applicazioni, diverse figure accademiche e professionali fanno convergere i loro interessi formando un gruppo che contribuirà alla nascita di un prototipo dedicato alla formazione ed il training di personale ostetrico.



*Fig. 90 Prototipo eBSim*

L'interesse nello sviluppo nasce da un problema clinico che richiede la conoscenza dell'anatomia del bacino materno e della testa fetale, al fine di conoscere il livello di impegno del canale del parto e quella che viene identificata come posizione della testa e che indica la relazione fra la testa fetale e il canale del parto rispetto a precisi indici e punti di riferimento (Paci et al., 2016).

Il livello di impegno viene solitamente espresso secondo una convezione numerica che va da -5 a +5 dove lo zero è rappresentato dal riferimento dato dalle spine ischiatiche, mentre l'espressione delle possibili alternative della posizione fetale viene data dal rilevamento di informazioni acquisibili attraverso il riconoscimento di suture e fontanelle presenti sulla testa fetale (Fig. 91).

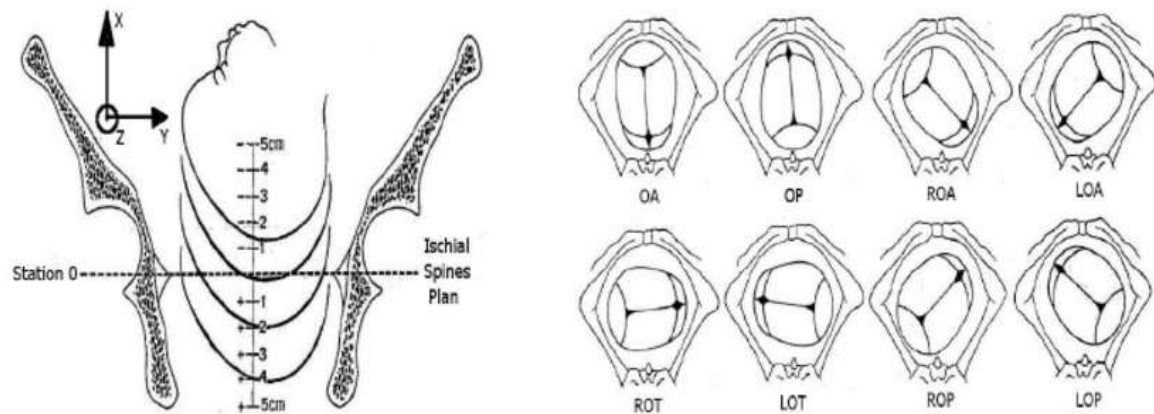


Fig. 91 Livello di impegno e posizioni testa fetale

Questa conoscenza di requisiti formativi ha permesso di delineare funzionalità e specifiche in modo da avere un utilizzo appropriato e garantire una formazione completa del personale, così da agire in maniera corretta sia in situazioni normali che critiche.

Tra le funzionalità richieste possiamo quindi riassumere la capacità di determinazione dello spostamento utile ad indicare il livello di impegno della testa fetale rispetto alle spine ischiatiche, l'individuazione del grado di orientazione del feto nel canale uterino e la discriminazione del tocco tra le due fontanelle presenti sulla testa del manichino per permettere il riconoscimento e la rappresentazione della posizione fetale.

L'obiettivo di questo sviluppo era quello di realizzare qualcosa che fosse utile e che mantenesse requisiti legati al basso costo di produzione, alla presenza di un sistema wireless ed infine renderlo un sistema portatile con un funzionamento plug and play.

All'interno del gruppo di lavoro hanno collaborato in maniera importante le figure di:

- Serena Ricci, tesista magistrale in Ingegneria Biomedica al momento dell'inizio del progetto e da Aprile 2020 Dottoressa di Ricerca del XXXII ciclo in Bioingegneria e Robotica;
- Maura Casadio, docente di bioingegneria all'Università degli Studi di Genova con interessi di ricerca legati al controllo neurale dei movimenti, la riabilitazione neuromotoria, lo sviluppo di nuovi dispositivi e di interfacce corpo –macchina per la valutazione funzionale, l'assistenza e la riabilitazione;
- Massimo Cordone, medico ginecologo Ospedale Gaslini;
- Pierangelo Marchiolè, medico ginecologo Asl3 Ospedale Villa scassi;

Diversi contributi sono stati apportati da studenti e tesisti interessati alle tematiche di Ingegneria Biomedica, robotica, sviluppo software e coinvolti nelle attività di laboratorio per progetti di esami e tesi come Andrea Paci, Mario Ciranni, Andrea Pani e Giuliano Vacca.

### 4.3.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	
Public	
Education	
Health	X

Content	
Learning and training	X
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	X
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	X
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	X
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	X
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	
objects	X

People relation	
none	
subordinate	X
equal	

People disabilities	
cognitive	
physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	X
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	X
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

### Context

L'identificazione del contesto porta facilmente all'inquadramento all'interno del dominio health, con uno scenario legato alla simulazione e alla formazione di professionisti nel settore ostetrico. Lo svolgimento delle principali attività avviene in ambienti reali, ed è quindi di particolare rilievo la rappresentazione degli spazi in modo strutturato e coerente rispetto allo scenario operatorio, per via delle posizioni che agenti e attrezzature devono tenere. La simulazione dell'esperienza reale è qui replicata utilizzando un manichino rappresentante il

corpo della madre atto al compimento del parto più altri accorgimenti base che intendono cercare di rendere gli ingombri spaziali più veritieri possibili.

### *Users*

I potenziali utenti sono studenti e studentesse universitari che interpretano ruoli di learners interessati all'acquisizione delle competenze utili al riconoscimento della posizione e dell'orientamento nel canale del parto, in modo tale da poter sapere l'impegno del corpo fetale ed essere in grado di prendere le decisioni giuste per la situazione in questione. Altri utenti coinvolti sono i professori che, in qualità di trainers, sono interessati a supervisionare gli studenti in modo da monitorare le performance e i miglioramenti instaurando quindi possibili relazioni subordinate tra loro e senza la presenza di particolari disabilità.

L'obiettivo comune è quello di poter acquisire le competenze necessarie a rispondere prontamente e in maniera ottimale alle differenti situazioni che si possono presentare in sala. A questo proposito bisogna sviluppare una soluzione che sia in grado di fornire gli appropriati feedback rispetto alle attività, ai processi di apprendimento e simulazione dei casi clinici.

### *Technology*

La realizzazione di questo progetto prevede l'acquisizione di informazioni di natura fisica e motoria, legate alla rappresentazione della posizione e dell'orientamento della testa fetale. Per fare in modo di replicare all'interno del progetto queste informazioni e questi comportamenti si è pensato di creare una testa con la tecnica della stampa 3D e modellarla in modo tale che potesse ospitare tutta una serie di sensori e componenti elettronici utili a creare e trasmettere le informazioni.

L'arricchimento dell'esperienza sensoriale può essere ottenuta con scelte curate nella riproduzione delle percezioni tattili e un arricchimento delle funzionalità virtuali.

Le percezioni tattili riguardano la consistenza fisica della testa in termini di dimensioni, morfologia, durezza e quindi le sensazioni provate quando avviene il contatto tra le dita e la superficie esterna della testa.

Per riuscire a sviluppare le funzionalità desiderate si è deciso di dividere lo sviluppo in due blocchi: uno riguardante la testa e uno riguardante il corpo rappresentante il feto materno. Nel primo blocco si è deciso di rendere la testa fetale un dispositivo autonomo con una board Arduino a cui è collegare tutta la sensoristica necessaria a registrare le informazioni acquisibili dalla testa, un sistema di batterie per garantire una buona durata di vita, e un

sistema di comunicazione per l'invio dei dati acquisiti.

Il secondo blocco ha riguardato tutta una serie di interventi connessi alla funzionalità di rappresentazione del livello di impegno e altre pratiche più estetiche e funzionali.

A questo si aggiunge un dispositivo esterno, nello specifico un Raspberry PI, che funziona come server centrale in grado di ricevere tutte le informazioni dai sensori del sistema, effettuare tutte le elaborazioni necessarie e poi inviare i dati ai client connessi.

### *Expertise*

Il team formato è stato in grado di coprire tutte le esigenze necessarie quali la conoscenza e l'analisi del problema clinico, le problematiche legate alle diverse tipologie di sensori potenzialmente idonei all'implementazione delle funzionalità del progetto, così come le problematiche che potevano emergere nell'implementazione del sistema comunicativo e rappresentazione virtuale delle informazioni sui vari dispositivi.

Il progetto ha subito e continua ad oggi subire continue revisioni dove di volta in volta viene analizzato lo stato di avanzamento, cercando di andare a migliorare le singole componenti in modo da apportare continuamente migliorie e generare valore aggiunto.

A tale scopo sono stati coinvolti a vario livello di profondità nelle attività di sviluppo studenti e tesisti interessati alla materia e di diverse discipline, in modo da avere contributi di origine diversa

Infatti oltre alle componenti ingegneristiche e biomediche è stato richiesto un continuo interscambio di informazioni con studenti e docenti del settore ostetrico in modo da calibrare funzionalità e sviluppi sulle base delle loro considerazioni.

#### **4.3.3 Sviluppi e risultati**

Lo sviluppo di questo progetto è iniziato con l'analisi delle componenti e delle funzionalità da implementare, il che ha portato all'identificazione di tre parti distinte in cui articolare la progettazione (Fig. 92), ovvero un modello fisico, un sistema di comunicazione e un modello grafico.



*Fig. 92 Elementi iniziali del progetto*

La parte del modello fisico è composta da tre elementi differenti:

- feto a termine;
- pelvi femminile;
- copertura esterna;

Nel corso dello sviluppo tutti gli elementi hanno subito diversi processi di revisioni in modo da migliorare il rendimento e il contributo globale al progetto.

L'elemento del feto è quello che ha subito gli studi più approfonditi, principalmente per quel che riguarda la parte della testa, fulcro centrale dell'intero progetto.

Su questa parte infatti si sono concentrati sviluppi di varia natura, con l'intento di creare qualcosa che potesse contenere le componenti elettroniche utili ad implementare le funzionalità richieste, mantenendo inoltre un alto livello di realismo per quel che riguardava dimensioni e sensazioni tattili.

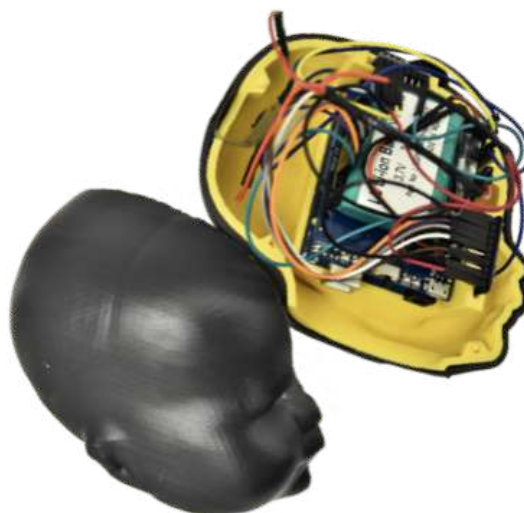
Lo sviluppo della testa fetale (Fig. 93) nella fase iniziale del progetto ha visto il compiersi di fasi utili alla creazione di una riproduzione dedicata al contenimento di una serie di dispositivi che la rendessero attiva e comunicante, senza concentrarsi particolarmente su questioni legati alla sensazione tattile eccezione fatta per il rispetto delle dimensioni e proporzioni con la realtà.

La prima fase quindi è consistita in processi di modellazione, nei quali si è ricreata la testa tridimensionale partendo da modelli reperiti gratuitamente in rete, per poi apportare modifiche utili a disegnare gli spazi e i supporti in cui alloggiare l'insieme di dispositivi e sensori.



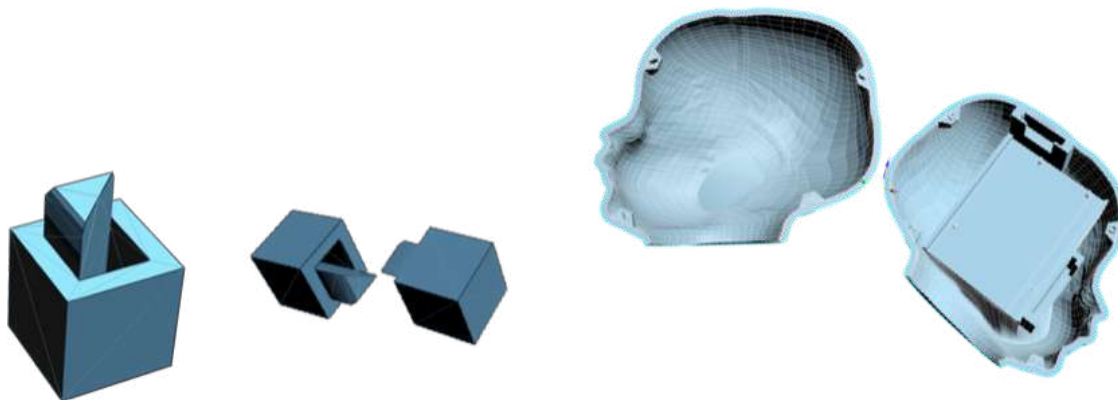
All'interno, sono stati quindi poi posizionati le seguenti componenti:

- un sensore IMU, per rilevare la rotazione della testa;
- 2 sensori di pressione, per rilevare il tocco sulle fontanelle;
- una scheda BLE, per stabilire la connessione e la comunicazione col server centrale;
- board arduino, per gestire i dati generati dai sensori e l'invio;



*Fig. 93 Testa stampata in 3D e sensoristica*

La rappresentazione della testa dopo diverse rivisitazioni al momento è costituita da due strati per emisfero, uno rappresentante la superficie esterna più morbida e definita ed uno interno che costituisce la struttura del cranio rigida, funzionando da scatola per il contenuto interno. I due strati risiedono uno dentro l'altro e poi attraverso un sistema di chiusura, detto lockblock (Fig. 94), basato su elementi di forma cubica ad incastro e distribuiti agli angoli della testa in modo da consentire una chiusura stabile del tutto.

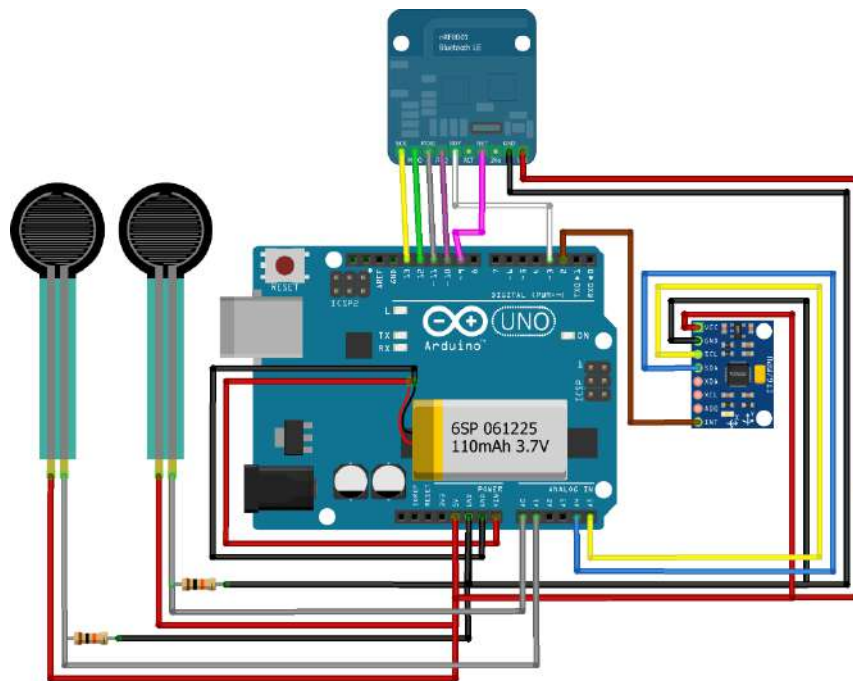


*Fig. 94 Sistema lockblock*

Il modello fisico di eBSim è la componente del progetto che genera, in modalità differenti tra loro, i dati necessari alla rappresentazione della posizione e dell'orientamento del corpo fetale all'interno del canale di parto oltre che rilevare la pressione sulle fontanelle.

Per la parte di orientamento, l'insieme delle informazioni sono da sempre state elaborate direttamente dalla board Arduino attraverso l'uso di sensore IMU in grado di restituire i valori per i singoli assi X,Y,Z andando quindi a definire una situazione ben precisa dell'oggetto fisico (Fig. 95).

La funzionalità di gestione della pressione del tocco sulle fontanelle è gestita attraverso l'uso di due sensori di pressione inseriti tra i due strati della testa fetale in punti corrispondenti alle reali fontanelle e che servono a discriminare quando realmente un tocco avviene.



*Fig. 95 Schematico circuiti elettronica nella testa fetale*

La parte di rilevamento della posizione ha subito invece un maggior numero di iterazioni, alla luce delle riflessioni che venivano apportate nel corso del tempo rispetto alla revisione del progetto (Fig. 96).

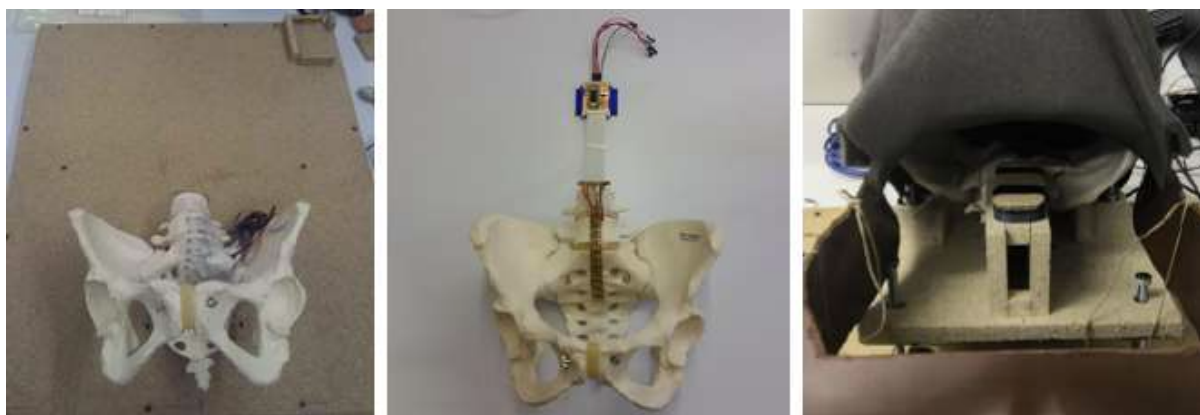
Durante le prime fasi dello sviluppo, e con l'intento di verificare la fattibilità di un sistema che permettesse la registrazione di uno spostamento lineare, questa funzionalità era resa possibile da un array di sensori magnetici, con un numero elevato di fili e saldature, posizionati in sequenza direttamente sull'oggetto rappresentante la pelvi femminile e da dei magneti posizionati invece direttamente in punti strategici lungo la circonferenza del corpo della rappresentazione del corpo fetale.

Questo primo sviluppo è stato funzionale rispetto allo studio tecnico di fattibilità, ma aveva delle problematiche di ergonomia che lo rendevano poco pratico ed usabile in termini di sviluppi stabili.

Il primo passo di revisione di tale sistema è stato quello di organizzare l'array di sensori in un oggetto più strutturato. Questa fase ha permesso la creazione di un device composto da un microcontrollore al quale erano collegati i sensori magnetici in maniera più ordinata e meno ingombrante.

Una successiva iterazione riguardo questa componente ha portato recentemente alla progettazione di un sistema basato sull'inversione del principio di acquisizione

dell'informazione generata dai sensori magnetici, ovvero con il posizionamento dei sensori magnetici sul corpo del bambino e i magneti sulla pelvi femminile.



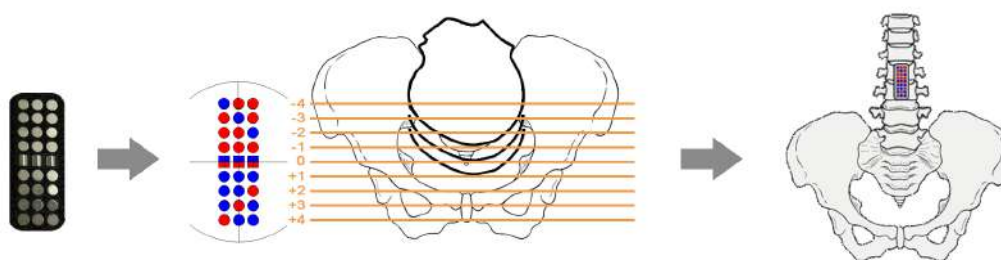
*Fig. 96 Evoluzione hardware del sistema di monitoraggio*

Questo cambio di posizionamento è dovuto alla volontà di ridurre ulteriormente gli ingombri fisici all'interno della pelvi femminile e dalla scelta di avere l'insieme dei componenti elettronici del sistema collegati tutti in maniera esclusiva alla board Arduino presente nella testa fetale.

La disposizione dei magneti è stata progettata utilizzando delle terne disposte secondo uno schema che, sfruttando la polarizzazione dei singoli magneti, permettesse di discriminare 9 differenti stazioni di monitoraggio. In questo modo, escludendo i due estremi per via di considerazioni dettate dalla pratica, è possibile rappresentare in modo univoco i diversi livelli di avanzamento del corpo fetale nel canale di parto utili al progetto (Vacca et al., 2020) (Fig. 97).

I sensori invece sono stati spostati sul corpo fetale e collegati alla board Arduino consentendo quindi il rilevamento, per via del tipo di segnale generato da ogni singola terna, del cambio di livello di impegno.

Quest'ultima soluzione, sviluppata nel corso dell'ultimo periodo del percorso dottorale insieme al gruppo di lavoro, ha subito una serie di test iniziali che sembrano incontrare i bisogni funzionali del progetto e subirà nel prossimo futuro un insieme di test insieme a personale ostetrico al fine di verificarne approfonditamente la sua validità.



*Fig. 97 Implementazione sistema magnetico inverso*

Tutte le informazioni precedentemente generate vengono inviate via Bluetooth al sistema di comunicazione centrale che si basa sulla presenza di una Raspberry PI 3 model B e agisce da ponte tra le varie componenti del progetto, in quanto riceve i dati sia dal modello fisico che dal modello grafico gestendone l'elaborazione e il flusso di scambio grazie alla presenza di un'applicazione server sviluppata in Node.js.

L'applicazione server riceve le informazioni prodotte dal modello fisico e dove necessario fa le opportune elaborazioni, per poi inviare il tutto al modello grafico dei clienti connessi.

Questa trasmissione avviene in modalità Wi-Fi utilizzando in maniera diversa il protocollo UDP oppure il modulo socket.io, che utilizza la tecnologia websocket per una veloce ed affidabile comunicazione real-time.

La comunicazione UDP viene principalmente utilizzata per poter inviare in un flusso continuo le informazioni riguardante la situazione dello stato fisico della testa e del bacino, in modo da indicare la pressione avvenuta sulle fontanelle, le informazioni degli assi di rotazione della testa e il rilevamento della posizione lungo il canale del parto.

La modalità socket è stata usata prevalentemente per lo scambio di informazioni legate ad eventi ed azioni come ad esempio l'impostazione di settings e funzionalità simili.

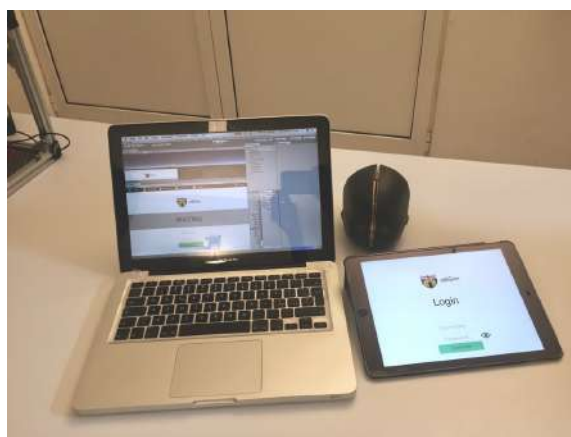
L'applicazione server inoltre espone anche un web server in grado di accogliere richieste HTTP utilizzando quindi metodi GET e POST per il recupero o il salvataggio di informazioni.

La terza componente, quella del modello grafico, è composta da un'applicazione client sviluppata in Unity3D con possibilità quindi di essere esportata indifferentemente sia per dispositivi desktop che mobile (Fig. 98).

La rappresentazione attuale del modello grafico include due modelli 3D principali rappresentanti la pelvi femminile e il corpo fetale del bambino che vengono utilizzati e visualizzati in sezioni precise dell'applicazione che include tutta una serie di funzionalità per la gestione degli studenti e delle loro prove effettuate nel corso del tempo.

L'applicazione è stata sviluppata tenendo in considerazione i diversi profili utenti emersi nell'analisi CUTE, ovvero studenti, professori e tecnici amministrativi.

Ciascuno di questi profili ha accesso a delle schermate diverse, progettate sulla base delle attività che devono effettuare, permettendo quindi una visualizzazione personalizzata.



*Fig. 98 Applicazione eBSim*

Sulla base di diverse considerazioni sono emerse tre modalità principali (Fig. 99) in cui poter utilizzare l'applicazione a seconda del caso d'uso:

- training, dove lo studente può esercitarsi e verificare le proprie abilità;
- simulation, lo studente può eseguire un'autovalutazione;
- exam, lo studente sostiene l'esame e il docente può valutare le risposte.



*Fig. 99 Modalità interfaccia eBSim*

All'interno della modalità di training l'utente è in grado di potersi mettere alla prova, avendo un costante feedback visivo durante il suo processo di apprendimento costruendosi un modello mentale durante l'esperienza tattile.

La possibilità di vedere a livello visivo sul monitor la rappresentazione della testa, più alcuni cambiamenti quando vengono toccate le sezioni delle fontanelle permette allo studente di associare quello che sta percependo con le proprie mani a quello che è lo stato reale della testa fetale, acquisendo consapevolezza e conoscenze da riusare.

La modalità di simulation permette di verificare il grado di queste conoscenze, mettendo alla prova le capacità dell'utente rispetto ad un preciso caso, con l'analisi della situazione attraverso l'esperienza e dandogli la possibilità di effettuare un'autovalutazione che viene effettuata compilando un questionario che restituirà una votazione sulla base delle risposte e quanto effettivamente registrato.

La modalità esame, avviene con la presenza del professore che, utilizzando una schermata apposita, è in grado di visualizzare in real-time ciò che avviene e registrare le risposte.

Lo studente oltre a queste tre modalità, ha accesso ad un elenco contenente le informazioni relative alla sua anagrafica e alle precedenti sessioni di training ed esami effettuati.

Il professore dal suo punto di vista può accedere all'elenco degli studenti e approfondire il dettaglio per poter visualizzare il suo percorso e le sue performance.

L'utente admin ha accesso principalmente alla sezione in cui poter configurare e gestire tutti i parametri di funzionamento e calibrazione in modo da far corrispondere il movimento reale con quello virtuale.

Questo progetto ha visto l'apporto di diversi contributi atti a migliorare di volta in volta varie parti fino a renderlo interessante sotto molteplici punti di vista, permettendo al gruppo di lavoro di concepire un primo prototipo che ha consentito la realizzazione di articoli scientifici,



raccolta di feedback sia da comunità tecniche che scientifiche e l'ottenimento di diversi premi e riconoscimenti.

Nel corso del tempo, per poter verificare lo stato del progetto e la ricezione da parte dei possibili utenti è stato redatto un questionario per valutare il grado di accettabilità del sistema e dell'esperienza, con risultati che hanno spinto a continuare l'avanzamento dei lavori.

Per effettuare questa tipologia di valutazione è stato realizzato un questionario (appendice B) con elementi appartenenti allo System Usability Scale (Brooke, 1996)(Fig. 100) uniti alla forma breve dello User Experience Questionnaire (Fig. 101) che ha dato luogo a feedback rilevanti da parti di studenti, medici ginecologi e ostetriche che hanno provato il sistema. Il campione era composto da soggetti partecipanti in forma volontaria, costituito da 7 soggetti totali divisi in 2 Maschi e 5 Femmine e formato da 2 Ginecologi, 4 studenti e 1 ostetrica ai quali veniva richiesto di soddisfare un solo requisito per la partecipazione, ovvero quello di aver assistito ad almeno un parto in sala operatoria durante il loro percorso.

Il questionario è stato sottoposto nell'estate del 2019 quando si è integrato in una versione 0 del progetto tutte le rivisitazioni e i miglioramenti apportati singolarmente a ciascuna delle tre componenti, fatta eccezione per la terza ed ultima versione del sistema di rilevamento del canale di impegno che è stato ultimato nei primi mesi del 2020.

Question		1	2	3	4	5
SUS1	I think that I would use this system frequently					
SUS2	I found the system unnecessarily complex					
SUS3	I thought the system was easy to use					
SUS4	I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system					
SUS5	I found the various functions in this system were well integrated					
SUS6	I thought there was too much inconsistency in this system					
SUS7	I would imagine that most people would learn to use this system very quickly					
SUS8	I found the system very awkward to use					
SUS9	I felt very confident using the system					
SUS10	I needed to learn a lot of things before I could get going with this system					

*Fig. 100 Elementi System Usability Scale*

Obstructive	o o o o o	Supportive
Complicated	o o o o o	Easy
Inefficient	o o o o o	Efficient
Confusing	o o o o o	Clear
Boring	o o o o o	Exciting
Not interesting	o o o o o	Interesting
Conventional	o o o o o	Inventive
Usual	o o o o o	Leading Edge

Fig. 101 Forma breve UEQ

L'analisi delle risposte generate (Fig. 102) ha fatto emergere che tutti i soggetti conoscevano la simulazione, ma solo 3 avevano avuto modo di sperimentarla prima di questa giornata.

	Sbj1	Sbj2	Sbj3	Sbj4	Sbj5	Sbj6	Sbj7
Genre	M	F	F	F	F	F	M
Age	64	27	20	21	29	23	61
Degree	PhD	High School	High School	High School	Other	High School	Masters
Previous knowledge on medical simulation	2	2	1	1	2	1	2
Number of delivers performed	>100	<10	<10	10 - 50	>100	<10	>100
SUS1	4	5	5	5	4	5	5
SUS2	1	1	1	2	1	2	1
SUS3	5	5	4	4	5	5	5
SUS4	5	3	3	3	2	2	5
SUS5	5	5	5	4	5	5	5
SUS6	1	1	1	1	5	1	1
SUS7	5	5	5	1	5	5	5
SUS8	1	1	1	2	1	2	1
SUS9	4	4	4	4	5	4	4
SUS10	1	1	1	2	1	2	1
UEQ1	5	5	5	5	5	5	5
UEQ2	5	5	5	3	5	4	5
UEQ3	4	5	5	5	5	5	5
UEQ4	5	5	5	4	5	5	5
UEQ5	3	5	5	5	5	5	5
UEQ6	4	5	5	5	5	5	5
UEQ7	4	5	4	5	4	4	5
UEQ8	5	5	4	5	5	5	5

Fig. 102 Risposte questionario

L'incidenza delle risposte date alle domande di tipo tecnico ha fatto emergere indicazioni positive circa la natura e l'interesse all'uso di questo tipologia di sistemi.

Secondo gli intervistati il sistema è stato considerato uno strumento di supporto, di facile interazione, efficiente e moderno rispetto alle pratiche di apprendimento e utilizzo ma che richiede e necessita di pratica e istruzioni utili a facilitarne un uso corretto.

eBSim ha costituito in questo mio percorso di dottorato un progetto in cui portare diversi

contributi reali, che ha permesso la realizzazione di diverse pubblicazioni scientifiche oltre che il riscontro di consenso ed interesse, manifestato attraverso il conseguimento di diversi premi e risultati.

Lo stato attuale del progetto, prima di poter ambire a diventare un vero prodotto, necessita del perfezionamento e della stabilizzazione di diverse features all'interno di tutte e tre le componenti del progetto, cioè fisico, comunicativo e virtuale.

Al momento, alla conclusione del termine di questo mio percorso le cose su cui si intende porre maggiore attenzione come sviluppi futuri sono:

- ulteriore miglioramento della sensazione tattile della superficie esterna della testa;
- validazione sistema magnetico sviluppato per il tracking del movimento;
- stabilizzazione della comunicazione BLE tra testa e server centrale;
- completamento interfaccia con funzionalità aggiuntive e questionario autovalutativo;
- design di un sistema portatile

Una volta completati e portati a termine questi miglioramenti si potrà ottenere qualcosa che in futuro potrà realmente essere utilizzato come strumento di supporto per le pratiche comuni alla formazione di personale ostetrico in un modo più vasto, strutturato e proficuo.

## **4.4 EducationAR: la realtà aumentata in contesto scolastico**

### **4.4.1 Descrizione progetto**

Il progetto EducationAR nasce dalla volontà di indagare l'utilizzo di tecnologie immersive, nel caso specifico la realtà aumentata, all'interno di contesti educativi e scolastici per valutarne la fattibilità, l'accettabilità e gli eventuali benefici che questo utilizzo può apportare alla didattica e all'apprendimento.

L'interesse nell'utilizzo della realtà aumentata è dato dalla sua capacità di essere applicata in maniera flessibile a diverse materie ed argomenti (K. Lee, 2012) e dall'intento di creare una soluzione dimostrativa specifica ma che in futuro possa essere applicata a materie e contenuti diversi da quelle della sperimentazione, mantenendo e adattando le modalità di interazione e fruizione.

Questa volontà ha incontrato l'interesse anche di altre figure che hanno contribuito a creare un gruppo di lavoro che ha portato alla realizzazione di una giornata di sperimentazione, la cui progettazione è stata descritta mediante il Lesson Plan (riportato in appendice C), un format per la pianificazione delle attività innovative, uniformato al linguaggio della Scheda Innovazione<sup>19</sup>, che descrive i progetti caricati nell'Osservatorio del

---

<sup>19</sup> La Scheda innovazione:  
[http://www.scuoladigitaleliguria.it/attachments/article/446/SchedaInnovazioneOsservatorio\\_maggio\\_2019.pdf](http://www.scuoladigitaleliguria.it/attachments/article/446/SchedaInnovazioneOsservatorio_maggio_2019.pdf)



Progetto Scuola Digitale Liguria, rendendoli accessibili e consultabili facilmente.

Secondo questo schema, le attività in cui gli studenti di scuole superiori hanno potuto vivere questa esperienza immersiva sono state divise in due elementi, ovvero la descrizione dell'attività didattica e la consegna per gli studenti.

La descrizione dell'attività era costituita da parti di macro-progettazione (per un inquadramento generale delle caratteristiche del progetto didattico) e micro-progettazione (a uso del docente per la gestione della conduzione delle attività).

Il secondo elemento indica la richiesta fatta agli studenti di realizzare documentazioni ed elaborati secondo una specifica consegna, utile anche a tenere traccia dello svolgimento delle attività di apprendimento.

Per la realizzazione delle attività è venuta utile l'applicazione del modello CIAK (Bralia & Lanzani, 2017), dedicato alla progettazione di attività didattiche immersive e caratterizzato da quattro componenti descritti come contestualizzazione, investigazione, adattamento al linguaggio virtuale, ritorno e ri-contestualizzazione nel mondo reale.

All'interno di questo lavoro hanno partecipato con diversi ruoli, compiti e contributi diverse persone tra le quali:

- Alice Saracchi, al momento della sperimentazione tesista magistrale in Digital Humanities dell'Università degli studi di Genova e ora dottoranda del XXXV Ciclo in Digital Humanities;
- Angela Sugliano, docente presso il dipartimento DIBRIS dell'Università degli studi di Genova ed esperta in Instructional Design;
- Loredana Leo, professoressa di Scienze e Biologia del Liceo Martin Luther King di Genova con i suoi studenti della classe II sezione Digitale.

#### 4.4.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	
Public	
Education	X
Health	

Content	
Learning and training	X
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	
Combined ma overlay	X
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	X
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	X
objects	

People relation	
none	
subordinate	X
equal	

People disabilities	
cognitive	
physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	X
Learning engagement	
Learning attitude	X
Task performance	
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

#### Context

Il contesto in oggetto per questo progetto è quello dell'education, con tutte le dinamiche legate quindi a livello generale alla struttura fisica di una classe e a tutte le dinamiche sociali che in esso si verificano. L'esperienza immersiva da sviluppare richiede una fruizione differente da quella tradizionale di una lezione, in quanto la modalità di interazione e partecipazione prevede un studente immerso con gli altri che osservano in qualità di spettatori.

Va quindi pensato uno spazio idoneo al permettere un'esperienza di tipo room scaled, in quanto è possibile muoversi nello spazio e visualizzare i contenuti da più punti di vista. Per quel che riguarda l'aspetto del tempo, l'esperienza non prevede alcune scadenze o tempistiche da rispettare per il raggiungimento di particolari obiettivi.

Le condizioni ambientali non soffrono di particolari disturbi che potrebbero influire sulla percezione qualitativa dell'esperienza, in quanto sono variabili facilmente controllabili in maniera diretta.

### *Users*

All'interno del contesto operano agenti riconducibili ai ruoli di studente e professore con tutte le dinamiche legate quindi alle possibili relazioni studente-studente e studente-professore. Nello specifico caso dell'esperienza in questione gli studenti sono legati da un relazione di tipo uno immerso e gli altri che assistono come singoli spettatori.

L'analisi della classe in questione permette di evidenziare l'assenza di disabilità che potrebbero influenzare la modalità della fruizione dell'esperienza e un media anagrafica consona a quella degli studenti di scuola superiore.

I task in cui sono coinvolti gli utenti si differenziano per il ruolo che ricoprono, infatti lo studente fra le attività che deve compiere trova la selezione di oggetti di cui vuole visualizzare il dettaglio, il controllo e l'ispezione dell'oggetto selezionato oltre che la lettura di informazioni specifiche. Il professore invece può svolgere attività legate alla supervisione dell'esperienza e al controllo delle attività che sta svolgendo lo studente immerso, potendolo aiutare nella fruizione con la gestione della selezione e delle opzioni di posizione, rotazione e scala dell'oggetto.

### *Technology*

La scelta della tecnologia è ricaduta sull'utilizzo della realtà aumentata, preferita alla realtà virtuale per diversi motivi.

Uno di questi è stato la volontà di non escludere lo studente immerso dal resto degli studenti, lasciando la possibilità di contatti visivi con gli altri studenti spettatori in modo da permettere confronti parlati e diretti con chi, seppur assistendo alla fruizione dall'esterno, era in prossimità fisica rispetto al soggetto immerso.

Il dispositivo utilizzato è quello già introdotto dei Meta 2, molto indicato per l'uso progettuale in quanto offre un ampio campo visivo, con la possibilità di avere una visione virtuale piuttosto elevata che ben si fonde con la percezione visiva del mondo reale.

L'unico limite, o meglio vincolo, è che tale dispositivo è di tipo wired cioè collegato ad un

computer per permettere l'elaborazione delle informazioni e quindi si può riscontrare un'eventuale limitazione dell'ampiezza dei movimenti ma che viene risolta, in questa esperienza, col posizionamento ponderato degli oggetti in posizioni utili alla fruizione. Un ulteriore punto a favore dell'utilizzo di questo tipo di visore è che include nativamente tutta una serie di features che permettono un controllo basato su interazioni naturali e quindi con sistemi di tracking delle mani e gesture.

### *Expertise*

Per la realizzazione dell'esperienza in questione erano necessarie competenze legate a due discipline diverse, ovvero l'instructional design e l'interaction design, in modo da pianificare la fruizione dell'esperienza dal punto di vista didattico e anche tecnologico.

Le tematiche riguardanti la prima disciplina sono state coperte dall'esperienza della docente Sugliano, mentre sul lato tecnologico queste competenze venivano coperte dalla mia figura in quanto studioso e professionista della materia.

La figura della studentessa magistrale Saracchi ha funzionato da ponte tra le due parti, andando a contaminare i due punti di vista con spunti che hanno permesso la costruzione dell'esperienza e apportando contributi sia dal punto di vista della progettazione del lesson plan che dal punto di vista dello sviluppo per la realizzazione concreta dell'applicativo immersivo. Il suo contributo infatti è andato a ricoprire competenze necessarie come la modellazione e l'editing dei modelli tridimensionali, così come la gestione e la creazione dei primi test in ambiente di sviluppo.

La docente Leo è stata l'anello di congiunzione tra la parte sviluppo e la messa in pratica dell'esperienza, fornendo le sue conoscenze didattiche per la raccolta dei materiali, la selezione delle informazioni e ovviamente la possibilità di poter far testare l'esperienza ai suoi studenti.

#### **4.4.3 Sviluppi e risultati**

I contenuti didattici veicolati dall'applicazione di AR hanno riguardato lo studio di tre mammiferi (delfino, elefante e orso) e l'approfondimento sulla loro dentatura, come stabilito insieme alla docente nel processo di Instructional Design (ID), al fine di sviluppare apprendimento cooperativo e studio individuale.

Nell'applicazione di realtà aumentata si è deciso di proporre l'argomento in due forme: attraverso i modelli virtuali tridimensionali dei crani dei tre mammiferi, e mediante pannelli informativi descrittivi dell'animale, con approfondimento sulla dentatura.

I modelli 3D (Fig. 103) del delfino, dell'elefante e dell'orso, sono stati scaricati gratuitamente dalla piattaforma Sketchfab e sono stati modificati con il software di modellazione 3D Studio

Max.



*Fig. 103 Modelli 3D utilizzati nella sperimentazione*

Tale software ha permesso di rendere i denti dei mammiferi unità autonome rispetto al resto del cranio, in modo da poter permettere all'applicazione di evidenziare in rosso la parte della dentatura descritta dallo specifico pannello, catturando su di essa l'attenzione dello studente.

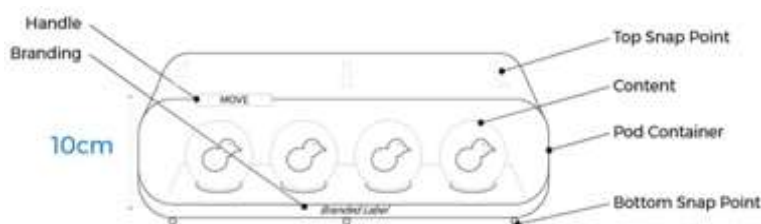
Mediante le funzioni Editable Poly e Detach, sono stati resi selezionabili con il mouse tutti i poligoni che costituiscono le varie parti della dentatura degli animali nei modelli 3D, potendoli separare ed organizzare in gruppi:

- arcata superiore e arcata inferiore nel delfino;
- zanne e denti nell'elefante;
- incisivi, canini, molari e premolari nell'orso.

Lo sviluppo dell'applicazione è avvenuto mediante l'utilizzo della libreria SDK che Meta ha rilasciato per l'implementazione della parte software in Unity, permettendo l'utilizzo di componenti pronti ad implementare le interazioni tra utente e contenuti virtuali.

I modelli tridimensionali dei crani dei mammiferi – modificati con 3D Studio Max – sono stati importati in Unity, in forma di asset con formato .obj, e organizzati gerarchicamente all'interno di un gameobject padre comprensivo di tutti e tre i crani 3D, in modo che si potessero spostare in blocco nello spazio, velocizzando le operazioni e mantenendo costanti le distanze tra gli oggetti.

Si è deciso di presentare i modelli 3D dei crani utilizzando il componente Meta Pod (Fig. 104) degli asset Meta SDK, in modo da permettere una chiara organizzazione degli elementi virtuali nello spazio reale ed efficace nel suggerire allo studente quale dei tre oggetti virtuali 3D avesse lo stato "attivo", durante la fruizione dei pannelli informativi.



*Fig. 104 MetaPod component*

Per l'esecuzione globale del progetto descritto in questa sezione e coerentemente con la metodologia didattica del Jigsaw, i 19 studenti partecipanti sono stati divisi nei tre gruppi casa (A, B, C) e si sono recati presso gli spazi del DIBRIS (Dipartimento di Informatica, Bioingegneria, Robotica, Ingegneria, Ingegneria dei Sistemi – Università degli Studi di Genova), a gruppi di esperti (Elefante, Delfino, Orso).

Sulla base di quanto descritto all'interno del lesson plan (Appendice C), la prima fase ha visto gli studenti essere impegnati nella fruizione dei contenuti "aumentati" presso l'aula con il computer a cui era collegato il visore Meta 2 AR e a turno i gruppi di esperti hanno visionato il contenuto "aumentato", dove uno studente indossava il visore e i compagni di gruppo seguivano sul monitor del computer, memorizzando e annotando le informazioni utili per rispondere sia alla consegna della docente sia al questionario sulla User Experience, consegnatogli in forma cartacea.

Ciascun gruppo ha avuto 30 minuti a disposizione per sperimentare l'utilizzo di Meta 2 AR, manipolare la riproduzione virtuale 3D del cranio dell'animale, leggere i pannelli informativi, e prendere appunti riguardo le informazioni trovate e le sensazioni provate.

L'utente immerso nell'esperienza era in grado di muoversi liberamente nello spazio e selezionare un oggetto attraverso una grab interaction con la mano, che permetteva di porre l'oggetto in uno stato attivo una volta rilasciato fuori dal contenitore principale (Fig. 105).

Lo stato attivo di un oggetto permetteva di ispezionare l'elemento nel dettaglio, con maggior dimensione e con la possibilità di muovere, ruotare e scalare l'oggetto oltre al fatto di poter evidenziare il dettaglio della componente che si intendeva approfondire.

Per permettere alla docente di supervisionare l'esperienza, ed interagire con lo studente immerso, è stata realizzata una web app che permetteva di evidenziare, colorandola di rosso, la dentatura del mammifero selezionato oltre che permettere altre funzioni di controllo e di gestione in remoto dell'applicazione di AR veicolata dal device Meta quali ad esempio la rotazione, la scala degli oggetti.



*Fig. 105 GrabInteraction*

Durante la seconda fase, svolta in un'altra aula e nello spazio esterno del DIBRIS (Fig. 106), gli studenti hanno lavorato alla ricerca di altre informazioni sul mammifero che gli è stato assegnato, utilizzando i propri dispositivi e la connessione Wi-Fi del DIBRIS; si sono quindi consultati con gli altri membri del loro gruppo esperti, integrando le informazioni cercate online con quelle ottenute durante la fruizione dell'esperienza di realtà aumentata.

Rientrando a scuola, i gruppi di esperti si sono sciolti e ciascuno studente è tornato al suo gruppo casa (A, B, C), riportando ai compagni di gruppo le informazioni elaborate nel gruppo esperti. In questo modo, ogni studente ha potuto ascoltare e apprendere informazioni relative a tutti e tre i mammiferi oggetto della lezione del giorno.

Ogni studente ha risposto alla consegna della docente producendo successivamente un elaborato individuale contenente le informazioni sui tre mammiferi, che ha dimostrato l'efficacia della condivisione delle informazioni all'interno dei gruppi (A, B, C) e del metodo Jigsaw in generale.

Per individuare criticità e punti forti dell'esperienza è stato chiesto agli studenti di compilare due questionari: il primo, consegnato in forma cartacea e somministrato "a caldo", è stato lo User Experience Questionnaire (UEQ) (Fig. 107); il secondo è stato realizzato ad hoc con Google Moduli ed è stato inviato tramite posta elettronica alla docente.

Il questionario è stato stampato e ne è stata permessa la consultazione da parte degli studenti ancor prima che questi sperimentassero l'attività con il visore Meta 2 AR, in modo che ne avessero ben chiara la struttura e che si preparassero a posare l'attenzione sugli aspetti "caldi" dell'indagine, chiedendo eventualmente delucidazioni relativamente agli item proposti.



*Fig. 106 Momento di condivisione*



	1	2	3	4	5	6	7		
fastidioso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	piacevole	1
incomprensibile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	comprensibile	2
creativo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	privo di fantasia	3
facile da apprendere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	difficile da apprendere	4
di grande valore	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	di poco valore	5
noioso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	appassionante	6
non interessante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	interessante	7
imprevedibile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	prevedibile	8
veloce	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lento	9
originale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	convenzionale	10
ostruttivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	di supporto	11
buono	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	scarso	12
complicato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	facile	13
repellente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	attraente	14
usuale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	moderno	15
sgradevole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	gradevole	16
sicuro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	insicuro	17
attivante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	soporifero	18
conforme alle aspettative	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	non conforme alle aspettative	19
inefficiente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	efficiente	20
chiaro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	confuso	21
non pragmatico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	pragmatico	22
ordinato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	sovraccarico	23
invitante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	non invitante	24
congeniale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ostile	25
conservativo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	innovativo	26

Fig. 107 Struttura questionario

L'analisi delle risposte al questionario sulla User Experience è stata realizzata mediante l'inserimento dei dati all'interno del foglio di calcolo fornito dallo standard UEQ e che fornito risultati in cui si mostra il grado di soddisfazione degli utenti, secondo le sei scale, sulle aspettative generali relative all'esperienza.

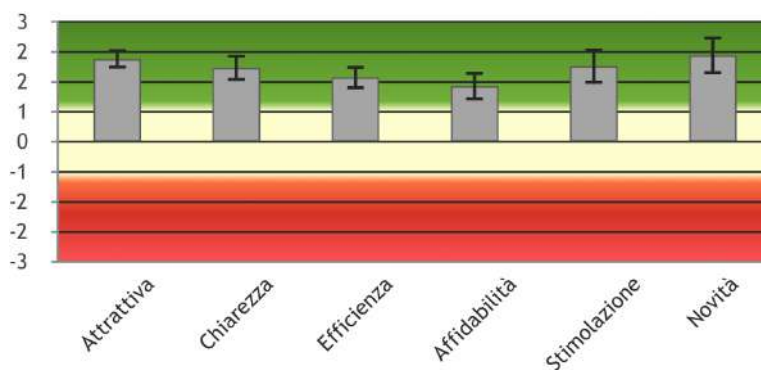


Fig. 108 Distribuzione aspettative generali



Come si evince dal grafico (Fig. 108), tutte le scale mostrano una valutazione positiva e questo è spiegato nel documento relativo alle linee guida dell'UEQ dove è scritto che per un'interpretazione corretta del grafico sono da considerare come rappresentazioni di valutazioni positive i valori maggiori di 0,8 e negative quelli minori 0,8.

Inoltre va precisato che, nonostante l'intervallo delle scale sia compreso tra -3 (orribile) e +3 (estremamente buono), è estremamente improbabile che si osservino valori superiori a +2 o inferiori a -2. La motivazione risiede nel fatto che l'indagine avviene su persone diverse con tendenza di risposta diversa, ed è molto probabile che gli individui evitino categorie di risposte poste ai due estremi.

Tra tutte le informazioni che il questionario è in grado di generare, di particolare interesse ci sono quelle che riguardano la distribuzione dei valori di risposta dei singoli item (Fig. 109) e dalla quale è possibile notare come la polarizzazione nelle risposte, data dalla presenza di molti giudizi positivi, indica un'omogeneità di giudizio, ovvero che in generale, gli studenti hanno giudicato in maniera molto positiva la loro esperienza col progetto.

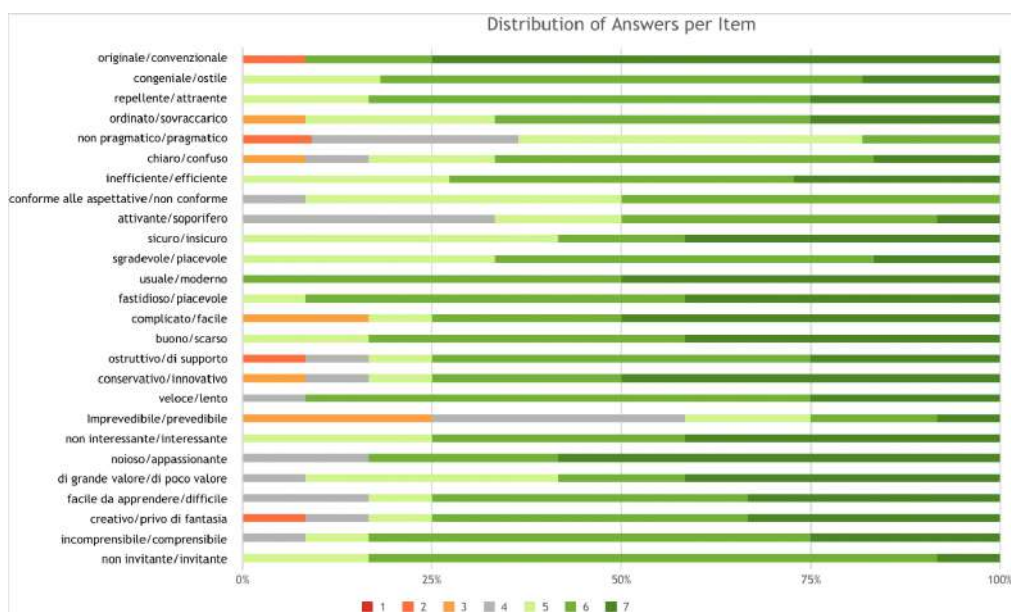


Fig. 109 Dettaglio risposte per singolo item

## 4.5 NUImobile: interfacce touchless su mobile devices

### 4.5.1 Descrizione progetto

Questa parte del mio lavoro, prosegue il lavoro che ho condotto durante la mia formazione di Laurea Magistrale presso l'Università degli Studi di Milano Bicocca nella quale sviluppai un applicativo che utilizzando tecnologie basate su Natural User Interface si poneva come obiettivo quello di rendere le persone abili allo sfoglio di ricette in maniera digitale, interattiva e touchless.

Una volta iniziato il percorso di dottorato, si è voluto quindi studiare un po' in maniera approfondita e dettagliata come era lo stato dell'arte riguardo l'abilitazione di questo tipo di interfaccia su dispositivi mobile di comune utilizzo e a portata di mano come smartphone e tablet. Il fine di questa sezione dell'elaborato era quello di realizzare un survey delle tecnologie e modalità abilitanti di questo tipo di interazioni e funzionalità.

L'intero studio descritto in questa sezione è stato condotto in maniera individuale, proseguendo gli studi realizzati nel progetto di Laurea Magistrale con ricerche e demo di diverse soluzioni tecnologiche.

#### 4.5.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	X
Work	X
Public	
Education	
Health	

Content	
Learning and training	X
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	X
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	X
objects	

People relation	
none	X
subordinate	
equal	

People disabilities	
cognitive	
physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	X
Reduced disease symptoms	
Intention to use	

## *Context*

L'analisi di questo progetto ha evidenziato come il contesto d'uso possa essere riconducibile ad ambienti sia work che home, in quanto sistemi del genere possono aiutare lo sviluppo di attività in entrambi i domini.

Lo sviluppo di questa sezione non è caratterizzato da vincoli di alcun tipo in quanto riguarda l'implementazione di soluzioni che possano abilitare utilizzi diversi. Nello specifico del caso d'uso analizzato, ci troviamo in un contesto domestico con utilizzi legati al dover seguire procedure specifiche in spazi ridotti come quelli di una cucina o vincolati dalla scelta tecnologica da usare tra quelle proposte.

## *Users*

La classificazione degli utenti non fa emergere nessun vincolo particolare in termini di età, genere ma preclude l'uso a persone che possano essere affette da problemi di mobilità agli arti superiori in quanto per l'esecuzione delle attività si richiede l'utilizzo di mani e dita per impartire comandi al sistema.

L'obiettivo che l'utente intende perseguire è il completamento di task specifici in cui queste soluzioni vengono implementate, mentre le attività sono in stretta relazione con lo scopo da raggiungere e può essere fatto attraverso manipolazione naturale dei contenuti.

## *Technology*

Le tecnologie utilizzate in questa parte del lavoro sono molteplici trattandosi di un survey, dove si intende fare un confronto tra le diverse modalità in grado di abilitare l'uso di Natural User Interface su dispositivi mobile.

Per poter effettuare questo confronto si è ricorso a diverse modalità ed utilizzi: sensori basati su tecnologie infrarosse come quelli utilizzato dal dispositivo Leap Motion; dispositivi da integrare esternamente al dispositivo mobile dove è presente l'interfaccia; infine delle soluzioni basate su algoritmi di computer visione per un uso embedded.

## *Expertise*

Il corretto sviluppo del progetto richiedeva competenze diverse legate alla tipologia di implementazione da sviluppare e quindi molto trasversali tra loro.

Da un lato c'è il fatto di gestire progetti modulari in Node.js, la comunicazione socket e lo sviluppo web per la parte di visualizzazione di interfacce e informazioni, così come invece sviluppare algoritmi di computer visione da utilizzare in modalità embedded sui dispositivi

mobile.

Il livello delle competenze, delle conoscenze e delle esperienze in mio possesso hanno permesso di condurre il lavoro in maniera solitaria e indipendente da altre risorse.

#### **4.5.3 Sviluppi e risultati**

L'applicazione che è stata progettata e sviluppata voleva inserirsi come utile strumento per la consultazione e lo sfoglio di ricette culinarie, con l'obiettivo di risolvere problematiche legate all'esecuzione di azioni necessarie durante questo tipo di operazioni.

Nelle fasi di preparazione infatti la persona si trova nella situazione di dover utilizzare le proprie mani per consultare libri o strumenti digitali (es. tablet) contenenti le indicazioni e al contempo usarle per impugnare utensili, materiali e prodotti di diversa natura e sostanza.

Da queste considerazioni erano emerse quelle che sono le problematiche maggiori legate alle dinamiche che si verificano all'interno di questo scenario e che vogliono essere risolte:

- pulizia, avendo contatto diretto con materie di diversa consistenza è molto possibile che le mani con cui si lavora possano essere bagnate o sporche con la conseguenza di poter macchiare i libri o i dispositivi digitali che si sta consultando;
- ergonomia, l'operazione di sfoglio e quindi l'avanzamento nelle fasi necessarie richiede continuamente alla persona di interrompere operazioni in cui sono impegnate.

L'obiettivo che quindi ci si poneva era quello di risolvere queste problematiche, sviluppando un'applicazione che fosse caratterizzata da un'interazione di tipo touchless e incentrata sull'utente, in modo da rendere più agevole l'esecuzione dei suoi atti.

In seguito allo sviluppo, focalizzato su questo tipo di utilizzo si è pensato di approfondire lo stato dell'arte che interessava l'abilitazione di interazioni touchless attraverso interfacce utenti naturali fruibili da dispositivi mobile comunemente in uso come smartphone e tablet.

Il lavoro si è concentrato su soluzioni basate sul controllo impartito con l'uso della mani perché si voleva esplorare la fattibilità di sistemi in grado di controllare e manipolare i contenuti utilizzando gesture semplici e di base, senza l'uso di particolari vincoli.

La motivazione di voler dare una risposta più completa e libera circa lo stato dell'arte in questione, hanno determinato l'identificazione di tre approcci differenti più lo sviluppo di un approccio ulteriore e utili ad abilitare questo tipo di interazioni a livello generale.

I tre approcci identificati si riferiscono all'utilizzo di algoritmi di computer vision, l'uso di depth sensor camera o dispositivi wearable in grado di comunicare con il dispositivo.

L'approccio legato alla computer vision deriva da molti esperimenti passati che hanno consentito la creazione di interazioni con i computer attraverso un ampio uso di algoritmi basati sui principi dell'elaborazione di immagini. In passato, la computer vision era ampiamente utilizzata per scopi medici e di sicurezza, ma negli si è evoluto diventando un

nuovo modo di creare applicazioni anche per il marketing e l'intrattenimento (Gavrila, 1999; Rautaray & Agrawal, 2015).

In effetti, l'uso di framework appartenenti alla computer vision rende possibile la creazione di applicazioni che usando la forma e i colori degli oggetti consente diversi tipi di interazioni con computer.

Grazie all'attuale potenza di calcolo disponibile sul mercato implementare approcci di computer vision che abilitino NUI non richiede requisiti specifici, me necessita solo di una fotocamera in grado di catturare immagini infrarossi o RGB e una periferica in grado di elaborare i frame provenienti dall'input.

Il motivo che ha portato ad analizzare tale approccio riguarda la possibilità di poter trarre vantaggio dalla presenza della fotocamera comunemente presente sui dispositivi mobile. In questo modo è sempre possibile implementare algoritmi di computer vision utili a consentire l'interazione touchless su questo tipo di piattaforme (Lv et al., 2013).

Il secondo approccio considera soluzioni che consentono l'uso di interazioni touchless basate su una tecnologia che è il cuore di dispositivi come Microsoft Kinect o il LeapMotion. Questi dispositivi infatti utilizzano una combinazione di sensori a infrarossi e di profondità che consentono il tracciamento dei movimenti di individui, mani, dita e oggetti in tre dimensioni. Per utilizzare le loro caratteristiche, è necessario che ogni dispositivo sia collegato tramite USB ad un computer che soddisfi requisiti hardware specifici, e questo è semplice sui PC ma non replicabile direttamente con gli attuali smartphone e tablet.

Per questo motivo, è facile intuire che questi dispositivi non sono utilizzabili direttamente per questo scopo.

Durante la ricerca focalizzata sull'identificazione di un'alternativa disponibile sul mercato e valida per abilitare touchless interaction su dispositivi mobile è emerso come la tecnologia Intel RealSense sembrava poter costituire l'unica alternativa esistente per il futuro.

Tale tecnologia consiste in una piattaforma che consente tra le altre cose l'implementazione dell'interazione basata sui gesture attraverso una fotocamera 3D integrata nei dispositivi.

A differenza di Leap Motion o Kinect, con la tecnologia Intel RealSense il dispositivo che elabora e processa i dati è lo stesso che li acquisisce, non richiedendo un'implementazione particolare per gestire eventi e comunicazioni.

Tuttavia, al momento della ricerca (2016) questa tecnologia non era ancora così diffusa da considerarla come un'opportunità standard o reale per l'idea alla base dell'utilizzo.

Oggi questa tecnologia è diventata più matura, ma richiede ancora ulteriori miglioramenti

prima di essere integrata e comunemente utilizzata su dispositivi mobile come testimoniato da sperimentazioni dirette di Intel<sup>20</sup>.

Un terzo possibile approccio considerato per consentire interazioni touchless si basa sull'utilizzo di dispositivi indossabili, includendo soluzioni basati su device come i data-gloves. Sebbene questo approccio abbia molti vantaggi, il fatto di indossare qualcosa pone un vincolo importante che può ostacolare la corretta esecuzione del compito nella vita quotidiana e inoltre è una soluzione che potrebbe essere costosa da implementare. Per questi motivi e per le considerazioni fatti nell'introduzione delle soluzioni, questo approccio non è stato considerato una buona alternativa per una semplice interazione con i dispositivi mobili.

Da queste considerazioni sono seguite quindi sperimentazioni legate all'approfondimento di possibilità e limiti offerti dall'approccio della computer vision, che restava l'approccio più facilmente implementabile per questi scopi.

Lavorare secondo questo approccio ha significato l'implementazione di un algoritmo che potesse essere utilizzato in applicazioni native e replicato senza problemi sui principali sistemi operativi, cioè iOS e Android.

A tale scopo, dopo alcune ricerche per l'identificazione di framework idonei allo sviluppo, OPENCV è stato considerato come la soluzione ideale per via del fatto che era disponibile una versione di SDK per entrambe le piattaforme e anche per il fatto che è possibile reperire online molte documentazioni a cui si aggiunge un forum con una grande comunità di sviluppatori. Questo significava una maggiore facilità nel trovare le migliori pratiche, feedback e suggerimenti qualora venisse fuori un problema da risolvere.

La soluzione sviluppata è risultata essere un algoritmo attivabile dall'interfaccia (Fig. 110) che usando la tecnica del "Skin Color Detection" operava nel seguente modo:

1. frame input dalla fotocamera (f);
2. estrazione di valori RGB di fnpixels;
3. confronto tra i valori di fnand fn-1;
4. determinazione della quantità di pixel modificata;
5. analisi dei pixel modificati per capire se possono innescare un gesto;
6. determinazione della direzione del gesto (su, giù, sinistra, destra);
7. trasferimento delle informazioni alla logica principale.

---

<sup>20</sup> Intel® RealSense™ Depth Cameras for Mobile Phones - <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000026983/emerging-technologies/intel-realsense-technology.html>, ultimo accesso dicembre 2019

Il risultato che si è ottenuto da questo tipo di approccio è il riconoscimento del gesto di scorrimento in quattro direzioni base ( su, giù, sinistra, destra) e che può essere utilizzato in applicazioni dove viene richiesto di operare senza il contatto diretto della mani sul dispositivo.

Lo sviluppo dell'algoritmo precedentemente descritto, sebbene abbia alcuni benefici legati alla sua rapida implementazione e possa essere considerato un punto di partenza per questo tipo di utilizzi, può presentare anche limiti in termini di prestazioni e qualità.

Gli algoritmi che elaborano i frame infatti si basano direttamente sulla qualità del video catturato dalla telecamera del dispositivo, costituendo una variabile importante per la precisione del rilevamento di ogni gesto.

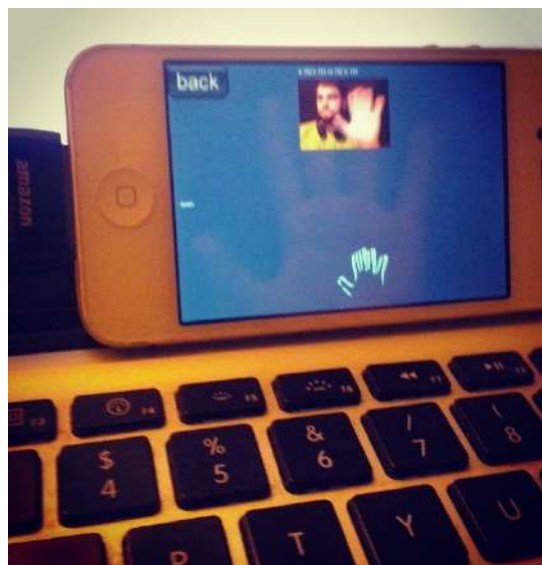
In particolare, le prestazioni dell'algoritmo sono legate al fatto che le operazioni logiche possono consumare molte risorse per analizzare il flusso se non sono ben implementate, con la possibilità di causare un arresto anomalo dell'applicazione sul dispositivo.

Il problema di qualità è emerso perché il rilevamento della modifica del pixel può essere influenzato da fattori esterni come la luce e il colore dell'ambiente.

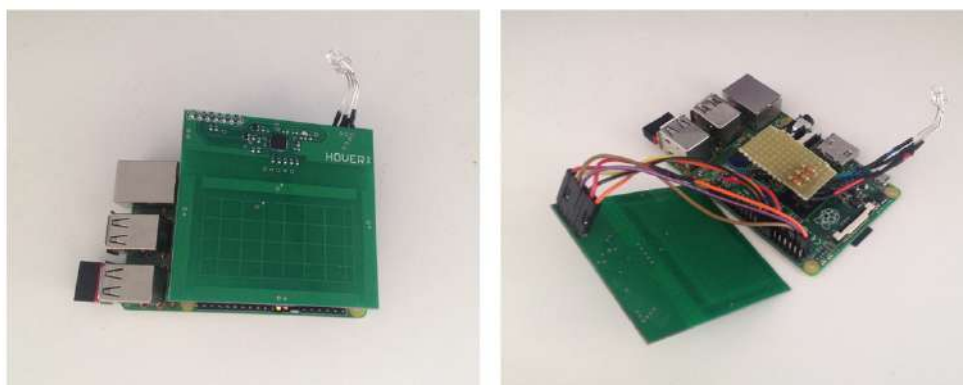
Questi limiti ci hanno portato a cercare e identificare una possibile alternativa che potesse consentire l'interazione senza contatto e senza essere influenzata da fattori simili.

La volontà quindi di approfondire le reali alternative per un utilizzo semplice, poco invasivo a low-cost ci ha portato all'identificazione di un approccio che combinasse l'uso di sensori esterni e l'utilizzo di una tecnologia come l'IoT.

Questo ultimo approccio ha visto lo sviluppo di un dispositivo (Fig. 111) basato sulla combinazione di hardware e software che consente il rilevamento di eventi gestuali e la loro trasmissione a smartphone e tablet utilizzando il paradigma dell'Internet of Things.



*Fig. 110 Algoritmo gesture detection*



*Fig. 111 Smart Object realizzato*

Il dispositivo era composto dai seguenti componenti HW e SW:

- Raspberry Pi 2 Model B, mini-computer;
- Hover,<sup>21</sup> sensore per il riconoscimento gesture;
- RGB led, per dare feedback riguardo agli eventi;
- USB Wireless N 802.11N Nano Dongle (Wi-Fi Adapter), per la comunicazione;
- Box stampato in 3D, per il contenimento;
- Node.js, server per la gestione del device, dei dati e degli eventi;
- Socket.io, per la comunicazione dati ed eventi;
- Modulo node.js per Hover, realizzato per leggere le gesture
- hostapd e dnsmasq, moduli linux per la creazione di network wireless

Tale dispositivo, data la situazione in cui viene inserito per essere usato e per via della sua natura esterna al dispositivo di lettura e fruizione dei contenuti interessati, è stato progettato in maniera da rispondere a queste specifiche:

- comunicazione wireless, utile per comunicare eventi al tablet o pc;
- poco ingombrante, per essere meno invasivo possibile;
- robusto, che possa reggere urti accidentali ed essere stabile e compatto;
- plug & play, senza bisogno di interventi professionali per il suo utilizzo;

Tutte le argomentazioni sopra descritte hanno permesso la creazione un device intermediario tra l'utente e l'applicazione finale, consentendo l'interazione touchless e costituendo una valida alternativa alle soluzioni integrate che utilizzano la camera del dispositivo e all'interno di un box standalone (Fig. 112).



*Fig. 112 Progettazione case*

Questo sviluppo offre la possibilità di avere interazioni touchless in situazioni in cui gli utenti devono utilizzare le loro mani per azioni che ostacolano l'interazione diretta con smartphone e tablet. La natura autonoma di questo tipo di dispositivo lo rende collocabile all'interno di ambienti diversi, agendo come una sorta di controllo remoto per situazioni in cui l'utente e il contenuto non sono vicini.

---

<sup>21</sup> <http://www.hoverlabs.co/#hover>



Lo sviluppo di questo ultimo approccio ha portato quindi alla creazione di un survey pubblicato in cui vengono descritte le possibilità di abilitare interazioni touchless secondo due principi base di costo ed ergonomia (Marcutti & Vercelli, 2016).

Il primo principio è legato all'idea che l'interazione touchless non debba imporre alcun costo aggiuntivo all'utente dell'applicazione, ad eccezione del dispositivo stesso.

Il secondo è legato all'idea che le interazioni touchless dovrebbero essere integrate e incorporate nei dispositivi al fine di facilitare il suo utilizzo ed evitare la presenza di apparecchiature esterne che impongono agli utenti un vincolo in termini di spazio e trasportabilità.

Principi che sembrano essere supportati anche dalle azioni che i grandi produttori che operano sul mercato mondiale sembrano seguire.

Non è stato difficile negli ultimi anni infatti notare acquisizioni da parte di grandi aziende di compagnie minori ma specializzate in questo tipo di tecnologie. Apple, ad esempio, ha nel 2013 acquisito PrimeSense<sup>22</sup>, una società israeliana di rilevamento 3D famosa per lo sviluppo della tecnologia di base alla base di Microsoft Kinect, mentre Samsung ha iniziato ad abilitare interazioni touchless su alcuni dispositivi con l'uso di RGB e GestureSensor - APDS -9960<sup>23</sup>.

Tuttavia, queste considerazioni restano strettamente collegati ai miglioramenti in termini di prestazioni hardware e di miniaturizzazione dei componenti, abilitando l'uso di interazioni touchless attraverso diversi tipi di connessioni e facilmente integrabili in applicazioni o ecosistemi facendo crescere il numero di dispositivi mobili con queste funzionalità integrate direttamente nei dispositivi.

## **4.6 BOCCIA: creazione di un virtual coach per il recupero motorio**

### **4.6.1 Descrizione progetto**

Questo sviluppo nasce dalla collaborazione avvenuta tra il DIBRIS e l'Università di Minho all'interno del progetto europeo RISEWISE - Donne, disabilità e loro coinvolgimento sociale (appendice D) e che ha visto lo scambio di esperienza e conoscenza con ricercatori in visita dall'estero per periodi di secondment.

Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità, circa il 15% della popolazione mondiale vive con qualche forma di disabilità e la tendenza attuale indica che questi numeri continueranno ad aumentare durante gli anni successivi. Avere una disabilità può portare all'esclusione sociale, pertanto è fondamentale garantire che ogni individuo con una disabilità motoria o cognitiva possa partecipare nella società, nella massima misura

---

<sup>22</sup> <https://www.forbes.com/sites/shelIsrael/2013/11/25/why-would-apple-buy-primense/>

<sup>23</sup> <https://www.sparkfun.com/products/12787>

possibile. È necessario quindi progettare e attuare strategie innovative al fine di affrontare questi problemi, combattendo la segregazione e promuovendo l'integrazione sociale.

Boccia (Fig. 113) è uno sport di palla di precisione basato sulla strategia che fa parte dei giochi paraolimpici dal 1984 ed è praticato in oltre 50 paesi in tutto il mondo. In origine, è stato progettato per gli individui con



*Fig. 113 Boccia Game*

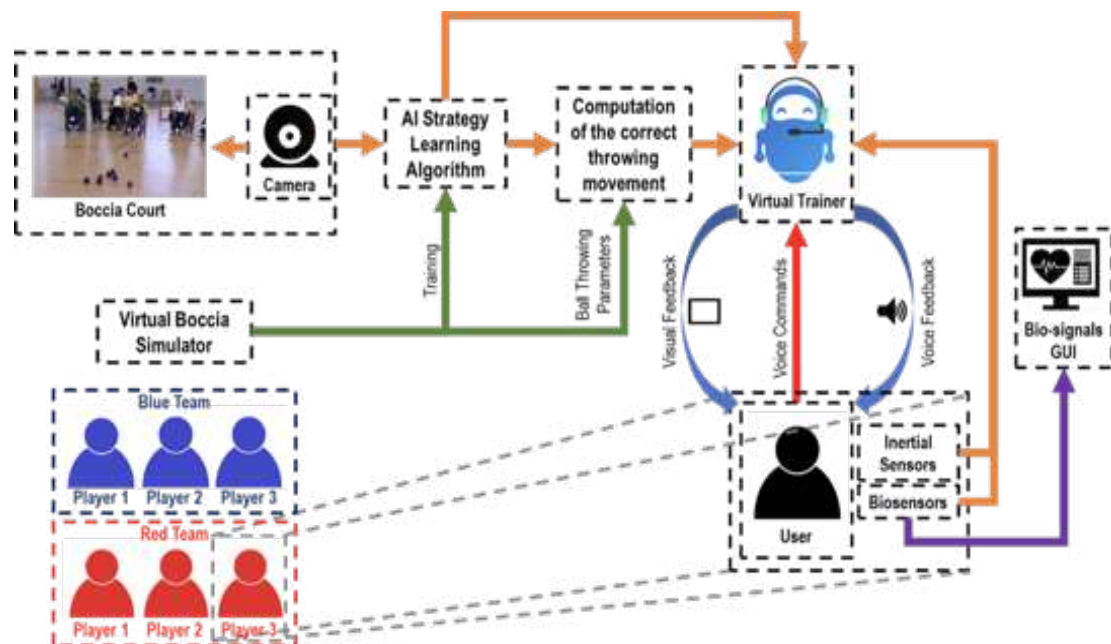
paralisi cerebrale, ma le regole del gioco possono essere facilmente adattate agli individui con altri tipi di disabilità motorie o cognitive. Inoltre, Boccia è un gioco multiplayer, che incoraggia ulteriormente l'interazione tra il giocatore.

Sulla base di tutti questi presupposti è stato creato un sistema iniziale che grazie all'utilizzo di algoritmi di computer vision era in grado rilevare le palle, monitorare il campo da gioco, calcolare il punteggio di gioco corrente e visualizzarlo su un'interfaccia utente (Calado et al., 2018).

L'obiettivo futuro di tale sistema sarebbe quello di motivare gli anziani a partecipare più frequentemente al gioco Boccia, rendendo anche più piacevole l'esperienza di gioco complessiva in modo da stimolare inclusione ed il recupero fisico e cognitivo.

Questo obiettivo ha portato al considerare l'inserimento di diverse e nuove features per ampliare le possibilità di questo sistema e dare luogo a molteplici gradi di controllo ed interazione. Tra queste possibilità è emersa quella di progettare un virtual coach assistant (Fig. 114) che possa suggerire al giocatore il modo migliore di effettuare il lancio della palla e fargli ottenere uno score più alto, andando a stimolare quindi tutti quei processi fisici e cognitivi implicati nella decisione e nell'effettuazione del lancio.

Il mio contributo a questo progetto è consistito in una serie di attività di sviluppo che, insieme agli altri componenti del gruppo di lavoro - nonché ideatori del primo concept di Boccia applicato a questo uso - hanno portato alla creazione di una parte del primo prototipo di



*Fig. 114 Boccia Virtual Coach*

questo virtual coach assistant. Nello specifico ci si è occupati della realizzazione del Virtual Boccia Simulator, un applicativo che potesse dare la possibilità di creare, replicare o simulare possibili tentativi di lancio all'interno delle fasi del gioco sia in modo controllato che naturale.

I componenti, prima solo introdotti con lo studio da loro redatto, sono nello specifico:

- Alexandre Calado, assegnista di ricerca presso l'University of Minho (Braga, Portugal) durante lo sviluppo e ora dottorando di ricerca all'Università di Roma Tor Vergata
- Paulo Novais, professore di Computer Science all'University of Minho (Braga, Portugal)

## 4.6.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	
Public	
Education	
Health	X

Content	
Learning and training	
Psycho- and physiotherapy	X
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	
Combined ma overlay	X
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	X
objects	

People relation	
none	X
subordinate	
equal	

People disabilities	
cognitive	X
physical	X

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	
Reduced disease symptoms	X
Intention to use	

### Context

La descrizione e la comprensione del progetto in questione inserisce il sistema immersivo in un contesto health, dedicato al miglioramento delle condizioni psicofisiche degli individui che interagiscono col sistema.

A livello di tempo non vi è alcun vincolo specifico se non quello legato ai tempi di gioco in sé, cioè quindi a quelli che si presentano al momento del lancio della palla e l'organizzazione in set della gara. Sempre dettati un po' dal concetto della simulazione delle attività del gioco è

richiesto uno spazio che permetta un movimento consono e appropriato a quanto previsto indicativamente dalle dimensioni dei box di lancio.

### *Users*

L'analisi della tipologia degli utenti fa emergere una classificazione in cui il fattore della disabilità è piuttosto rilevante da considerare nelle fasi di progettazione e sviluppo.

Il sistema immersivo infatti deve essere utilizzato da individui con disabilità motorie dovute a precedenti malattie oppure dovute semplicemente a questioni di età che, col passare del tempo, hanno inciso e limitato le loro capacità motorie.

Non esistono quindi particolari ruoli in cui ci si deve calare se non quello di player in grado di effettuare l'azione di lancio per il raggiungimento di un obiettivo caratterizzato da un duplice aspetto. Uno dei due aspetti è di tipo esplicito ovvero il raggiungimento del punteggio migliore in seguito al lancio, mentre l'altro è di tipo implicito e caratterizzato dal miglioramento della propria condizione dovuto allo sforzo cognitivo e motorio fatto per l'ottenimento del lancio ottimale.

### *Technology*

La fase di sviluppo attuale di questo sistema ha previsto l'utilizzo di tecnologie che permettessero l'acquisizione dei gesti abilitanti al lancio della palla e la successiva illustrazione di informazioni in grado di visualizzare potenziali feedback e messaggi a schermo.

Per fare questo esistono diverse soluzioni, alcune invasive e altre meno, ma per lo scopo specifico ci siamo avvalsi dell'uso del sensore Kinect in quanto permette un uso stazionario e non invasivo sulla sagoma dell'individuo.

In futuro questo sistema verrà ampliato e adeguato con altre possibili soluzioni per quel che riguarda la gestione del tracking ma anche, e soprattutto, con altre tecnologie che vadano a completare lo sviluppo della funzionalità non interessate in questa fase e legate principalmente alla gestione della comunicazione di informazioni tra sistema e utente.

Vi è inoltre un altro ruolo per gli utenti, quello di supervisore che può intervenire in maniera diretta su alcune funzionalità legate al lancio e posizionamento diretto delle palle così come utilizzare altre funzionalità della simulazione utili a parti complementari del progetto.

## Expertise

Lo sviluppo di questo progetto ha richiesto l'integrazione di molteplici figure in modo da poter permettere un approccio più rapido, diretto e modulare alle fasi e problematiche.

Da un lato serviva chi avesse conoscenza del problema, delle dinamiche del gioco, delle regole e delle funzionalità da implementare, mentre dall'altro chi potesse permettere l'implementazione software di quanto richiesto.

La componente portoghese del team, essendo colei che portava in dote l'idea dello sviluppo era bene a conoscenza di tutto il primo aspetto, mentre il resto è stato coperto dalle competenze presenti nel laboratorio genovese.

La figura mia e quella di Alexandre Calado hanno permesso un interscambio di informazioni e competenze che si sono trasformate in conoscenze utili allo sviluppo ottimale del progetto. Lavorare a stretto contatto, collaborando e scambiandosi informazioni e pensieri riguardo alla progettazione ha permesso lo sviluppo di un sistema base con un'interfaccia idonea al problema da risolvere e abilitante all'esecuzione dell'esperienza.

### 4.6.3 Sviluppi e risultati

Il Virtual Boccia Simulator è stato sviluppato con successo utilizzando il software Unity 3D e l'attuale implementazione consente all'utente di lanciare le palline da ciascuna delle sei posizioni presenti sul campo (Fig. 115), potendo effettuare quindi delle operazioni coerenti al gioco reale.

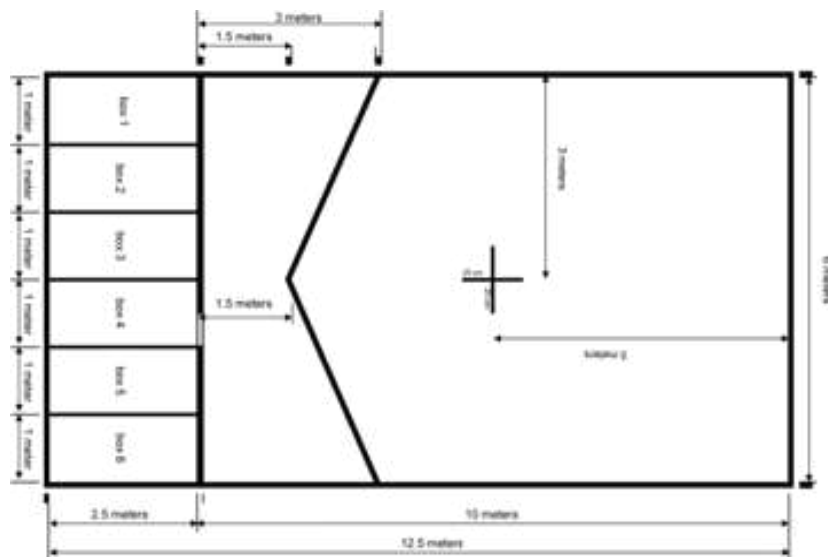


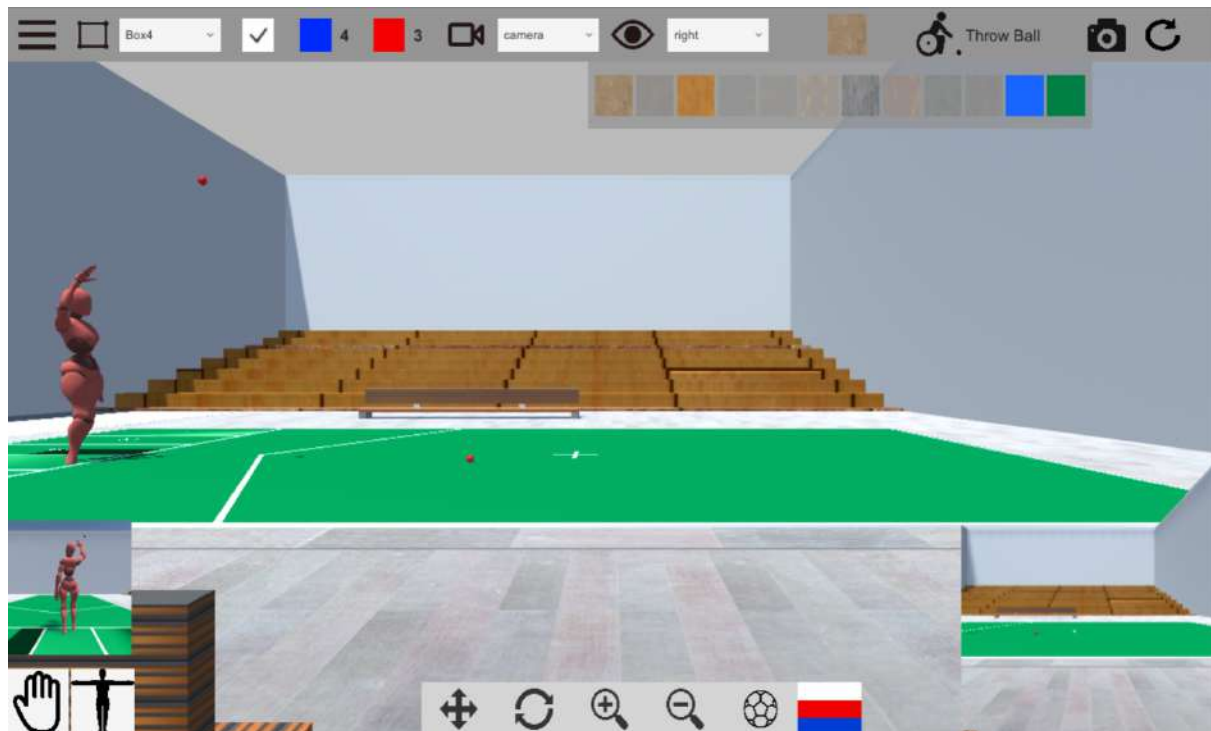
Fig. 115 Campo da gioco Boccia

Una volta selezionato il punto di lancio è possibile scegliere una delle due modalità d'utilizzo: una legata al concetto di simulazione del lancio e un'altra che prevede il lancio diretto attraverso un processo di motion tracking e gesture recognition.

Nella modalità simulativa è possibile settare la direzione e la forza desiderate attraverso un

controllo basato sui movimenti del mouse oltre che controllare alcune proprietà fisica della palla. Naturalmente, l'impostazione di questi parametri dipende dalla tipologia e dal livello di disabilità che si intende simulare.

La modalità che utilizza il controllo basato su gesture (Fig. 116) sfrutta le funzionalità del sensore Microsoft Kinect che è in grado di registrare i movimenti di utenti posizionati in fronte ad esso e che nel nostro caso abbiamo utilizzato per monitorare il movimento degli arti superiori in modalità sia seduta che in piedi in modo da riconoscere due diversi tipi di gesti, ovvero il lancio dall'alto e il lancio dal basso.



*Fig. 116 Modalità simulativa basata su gesture*

Le due modalità condividono una serie di funzionalità dedicate ad esempio alla selezione del punto di vista per la schermata principale, la selezione della texture del campo da gioco, la possibilità di scattare screenshot della schermata.

A livello della gestione della camera va inoltre citata la modalità "free-camera", che consente la navigazione libera dal punto di vista di riferimento e che consente il posizionamento libero di palline Boccia in qualsiasi punto del campo, simulando situazioni precise da sottoporre ad algoritmi di training di Intelligenza Artificiale grazie all'acquisizione di schermate e per finalità di analisi ed implementazione di un recommender system per l'esecuzione del lancio migliore.

L'insieme di questi sviluppi ha permesso la creazione della base del sistema globale che si è descritto nella fase iniziale di questa sezione e che prevede una dimensione più ampia ed inclusiva di questo sistema con utilizzo di diverse tecnologie.

## 4.7 Spaces4All: rendere fruibili luoghi pubblici a tutti

### 4.7.1 Descrizione progetto

Il progetto in questione era legato al desiderio di approfondire la possibilità di far fruire spazi pubblici a persone che per motivi diversi non possono accedervi, come ad esempio persone con disabilità (PwD) motorie.

Questo tema è divenuto centrale nel corso degli anni grazie anche allo sviluppo di normative come il Disability Discrimination Act <sup>24</sup>, in cui si definisce che anche le persone con disabilità abbiano pari diritti di accesso a

beni, strutture e servizi.

Queste considerazioni trovano applicazione anche rispetto ai concetti di cultural heritage e virtual museums, dove si sta cercando di utilizzare tecnologie utili a

permettere l'accesso ad informazioni, luoghi, opere d'arte e monumenti anche a persone

caratterizzate da bisogni speciali (special needs) quali disabilità

visive, acustiche, vocali e motorie e difficoltà di apprendimento (Styliani et al., 2009).

L'idea di questa sezione riprende queste tematiche, con la volontà di realizzare una soluzione che possa permettere a gruppi di persone di poter includere, seppur in modo alternativo, individui presenti nel gruppo e che sono limitate nell'accesso ad alcuni luoghi a causa di disabilità motorie e per via della presenza di percorsi poco percorribili che limitano gli spazi necessari utili ad un libero spostamento.

Alla base di questo progetto c'è la volontà di approfondire lo stato dell'arte circa camere low cost abilitate allo streaming di video 360°, utile alla successiva visualizzazione su postazioni remote in cui l'utente può comunque avere un grado di interazione con il gruppo e quindi promuovere atteggiamenti inclusivi (Fig. 117).

Allo sviluppo hanno contribuito Luigi Sciolla ed Eugenio Polleri, due studenti di Ingegneria Informatica interessati alle tematiche di sviluppo software e coinvolti durante alcune attività di laboratorio del 3DLabFactory.

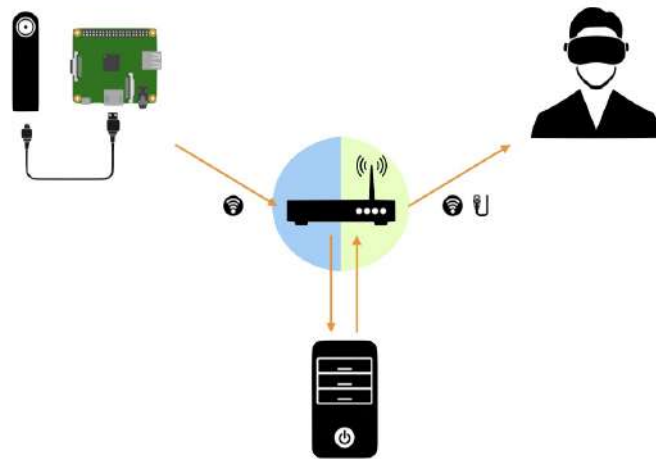


Fig. 117 Schema architettura

<sup>24</sup> Disability Discrimination Act 1995, available at: <http://www.disability.gov.uk/dda/>.



## 4.7.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	
Public	X
Education	
Health	

Content	
Learning and training	
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	X
Interactive simulation	
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	X
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	X

Environment	
Only real (totalmente fisico)	
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	X

Fruition	
One alone	
One + audience	X
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	X
objects	

People relation	
none	
subordinate	
equal	X

People disabilities	
cognitive	
Physical	X

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	X
Learning attitude	
Task performance	
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

### Context

Il contesto viene identificato all'interno del dominio public, con particolare interesse ad aree che per diverso motivo sono soggette a visite più o meno frequenti, come ad esempio per motivi turistici e/o di lavoro ma che possono risultare inaccessibili sulla base di diversi fattori a diverse categorie di individui.

In quanto ai vincoli presenti il contesto in generale non è legato a tempi di fruizione ma ad alcuni vincoli di spazi di interazioni e ambientali legati alla distanza fisica che esiste tra

punto di registrazione e punto di percezione.

La dimensione spaziale della fruizione è legata ad un'esperienza di tipo seated per chi fruisce a distanza dello spazio non accessibile, mentre per permettere la corretta e fluida fruizione dell'esperienza si necessita di un sistema network dedicato che possa permettere le connessioni tra i due punti di interesse.

### *Users*

Gli utenti centrali per questo tipo di progetto ed esperienza sono individui che sono insieme sotto forma di gruppo, come ad esempio scolaresche, colleghi di lavoro o un semplice gruppo di amici e dove uno o più individui di questo gruppo sono impossibilitati ad accedere certe aree del luogo che si trovano a dover visitare. Questa impossibilità riduce le loro opportunità di vivere in maniera egualitaria certe esperienze nella vita reale. Quindi l'intento del progetto è quello di creare una modalità che possa aprire anche a loro la possibilità di vivere in qualche modo lo stesso tipo di esperienza, mantenendo anche la capacità di interagire con gli individui del gruppo a cui appartengono.

L'obiettivo appena descritto prevede quindi come insieme di attività tutte quelle che sono legata ad una comunicazione attiva e proficua tra gli individui, oltre che la possibilità di assecondare la libertà di scelta del punto di vista all'utente che non può avere accesso all'esperienza reale, invece che vincolarlo all'individuo che gli fa da tramite.

### *Technology*

L'analisi delle tecnologie riguarda essenzialmente due lati dell'esperienza: quella legata al punto della registrazione e quella legata al punto di percezione.

Per quel che riguarda il punto di registrazione, quello che si intendeva fare era dotare l'utente abile a visitare il posto di un modo per poter effettuare la registrazione a 360° dell'ambiente circostante, consentendone lo streaming all'utente posizionato nella postazione ricevente.

Quindi si è cercato un dispositivo che potesse essere nel suo insieme low cost, leggero e con questo tipo di funzionalità. La ricerca effettuata ha fatto emergere carenze in dispositivi che soddisfacessero contemporaneamente tutti questi requisiti e quindi si è continuato la ricerca con la volontà di trovare qualcosa che potesse essere integrato con un sistema basato su Raspberry Pi 3, in modo da accedere allo stream della camera 360 e poterne gestire le informazioni in maniera autonoma.

La ricerca ha fatto emergere un dispositivo chiamato PiCam360<sup>25</sup> che sembrava promettente per lo scopo del nostro progetto, in quanto combinava gli aspetti di ripresa panoramica con la possibilità di connessione diretta al sistema Raspberry.

Dal punto di vista della percezione invece, si intendeva utilizzare un sistema basato su un visore VR che isolasse l'utente dal contesto in cui si trova, in modo da farlo immergere nell'ambiente ricreato attraverso lo streaming proveniente dalle camere 360°.

### *Expertise*

Le competenze necessarie allo sviluppo di questo progetto erano legate allo sviluppo software per la creazione di algoritmi di accesso e gestione streaming proveniente dalle telecamere più una serie di competenze legate alla creazione di ambienti immersivi dedicati alla riproduzione di video 360°. L'insieme di expertise richieste è stato coperto e completato dall'interesse di due studenti magistrali che hanno collaborato all'idea, apportando il loro contributo su sviluppi legati alla creazione di algoritmi per la gestione dello streaming delle camere. Questo ha permesso di scomporre il problema in sottoparti predisponendo gli sviluppi singoli dei due punti di vista a ricevere le informazioni dalla controparte una volta conclusi e completati.

#### **4.7.3 Sviluppi e risultati**

Per la realizzazione di questo progetto, dopo diverse analisi e ricerche, è stato preso in considerazione il modello PICAM360-CAMTWDR(Fig. 118) montato direttamente su Raspberry Pi.

Il progetto è stato suddiviso in diverse fasi, finalizzate ciascuna all'avanzamento dello sviluppo rispetto allo scopo finale ovvero quello di permettere la fruizione di luoghi non accessibili a persone diversamente abili attraverso lo streaming video 360° su un visore dedicato.

La prima fase ha avuto come scopo quello di prendere dimestichezza con l'ambiente e il setting dei parametri della telecamera.

Il materiale per questo progetto era composto da due PICAM360 e due Raspberry Pi compresi di scheda SD. Su una scheda di memoria è stata scritta l'immagine del sistema



*Fig. 118 PICam360*

---

<sup>25</sup> <https://www.picam360.com/>

operativo fornito dalla documentazione della PICAM360 seguendo la guida reperibile all'indirizzo web del produttore. Il sistema è composto da due servizi: picam-capture sviluppato in C nel quale viene controllata la camera ed esposta una API e picam-server, il quale, attraverso un viewer, fa partire un servizio web per visualizzare l'immagine su browser attraverso l'uso delle API del primo servizio. Il Raspberry utilizza la sua scheda di rete per creare una wireless network dal nome (SSID) PICAM360 e una volta installato il sistema operativo si ha accesso al video collegandosi all'indirizzo IP del Raspberry (192.168.40.2), sulla porta 9001.

In questa fase si vuole andare a replicare il funzionamento della demo visualizzabile sul canale YouTube del prodotto<sup>26</sup>, dove l'idea di base è quella che il cellulare si connette alla rete del Raspberry e accedendo tramite browser possa visualizzare interattivamente l'immagine a 360°.

Verificato questo passaggio, il passo seguente è stato quello di inserire lo smartphone in un cardboard al fine di ottimizzare il risultato. I primi test, una volta connesso il dispositivo su cui fare la prova alla rete del Raspberry, hanno evidenziato una serie di problematiche legate alla mancanza di orientare in nessun modo la visuale, né attraverso il giroscopio del cellulare, né tantomeno tramite gesture. Dopo ulteriori prove è emerso come il problema fosse legato al tipo di browser che veniva utilizzato, infatti alcune funzionalità del viewer non sono supportate da alcuni browser (Google Chrome) poiché deprecated, mentre con alcuni altri (Firefox) è stato possibile visualizzare l'immagine ed orientarla attraverso il giroscopio di quest'ultimo.

Purtroppo però la qualità dello streaming percepito non è ottimale a causa della qualità dell'immagine, migliorabile con eventuali upgrade del device e l'abilitazione di servizi e funzionalità ulteriori. La causa principale di questo disagio resta comunque la latenza che esiste tra movimento fisico e visualizzazione grafica.

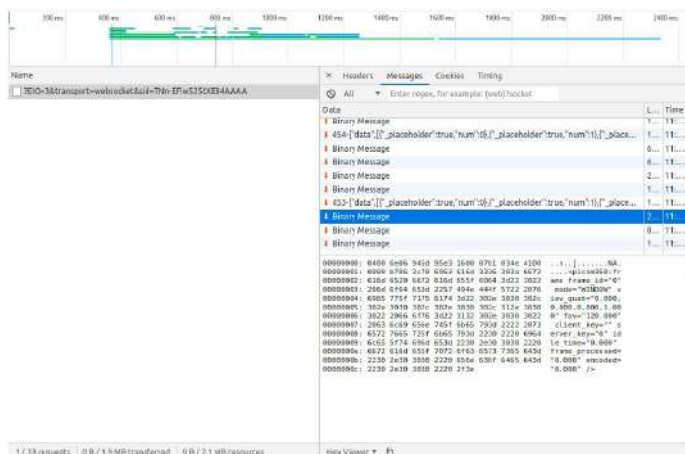


Fig. 119 Richieste websocket

Un ulteriore sviluppo ha riguardato la possibilità di esporre la texture 360 generata in modo che fosse accessibile da un url o via socket e renderla utilizzabile direttamente attraverso

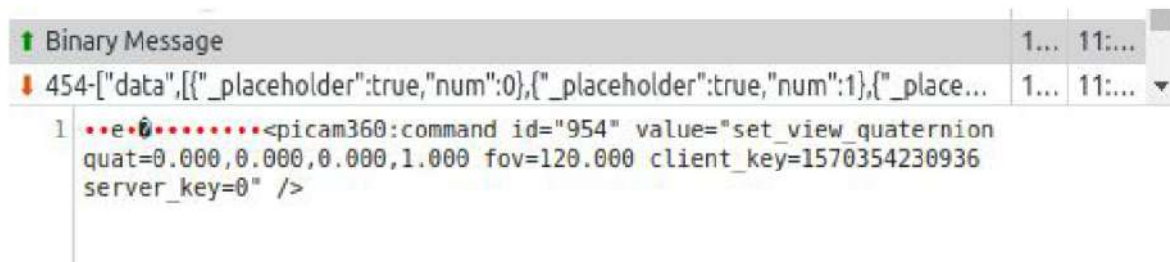
<sup>26</sup> <https://youtu.be/5xf6nBFa1Fs?t=22>

richieste http, consentendo uno streaming del frame su qualsiasi supporto (ad esempio Oculus Rift) o effettuare dell'editing (salvare il video/modificarlo).

Si è quindi andati ad analizzare in profondità il codice del servizio server e viewer, in particolare quello che rende possibile la comunicazione tra essi, al fine di verificare dove avvenisse la generazione del frame della camera.

Analizzando la comunicazione che avviene in websocket (Fig. 119) è stato visto che ogni delta t il viewer fa una richiesta al server per un'immagine, previa una sorta di autenticazione superflua per i nostri scopi.

L'immagine viene quindi inviata dal server in formato yuv, un'estensione di file grafico raster spesso associato a Color Space Pixel Format e visualizzata dal browser all'interno di un canvas. Come si può notare non viene richiesta l'intera immagine panoramica ma solamente una sezione di essa, data dalla quaterna e dalla fov (field of view) (Fig. 118).



```

Binary Message
454-[{"data":[{"_placeholder":true,"num":0},{"_placeholder":true,"num":1},{"_place...
1 ...e.0.....<picam360:command id="954" value="set_view_quaternion
quat=0.000,0.000,0.000,1.000 fov=120.000 client_key=1570354230936
server_key=0" />
  
```

Fig. 120 Formato messaggio immagine

Per effettuare test differenti si è quindi realizzato un client custom per gestire questa tipologia di comunicazione, richiedendo però l'intera immagine, con quindi una fov = 360 riutilizzando una parte del codice già presente nel viewer della PICAM360.

La funzione per inviare i pacchetti si trova nel file *rtcp.js* presente nel pacchetto software del viewer, mentre per visualizzare le immagini utilizziamo il canvas presente nel viewer stesso.

La gestione della fov è presente sul file *omvr.js* e si è provato ad intervenire modificando i parametri in modo tale da far richiedere una fov di dimensioni differenti (l'ideale sarebbe fov = 360). Si è notato però che seppur la richiesta contenga effettivamente fov = 360, l'immagine viene visualizzata sempre con fov = 120.

Gli sviluppi quindi si sono concentrati sull'indagine del servizio capture installato dove, all'interno del file *picam360-capture.c* la fov è hardcoded (Fig. 121).

```
FRAME_T *create_frame(PICAM360CAPTURE_T *state, int argc, char *argv[]) {
    GLenum err;
    int opt;
    int render_width = 512;
    int render_height = 512;
    FRAME_T *frame = malloc(sizeof(FRAME_T));
    memset(frame, 0, sizeof(FRAME_T));
    frame->id = ++state->last_frame_id;//frame id should start from 1
    frame->renderer = state->renderers[0];
    frame->output_mode = OUTPUT_MODE_NONE;
    frame->output_type = OUTPUT_TYPE_NONE;
    frame->output_fd = -1;
    frame->fov = 120;
```

*Fig. 121 Codice sorgente picam360-capture.c*

Modificando questo parametro la situazione non cambia, rivelando come la PICAM360 generi un'immagine di 120° massima e l'effetto 360° della percezione è resa possibile grazie allo spostamento del sensore ad ogni richiesta di frame. Questa considerazione permette di capire il motivo del lag presente quando viene orientata la visuale, ovvero la mancanza di un'immagine completa a 360 in presenza invece della generazione di un'immagine parziale completamente diversa, con i successivi tempi di risposta che per quanto ottimali, sono vincolati dal mezzo di trasmissione (Wi-Fi nel caso di questi esperimenti) e superiori certamente a 20ms.

Alla fine del periodo di sperimentazioni si è giunti ad una serie di conclusioni che hanno portato all'analisi dello stato progettuale rispetto all'obiettivo e la descrizione di una serie di obiettivi di sviluppi futuri.

Il progetto possiamo dire che era composto da due passaggi uno più legato allo studio delle capacità della PICAM360 e della sua versatilità e uno più implementativo legato alla creazione di sistema che permettesse di effettuare uno streaming video a 360° fluido e diretto ad un visore VR. Questo secondo passaggio è stato fortemente limitato a causa delle limitazioni dell'hardware descritte nei precedenti punti che non ha reso possibile uno sviluppo soddisfacente. Il device PICAM360 infatti non permette, allo stato attuale, di catturare singolarmente frame di dimensione elevata e con una latenza idonea. Tali limiti rischierebbero di provocare motion sickness all'utilizzatore finale e quindi disagi nella fruizione dell'esperienza.

Sulla base di tutte queste considerazioni sono stati posti obiettivi di ricerca futuri legati a studi più approfonditi sul device da utilizzare come sorgente dello streaming video.

Un primo approfondimento potrebbe essere quello di ottenere aggiornamenti e documentazioni più complete ed esaustive di quelle presenti sul sito e nelle repository online

degli sviluppatori per quel che riguarda il device PICAM360, in modo da prendere scelte definitive circa il suo possibile utilizzo reale.

Un secondo approfondimento potrebbe essere quello di effettuare nuove ricerche per trovare device alternativi utili a tale scopo, realizzando un sistema che nel complesso potrebbe apportare benefici sociali e inclusivi per determinate categorie di persone, aprendo loro nuove possibilità di interazioni ed esperienze con le altre e contribuendo ad un campo applicativo di ricerca oggetto di molto interesse (Lindsay & Lamptey, 2019).

## **4.8 EventsXR: l'utilizzo della realtà aumentata e virtuale per la progettazione di spazi pubblici**

### **4.8.1 Descrizione progetto**

Il progetto di questa sezione riguarda la volontà di verificare la creazione di un flusso di lavoro in cui due diverse modalità e tecnologie possano essere utilizzate per l'implementazione di un applicativo dedicato alla progettazione di spazi pubblici.

Questa necessità può venire incontro ad esigenze quali (Horne & Thompson, 2008):

- visualizzazione di prototipi di edifici, siti e città;
- mostrare più specificamente le caratteristiche e i processi coinvolti nella costruzione dell'ambiente;
- consentire agli utenti di osservare e interagire con gli edifici, i disegni, i concetti nella loro interezza o come viste ravvicinate parziali.
- consentire agli utenti di provare un senso di immersività negli edifici, nei progetti e nei concetti;
- offrire un'alternativa quando le visite al luogo ecc. sono costose e difficili da organizzare a causa di problemi di salute e sicurezza.

L'insieme di queste considerazioni e la volontà di indagare l'uso di tecnologie immersive per questi scopi, ha portato alla costruzione di un sistema che utilizza due tecnologie differenti in modo complementare ovvero la mixed reality per la progettazione e la realtà virtuale per la simulazione dell'ambiente progettato.

Nel caso che verrà descritto in questa sezione si è voluto mettere al centro dello sviluppo la progettazione di spazi collegati al manifestarsi di eventi pubblici, con tutte le problematiche e le considerazioni legate a questa tematica.

Un evento può essere voluto da diverse tipologie di promotori sia pubblici come un comune, o un ente pubblico, sia privati come un'associazione (scientifica, religiosa, culturale, sportiva e altri), un'impresa industriale o commerciale di servizi. Spesso questi promotori si affidano ad agenzie terze che si occupano dell'intera organizzazione, dalla scelta della location agli allestimenti, occupandosi talvolta della comunicazione e del marketing.

Altri due aspetti rilevanti riguardanti il concetto di evento sono la forma e la sua dimensione, informazioni che permettono l'identificazione di cinque classificazioni e due nature differenti. A livello di forma vengono identificati eventi destinati ad essere realizzati per festeggiamenti pubblici, a scopo di competizione, divertimento, intrattenimento, affari o socializzazione (Getz, 2008) (Fig. 122).

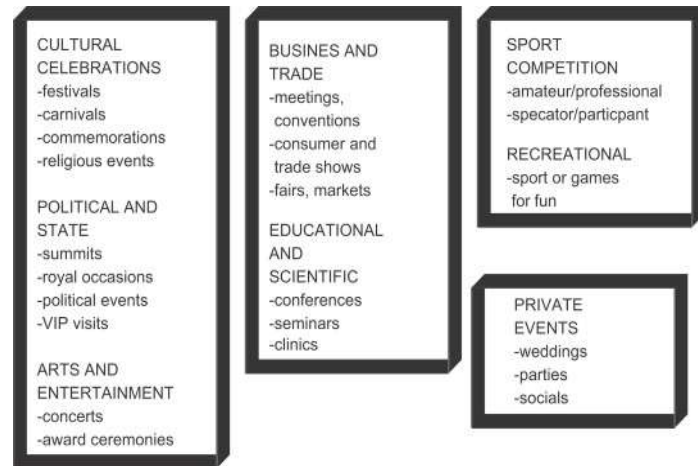


Fig. 122 Tipologie Eventi basati sulla forma

L'aspetto della dimensione permette invece di dividerli in due nature:

- eventi di grandi dimensioni;
- eventi di minori dimensioni.

La prima fa riferimento ai Mega-events, termine inglese che si riferisce ad eventi di interesse internazionali o nazionali. Oppure Hallmark-events cioè eventi ricorrenti legati ad una località.

La seconda invece si riferisce ai Major-events che hanno carattere locale ma che interessano un vasto pubblico, un chiaro esempio sono le competizioni sportive. Di carattere ancora più circoscritto sono i Minor-events che trovano l'attenzione di un pubblico locale, spesso con finalità sociali-aggregative e di intrattenimento.

Progettare l'evento deve tenere ben presente i destinatari, i loro interessi e le aspettative, per far vivere un'esperienza completa alle persone e non solo una semplice visita ad un'area fisica.

Questo insieme di considerazioni hanno avuto il loro ruolo durante le fasi di sviluppo del progetto in cui hanno partecipato Mattia Barbieri ed Eleonora Manella, due tesisti magistrali di Digital Humanities interessati all'uso di tecnologie immersive, il design di esperienze immersive e coinvolti durante le attività di tesi presso il 3DLabFactory.



## 4.8.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	X
Public	
Education	
Health	

Content	
Learning and training	
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	X
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	X
Only virtual (totalmente digitale)	X

Fruition	
One alone	X
One + audience	X
Multi	X
Multi + audience	X
Audience only	

Tracking	
body parts	X
object	

People relation	
none	
subordinate	X
equal	X

People disabilities	
cognitive	
Physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	X
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

### Context

Il contesto di riferimento in cui si intende inserire questa soluzione immersiva è legata a quello lavorativo, cioè il work della classificazione presentata nel capitolo due del presente lavoro. Nonostante il focus del sistema sia quello della progettazione di spazi pubblici, questa finalità non deve trarre in inganno poiché il progetto intende modificare o inserirsi come strumento utile a migliorare le pratiche lavorative di figure professionali collegate alla gestione di eventi o spazi pubblici.

## *Users*

I potenziali utenti interessati da questo sistema da realizzare sono stati individuati in professionisti operanti nella creazione e gestione di eventi, nel design di spazi pubblici e di ambienti aperti e condivisi.

Le figure professionali che tradizionalmente si occupano dell'intero iter di progettazione sono solitamente l'Event Planner, che pianifica un evento dalle prime fasi di ideazione fino al momento in cui l'evento ha luogo, e l'Event Manager che coordina l'organizzazione di un evento.

In particolare, l'Event Planner lavora a stretto contatto con il cliente per trovare soluzioni efficaci e concrete alle sue idee ed assicurarsi il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

I ruoli quindi possibili sono da ricollegare ad individui che collaborano ed operano in modo paritario su attività di design, con la possibilità quindi di controllare oggetti in termini di posizione, rotazione e scala all'interno di un ambiente immersivo.

Per fare in modo di avere una visione completa circa il potenziale interesse e fattibilità del sistema che si stava progettando si è dovuto coinvolgere professionisti operanti nel settore attraverso la redazione di un questionario ad hoc e le cui risposte sono state utilizzate per le considerazioni progettuali.

Gli obiettivi che gli utenti si aspettano di poter raggiungere sono quelli che rimandano ad un completamento del design di uno spazio, il salvataggio delle impostazioni e degli oggetti posizionati ed un successivo caricamento di quanto effettuato per apportare modifiche, revisioni e simulare la fattibilità di quanto progettato.

Da queste considerazioni si evince quindi come le attività principali del progetto si possano dividere in due parti principali: design e fruizione simulata.

## *Technology*

L'aspetto tecnologico è stato affrontato sulla base della divisione delle attività in design e fruizione simulata. Nella prima parte di attività si è scelto di utilizzare una tecnologia come la realtà aumentata in modo che non fosse isolante nell'aspetto collaborativo ed in modo che l'interazione potesse essere effettuata con una visione più ampia e a campo largo e in ultima fase potesse "aumentare" la mappa di partenza che identifica lo spazio da progettare.

Per quel che riguarda la seconda parte delle attività la scelta ricade in maniera semplice sull'utilizzo di visori di realtà virtuale in modo da avere un'esperienza simulata vicina a quella che potrebbe essere l'esperienza reale.

## *Expertise*

Il team di sviluppo è stato completato con l'inserimento di due studenti del corso di laurea magistrale in Digital Humanities interessati all'utilizzo di tecnologie immersive, ai quali è stato chiesto di aiutare nella fasi di progettazione e sviluppo del sistema per quel che concerne la fasi di progettazione dell'interfaccia utente e dell'user experience degli utenti con rispetto alle due modalità differenti di fruizione, ovvero AR e VR.

Le due modalità infatti richiedono approcci e considerazioni diverse per l'implementazione di una corretta e gradevole interfaccia, con risvolti diretti sull'esperienza dell'utente in termini di gradevolezza e comfort visivo.

### **4.8.3 Sviluppi e risultati**

Lo sviluppo di questa sezione riguarda la volontà di realizzare uno strumento innovativo utile alla progettazione ed organizzazione di uno spazio pubblico e come caso d'uso è stato ipotizzato quello di uno scenario legato ad un evento.

Al fine di indagare nel miglior modo i processi, gli strumenti e le problematiche presenti nell'attività che vengono svolte nelle fasi di organizzazione dello spazio di tale evento è stato necessario intervistare, tramite un breve questionario (Appendice E), aziende e professionisti operanti nel settore dell'organizzazione di eventi.

Nello specifico il questionario creato è stato compilato e quindi successivamente analizzato grazie ai feedback ricevuti da:

- IANTRA Eventi, Viaggi e Congressi<sup>27</sup>: agenzia attiva dal 1997 con sede a Verona specializzata nell'organizzazione di eventi, congressi, convegni, incentive, viaggi sia aziendali che individuali.
- la professoressa ed event manager Marianna Caprotti, e il professor Luca Monti, ambedue docenti del Master Ideazione e progettazione di eventi culturali – MEC<sup>28</sup>, tenuto presso l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano.
- Richmond Italia<sup>29</sup>, parte di un consolidato network internazionale (Londra – New York- Basilea) che opera da ben 26 anni, specializzato nell'organizzazione di eventi business-to-business.

L'obiettivo di queste interviste è stato duplice, indagare su quali figure professionali sono coinvolte nell'organizzare la disposizione di uno spazio espositivo e quali strumenti vengono impiegati per queste attività.

Agli intervistati è stato anche chiesto un loro parere sull'utilizzo di tecnologie immersive

---

<sup>27</sup> <https://www.iantra.it/>

<sup>28</sup> <https://almed.unicatt.it/almed-ideazione-e-progettazione-di-eventi-culturali-mec-faculty>

<sup>29</sup> <https://www.richmonditalia.it/>

legate al loro settore in cui operano, in modo da avere possibili feedback sull'impatto e ripercussioni che queste potrebbero avere.

La struttura del questionario era composta dalle seguenti domande:

1. Quali sono gli step del processo di allestimento di uno spazio pubblico in occasione di un evento? (indice delle tappe accompagnate da brevissima descrizione)
2. Quali figure professionali sono coinvolte nel processo di allestimento di uno spazio pubblico in merito ad un evento? Tale lavoro è svolto in maniera cooperativa o in via singolare?
3. Quali sono le metodologie attualmente impiegate in fase di design (sketch, storyboard ecc)? è previsto l'utilizzo di device digitali (qualunque tipo)? Se sì, in quale fase/i del processo di design? Ne sapreste elencare i limiti e le potenzialità?
4. Una soluzione in realtà aumentata e/o realtà virtuale a questi limiti potrebbe essere valida per rendere il lavoro più accurato e/o facilitarlo? Aumenterebbe il grado di soddisfazione delle figure professionali coinvolte in questo scenario?
5. Avete interesse per le tecnologie di realtà virtuale e realtà aumentata o ne percepite dei vincoli/limiti?

Dalla compilazione del questionario sono emerse risposte e dettagli importanti utili non solo a supportare, ma anche legittimare la proposta e la realizzazione di una soluzione basata su tecnologie immersive.

La fase della progettazione generale di un evento include una serie di analisi preliminari in cui vengono definite le caratteristiche chiave dell'evento, tra cui: l'individuazione del tipo di evento che si vuole realizzare, l'area da occupare, lo scopo che si vuole raggiungere, la definizione di un budget e il pubblico che prenderà parte all'evento (target).

In base al budget degli allestitori e alla portata dell'evento è stato possibile ad esempio identificare quelle che sono ad oggi tre principali metodologie di pianificazione:

- sketch a penna su carta;
- fotomontaggio con programma grafico;
- render grafico.

La prima modalità seppur potrebbe rischiare di apparire obsoleta, risulta essere invece il primo step di ogni manovra progettuale.

La seconda modalità prevede il coinvolgimento di una figura professionale che mediante l'impiego di software grafici quali Adobe Illustrator o InDesign, simula lo spazio finale in cui vanno inseriti, ingombri arredi e installazioni dell'area interessata. Tale prodotto viene poi condiviso con l'Ufficio Manifestazioni e lo Sportello Unico Attività Produttive (SUAP) i quali lo richiedono specificatamente in formato dwg o pdf.

L'ultima modalità prevede la costruzione in 3D di un modello di quello che dovrebbe essere

lo spazio finale da progettare e viene utilizzato prevalentemente in fase decisionale del progetto, condividendo lo stato delle attività con il cliente e con le figure interessate al fine di ricavarne feedback rilevanti.

Alla luce delle considerazioni emerse, l'idea di creare esperienze immersive applicate a queste pratiche risulta essere uno strumento potenzialmente in grado di sostituirsi o porsi come alternativa alle varie tecniche adottate, proponendo una progettazione e un'esplorazione immersiva dello spazio risultando più soddisfacente, esaustiva e maggiormente collaborativa.

Lo sviluppo successivo è stato diviso in due parti: una dedicata alla progettazione e una alla simulazione della fruizione dello spazio pubblico, richiedendo l'uso di tecnologie differenti per i due passaggi.

Per realizzare la fase di progettazione è stata realizzata un'esperienza di mixed reality, utilizzando il dispositivo Meta insieme alle librerie e funzionalità presenti nel suo SDK e importabili all'interno dell'ambiente di sviluppo di Unity, permettendo l'utilizzo di componenti sia di interfaccia e che di interazioni utili allo scopo da realizzare.

La fase di fruizione e di simulazione dello spazio progettato ha visto invece la realizzazione di una soluzione di realtà virtuale con l'uso del visore Oculus Rift all'interno dell'ambiente Unity3D.

La prima fase di sviluppo si è concretizzata in un applicativo che, sulla base di una visualizzazione contemporanea di spazio virtuale e spazio fisico, permette di avere una percezione aumentata della mappa progettuale dell'area in cui deve aver luogo l'evento. Attraverso questa visualizzazione aumentata si può avere una percezione diretta dell'occupazione degli spazi previsti grazie ad una rappresentazione di oggetti presenti in precisi punti.

L'esperienza in questione non è solo dedicata alla visualizzazione della mappa degli oggetti, ma si presta anche a tutta una serie di operazioni legate alla manipolazione e al controllo diretto degli oggetti virtuali attraverso operazioni di selezione, spostamento, rotazione e scala.

L'uso del componente di Grab Interaction permette infatti di poter afferrare l'oggetto da manipolare e successivamente collocarlo in una nuova posizione, andando quindi a ridefinire lo spazio progettato.

L'utilizzo di altre tipologie di interazioni permette inoltre di aggiungere elementi alla mappa aumentata, oppure di effettuare selezioni legate ad impostazioni di visualizzazione e salvataggio di quanto realizzato.

La fase invece di fruizione e simulazione dell'ambiente realizzato parte ovviamente dalla presenza di un risultato dato dalla fase di progettazione e che si intende testare per verificare se le scelte effettuate possono ritenersi valide.

All'interno di questa modalità sono presenti le stesse funzionalità utilizzabili all'interno dell'esperienza di progettazione, ad eccezione della modalità di navigazione che per differenza di esperienza immersiva prevede una maggior libertà di movimento.

Le modalità di interazione sono invece ovviamente differenti tra le due modalità di fruizione, anche per via della libertà di movimento nello.

La differenza tra le due modalità di fruizione dell'esperienza, riscontrabile principalmente nel modo in cui si può manipolare un oggetto, è che nella realtà virtuale l'attivazione delle operazioni da compiere necessita di un processo in due step, dato dalla selezione e la successiva conferma attraverso un ulteriore input mentre nell'esperienza di realtà mista questo avviene attraverso un controllo talvolta diretto.

Questo è dettato dal fatto che l'interazione nella realtà virtuale è gestita e mediata da un controller in grado di impartire input al sistema che vanno interpretati sulla base di modalità attive e oggetti di riferimento, mentre nella realtà mista ci si avvale di un controllo basato su interfacce utenti naturali che permettono l'associazione del comando con l'oggetto di riferimento che viene manipolato.

In questa modalità la possibilità di compiere operazioni di rotazione, spostamento e scala di un oggetto può avvenire solo dopo l'avvenuta selezione di un oggetto attraverso un'interazione basata sul gaze (Fig. 123), cioè un sistema puntativo legato al centro del punto di vista. Guardando un oggetto o un elemento di interfaccia, l'utente è in grado di selezionare e rendere attivo un oggetto, al contrario uscendone lo deselecta.

La selezione di un oggetto dà luogo ad un feedback visivo che evidenzia l'outline dell'oggetto, permettendo di attivare un menu dedicato all'esecuzione delle operazioni base. Come per la selezione di un oggetto anche gli elementi di interfaccia subiscono la stessa logica in due step di selezione e conferma.

Il menu permette l'attivazione delle modalità move, rotate e scale dedicate rispettivamente al controllo della posizione, della rotazione e della scala di un oggetto che viene effettuata attraverso l'uso di appositi comandi posizionati su specifici joystick.

La parte degli sviluppi futuri include una serie di contributi atti a completare le due singole fasi al fine di renderle maggiormente funzionali, complementari e sincrone.

Un importante sviluppo potrebbe riguardare la possibilità di migliorare la procedura di condivisione delle impostazioni e dei setting tra le due modalità dell'ambiente progettato.

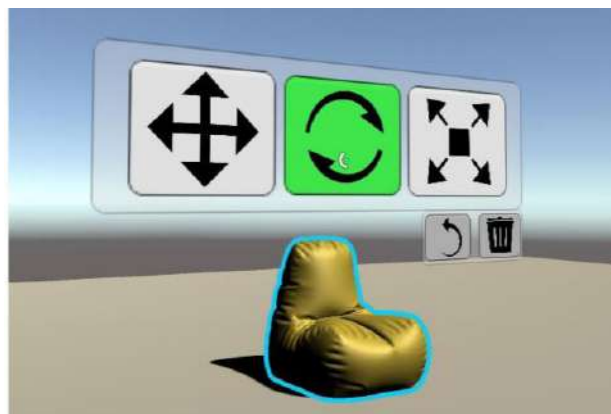


Fig. 123 Visualizzazione interazione VR

Il sistema attuale infatti prevede un funzionamento scollegato ed asincrona tra i due artefatti ma attraverso una comunicazione real-time sarebbe possibile realizzare questa funzionalità aumentandone l'efficacia.

A livello di realtà aumentata uno sviluppo che si intende indagare è quello di poter generare il modello tridimensionale della mappa disegnata, attraverso algoritmi di computer vision che riconoscendo il pattern della stanza siano in grado di generare i "wall" dell'area di interesse, rimuovendo un ulteriore passaggio nel processo di sviluppo.

Nell'esperienza di realtà virtuale, oltre alle miglione di alcuni aspetti tecnici e interattivi, vi è da implementare una funzionalità che possa permettere la simulazione data dalla presenza di altre persone. L'utilizzo di avatar virtuali in grado di muoversi autonomamente all'interno dello spazio e la possibilità di scegliere il numero da simulare potrebbe aggiungere un ulteriore grado di realismo ed efficacia al sistema sviluppato.

L'ultimo aspetto che andrebbe indagato è quello che riguarda la collaborazione e quindi la possibilità di rendere il sistema multiutente, andando a creare quello che sarebbe uno strumento valido e con portata ancora maggiore rispetto all'esperienza solitaria.

Il risultato raggiunto costituisce una buona base su cui continuare ad investire eventualmente tempo e risorse utili a trasformare questo prototipo in un qualcosa che possa essere poi trasformato in un prodotto a più ampio respiro. Tale evoluzione dovrebbe avere come interessi e obiettivi quello di future pubblicazioni scientifiche legate a discipline e tematiche di human computer interaction e immersività applicate a contesti lavorativi.

## **4.9 ARSport: la realtà aumentata in contesto di comunicazione sportiva**

### **4.9.1 Descrizione progetto**

L'applicazione immersiva che si intende sviluppare vuole porsi come tool utile all'analisi sportiva che spesso viene effettuata dai professionisti del settore attraverso l'uso di strumenti di video editing.

Questo sviluppo rientra in tematiche di ricerca che in letteratura sono note con il termine di immersive journalism, ovvero è una forma di produzione giornalistica che consente l'esperienza in prima persona di eventi o situazioni descritte da notizie e film documentari di fatti avvenuti (Peña et al., 2010). Utilizzando infatti le tecnologie immersive si può dare l'opportunità di interagire personalmente con una storia, mettendo il pubblico a contatto diretto con le dinamiche e gli agenti dell'evento. La possibilità di accedere ad una versione virtuale del luogo in cui la storia si presenta e viverla in qualità di partecipante esterno oppure sperimentando la prospettiva simulata di uno dei personaggi all'interno della notizia,

può garantire accessi senza precedenti alle viste, ai suoni e persino ai sentimenti ed emozioni che caratterizzano ed accompagnano la notizia stessa.

Questo ambito di ricerca trova applicazione e riscontri in diversi settori del giornalismo, tra i quali anche lo sport (Baía Reis & Coelho, 2018), andando a descrivere un cambiamento nelle prospettive e dinamiche di comunicazione e divulgazione di eventi di varia natura (Seijo, 2017).

Il cambiamento di questi elementi si ripercuote a tutti i livelli di produzione della notizia, degli eventi e dei materiali utili alla loro interpretazione e comprensione (Pavlik, 2019).

Da queste considerazioni è iniziato uno sviluppo che prendeva come riferimento ed ispirazione il sistema che viene usato dal colosso Sky all'interno delle sue trasmissioni per l'analisi dei movimenti e delle posizioni in campo dei giocatori di calcio.

Questo sistema, chiamato Sky Sport Tech (Fig. 124), utilizza un serie di funzionalità che permettono il disegno sul campo di aree atte all'evidenziazione di zone e distanze, permettendo la creazione di discussioni attorno a quelle che sono le tattiche e i comportamenti che gli individui e le squadre tengono in campo.



*Fig. 124 Sistema Sky Sport Tech*

Il sistema è composto da due soluzioni: una che è spesso il risultato di produzioni video che generano l'effetto visivo sulla base di quello che viene annotato e trasmesso come informazione da chi ha analizzato la partita, la seconda è invece quella di aumentare la percezione data dalla ripresa trasmessa in televisione allo spettatore (Fig. 125), aggiungendo contenuti tridimensionali extra.

Queste conversazioni permettono di generare momenti di cronaca ed informazione sportiva che causa interesse nello spettatore appassionandolo nella comprensione di quelle che sono le dinamiche che si presentano all'interno del rettangolo da gioco.

L'idea di aumentare questa possibilità è data dalla mancanza nella prima modalità di una vera parte interattiva di questi sistemi e nella seconda il fatto di non essere totalmente immersiva, completa ed efficace.

L'intento è quindi quello di aggiungere una componente di controllo e manipolazione diretta, in maniera attiva e real-time sulla rappresentazione di situazioni di gioco avvenute, con



l'obiettivo di poter illustrare anche possibili alternative di quanto accaduto, cosa non possibile con la semplice manipolazione dei frame di un video (Bideau et al., 2010).



*Fig. 125 Sky Sport Tech AR System*

## 4.9.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	X
Public	
Education	
Health	

Content	
Learning and training	
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	X
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	X
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	X
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	X
object	

People relation	
none	X
subordinate	
equal	

People disabilities	
cognitive	
Physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	X
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

### Context

Il progetto in questa sezione si inserisce in un contesto lavorativo, con un focus delle attività legate all'ambito sportivo.

La fruizione dell'esperienza non è caratterizzata ed influenzata dal tempo di esecuzione che può essere considerato quindi libero da tale vincolo, mentre invece in termini di spazio è caratterizzata per essere un'esperienza indoor in spazi ben delimitati in modo da potersi muovere senza ingombri e senza ostacoli.

## *Users*

La tipologia di utenti interessati e coinvolti dall'esperienza sono professionisti del settore sportivo, sia tecnico che giornalistico. Infatti, l'idea progettuale prevede che vi sia un utente immerso al quale viene data la possibilità di interagire con il contenuto da manipolare e con altri potenziali utenti coinvolti ma solo in qualità di spettatori sia in copresenza che in modalità remota.

## *Technology*

La natura del progetto si sposa all'uso della mixed reality per la sua messa in pratica, in quanto non si vuole isolare l'utente dal contesto reale in cui esso si trova. La tecnologia deve permettere di visualizzare contenuti sovrainposti alla realtà in cui ci si trova e permettendo, a seconda delle necessità del caso, eventuali interazioni tra i mondi reale e virtuale. Per questa ragione ci si è avvalso del visore Meta 2 per l'implementazione delle funzionalità

## *Expertise*

Per coprire le competenze necessarie allo sviluppo in questo progetto non ci si è avvalso di nessuna ricerca di figura al di fuori del laboratorio, poiché tutte quelle richieste erano garantite da quanto in possesso dalla mia conoscenza ed esperienza.

Nello specifico si necessitava di competenze legate allo sviluppo di algoritmi software per la mixed reality, conoscenze delle pratiche di natural user interface più tutta una serie di altre procedure legate al salvataggio e alla gestione di metadati per le scene.

### **4.9.3 Sviluppi e risultati**

L'idea progettuale in questa sezione ha avuto sviluppi inferiori rispetto ai precedenti descritti in questo capitolo dell'elaborato, ma ha permesso di indagare possibilità e limiti derivanti da un'applicazione dedicata ad un contesto lavorativo con focus delle attività incentrate in una tematica molto interessante come lo sport e la media production.

Lo sviluppo è cominciato dall'analisi del materiale utile alla creazione di questa esperienza immersiva, focalizzandosi sulla manipolazione di contenuti legati ad una partita di calcio in ambiente condiviso e non totalmente occlusivo.

Per questo tipo di ragioni si è scelto di utilizzare il dispositivo Meta Vision, in modo da poter essere immerso in un ambiente virtuale, ma con la possibilità di visualizzare l'ambiente reale e le persone presenti in esso per poter mantenere un contatto visivo con gli individui.

La scelta di porre il focus su attività calcistiche ha portato alla ricerca di modelli pronti e

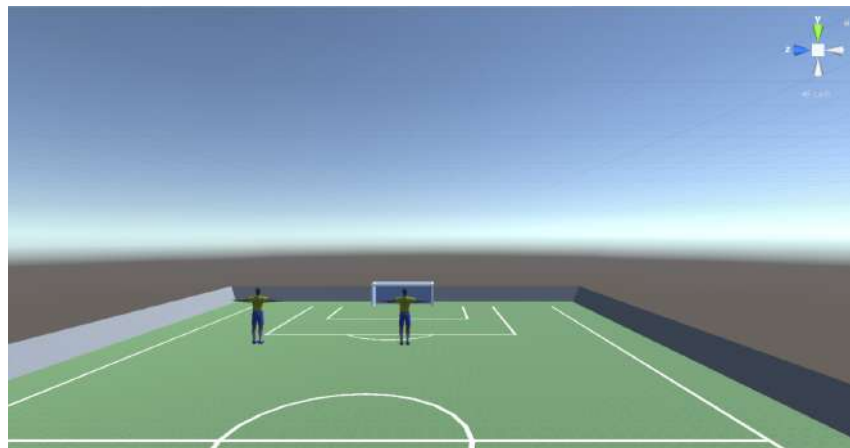
reperibili online per la rappresentazione, all'interno di Unity3D, di quelli che sono gli elementi fisici principali, ovvero il campo da gioco, la sfera da gioco e i giocatori stessi (Fig. 126).

L'intento dell'applicazione è quello di permettere all'utente immerso il controllo diretto e la successiva manipolazione degli oggetti precedentemente menzionati, o di alcune loro parti, in modo da poter evidenziare e modificare le possibili alternative dei comportamenti che possono essere tenuti durante le fasi di gioco dagli individui.

Questa manipolazione è resa possibile dal componente di Grab Interaction, applicato al GameObject rappresentante la sagoma del calciatore, che permette la selezione diretta del giocatore e il suo nuovo posizionamento all'interno del rettangolo da gioco.

Altre funzionalità interessanti legate a questo sviluppo sono la possibilità di poter scegliere l'origine del punto di vista della simulazione, potendosi quindi posizionare ad una distanza elevata con una vista dall'alto sui contenuti, oppure utilizzare una vista localizzata con una rappresentazione in scala proporzionata alle dimensioni dell'individuo, come se si facesse realmente parte della scena.

La peculiarità del sistema inoltre è che il dispositivo Meta Vision espone via software la combinazione della vista virtuale e reale, che l'utente immerso percepisce, attraverso una ricostruzione che può essere visualizzata su un monitor esterno



*Fig. 126 Screen demo applicazione*

rendendola usabile per molteplici finalità.

Quanto fin qui descritto in questa sezione ha permesso la realizzazione di uno strumento che è di fatto una prima demo di un proof of concept, ma che con l'ampliamento di funzionalità legate al controllo diretto, alla visualizzazione aggiuntiva di informazioni, alla personalizzazione delle sagome dei giocatori e altri ulteriori sviluppi potrebbe permettere in un prossimo futuro la realizzazione di un prodotto interessante per diversi tipi di situazioni.

La forte convinzione della fattibilità e del potenziale interesse in uno sistema del genere è dettata da considerazioni sia legate agli ambienti sportivi professionistici che agli ambienti di comunicazione ed intrattenimento mediatico, all'interno dei quali potrebbe verificarsi un suo immediato e rapido utilizzo una volta reso più concreto e solido nelle sue funzionalità.

Nel primo ambiente la ricerca di continue innovazioni tecnologiche per il miglioramento delle performance e la cura dei dettagli ha visto l'aumentare di investimenti sia in termini di

capitale monetario che umano, con la creazione di nuove aziende e nuove figure professionali come il match analyst.

Alcune delle situazioni che potrebbero essere interessate da questo sistema possono essere rappresentate facendo riferimento alle sedute tecniche-tattiche che le squadre sportive solitamente effettuano nelle fasi di preparazione prepartita o nelle fasi di analisi postpartita.

In queste situazioni vengono tipicamente utilizzati sistemi come lavagnette metalliche e cartacee per l'illustrazione e il disegno delle strategie da adottare sul campo da gioco oppure soluzioni basate su sistemi video proiettivi in cui visualizzare video dedicati e ottenuti da editing appositi. Questo strumento potrebbe inserirsi come una soluzione alternativa, coinvolgente e diretta dove gli utenti esterni possono visualizzare lo stream video composto delle viste reali e virtuali al fine di comprendere meglio quanto lo staff tecnico vuole loro trasmettere e comunicare.

Nell'ambiente mediatico invece si è visto la trasformazione di quella che è la figura del commentatore o dell'esperto tecnico che spesso è presente negli studi per analizzare quello che è avvenuto durante il match. Questa figura non si limita più ad una semplice descrizione e racconto di quello che è successo, ma tende a fare un'analisi più completa mettendo in evidenza atteggiamenti collettivi ed individuali che hanno portato al compiersi di quel fatto. Al contempo utilizzano le loro competenze tecniche di esperti della materia, in quanto magari ex professionisti della disciplina, per descrivere possibili alternative di errori commessi o di atteggiamenti non idonei a certe situazioni che si sono presentate nel svolgersi della gara e che potevano portare a esiti differenti nelle singole azioni.

Uno strumento del genere potrebbe aprire nuove frontiere di comunicazione con gli spettatori, permettendo loro di visualizzare la manipolazione dei contenuti digitali dal punto di vista del tecnico esperto attraverso lo stream unico e sovrapposto di reale e virtuale, avendo così accesso a nuove modalità di acquisizione dell'informazione.

L'insieme degli sviluppi fatti sul progetto e le considerazioni di sviluppi potenzialmente futuri permettono di poter avanzare prime analisi e primi feedback nel prossimo futuro circa il suo potenziale utilizzo all'interno di contesti lavorativi caratterizzati da una forte componente di natura sportiva, con l'obiettivo di generare sia pubblicazioni scientifiche di interesse che un eventuale prodotto usabile dai professionisti del settore.

## 4.10 WasteAI: l'utilizzo di realtà aumentata e intelligenza artificiale nella gestione dei rifiuti

### 4.10.1 Descrizione progetto

Questo progetto nasce dalla volontà di realizzare qualcosa che possa avere impatti benefici e usabili all'interno di situazioni che riguardano la gestione dei rifiuti da parte degli individui e il legame con le pratiche comuni al riciclo.

Quanto realizzato in questa sezione, non è uno sviluppo approfondito in quanto è un'idea progettuale emersa verso la fine del mio percorso dottorale e che prende spunto da una situazione che si è presentata nella vita vera durante una delle tante attività quotidiane che capita di fare e verificatasi in una delle tante aree pubbliche presenti nella città di mia residenza, ovvero Rapallo.

In questo comune, come in tanti altri, sono presenti dei punti di raccolta dei rifiuti con diversi bidoni al cui interno destinare la raccolta differenziata dei rifiuti. Questa raccolta è spesso caratterizzata dal dubbio legato alla natura di rifiuti che si intende differenziare e che porta a farsi una domanda del tipo: "Dove lo butto?" (Fig. 127). Questa domanda nasce spontanea di fronte all'esigenza di convogliare il giusto rifiuto all'interno del giusto contenitore, avendo quindi un comportamento socialmente utile per una finalità di valore come il rispetto dell'ambiente.

Nella città di Rapallo, la società che gestisce la raccolta dei rifiuti ha voluto rispondere a questa domanda con un volantino informativo arrivato nelle case dei cittadini in cui si descrivono esempi di rifiuti e la loro idonea destinazione.

Questo materiale cartaceo, però corre il rischio di venire ignorato, dimenticato o di risultare non facilmente consultabile qualora dovessi avere dei dubbi che possono emergere quando ci si trova sul luogo di raccolta. L'individuo potrebbe comunque non ricordarsi a memoria la corretta destinazione di diversi rifiuti e quindi commettere degli errori.

Partendo da questo spunto e da alcuni studi in letteratura, l'idea che si intendeva realizzare è quella di sviluppare un sistema di realtà aumentata low cost da poter posizionare in questi centri di raccolta e che attraverso algoritmi di computer vision, artificial intelligence, IoT possa portare all'identificazione della corretta destinazione del rifiuto di cui si può avere un dubbio (Mindy & Thung, 2016; Saha et al., 2017; Salimi et al., 2018).



Fig. 127 Volantino Aprica

#### 4.10.2 Analisi CUTE

Social Context	
Home	
Work	
Public	X
Education	
Health	

Content	
Learning and training	X
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	
Gaming	

Involved Display	
visual	X
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	X
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	X
One + audience	
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	
object	X

People relation	
none	X
subordinate	
equal	

People disabilities	
cognitive	
Physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	
Learning attitude	X
Task performance	
Reduced disease symptoms	
Intention to use	X

#### Context

Il progetto di questa sezione si identifica con il contesto public in quanto si colloca in spazi aperti in cui l'accesso non è regolato da alcun tipo di appartenenza ad organizzazioni o costruzioni sociali. Nello specifico non esistono tempi fissati per la fruizione col sistema mentre il vincolo di spazio dell'interazione è legato ad uno spazio limitato predisposto in fronte al sistema che è progettato per un uso all'aperto.

## *Users*

La tipologia di utenti non ha una classificazione specifica o particolare, ma ricade sotto il termine generico di individuo senza alcuna particolare attenzione a dettagli di età, genere e disabilità.

Il sistema deve essere usabile per chiunque lo voglia utilizzare al fine di raggiungere l'obiettivo di una corretta collocazione dei rifiuti rispetto alla classificazione dell'oggetto soggetto ad identificazione. Le attività quindi preposte ad essere utilizzate si legano ai concetti di scanning di un oggetto, eventuale inserimento di informazioni in input e la conferma di conclusione del task.

## *Technology*

Lo sviluppo delle funzionalità utili al progetto sono essenzialmente algoritmi di computer vision e machine learning tali da permettere il riconoscimento di oggetti attraverso un sistema di scansione basato su una camera dedicata all'acquisizione dei frame, che vengono poi analizzati da un cervello centrale in grado di effettuare elaborazioni.

Il risultato delle elaborazioni si manifesta con informazioni utili visualizzate attraverso uno schermo che va in pratica ad aumentare quanto mostrato, arricchendo così l'esperienza dell'utente con il sistema.

Per fare sì che tutto funzionasse nella maniera corretta e desiderata, si è pensato di strutturare un progetto modulare attraverso lo sviluppo di un cervello basato sul framework Node.js in modo da permettere la comunicazione hardware, software in entrambe le direzioni I/O e tutte all'interno dello stesso ambiente, in questo caso un dispositivo Raspberry.

## *Expertise*

Come nel caso di altri progetti presenti in questa parte dell'elaborato, anche per questo lavoro le competenze necessarie allo sviluppo sono state coperte dal livello di conoscenze ed esperienza già presenti nella mia figura.

Lo sviluppo richiedeva competenze legate alla gestione di progetti modulari in Node.js, la comunicazione socket e lo sviluppo web per la parte di visualizzazione di interfacce e informazioni.



### 4.10.3 Sviluppi e risultati

Lo sviluppo di questa sezione dell'elaborato è l'ultima affrontata in ordine temporale durante il mio percorso e per diversi motivi è rimasto in uno stadio embrionale, intermedio tra la realizzazione di un'indagine esplorativa e quella di proof of concept.

Potremmo definire meglio questa sezione come uno studio di fattibilità tecnica dell'idea progettuale, utile a fare considerazioni circa un'eventuale approfondimento futuro dello sviluppo.

Per poter indagare la fattibilità della questione si è proceduto alla divisione del lavoro in due parti: da un lato lo sviluppo software con soluzioni modulari e dall'altro la concezione di un'architettura hardware low-cost, facilmente replicabile e poco invasiva.

La prima parte ha visto uno studio, un approfondimento ed un test basico di librerie che, usando algoritmi di computer vision ed intelligenza artificiale, potessero essere utilizzate in un'applicazione sviluppata usando il framework Node.js.

L'utilizzo di questa piattaforma software permette la creazione di un sistema in cui realizzare un web server grazie al modulo express che, attraverso un comune browser installato sulla macchina, permette l'esecuzione dell'applicazione e quindi la visualizzazione di un'interfaccia dove poter mostrare un flusso video acquisito, una serie di comandi utili, e l'applicazione delle informazioni aggiuntive originate dall'analisi dei singoli frame per il riconoscimento.

La parte di analisi e riconoscimento è resa possibile da altri moduli dedicati a specifici compiti, come ad esempio `opencv4nodejs`<sup>30</sup> e `TensorFlow Object Detection`<sup>31</sup>.

Il primo modulo viene utilizzato per acquisire i frame dalla webcam presente sul dispositivo, mentre il secondo viene utilizzato per il riconoscimento degli oggetti all'interno del frame utilizzando algoritmi di machine learning.

La creazione di modelli di apprendimento automatico accurati in grado di localizzare e identificare più oggetti in una singola immagine rimane una sfida fondamentale nella visione artificiale e le API `TensorFlow Object Detection` fanno parte di un framework open source basato su TensorFlow che semplifica la costruzione, l'addestramento e la distribuzione di modelli di rilevamento degli oggetti.

La seconda parte ha riguardato lo studio e la progettazione di una struttura simile ad un totem, che assemblando parti facilmente reperibili potesse essere in grado di far girare



*Fig. 128 Raspberry più modulo camera*

---

<sup>30</sup> <https://github.com/justadudewhohacks/opencv4nodejs>

<sup>31</sup> [https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/object\\_detection](https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/object_detection)

un'applicazione software che supportasse i requisiti dell'applicazione realizzata nella prima fase.

La creazione fisica di questo sistema ha visto l'identificazione di strumenti e dispositivi appartenenti al mondo dei maker, come quelli della piattaforma Raspberry PI (Fig. 128 - Fig. 129).

Questo single-board computer infatti permette l'attacco e la connessione di molteplici dispositivi attraverso l'utilizzo delle diverse interfacce di cui è dotato, come ad esempio GPIO e le connessioni socket dedicate all'input proveniente da accessori come fotocamere e simili.

Questi dispositivi sono dotati inoltre di tutta una serie di componenti hardware che rendono l'elaborazione dei frame video un'operazione normale e completamente idonea ad essere effettuata direttamente onboard, il che unito alla possibilità di poter collegare un monitor video attraverso le porte HDMI permette la creazione di un dispositivo abile ad effettuare il ciclo di input-



*Fig. 129 Esempio di mini-totem assemblato*

output e le dovute elaborazioni nel mezzo. Il passo conclusivo di questa parte è costituito dalla progettazione, o la scelta tra quelli già in commercio, di un involucro atto a contenere gli elementi HW tenendo in considerazione le caratteristiche dei componenti e permettendo inoltre l'esposizione delle possibili interfacce utili ad eventuali funzionalità aggiuntive come connessione internet o collegamento dispositivi USB esterni.

Quanto prodotto in questa sezione, ha permesso l'emergere di feedback positivi generali legati alla fattibilità tecnica dell'idea progettuale e dovuti all'analisi singola delle due parti. Questo insieme di riflessioni hanno constatato come sia possibile realizzare da un lato applicazioni di questo tipo con strumenti modulari come la piattaforma Node.js e dall'altro come sia possibile progettare un device low cost e poco invasivo che supporti le richieste dettate da requisiti sia HW che SW.

Lo sviluppo futuro di questa sezione prevede l'adattamento e la fusione delle due parti andando a creare un sistema unico, al fine di unire gli aspetti di utilizzo della prima parte e gli aspetti fisici e spaziali della seconda.

La progettazione e l'assemblaggio di una struttura che in forma di box dedicato a contenere tutto l'insieme di componenti hardware al cui interno girano i processi di riconoscimento ed interrogazione software deve dare luogo ad un sistema prototipale utile a future indagini ed approfondimenti di questo tipo di tecnologie in contesti pubblici.

Le considerazioni che emergeranno dovranno perseguire finalità legate da un lato alla produzione di pubblicazioni scientifiche interessanti per materie sia informatiche che umanistiche e dall'altro la realizzazione di un prodotto usabile in determinati scenari.

## Conclusioni

Il presente lavoro partiva da interrogativi che miravano a comprendere se e come i recenti cambiamenti tecnologici e sociali fossero in grado di aprire nuove opportunità rispetto ai decenni precedenti. Queste suggestioni sono evolute in domande di ricerca focalizzate su cosa bisogna tenere in considerazione per creare interazioni efficaci e di qualità con le nuove tecnologie immersive.

Per affrontare questo impegno è stato quindi prima inquadrato il termine che fa riferimento al concetto di “sistema immersivo”, ovvero *un insieme complesso di tecnologie che lavorano insieme con l’obiettivo di assottigliare il confine tra il mondo fisico e il mondo digitale o simulato, creando un senso di immersione e un alto coinvolgimento stimolando più sensi contemporaneamente*, per poi successivamente indagare i contesti sociali in cui può trovare applicazione ed utilizzo.

La discussione ha permesso quindi l’identificazione di diversi termini chiave differenti, ma legati l’uno all’altro come *immersività, senso di immersione, presence*.

Secondo questa relazione, il primo termine identifica la capacità oggettiva di un sistema di suscitare senso di immersione, cioè la sensazione di sentirsi coinvolto col sistema con cui si interagisce, e che culmina con la stimolazione di presence, ovvero la sensazione soggettiva di vicinanza e percezione dell’ambiente virtuale come reale.

L’analisi di questi concetti ha dato origine ad una possibile classificazione di tipologie di tecnologie immersive basata sulle differenti percezioni sensoriali che possono essere coinvolte durante l’interazione col sistema immersivo.

La classificazione proposta ha visto l’identificazione di nove possibili alternative costituite da *Display 3D, Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR), Virtual Reality (VR), Natural User Interfaces (NUI), Robotica con uso sensoristica ed attuatori, Speech Recognition, Spatial Audio e Haptic Feedback*.

Ognuna di queste tecnologie è stata poi descritta nelle sue caratteristiche principali in modo da far comprendere come ciascuna di esse può incidere nella generazione di senso di immersione, aumentando l’immersività di un sistema.

La seconda analisi ha riguardato la definizione dei possibili scenari applicativi di queste tecnologie, argomentando la discussione intorno alla definizione di contesto sociale inteso come l’ambiente in cui le persone agiscono, ricevendo l’influenza degli altri e influenzando a propria volta gli altri nell’interpretazione di qualcosa che viene percepito o realizzato.

La volontà di dare una più precisa inquadratura ai possibili scenari e domini applicativi ha fatto emergere la classificazione di cinque diverse categorie di contesti sociali, ovvero *home, work, public, education e health*.

Ciascun dominio è stato trattato e discusso con una prima fase di inquadramento generale

circa la sua connotazione e gli agenti presenti al suo interno, per poi effettuare un approfondimento dedicato al suo legame con la tecnologia e delle riflessioni riguardo al possibile impiego di quelle immersive al suo interno.

Successivamente allo studio della letteratura e alle riflessioni effettuate singolarmente per i due argomenti principali di questo lavoro si è passato poi alla fase di progettazione e sviluppo di esperienze immersive, al fine di permettere un'argomentazione e una discussione ampia riguardo l'utilizzo di queste tecnologie in diversi contesti sociali.

Per poter fare questo si è dovuto quindi definire il concetto di esperienza immersiva sulla base della classificazione delle diverse tipologie di esperienze che un individuo può vivere, in modo da evidenziare chiaramente le sue caratteristiche e affinità rispetto alle altre possibili.

L'approfondimento di questa analisi ha permesso di definirla come *l'insieme delle sensazioni che le persone percepiscono mentre interagiscono con un sistema immersivo all'interno di un ambiente (contesto sociale) definito e che vengono trasformate in conoscenza.*

In seguito, si è voluto introdurre quelle che sono le terminologie, le teorie, gli approcci e gli strumenti utili ad una buona progettazione e valutazione dell'esperienza immersiva e che sono stati utilizzati all'interno delle fasi progettuali e di sviluppo descritte nell'ultima sezione.

Durante queste fasi si è avuto modo di identificare quelli che sono gli elementi caratterizzanti di un'esperienza immersiva che devono essere tenuti in considerazione durante la progettazione. Tali elementi, cioè *social context, environment, content, fruition, people relation, people disabilities, involved display, tracking e outcomes* sono stati poi impiegati all'interno di un modello, denominato CUTE, che si basa sull'analisi di quattro variabili principali, ovvero *Context, Users, Technology ed Expertise*, che rispondono a precise domande e che sono influenzati dalle possibili variazioni degli elementi prima introdotti.

I lavori affrontati sono stati progettati e sviluppati utilizzando questo modello come linea guida per la definizione dei diversi bisogni, requisiti e domande progettuali, permettendo di affrontare le differenti esigenze in maniera precisa ed articolata.

La realizzazione di molteplici progetti in differenti scenari ha permesso sia di applicare CUTE come modello di progettazione sia l'uso e la sperimentazione di diverse tipologie di tecnologie all'interno di scenari anche molto differenti tra loro, consentendo l'emergere di diversi benefici e limiti a seconda del contesto applicativo.

Gli sviluppi effettuati e i risultati emersi dai singoli contributi, oltre che riflessioni specifiche sui singoli casi di studio, hanno permesso inoltre di effettuare riflessioni generali riguardanti la readiness dei singoli contesti rispetto all'applicabilità delle tecnologie immersive.

Il contesto che sicuramente è risultato essere più pronto e disposto ad un loro utilizzo è quello legato all'health, dove la ricerca e l'innovazione tecnologica da sempre accompagna l'evoluzione delle pratiche e delle dinamiche al suo interno. Le tre sperimentazioni realizzate

– eLaparo4d, eBSim, Boccia - hanno raccolto l'entusiasmo e l'interesse degli agenti coinvolti, desiderosi di capire come potesse essere possibile sviluppare qualcosa di utile per la loro professione. La readiness di questo contesto è fortemente collegata all'impatto, talvolta rapido, che segue all'applicazione diretta dell'innovazione tecnologica.

Un secondo contesto in cui l'adozione di tecnologie immersive trova terreno fertile è quello dell'education, come anche i risultati della sperimentazione EducationAR mettono in rilievo. L'introduzione e l'uso di questo tipo di tecnologie è favorevolmente accettato dagli end-users, ovvero gli studenti. Essi, in quanto coinvolti in maniera diretta sulle costanti evoluzioni tecnologiche della società sono di conseguenza maggiormente pronti al cambiamento. Inoltre, vivere l'apprendimento in maniera coinvolgente e dinamica va ad agire in maniera positiva sulle loro attitudini, stimolando curiosità e pensiero creativo con benefici rilevanti nei processi implicati nell'acquisizione di conoscenza. Di contro, la sua diffusa propagazione si può scontrare con la carenza da un lato di fondi specifici e destinati all'acquisto del materiale e dall'altro di spirito innovativo nel personale educativo che si occupa di didattica, spesso legato ai metodi tradizionali di insegnamento.

Il contesto work è da sempre altamente interessato e contaminato dall'apporto di carattere tecnologico al suo interno, tuttavia l'applicazione delle tecnologie può essere talvolta rallentata da quelle che sono le abitudini e il comfort che il lavoratore ha instaurato con le sue procedure lavorative. L'innovazione in questo contesto può essere quindi soggetta, come in parte accade nell'education, a quella che viene definita "resistenza al cambiamento". Questo fenomeno può avvenire quindi anche con le tecnologie immersive, portatrici di cambi a volte radicali nelle pratiche organizzative e produttive. Queste riflessioni sono emerse in entrambi i contributi - EventsXR, ARSport – dove tra i questionari e le indicazioni raccolte si è notato un interesse verso le possibilità che l'uso di tecnologie immersive potrebbero aprire, ma anche una certa cautela e confidenza con quelli che sono invece gli strumenti, le metodologie di lavoro attualmente in essere ed altre questioni legate alla gestione economico-finanziaria delle aziende.

Il contesto public è sicuramente un altro contesto in cui l'innovazione data dalle tecnologie immersive può trovare una certa applicabilità, ma in questo contesto giocano un ruolo importante quelle che possono risultare utili in modo semplice per il perseguimento dei differenti scopi. I risultati da raggiungere sono infatti soggetti alla selezione di strumenti che devono essere funzionali, rispettando talvolta un numero ed una tipologia di requisiti che potrebbero rendere l'idea non applicabile o facilmente perseguibile in determinati momenti storici. Questo è quanto avvenuto ad esempio nel nostro caso durante il progetto Space4All, in cui l'idea progettuale si è dovuta scontrare con un limite tecnologico, dettato dalla scelta di strumenti low-cost e non ancora solidi e che ha reso vano, in termini di risultati concreti, gli sforzi profusi nelle sue fasi di sviluppo. Riflessioni e riconsiderazioni future sulla variabile

*technology* del modello CUTE potrebbero portare all'identificazione di device e/o strategie più funzionali allo scopo, con risvolti positivi sull'attuazione dell'idea progettuale.

Allo stesso modo anche l'idea progettuale WasteAI dedicata alla gestione dei rifiuti, potrebbe eventualmente scontrarsi con alcune problematiche di natura simile e legate ad una ottimale implementazione di tecnologie in spazi che non sono facilmente circoscrivibili o replicabili nella stessa maniera tra posti differenti.

Il contesto dedicato al concetto di home è forse quello che risulta meno pronto all'inserimento di tecnologie immersive, in quanto per permettere un loro soddisfacente impiego è richiesta una maggior predisposizione ambientale così come la capacità di dotarsi di questo tipo di tecnologie, talvolta costose. Con questa affermazione si fa riferimento alla necessaria presenza di spazi e infrastrutture idonee ad un loro uso proficuo. Nel caso della nostra sperimentazione abbiamo sviluppato un prototipo ad hoc per la situazione studiata, plasmandola quindi sul caso specifico d'uso, ma nel caso di tecnologie destinate al mercato di massa, questo non può facilmente avvenire. È necessario che gli ambienti siano progettati in modo tale da poter accogliere queste tecnologie, e che le altre tecnologie presenti al loro interno siano in grado di adattarsi al cambiamento, potendo anche interagire con esso al fine di aumentare le potenzialità dell'uso domestico.

Probabilmente la reale diffusione di queste tecnologie all'interno di questo contesto avverrà nel prossimo futuro quando, con la maggior diffusione di dispositivi immersivi di massa, gli ambienti domestici saranno progettati o riconsiderati al fine di supportare anche il loro utilizzo, rendendo le nostre abitazioni maggiormente smart.

Questo aspetto di diffusione e costo finale della tecnologia è molto legato al ciclo di vita della tecnologia stessa, in cui incidono in maniera rilevante i costi di sperimentazione, ingegnerizzazione e produzione per il mercato di massa, al fine di trovare consenso in quelli che, nel ciclo di adozione della tecnologia, vengono definiti end-users.

Altri aspetti che possono incidere in generale, e quindi all'interno di tutti i contesti sociali individuati, sulla diffusione delle tecnologie - comprese quelle immersive - sono quelli legati al manifestarsi di episodi non prevedibili, come ad esempio quelli avvenuti nei giorni e settimane che hanno accompagnato i lavori di revisione del presente elaborato, caratterizzati dall'emergenza mondiale COVID-19<sup>32</sup>.

Eventi di questo genere e portata possono indurre fenomeni di adattamento e accelerazione nell'introduzione di nuove tecnologie e metodologie, producendo cambiamenti organizzativi rilevanti in ciascuno dei diversi contesti.

---

<sup>32</sup> <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Pandemia\\_di\\_COVID-19\\_del\\_2019-2020](https://it.wikipedia.org/wiki/Pandemia_di_COVID-19_del_2019-2020)

I singoli progetti oltre ad avere una loro valenza indipendente rispetto a particolari problemi da affrontare, hanno costituito un primo modo per testare la validità del modello CUTE realizzato e la sua utilità come strumento di progettazione e sviluppo per esperienze di carattere immersivo.

Le considerazioni e i feedback emersi dal suo utilizzo forniscono delle prime indicazioni sulle quali lavorare al fine di rendere il modello uno strumento maggiormente solido, robusto e concretamente applicabile in futuro.

La concettualizzazione del modello si poneva come obiettivo quello di realizzare uno strumento a supporto della progettazione, ma anche dell'eventuale assessment di progetti già sviluppati. Nel primo caso l'utilità data dell'applicazione di tale modello è quella di poter riconoscere in maniera rapida le possibili alternative che ciascuno dei nove elementi caratterizzanti (*social context, environment, content, fruition, people relation, people disabilities, involved display, tracking e outcomes*) può assumere, dando quindi forma all'esperienza immersiva da realizzare rispetto alle quattro variabili da tenere in considerazione (Marcutti, 2020).

Nel secondo caso, effettuando l'analisi di progetti già concreti, si possono invece effettuare considerazioni circa le scelte progettuali effettuate e sottoporle a revisioni, consentendo l'individuazione di eventuali lacune o dimenticanze.

Il modello CUTE è organizzato in quattro componenti, sufficientemente generali da consentirne una caratterizzazione dinamica, sia in termini di combinabilità degli elementi caratterizzanti sia in termini di evoluzione degli stessi.

L'analisi della natura dei singoli elementi porta a ritenerne alcuni più "rigidi", ovvero che già prevedono tutte le alternative possibili da rappresentare, mentre altri possono essere considerati come "elastici" cioè più soggetti ad aggiunte nel corso del tempo.

Tra gli elementi rigidi ad esempio possiamo far rientrare quello legato all'*involved display*, che con le sue alternative copre l'intera gamma di percezioni sensoriali ad oggi conosciute, insieme a quelli di *environment, fruition e le people disabilities*. Gli elementi invece di natura più o meno elastica, sono quelli che possono subire variazioni a seconda di possibili evoluzioni sia nel mondo tecnologico che nel costruito sociale.

A questa natura sono riconducibili gli elementi di *social context, outcomes, content, tracking e people relation* che potrebbero vedere l'introduzione di eventuali nuove alternative da includere all'interno del modello.

Quanto appena descritto per gli elementi caratterizzanti è frutto di una riflessione ponderata sulla loro natura e costruita sulla conoscenza dello stato attuale della relazione tecnologia-società, e quindi non esente da rettifiche o stravolgimenti futuri.

L'insieme dei contributi apportati ha avuto diversi risvolti sia a livello accademico che personale, dando valore e rilievo alle energie profuse in questo percorso lungo quattro anni

attraverso contributi scientifici e riflessioni soggettive.

Per quel che concerne l'aspetto di ricerca scientifica i lavori svolti hanno dato la possibilità di pubblicare articoli, partecipare a conferenze e conseguire anche alcuni premi in seguito all'iscrizione a diversi concorsi.

Il tempo dedicato in queste attività, utili a supportare il lavoro teorico e pratico che viene fatto, al fine di lasciare alla comunità traccia del tuo contributo, è stato un qualcosa di nuovo che ho dovuto imparare ma che ho coltivato con interesse al fine di poter completare le mie competenze e al contempo creare continuità e nuove opportunità nei miei interessi di ricerca.

Da questi ultimi presupposti è nata, verso la fine della mia esperienza di dottorato, l'idea di puntare a qualcosa di ambizioso in modo da poter dare un ampio respiro alle tematiche di ricerca discusse in questo elaborato attraverso un progetto più strutturato.

Questa idea si è riflessa nell'identificazione e la partecipazione ad un call Horizon2020, il programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione creato dalla Commissione europea, organo esecutivo dell'Unione europea, al fine di fornire finanziamenti a progetti ad alto carattere tecnologico ed innovativo.

Il topic della call in oggetto<sup>33</sup> aveva come centralità quello di sfruttare meglio le opportunità offerte dalle interazioni multiutente, ricercando e sviluppando tecnologie in grado di aumentare l'interazione umana in gruppi all'interno sia di contesti professionali che privati.

La descrizione dell'obiettivo incontrava e rispecchiava quanto il mio percorso stava portando avanti in termini di ricerca, studio e sperimentazioni, catturando il mio interesse e il conseguente desiderio di partecipazione con un proposta solida e strutturata.

La partecipazione ha visto la formazione di un gruppo di lavoro composto da diverse università ed associazioni unite nel creare il progetto ImTec4All<sup>34</sup>. L'intento descritto era lo sviluppo e la dimostrazione fino a TRL6 di un innovativo sistema di tecnologia immersiva in grado di facilitare la creazione di ambienti di collaborazione efficienti ed inclusivi che potesse essere facilmente adattabile alle esigenze speciali di diversi gruppi di persone, sia normodotati che affetti da disabilità.

Un volta inviata, la proposta è stata soggetta al periodo di valutazione che questi processi richiedono ed effettuata da una serie di esperti in possesso di competenze di alto livello, esperienza e conoscenza nelle aree rilevanti non solo tecnico-scientifiche ma anche "trasversali".

L'analisi della valutazione avviene secondo criteri di excellence, impact e quality and

---

<sup>33</sup> ICT-25-2018-2020, RIA Research and Innovation action  
<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/ict-25-2018-2020.html>

<sup>34</sup> Approfondimenti all'interno dell'appendice F



efficiency of the implementation, attraverso un sistema a punteggi da 0 a 5 (con possibili intervalli decimali) che stabilisce le soglie minime e complessive della valutazione singola e complessiva della proposta.

Il risultato della valutazione porta all'inserimento delle proposte all'interno di una lista che le identifica come potenzialmente finanziabili, permettendo loro di essere ordinate in una graduatoria finale (Final Rank List) da parte della Commissione Europea e quindi finanziate sulla base del budget richiesto e le risorse disponibili.

Tale risultato viene poi trasmesso ai proponenti con l'invio dell'Evaluation Summary Report(ESR) che nel nostro caso ha riscontrato interesse nei valutatori superando le soglie minime richieste ma, come spesso può accadere in contesti in cui la competizione è forte e ampia, non è stato sufficiente a rendere la proposta idonea ad un successivo finanziamento. In ultima analisi, giunti alla conclusione dell'elaborato, e sempre con una punta di ambizione si pensa che quanto descritto nel presente elaborato possa essere rivisto in un'ottica editoriale cercando di costituire un elemento di letteratura utile a fornire un survey e una panoramica sulle tematiche legate all'uso e all'applicazione potenziale delle tecnologie immersive che stanno progressivamente contaminando il nostro vivere quotidiano.

Quest'ultima suggestione nasce dalla considerazione, emersa nel corso del tempo, di una forte presenza di diversi contributi scientifici singoli, slegati e principalmente in lingua inglese, facendo risultare utile la presenza invece di uno studio che metta insieme a livello generale le molteplici considerazioni presenti in unico elaborato con rimandi agli studi specifici.

Questi quattro anni di lavori hanno costituito un periodo di crescita personale, professionale e formativa grazie alla possibilità di agire concretamente sul campo con tecnologie, dispositivi e strumentazioni di livello per quelle che sono le aree di ricerca di mio interesse. Ho avuto modo di mettere alla prova diversi aspetti della mia persona, sotto il punto di vista sia caratteriale che tecnico, facendo esperienze interessanti e stimolanti come il confronto con la didattica, con studenti durante i periodi di supervisione per i loro progetti di tesi, con pubblico esterno nei momenti di divulgazione effettuata durante i laboratori tenuti per il Festival della Scienza di Genova e anche con i periodi di permanenza all'estero ospite in visita presso altre aziende ed università.

Fare ricerca è una questione di passione, di interesse, di volontà di dare il proprio contributo personale al fine di partecipare alla realizzazione di soluzioni, prodotti e servizi destinati al miglioramento di procedure, pratiche e dinamiche che possono verificarsi nella quotidianità delle persone e che possono assumere forme problematiche e/o critiche rispetto al corretto svolgersi delle attività.

Sono consapevole che tutto quanto fatto nei miei anni di svolgimento del dottorato avrebbe potuto essere a tratti svolto meglio o in maniera più efficace, ma sono altrettanto

consapevole che è importante provare a farle le cose per ottenere nuovi punti di vista e nuove prospettive.

Come per camminare è importante fare un passo alla volta al fine di non restare immobili e fermi nello stesso punto, così nella ricerca è importante fare altrettanto in modo da avanzare in un cammino che può portare a fallimenti ma anche, e soprattutto, al successo e nuova conoscenza.

## Ringraziamenti

I primi dovuti e sentiti ringraziamenti vanno a Gianni Vercelli ed Ilaria Torre, per avermi accompagnato in questi anni lungo il percorso che ha portato alla produzione del presente elaborato.

A Gianni in particolar modo riconosco la volontà di aver investito e creduto nella mia persona e nelle mie capacità fin dal primo momento in cui mi presentai alla sua porta nel corso dei miei studi di Laurea Triennale in Scienze della Comunicazione e di averla mantenuta nel corso degli anni durante le diverse attività progettuali e laboratoriali svolte.

Ad Ilaria sono grato per i momenti di conversazione e scambio che hanno sempre portato a riflessioni, spunti e critiche costruttive permettendomi di dare forma e sostanza alla struttura e ai contenuti di quanto stavo realizzando.

Ai componenti del BioLab Marco Fato, Maura Casadio, Andrea Canessa e Gabriele Arnulfo perché nei tanti anni trascorsi insieme in Villa Bonino sono state persone con cui spesso è capitato di condividere momenti di confronto, supporto, dialogo e divertimento.

A Serena, la prima tesista da me supervisionata e diventata in seguito importante amica con cui ho condiviso il percorso scientifico del progetto eBSim, le problematiche comuni dei nostri percorsi di dottorato ed infine confidenze ed esperienze di carattere personale.

Ai miei più stretti amici Gianmarco, Saverio, Piero, Davide, Roberto, Nicola, Saverio A. e alle mie più strette amiche Giulia, Cristina, Donatella, Camilla e Jessica con il piccolo Mattia che ognuno in modo diverso ha contribuito al mantenimento di equilibri, riflessioni e momenti di svago.

Alla mia famiglia per aver compreso ed accettato in questi quattro anni il mio stile di vita fatto di mancanza di orari, poca presenza e comunicazione, molta stanchezza e parecchio nervoso.

A tutti gli studenti e a tutte le studentesse che hanno frequentato nel corso del tempo il 3DLabFactory contribuendo alle attività di laboratorio.

A tutte le altre persone che non sono menzionate in maniera diretta, come ad esempio collaboratori e compagni di squadra, ma che con la loro presenza hanno comunque contribuito a contaminare nel tempo la formazione di questo elaborato e della mia persona attraverso progetti, lavori, conversazioni o momenti diversi all'interno dei contesti e degli ambienti che caratterizzano la mia quotidianità.

Infine, il più grande ringraziamento, in maniera un po' egoistica, lo faccio sulla base di ciò che spesso mi sono sentito dire da amici, compagni di squadra, colleghi, professori e parenti:  
"bravo, ma una grande testa di c\*\*\*o".

Devo ringraziare quella testa se sono riuscito a concludere con perseveranza, ostinazione e voglia un cammino che all'inizio era cominciato con grosse difficoltà e delusioni sul piano emotivo che hanno avuto ripercussioni sul mio equilibrio e stabilità personale.

Non è stato facile far convivere insieme, portare avanti e gestire nello stesso tempo situazioni e problematiche provenienti da aspetti professionali, accademici e personali presenti nella mia vita quotidiana.

Il conseguimento di questo risultato è per me l'ennesima dimostrazione di quanto io sia in grado con serietà, competenza, abnegazione e sacrifici di raggiungere gli obiettivi che mi prefiggo.

## Publicazioni

### **Low cost laparoscopic training platform: Primary validation process**

Perino, E., Sguanci, M., Mandolino, F., Minuto, M., Vercelli, G., Gaudina, M., Marcutti, S., Frascio, M. (2015). (pp. P215-P221).

In *8th International Workshop on Applied Modeling and Simulation, WAMS 2015*

### **The development of a low-cost obstetric simulator to train midwifery students and test objective examinations' skills**

Ricci, S.; Paci, A.; Marcutti, S.; Marchiolè, P.; Torre, G.; Casadio, M.; Vercelli, G.; Cordone, M. 4th International Workshop on Innovative Simulation for Health Care, IWISH 2015

### **Enabling Touchless Interfaces for Mobile Platform: State of the Art and Future Trends**

Marcutti S., Vercelli G.V. (2016). In: De Paolis L., Mongelli A. (eds) *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2016. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9769. Springer, Cham

### **eBSim: Development of a Low-Cost Obstetric Simulator**

Paci A, Marcutti S, Ricci S, Casadio M, Vercelli G, Marchiolè P, Cordone M

In: De Paolis L., Mongelli A. (eds) *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2016. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9769. Springer, Cham

### **Self-assessment and online evaluation tools integrated within a mixed-reality surgical simulator**

Marcutti S., Frascio M., Vercelli G.

29TH Conference of the international Society for Medical Innovation and Technol, 2017

### **Validation of a simulator set up entirely in an academic setting: low-cost surgical trainer rather than high-cost videogame**

Minuto, M. N., Marcocci, G., Soriero, D., Santori, G., Sguanci, M., Mandolino, F., Casaccia, M., Fornaro, R., Stabilini, C., Vercelli, G., Marcutti, S., Gaudina, M., Stratta, F., & Frascio, M., *Biomed J Sci & Tech Res*, June 2018

### **Design and implementation of a low-cost birth simulator**

Ricci S., Marcutti S., Pani A., Cordone M., Torre G., Vercelli G., Casadio M.,

41st International Engineering in Medicine and Biology Conference. Berlin, Germany, July 2019

### **Implementation of a sensorized neonatal head model for gynecological training**

Ricci S., Marcutti S., Pani A., Chirico M., Torre G., Cordone M., Casadio M., Vercelli G.

8th International Workshop on Innovative Simulation for Healthcare, Lisbon, Portugal, September 2019

### **Model of a tracheo-bronchial tree for the training of bronchoscopy examinations**

Bazurro S., Caddori R., Capurro C., Ricci S., Marcutti S., Carlini G., Chirico M., Solari F., Casadio M., Chessa M. 8th International Workshop on Innovative Simulation for Healthcare, Lisbon, Portugal, September 2019

### **Developing an Intelligent Virtual Coach for Boccia: Design of a Virtual Boccia Simulator**

Calado A, Marcutti S, Vercelli G, Novais P.

AAATE 2019 Global Challenges in Assistive Technology: Research, Policy & Practice

### **Towards a Virtual Coach for Boccia: Developing a Virtual Augmented Interaction Based on a Boccia Simulator**

Calado A, Marcutti S., Silva V., Vercelli G, Novais P, Soares F

Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, January 2020

### **A magnetic transducer for the detection of the fetal engagement level in part-task trainers**

\*\*\*(in preparation,2020)

Vacca G., Ricci S., Carlini G., Rossi P., Marcutti S., Canessa A., Vercelli G.V., Torre G., Chirico M.,

Casadio M.

**Immersive technologies in education: design and development of an educational activity using augmented reality \*\*\*(in preparation,2020)**

Saracchi A, Marcutti S, Sugliano A.M., Vercelli G.V

**The shape of immersive experiences: key elements, application domains and a proposal framework for its design \*\*\*(in preparation,2020)**

Marcutti S, Vercelli G.V, Torre I.

## Appendice A

Elenco tabelle da usare nel modello CUTE per l'identificazione dei valori elementi caratterizzanti dell'esperienza immersiva

Social Context	
Home	
Work	
Public	
Education	
Health	

Content	
Learning and training	
Psycho- and physiotherapy	
Virtual journeys and tour	
Interactive simulation	
Gaming	

Involved Display	
visual	
aural	
haptic	
olfactory	
taste	
vestibular	

Environment	
Only real (totalmente fisico)	
Combined ma overlay	
Combinato ed interagente	
Only virtual (totalmente digitale)	

Fruition	
One alone	
One + audience	
Multi	
Multi + audience	
Audience only	

Tracking	
body parts	
object	

People relation	
none	
subordinate	
equal	

People disabilities	
cognitive	
Physical	

Outcomes	
Learning effectiveness	
Learning engagement	
Learning attitude	
Task performance	
Reduced disease symptoms	
Intention to use	

## Elementi caratterizzanti esperienza immersiva

Elemento	valori	descrizione
social context	Home Work Public Education Health	Il dominio applicativo in cui l'esperienza immersiva viene vissuta
environment	Only real (totalmente fisico) Combined ma overlay Combinato ed interagente Only virtual (totalmente digitale)	Il grado di realtà fisica e virtuale presenti e coinvolti nell'esperienza immersiva
content	Learning and training Psycho- and physiotherapy Virtual journeys and tour Interactive simulation Gaming	La tipologia e la forma di contenuto che si devono veicolare
fruition	One alone One + audience Multi Multi + audience Audience only	Il grado di copresenza rispetto all'immersione e all'interazione col sistema immersivo
people relation	none subordinate equal	Il grado di relazione sociale esistente tra gli utenti che interagiscono col sistema immersivo
people disabilities	cognitive physical	La considerazione della presenza di possibili disabilità
involved display	visual aural haptic olfactory taste vestibular	L'insieme delle interfacce che sono utilizzate e coinvolte nella stimolazione sensoriale
tracking	body parts object	La possibilità di dover tracciare il movimento nello spazio di corpi umani o oggetti
outcomes	Learning effectiveness Learning engagement Learning attitude Task performance Reduced disease symptoms Intention to use	L'obiettivo o gli obiettivi da perseguire

Associazione variabili CUTE - elementi caratterizzanti

CONTEXT	
<i>Elementi</i>	social context, environment
<i>Domande</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quali sono i vincoli in termine di dimensioni e spazi di interazione?</li> <li>• quali sono i vincoli di natura fisica derivanti condizioni ambientali (es. luce)?</li> <li>• quali sono i vincoli derivanti dal tempo di fruizione dell'esperienza?</li> </ul>
USER	
<i>Elementi</i>	fruition, people relation, people disabilities, content
<i>Domande</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chi sono i miei utenti in termini di genere, età, disabilità?</li> <li>• che ruoli interpretano e che comportamenti possono assumere (task)?</li> <li>• che aspettative hanno dall'esperienza (goal)?</li> </ul>
TECHNOLOGY	
<i>Elementi</i>	Involved display, tracking, fruition, environment
<i>Domande</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quali sono quelle che meglio rispondono alle necessità di progettazione?</li> <li>• quali sono i vincoli tecnici e fisici che possono limitare l'esperienza?</li> <li>• quali sono le features a disposizione che possono arricchire l'esperienza?</li> </ul>
EXPERTISE	
<i>Elementi</i>	outcomes, content
<i>Domande</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• il mio team possiede già le competenze che servono?</li> <li>• se si, sono a disposizione e con un livello sufficiente?</li> <li>• se no, dove è possibile reperirle in termini di persone o come è possibile acquisirle in termini di formazione?</li> </ul>



## Appendice B

### Requisiti

Essere studenti, specializzandi, medici o ostetriche ed aver assistito ad almeno un parto

### Struttura questionario

**Questionario: "Valutazione dell'usabilità di sistemi di realtà virtuale e mista per il training di personale medico"**

1) Genere? M  F

2) Et ? \_\_\_\_\_

3) Livello di istruzione?

Diploma  Laurea Triennale  Laurea Magistrale

PhD o Specializzazione  Altro

4) Conosci la simulazione in Medicina?

S , e ne ho usufruito  S , ma non l'ho mai utilizzata  No

5) A quanti parti hai assistito?

Meno di 10  Tra 10 e 50  tra 50 e 100  pi  di 100

Utilizzando una scala da 1 a 5 (1 = totalmente in disaccordo, 5 = totalmente d'accordo)

		1	2	3	4	5
6)	Penso che mi piacerebbe utilizzare questo sistema frequentemente					
7)	Ho trovato il sistema complesso senza che ce ne fosse bisogno					
8)	Ho trovato il sistema molto semplice da usare					

*Riepilogo intervistati ed elenco delle risposte ottenute*

7 soggetti - 2 Maschi, 5 Femmine - 2 Ginecologi, 4 studenti, 1 ostetrica

1	M	F	F	F	F	F	M
2	64	27	20	21	29	23	61
3	PhD Spec	Diploma	Diploma	Diploma	Altro Master	Diploma	Laurea Magistrale
4	Sì	Sì	Sì ma	Sì ma	Sì	Sì ma	Sì
5	>100	<10	<10	10 - 50	>100	<10	>100
6	4	5	5	5	4	5	5
7	1	1	1	2	1	2	1
8	5	5	4	4	5	5	5
9	5	3	3	3	2	2	5
10	5	5	5	4	5	5	5
11	1	1	1	1	5	1	1
12	5	5	5	4	5	5	5
13	1	1	1	2	1	2	1
14	4	4	4	4	5	4	4
15	1	1	1	2	1	2	1
16	5	5	5	5	5	5	5
17	5	5	5	3	5	4	5
18	4	5	5	5	5	5	5
19	5	5	5	4	5	5	5
20	3	5	5	5	5	5	5
21	4	5	5	5	5	5	5
22	4	5	4	5	4	4	5
23	5	5	4	5	5	5	5

## Appendice C

### *Il Lesson Plan dell'esperienza di didattica immersiva*

MACRO-PROGETTAZIONE		CAMPO DELL'OSSERVATORIO (v. Scheda Innovazione)
<b>Titolo</b>	I Mammiferi con Meta 2AR	Sezione Anagrafica: Titolo Progetto
<b>Autore</b>	Loredana Leo	Sezione Anagrafica: Cognome, Nome Referente
<b>Abstract</b>	Lezione per la classe Seconda Digitale, progettata secondo il Modello CIAK, e realizzata secondo la metodologia didattica del JIGSAW, che comprende apprendimento cooperativo e studio individuale.  Fruizione di contenuti mediante la tecnologia di Realtà Aumentata (visore Meta 2 AR).	Sezione Anagrafica: Abstract, Tema Prevalente
<b>Discipline coinvolte</b>	Scienze, Biologia	Sezione Anagrafica: Discipline coinvolte
<b>Destinatari (con attenzione a stem per le ragazze)</b>	19 studenti della classe Seconda Digitale del Liceo M.L.King. (90% di genere maschile)	Sezione Anagrafica: Ordine Di Scuola  Sezione Attività: Digitale, Imprenditorialità, Lavoro
<b>Durata complessiva del progetto</b>	Fruizione: 2 ore Preparazione: 3 settimane	Sezione Anagrafica: Tempo Di Realizzazione
<b>Software/ Applicazioni</b>	Unity, Padlet	Sezione Attività: Ambienti Di Comunicazione, Software prevalente utilizzato dagli studenti
<b>Hardware/ Ambienti</b>	Visore per la Realtà Aumentata Meta 2 AR, pc, tablet	Sezione Attività: Accesso, Spazi Di Apprendimento, Ambienti Di Comunicazione

<p><b>Tempi/spazi delle attività didattiche</b></p>	<p>Svolgimento della lezione presso DIBRIS - villa Bonino, viale Causa (GE)</p>	<p>Sezione Attività: Tempi/Spazi delle attività didattiche</p>
<p><b>Obiettivi di competenza digitale</b></p>	<p><i><b>Digital Literacy: uso di informazioni e dati presenti in rete</b></i>  1.1 <i>Navigare, ricercare e filtrare dati, informazioni e contenuti digitali.</i>  1.2 <i>Valutare dati, informazioni e contenuti digitali</i>  1.3 <i>Gestire (archiviare) dati, informazioni e contenuti digitali</i>  <i><b>Comunicazione e collaborazione</b></i>  2.1 <i>Interagire con altri per mezzo di strumenti digitali.</i>  2.2 <i>Condividere risorse per mezzo di strumenti digitali.</i>  2.3 <i>Esercitare cittadinanza attiva utilizzando strumenti e ambienti digitali.</i>  2.4 <i>Collaborare per mezzo le tecnologie digitali.</i>  2.5 <i>Netiquette</i>  2.6 <i>Gestione dell'identità digitale.</i>  <i><b>Creazione di Contenuti Digitali</b></i>  3.1 <i>Sviluppare contenuti digitali</i>  3.2 <i>Integrare e rielaborare contenuti digitali</i>  3.3 <i>Copyright e licenze</i>  3. 4 <i>Programmazione</i>  <i><b>Sicurezza</b></i>  4.1 <i>Proteggere i dispositivi</i>  4.2 <i>Proteggere i dati personali e la privacy</i>  4.3 <i>Proteggere la salute e il benessere</i>  4.4 <i>Proteggere l'ambiente</i>  <i><b>Trovare soluzioni (problem-solving)</b></i>  5.1 <i>Risolvere problemi tecnici</i></p>	<p>Sezione Attività: Competenze digitali degli studenti</p>

	<p>5.2 <i>Identificare i propri bisogni e come le tecnologie possono soddisfarli.</i></p> <p>5.3 <i>Utilizzare in modo creativo le tecnologie digitali</i></p> <p>5.4 <i>Identificare i propri bisogni di aggiornamento rispetto al digitale.</i></p>	
<p><b>Prodotti richiesti agli studenti</b></p>	<p>Comunità di Pratica (CdP) di riferimento: Comunicazione e Contenuti Digitali</p> <p>Realizzazione di un elaborato multimediale sui mammiferi studiati, che contestualizzi gli animali, la loro evoluzione e lo sviluppo della dentatura.</p> <p>Da condividere su Padlet.</p>	<p>Sezione Attività: Prodotti realizzati dagli studenti</p>
<p><b>Strategia/tecnica didattica</b></p>	<p>JIGSAW: modalità di apprendimento cooperativo, si lavora in gruppo, ma anche individualmente in quanto ogni studente ha una parte di conoscenza.</p> <p>Il metodo Jigsaw unisce quindi Cooperative Learning e studio individuale.</p>	<p>Sezione Attività: Metodologie utilizzate</p>

<b>Metodo di valutazione degli apprendimenti</b>	Tradizionale	Sezione Attività: Metodo per la valutazione degli apprendimenti
<b>Coinvolgimento con gli autori esterni alla scuola</b>	DIBRIS - Dipartimento Informatica, Bioingegneria, Robotica, Ingegneria, Ingegneria dei Sistemi  <i>Università degli Studi di Genova</i>	Sezione Attività: Digitale, Imprenditorialità e Lavoro
<b>FASE 1</b>	<p><b>Durata:</b> 3 ore presso DIBRIS, di cui 1 ora e 30 min presso Aula Visore (30 min a gruppo)</p> <p><b>Spazio di apprendimento e Strumenti digitali utilizzati:</b> DIBRIS, visore META 2 AR, tablet</p> <p><b>Ambienti di comunicazione/condivisione utilizzati:</b> Google Drive.</p> <p><b>Docenti /Discipline coinvolti:</b> Prof.ssa Leo/Scienze</p> <p><b>Materiali didattici utilizzati dal docente:</b> Materiali online, contenuti inseriti nell'esperienza con il visore Meta.</p> <p><b>T1</b></p> <p><b>Attività:</b> Seguendo la metodologia didattica del Jigsaw, gli studenti (in classe) vengono divisi in tre gruppi casa (A, B, C) che si separano per l'attività di approfondimento (presso DIBRIS) in tre gruppi di esperti E, D, O. A turno i gruppi di esperti visionano il contenuto aumentato: uno studente indossa il</p>	<p>Sezione Attività:</p> <p>Relazione docente e studente Relazione fra docenti Materiali didattici digitali</p>

	<p>visore, gli altri seguono sul monitor, memorizzano le informazioni relative al mammifero assegnato, e si preparano a rispondere allo UEQ e alle 3 domande relative al mammifero a loro assegnato tra Elefante, Delfino, Orso. (che gli vengono consegnati cartacei).</p> <p><b>Output concreto della fase di attività:</b> Ogni studente sperimenta l'attività didattica immersiva con il visore per la realtà aumentata e prende appunti.</p> <p><b>T2 - T3</b></p> <p><b>Attività:</b> Mentre il secondo gruppo esperti (e il terzo) sperimenta il visore, gli studenti del primo (e del secondo) si recano nello spazio esterno del DIBRIS; si confrontano e, individualmente, cercano online informazioni di approfondimento. Inoltre, rispondono al questionario sulla user experience.</p> <p><b>Output concreto della fase di attività:</b> Elaborato in formato testo individuale (sintetico, in forma di appunti) da condividere con i compagni. Compilazione del UEQ.</p> <p><b>Modalità di consegna:</b> Condivisione su Google Drive.</p> <p><b>Tempi:</b> Un'ora e mezza.</p>	
--	---	--

<p><b>FASE 2</b></p>	<p><b>Durata:</b> 1 ora e mezza</p> <p><b>Spazio di apprendimento/Strumenti digitali utilizzati:</b> DIBRIS/Scuola, tablet.</p> <p><b>Ambienti di comunicazione/condivisione utilizzati:</b> Google Drive, Padlet</p> <p><b>Docenti /Discipline coinvolti:</b> Prof.ssa Leo, Scienze</p> <p><b>Attività:</b> Gli studenti tornano ai propri gruppi casa (A, B, C) e condividono le informazioni su tutti e 3 i mammiferi.</p> <p><b>Output concreto della fase di attività:</b> Elaborato in formato testo individuale (sintetico, in forma di appunti).</p> <p><b>Tempi:</b> Un'ora e mezza.</p>	<p>Sezione Attività:</p> <p>Relazione docente e studente Relazione fra docenti Materiali didattici digitali</p>
<p><b>FASE 3</b></p>	<p><b>Spazio di apprendimento/Strumenti digitali utilizzati:</b> CASA, tablet</p> <p><b>Ambienti di comunicazione/condivisione utilizzati:</b> Google Drive, Padlet</p> <p><b>Attività:</b> Ogni studente crea il proprio elaborato multimediale completo in base alla consegna del docente. E ogni studente compila un Secondo Questionario (Google Moduli) sull'esperienza di apprendimento mediante la Realtà Aumentata.</p> <p><b>Output concreto della fase di attività.</b> Elaborato multimediale sui mammiferi studiati, che contestualizzi gli animali, la loro evoluzione e lo sviluppo della dentatura. Da condividere su Padlet.</p>	<p>Sezione Attività:</p> <p>Relazione docente e studente Relazione fra docenti Materiali didattici digitali</p>



	<p>Compilazione del questionario “I Mammiferi con Meta 2 AR”.</p> <p><b>Tempi:</b> Per il giorno dopo l’esperienza presso DIBRIS.</p> <p><b>Modalità di valutazione:</b> Tradizionali.</p>	
--	--	--

Di seguito si riportano i due questionari utilizzati per il rilevamento dei dati dell'esperienza

### I Mammiferi con Meta 2 AR

Rispondi alle domande e indica quanto sei d'accordo o in disaccordo con le affermazioni usando la scala da 1 (se non sei per niente d'accordo) a 7 (se sei completamente d'accordo).

1. Et :

\_\_\_\_\_

2. Genere:

Contrassegna solo un ovale.

- Maschile  
 Femminile

3. Avevo gi  utilizzato tecnologie di Realit  Aumentata in passato.

Contrassegna solo un ovale.

- S   
 No

4. Penso che il visore Meta per la Realit  Aumentata sia facile da usare.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

5. Usare la Realit  Aumentata mi ha aiutato a ottenere le informazioni pi  rapidamente.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

6. Mentre indossavo il visore ho avuto facilit  a manipolare gli oggetti 3D.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

7. Mentre indossavo il visore ho letto con facilit  le informazioni sui pannelli.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

8. Secondo te, i crani 3D erano ben posizionati nello spazio (a una giusta altezza e distanza rispetto a te)?

Contrassegna solo un ovale.

- Sì  
 No

9. Se hai risposto No alla domanda precedente, dove li avresti posizionati?

Seleziona tutte le voci applicabili.

- Più vicino  
 Più lontano  
 Più in basso  
 Più in alto

10. Secondo te, i crani 3D erano della giusta dimensione?

Contrassegna solo un ovale.

- Sì  
 No

11. Se hai risposto No alla domanda precedente, come li avresti preferiti?

Contrassegna solo un ovale.

- Più grandi  
 Più piccoli

12. Usare la Realtà Aumentata ha stimolato il mio interesse per la materia.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

13. Mentre usavo il visore avevo paura di commettere errori che non avrei saputo correggere.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

14. Poter vedere e "toccare con mano" i modelli 3D ha reso più facile l'apprendimento della materia.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

15. Mi piacerebbe usare la Realtà Aumentata più spesso a scuola.

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	6	7	
per niente d'accordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	completamente d'accordo

16. In quale altro contesto proporresti di usare il visore Meta 2 AR?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

17. Come valuti la tua esperienza con il visore Meta 2 AR? Hai suggerimenti da darci?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Appendice D

### *Acknowledgments*

*The work has been partly supported by RISEWISE (RISE Women with disabilities In Social Engagement) H2020 EU project under the Agreement N 690874.*

### *RISEWISE - Donne, disabilità e loro coinvolgimento sociale*

#### *Descrizione*

Il progetto scientifico RISEWISE (RISE Women with disabilities In Social Engagement) cercando soluzioni positive a interrogativi ancora aperti si pone come obiettivo quello di trovare risposte alla domanda "Può una donna con disabilità essere indipendente e avere le stesse possibilità di un uomo?". Si tratta di un progetto dell'Università di Genova della durata quadriennale e che ha preso il via lo scorso 1 Settembre 2016, coordinato dalla responsabile scientifica Cinzia Leone.

Risewise è un progetto originale, mai sperimentato prima e finanziato con fondi europei in ambito Horizon 2020 (circa 2 milioni di euro). Si tratta di una sfida alla società contemporanea allo scopo di cambiare le pratiche di inclusione sociale e rendere disponibile anche a donne con disabilità una "vita normale", fatta di lavoro, istruzione e tempo libero. Perché, tra i tanti fattori che rendono difficile l'integrazione, la disabilità, soprattutto femminile, è l'elemento trasversale più radicato e persistente.

Dal momento che gli studi medici, sociali e antropologici sull'handicap in maniera organica sono relativamente recenti, sovente non italiani e molto spesso non fanno distinzione precisa di genere, uno degli scopi fondamentali del progetto è anche quello di sviluppare nuove competenze in grado di migliorare l'integrazione sociale e in generale la vita delle donne con disabilità, secondo una prospettiva di genere che promuova un pieno godimento dei diritti e dell'uguaglianza di ogni persona nel rispetto della differenza.

Purtroppo, infatti, ancora agli inizi degli anni Novanta, il corpo femminile è stato preso in considerazione solo se in condizioni di salute ottimali. Nel 1991, per esempio, la sociologa femminista canadese Sharon Dale Stone scriveva nella monografia "Femminismo e Corpo": Nessuna malattia, nessuna imperfezione potrebbe essere accettata se la donna non può nasconderele o annullarle (...) Nella nostra cultura, le donne imparano che il loro valore risiede nell'attrattiva del loro corpo. Un corpo non attraente, malato, disabile, vecchio deve essere emarginato.

La disabilità inoltre è stata ed è spesso considerata come un problema di salute individuale da risolvere con cure mediche, ma qualora l'intervento medico non abbia successo, devono essere previsti un'alternativa e un approccio diverso per permettere inclusione e occupazione. Secondo infatti il "modello sociale" introdotto da Paul Hunt, fondatore dello studio critico sulla disabilità, i vecchi stereotipi dei portatori di handicap visti come dipendenti, passivi, inferiori e malati, vanno superati, insieme agli standard errati in base ai quali la società decide chi è abile e chi no. I disabili quindi devono diventare protagonisti attivi delle scelte che li riguardano e della vita sociale: Nothing about us without us è un vecchio, ma sempre nuovo motto dei primi movimenti di persone con disabilità. Non è infatti il modello medico quello che deve essere adottato, ma è il valore sociale di ogni persona a dover essere preso in considerazione.

In Italia i disabili sono tra i tre e i quattro milioni (a seconda dei dati Istat o Censis - 2015), rappresentando una percentuale fra il 5% e il 6,7% della popolazione italiana, il numero sulle donne disabili in Italia risale al 2008, quando erano stimate essere circa 1.700.000: cittadine e cittadini che devono e possono essere artefici e titolati a decidere sulla propria vita e il proprio futuro, alla pari di tutti i cittadini e le cittadine.

Partendo da questi presupposti, il progetto scientifico RISEWISE affronta ogni aspetto della disabilità attraverso un approccio olistico interdisciplinare: sociologia, psicologia, informatica, diritto, ingegneria e politica, con riferimento al quadro normativo esistente e al sostegno delle attuali tecnologie assistive, sono gli ambiti coinvolti. L'obiettivo è anche quello di influenzare la politica pubblica verso le donne e le donne con disabilità. Questa proposta di progetto è stata sviluppata con riferimento allo studio sostenuto dal programma comunitario Horizon 2020 (2007-2013), con un chiaro riferimento ai diversi documenti in cui l'Europa ha individuato e specificato ciò che è ancora "da fare per permettere alle donne con disabilità di godere dei loro diritti e libertà fondamentali."

### *Responsabile scientifico/ Coordinatore*

LEONE Cinzia (Chimica e Chimica Industriale (DCCI))

### *Partecipanti*

Insieme all'Università di Genova partecipano al progetto le università e le società/ONG coinvolte dall'Italia, e da Spagna, Portogallo, Svezia, Austria e Turchia.

L'elenco prevede 7 università e 7 organizzazioni private (U-Università, P-Privato – Città):

1. UNIGE (U) – Università di Genova

2. UNED (U) – Università Statale di Madrid, Madrid, Spagna
3. METU (U) – Università Politecnica di Ankara, Turchia
4. UCM (U) – Università Complutense, Madrid, Spagna
5. UMINHO (U) – Università del Minho, Braga, Portogallo
6. UNIBS (U) – Università di Brescia
7. SU (U) – Università di Stoccolma, Svezia
8. AIAS (P) – Associazione Italiana Assistenza Spastici Bologna
9. AFADIS (P) – Associazione familiari e amici disabili Madrid, Spagna
10. FRATERNA (P) – Associazione persone con disabilità, Guimarães – Braga, Portogallo
11. AAATE (P) – Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe, Linz, Austria
12. FUNKA (P) – Società privata per lo sviluppo di assistive technology, Stoccolma, Svezia
13. ENGELLI (P) – Associazione Donne Disabili Ankara, Turchia
14. AISM – Associazione Italiana Sclerosi Multipla, Genova (e Italia)

### *Esperienza personale*

All'interno del mio percorso dottorale ho avuto la possibilità di partecipare a diverse riunioni, incontri e discussioni del progetto RISEWISE, apportando il mio contributo in termini di pensieri ed esperienza.

A questo si aggiunge la possibilità di aver effettuato un periodo di secondment in Svezia presso Funka uno dei partner (13) del progetto per la durata di un mese.

Nel corso di questa breve esperienza ho avuto modo di approfondire tematiche interessanti e utili al mio progetto dottorale con approfondimenti di ricerca nelle mie aree di interesse legate all'interaction design, natural user interface e internet of things con anche visite a centri di ricerca dell'Università di Stoccolma (DSV - Department of

Computer and Systems Sciences), dell'Università di Umeå (HumLab) e alla sede in Umea del RISE - Research Institutes of Sweden





Design for all

We offer

**Our assignments**

About Funka

Customer stories

Position of trust and  
Investigations

**Research and innovation**

Standardisation

International network



## Funka welcomes Italian talent

Funka, as partner in the EU project Risewise, will be receiving European researchers carrying out research in wide range of disability related areas. The first research visit (secondment) is Simone Marcutti, PhD student at Genoa University and ICT entrepreneur.

Riferimenti:

<http://www.risewiseproject.eu/>

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/203392/factsheet/it>

<http://www.disfor.unige.it/ricerca/gruppi-ricerca/risewise>

<https://www.funka.com/en/our-assignments/research-and-innovation/archive---research-projects/EU-project-on-women-with-disabilities/funka-welcomes-italian-talent/>

## Appendice E

### *Struttura del questionario*

1. Quali sono gli step del processo di allestimento di uno spazio pubblico in occasione di un evento? (indice delle tappe accompagnate da brevissima descrizione)
2. Quali figure professionali sono coinvolte nel processo di allestimento di uno spazio pubblico in merito ad un evento? Tale lavoro è svolto in maniera cooperativa o in via singolare?
3. Quali sono le metodologie attualmente impiegate in fase di design (sketch, storyboard ecc)? è previsto l'utilizzo di device digitali (qualunque tipo)? Se sì, in quale fase/i del processo di design? Ne sapreste elencare i limiti e le potenzialità?
4. Una soluzione in realtà aumentata e/o realtà virtuale a questi limiti potrebbe essere valida per rendere il lavoro più accurato e/o facilitarlo? Aumenterebbe il grado di soddisfazione delle figure professionali coinvolte in questo scenario?
5. Avete interesse per le tecnologie di realtà virtuale e realtà aumentata o ne percepite dei vincoli/limiti?

*Marianna Caprotti, e il professor Luca Monti, ambedue docenti del Master Ideazione e progettazione di eventi culturali - MEC, tenuto presso l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano*

#### **Domanda 1**

- a. Site inspection con cliente e scelta del luogo dell'evento
- b. presentare la documentazione per occupazione suolo pubblico richiesta all'ufficio eventi della municipalità interessata (Visura camerale società organizzatrice, dichiarazione antimafia, documenti di identità organizzatori, planimetrie, rendering, descrizione dell'evento, specifiche tecniche, impatto acustico, crono programma, mappa del rischio, PSC/DUVRI, POS, relazione di calcolo e di staticità delle strutture, CROCE ROSSA, Distribuzione generi alimentari, dichiarazione antincendio, SIAE, ecc)
- c. conoscere i punti e la portata di erogazione di corrente, accessi per carico/scarico materiale
- d. identificazione dei fornitori
- e. permessi di circolazione dei mezzi e orari carico/scarico – Polizia municipale
- f. cantierizzazione dell'area
- g. inizio allestimento



### **Domanda 2**

- a. Incaricato della municipalità, polizia municipale, questura
- b. Cliente – direzione marketing ed eventi
- c. Fornitori – service audio, video, luci, elettricista, catering, allestitore, arredi

### **Domanda 3**

Ciò che viene chiesto dall'Ufficio Manifestazioni/Ufficio SUAP in fase di proposta nella maggior parte dei casi sono dei rendering (da file DWG, PDF) in cui si inseriscono gli ingombri dei manufatti/arredi/installazioni all'interno dell'area interessata o della venue. Sono inoltre richieste planimetrie quotate con indicate le vie d'accesso da far rispettare ai fornitori (dunque allestitori/service...), la dimensione del cantiere in fase di allestimento con indicate le diverse metrature e il totale dell'occupazione in mq, l'ingombro del manufatto/arredo/installazione, e le vie di fuga concordate con questura/polizia municipale. Nella presentazione del concept al cliente sono utilizzati fotomontaggi/rendering sviluppati con software tipo InDesign/illustrator/altri. Normalmente sono file che vengono condivisi via mail/ftp/wetransfer con il cliente. A volte è possibile presentare i progetti nelle meeting room utilizzando la proiezione del progetto (ppt/keynote) su monitor/schermi presenti, utilizzando sistemi Windows o AppleTV.

Più i rendering/fotomontaggi sono ben fatti e ordinati, più il cliente si rende conto del tipo di allestimento e ne percepisce le qualità e i difetti.

Queste presentazioni si usano in fase di proposta del progetto e in fase decisionale; i limiti rappresentano il match tra il progetto e la realtà. Le presentazioni vengono usate anche in fase di allestimento e di consegna dell'allestimento al cliente

### **Domanda 4**

Sicuramente sì, ma bisogna fare attenzione. In seguito ad alcuni fallimenti e mancata fedeltà tra rendering e evento live si è reso necessario ad oggi firmare manleve o assicurazione che ne garantiscano la corrispondenza. Quando non si finisce per vie legali sicuramente il grado di soddisfazione aumenta e si consolida il rapporto di lavoro.

### **Domanda 5**

I limiti del coinvolgimento in fase di progettazione riguardano sicuramente il budget dell'evento. Durante gli eventi mi è più volte capitato di avere la stampante 3D che produce degli oggetti che possono essere distribuiti a chiusura dell'evento oppure che produce il prodotto che l'evento vuole promuovere.

*IANTRA Eventi, Viaggi e Congressi: agenzia attiva dal 1997 con sede a Verona specializzata nell'organizzazione di eventi, congressi, convegni, incentive, viaggi sia aziendali che individuali*

**Domanda 1**

Fissare orario con tutti fornitori, avvisare la location e condividere tutte le informazioni con il cliente – prima di tutto essendo spazio pubblico bisogna richiedere tutte le autorizzazioni del caso e avere tutta documentazione necessaria.

**Domanda 2**

Referente agenzia per supervisione, fornitori che necessitano di allestimento, referente o supervisore location. alcuni fornitori possono allestire insieme (service tecnico e catering) alcuni necessitano di tempi diversi e di avere tutto lo spazio a disposizione (nel caso in cui è necessario cambiare la pavimentazione o l'aspetto scenografico della location).

**Domanda 3**

La fase di design solitamente viene effettuata nel momento di elaborazione del progetto. Il grafico crea un render che si condivide con il cliente e post approvazione si confermano i vari fornitori.

**Domanda 4**

L'uso della realtà virtuale permetterebbe di rendere l'evento ancora più reale rispetto ad un render creando così sicurezza e convinzione da parte del cliente.

**Domanda 5**

Bisogna sempre essere aperti alle nuove tecnologie per stare al passo con i tempi, ovviamente rispetto il budget prestabilito

## Appendice F

*Immersive Technologies for All (ImTec4All)*

*Call: ICT-25-2018-2020*

<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/ict-25-2018-2020.html>

*Type of action: RIA Research and Innovation action*

*Opening date: 26 July 2018*

*Deadline: 14 November 2018*

*Topic*

Better exploiting opportunities offered by multi-user interactions, researching and developing technologies augmenting human interaction in groups within both professional and private contexts.

*Descrizione*

ImTec4All mira a sviluppare e dimostrare fino a TRL6 un innovativo sistema di tecnologia VR in grado di facilitare la creazione di ambienti di collaborazione efficienti inclusivi in modo da essere facilmente adattabile alle esigenze speciali di diversi gruppi di persone sia normodotati che affetti da disabilità.

## Figure

FIG. 1 RELAZIONE IMMERSIVITÀ - IMMERSIONE – PRESENCE.....	17
FIG. 2 CINQUE SENSI PRINCIPALI DEL CORPO UMANO .....	19
FIG. 3 RELAZIONI SENSO - STIMOLO - RECETTORI - ORGANO .....	19
FIG. 4 RAPPRESENTAZIONE DELLE AREE DELLA CORTECCIA.....	19
FIG. 5 L'OCCHIO UMANO .....	20
FIG. 6 PERCEZIONE ED ELABORAZIONE IMMAGINE.....	22
FIG. 7 PRINCIPI GESTALT .....	23
FIG. 8 MUSCOLI RESPONSABILI DEL MOVIMENTO DELL'OCCHIO.....	23
FIG. 9 CAMPO VISIVO UMANO .....	24
FIG. 10 STRUTTURA ORECCHIO .....	25
FIG. 11 PERCEZIONE FREQUENZE ACUSTICHE.....	26
FIG. 12 SCALA INTENSITÀ DEL SUONO.....	26
FIG. 13 IL SISTEMA VESTIBOLARE.....	27
FIG. 14 TRONCO ENCEFALICO.....	28
FIG. 15 RAPPRESENTAZIONE DELLA PELLE UMANA .....	29
FIG. 16 HOMUNCULUS SENSORIALE E MOTORIO .....	30
FIG. 17 IL SENSO DELL'OLFATTO .....	30
FIG. 18 IL SENSO DEL GUSTO E I SUOI RECETTORI.....	32
FIG. 19 LE DIMENSIONI DI UN SISTEMA IMMERSIVO .....	33
FIG. 20 BREVETTO E PROTOTIPO DEL SENSORAMA.....	37
FIG. 21 TIPOLOGIE DI DISPLAY.....	38
FIG. 22 RAPPRESENTAZIONE DEL REALITY-VIRTUALITY CONTINUUM DI MILGRAM.....	39
FIG. 23 DIFFERENZA TRA GLI ESTREMI DEL CONTINUUM.....	40
FIG. 24 CONTINUUM BIDIMENSIONALE DI MANN .....	40
FIG. 25 TIPOLOGIA DI MOVIMENTI .....	42
FIG. 26 DIFFERENZA TRA LIBERTÀ DI MOVIMENTO 3DOF E 6DOF.....	42
FIG. 27 LISTA TECNOLOGIE IMMERSIVE.....	45
FIG. 28 PERCEZIONE BINOCULARE UMANA.....	46
FIG. 29 PERCEZIONE DELLE PROFONDITÀ.....	47
FIG. 30 TIPOLOGIA DI DISPLAY 3D .....	48
FIG. 31 FUNZIONAMENTO ANAGLIFO .....	49
FIG. 32 PROPRIETÀ DELL'AUGMENTED REALITY .....	50
FIG. 33 LA SPADA DI DAMOCLE.....	50
FIG. 34 LE MODALITÀ DI SISTEMI AR.....	51
FIG. 35 LE TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI AR.....	51
FIG. 36 PROPRIETÀ DELLA MIXED REALITY.....	53
FIG. 37 RAPPRESENTAZIONE DELLA SOVRAPPOSIZIONE ELEMENTI VIRTUALI E REALI IN MR.....	54
FIG. 38 PROPRIETÀ DELLA VIRTUAL REALITY .....	55

FIG. 39 DIMENSIONI DELLA QUALITÀ DI UN SISTEMA VR.....	56
FIG. 40 MODALITÀ DI FRUIZIONE DI UN SISTEMA VR - SEATED VS ROOM-SCALE .....	58
FIG. 41 TIPOLOGIE NUI.....	61
FIG. 42 RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UN ROBOT.....	63
FIG. 43 PROCESSO DI SPEECH RECOGNITION .....	65
FIG. 44 DUMMY HEAD DELLA NEUMANN.....	67
FIG. 45 SIMULAZIONE PERCEZIONE HAPTIC FEEDBACK.....	67
FIG. 46 SCHEMATIZZAZIONE INTERNET OF THINGS.....	70
FIG. 47 METAFORA RETE NEURALE - CERVELLO UMANO .....	74
FIG. 48 ESEMPI DI STAMPE 3D .....	76
FIG. 49 PIRAMIDE DEI BISOGNI DI MASLOW.....	78
FIG. 50 ZONE DELLA DISTANZA INTERPERSONALE DI HALL.....	80
FIG. 51 FATTORI HUMAN BEHAVIOUR .....	81
FIG. 52 TIPOLOGIE RELAZIONI SOCIALI.....	85
FIG. 53 COMMON TASK VS SHARED ENVIRONMENT .....	88
FIG. 54 TIPOLOGIE DI INTERAZIONI LAVORATIVE.....	89
FIG. 55 SOCIAL INTERACTION DESIGN PATTERNS.....	95
FIG. 56 ESEMPIO DI PUBLIC INTERFACE SVILUPPATA DA GOOGLE PER IL FESTIVAL OF LIGHTS DI BERLINO 2017 .....	95
FIG. 57 TIPOLOGIA DI HUMAN EXPERIENCE .....	104
FIG. 58 SOR FRAMEWORK APPLICATO ALLE TECNOLOGIE IMMERSIVE .....	104
FIG. 59 DISCIPLINE HCI .....	108
FIG. 60 LOOP OF INTERACTION .....	109
FIG. 61 DISCIPLINE IXD .....	113
FIG. 62 PROCESSO ITERATIVO DELL'INTERACTION DESIGN.....	115
FIG. 63 DIMENSIONI DELL'INTERACTION DESIGN .....	117
FIG. 64 DIFFERENZE TRA VISIONI DEGLI STAKEHOLDERS .....	121
FIG. 65 MODELLO 5W+1H.....	126
FIG. 66 MODELLO CUTE .....	129
FIG. 67 LE SEI BASIC EMOTIONS.....	134
FIG. 68 IL CICLO VITALE DI UNA TECNOLOGIA.....	136
FIG. 69 CICLO ADOZIONE TECNOLOGIA-UTENTI.....	137
FIG. 70 ELEMENTI COLLEGATI AL CONCETTO DI EXPERTISE.....	138
FIG. 71 PROCESSI DI CONVERSIONE DELLA CONOSCENZA .....	139
FIG. 72 PIRAMIDE KNOWLEDGE MANAGEMENT.....	140
FIG. 73 LOGO 3DLABFACTORY.....	142
FIG. 74 STATISTICHE MERCATO UNITY .....	144
FIG. 75 SEZIONI UNITY EDITOR .....	145
FIG. 76 LOGO ARDUINO .....	147
FIG. 77 FAMIGLIA SCHEDE ARDUINO .....	148

FIG. 78 LOGO RASPBERRY PI .....	149
FIG. 79 ESEMPI DI SCHEDE RASPBERRY .....	150
FIG. 80 RASPBERRY PI 4 MODEL B.....	150
FIG. 81 VISORE META.....	151
FIG. 82 FAMIGLIA VISORI OCULUS.....	153
FIG. 83 OCULUS RIFT CV1.....	155
FIG. 84 VALUTAZIONE MATURETÀ TECNOLOGIE .....	155
FIG. 85 SETUP ELAPARO4D .....	156
FIG. 86 DETTAGLIO SISTEMA BREVETTATO.....	159
FIG. 87 ARCHITETTURA SOFTWARE ELAPARO4D .....	160
FIG. 88 PHANTOM OMNI.....	160
FIG. 89 BASIC SKILLS E SIMULATION .....	161
FIG. 90 PROTOTIPO EBSIM .....	163
FIG. 91 LIVELLO DI IMPEGNO E POSIZIONI TESTA FETALE .....	164
FIG. 92 ELEMENTI INIZIALI DEL PROGETTO .....	168
FIG. 93 TESTA STAMPATA IN 3D E SENSORISTICA.....	169
FIG. 94 SISTEMA LOCKBLOCK.....	169
FIG. 95 SCHEMATICO CIRCUITI ELETTRONICA NELLA TESTA FETALE.....	170
FIG. 96 EVOLUZIONE HARDWARE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....	171
FIG. 97 IMPLEMENTAZIONE SISTEMA MAGNETICO INVERSO .....	171
FIG. 98 APPLICAZIONE EBSIM.....	172
FIG. 99 MODALITÀ INTERFACCIA EBSIM.....	173
FIG. 100 ELEMENTI SYSTEM USABILITY SCALE.....	174
FIG. 101 FORMA BREVE UEQ.....	175
FIG. 102 RISPOSTE QUESTIONARIO .....	175
FIG. 103 MODELLI 3D UTILIZZATI NELLA SPERIMENTAZIONE .....	181
FIG. 104 METAPOD COMPONENT.....	181
FIG. 105 GRABINTERACTION .....	182
FIG. 106 MOMENTO DI CONDIVISIONE.....	183
FIG. 107 STRUTTURA QUESTIONARIO.....	184
FIG. 108 DISTRIBUZIONE ASPETTATIVE GENERALI .....	184
FIG. 109 DETTAGLIO RISPOSTE PER SINGOLO ITEM.....	185
FIG. 110 ALGORITMO GESTURE DETECTION.....	191
FIG. 111 SMART OBJECT REALIZZATO.....	191
FIG. 112 PROGETTAZIONE CASE.....	192
FIG. 113 BOCCIA GAME.....	194
FIG. 114 BOCCIA VIRTUAL COACH.....	195
FIG. 115 CAMPO DA GIOCO BOCCIA.....	198
FIG. 116 MODALITÀ SIMULATIVA BASATA SU GESTURE.....	199
FIG. 117 SCHEMA ARCHITETTURA.....	200

FIG. 118 PICAM360.....	203
FIG. 119 RICHIESTE WEBSOCKET .....	204
FIG. 120 FORMATO MESSAGGIO IMMAGINE .....	205
FIG. 121 CODICE SORGENTE PICAM360-CAPTURE.C.....	206
FIG. 122 TIPOLOGIE EVENTI BASATI SULLA FORMA.....	208
FIG. 123 VISUALIZZAZIONE INTERAZIONE VR .....	214
FIG. 124 SISTEMA SKY SPORT TECH .....	216
FIG. 125 SKY SPORT TECH AR SYSTEM.....	217
FIG. 126 SCREEN DEMO APPLICAZIONE .....	220
FIG. 127 VOLANTINO APRICA .....	222
FIG. 128 RASPBERRY PIÙ MODULO CAMERA .....	225
FIG. 129 ESEMPIO DI MINI-TOTEM ASSEMBLATO .....	226

## Tabelle

TAB. 1 TECNICHE ED ELEMENTI DEL CORPO SOGGETTE A MOTION TRACKING.....	43
TAB. 2 DIFFERENZE TRA LE TIPOLOGIE DI INTERFACCE UTENTE .....	59
TAB. 3 LISTA TECNOLOGIE STAMPA 3D.....	76
TAB. 4 SUGGERIMENTI USI VR PER SCOPI EDUCATIVI .....	98
TAB. 5 ELENCO DEI PERCEPTUAL STIMULI .....	105
TAB. 6 TIPOLOGIA DI CONTENT STIMULI .....	106
TAB. 7 ELENCO COGNITIVE REACTIONS.....	106
TAB. 8 ELENCO AFFECTIVE REACTIONS.....	107
TAB. 9 ELENCO POSITIVE OUTCOMES .....	107
TAB. 10 ELENCO NEGATIVE OUTCOMES .....	107
TAB. 11 APPROCCI DI DESIGN.....	114
TAB. 12 MODALITÀ COINVOLGIMENTO UTENTI .....	122
TAB. 13 ELEMENTI CARATTERIZZANTI ESPERIENZA IMMERSIVA .....	128
TAB. 14 DIMENSIONI E NATURE DI SISTEMI CONTEXT-AWARE .....	131
TAB. 15 CONFRONTO TRA DISPOSITIVI AR.....	152

## Bibliografia

- Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., & Steggles, P. (1999). Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In *Handheld and Ubiquitous Computing* (pp. 304–307). [https://doi.org/10.1007/3-540-48157-5\\_29](https://doi.org/10.1007/3-540-48157-5_29)
- Abras, C., Maloney-Krichmar, D., & Preece, J. (2004). *User-Centered Design*.
- Akl, E. A., Pretorius, R. W., Sackett, K., Scott Erdley, W., Bhoopathi, P. S., Alfarah, Z., & Schünemann, H. J. (2010). The effect of educational games on medical students' learning outcomes: A systematic review: BEME Guide No 14. In *Medical Teacher* (Vol. 32, Issue 1, pp. 16–27). <https://doi.org/10.3109/01421590903473969>
- Alam, M. F., Katsikas, S., Beltramello, O., & Hadjiefthymiades, S. (2017). Augmented and virtual reality based monitoring and safety system: A prototype IoT platform. In *Journal of Network and Computer Applications* (Vol. 89, pp. 109–119). <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.03.022>
- Allport, F. H. (1924). *Social Psychology*. Houghton Mifflin Company.
- Amiri, S., Fazel-Rezai, R., & Asadpour, V. (2013). A Review of Hybrid Brain-Computer Interface Systems. In *Advances in Human-Computer Interaction* (Vol. 2013, pp. 1–8). <https://doi.org/10.1155/2013/187024>
- Anthes, C., Garcia-Hernandez, R. J., Wiedemann, M., & Kranzlmuller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology. In *2016 IEEE Aerospace Conference*. <https://doi.org/10.1109/aero.2016.7500674>
- Arino, J.-J., Juan, M.-C., Gil-Gómez, J.-A., & Mollá, R. (2014). A comparative study using an autostereoscopic display with augmented and virtual reality. In *Behaviour & Information Technology* (Vol. 33, Issue 6, pp. 646–655). <https://doi.org/10.1080/0144929x.2013.815277>
- Ashton, K. (2009). That “internet of things” thing. *RFID Journal*.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. In *IEEE Computer Graphics and Applications* (Vol. 21,



Issue 6, pp. 34–47). <https://doi.org/10.1109/38.963459>

Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 6, Issue 4, pp. 355–385).

<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

Baía Reis, A., & Coelho, A. F. V. C. C. (2018). Virtual Reality and Journalism: a gateway to conceptualizing immersive journalism. *Digital Journalism*.

Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: a social cognitive theory*. Prentice Hall.

Bandura, A. (2000). Exercise of Human Agency Through Collective Efficacy. In *Current Directions in Psychological Science* (Vol. 9, Issue 3, pp. 75–78).

<https://doi.org/10.1111/1467-8721.00064>

Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization. In *Wireless Personal Communications* (Vol. 58, Issue 1, pp. 49–69). <https://doi.org/10.1007/s11277-011-0288-5>

Benjamin, D. N., Stea, D., & Arén, E. (1995). *The Home: Words, Interpretations, Meanings and Environments*.

Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*.

Billinghurst, M., & Kato, H. (1999). Collaborative Mixed Reality. In *Mixed Reality* (pp. 261–284). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-87512-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-87512-0_15)

Bills, A. G. (1943). Sensation and perception in the history of experimental psychology. In *Psychological Bulletin* (Vol. 40, Issue 3, pp. 222–225). <https://doi.org/10.1037/h0051884>

Biocca, F. (1997). The Cyborg's Dilemma: Progressive Embodiment in Virtual Environments. In *Journal of Computer-Mediated Communication* (Vol. 3, Issue 2, pp. 0–0).

<https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00070.x>

Bisgaard, J. J., Heise, M., & Steffensen, C. (2005). *How is Context and Context-awareness Defined and Applied? A Survey of Context-awareness*.

Blake, J. (2012). *Natural User Interfaces in . Net*. Manning Publications.

- Boletsis, C. (2017). The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology. In *Multimodal Technologies and Interaction* (Vol. 1, Issue 4, p. 24). <https://doi.org/10.3390/mti1040024>
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? In *Computer* (Vol. 40, Issue 7, pp. 36–43). <https://doi.org/10.1109/mc.2007.257>
- Bralia, C., & Lanzani, C. (2017). CIAK: a framework to design a VR school project. *IMMERSIVE ITALY 2017 - 7th European Immersive Education*.
- Briggs, C., & Makice, K. (2012). *Digital Fluency: Building Success in the Digital Age*.
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*.
- Buchenau, M., & Suri, J. F. (2000). Experience Prototyping. *DIS '00 Proceedings of the 3rd Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*, 424–433.
- Burdea, G. C. (1996). *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*. Wiley-Interscience.
- Cacioppo, J. T., & Freberg, L. (2018). *Discovering Psychology: The Science of Mind*. Cengage Learning.
- Calado, A., Leite, P., Soares, F., Novais, P., & Arezes, P. (2018). Boccia Court Analysis for Promoting Elderly Physical Activity. In *Innovation, Engineering and Entrepreneurship* (pp. 158–164). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6_22)
- Camp, J., & Chien, Y. T. (2000). The internet as public space: Concepts, issues and implications in public policy. *ACM SIGCAS Computers and Society*.
- Card, S. K., Newell, A., & Moran, T. P. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*.
- Carlisle, J. H. (1976). Evaluating the impact of office automation on top management communication. In *Proceedings of the June 7-10, 1976, national computer conference and exposition on - AFIPS '76*. <https://doi.org/10.1145/1499799.1499885>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. In *Multimedia Tools and Applications* (Vol. 51, Issue 1, pp. 341–377). <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>

- Carter, T., Seah, S. A., Long, B., Drinkwater, B., & Subramanian, S. (2013). UltraHaptics: Multi-Point Mid-Air Haptic Feedback for TouchSurfaces. *26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*.
- Cater, J. P. (1994). Smell/taste: odors in reality. In *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*.  
<https://doi.org/10.1109/icsmc.1994.400108>
- Chi, M. T., Glaser, R., & Rees, E. (1981). *Expertise in problem solving*.
- Colbert, A., Yee, N., & George, G. (2016). The Digital Workforce and the Workplace of the Future. In *Academy of Management Journal* (Vol. 59, Issue 3, pp. 731–739).  
<https://doi.org/10.5465/amj.2016.4003>
- Cook, A. M., & Polgar, J. M. (2014). *Assistive Technologies- E-Book: Principles and Practice*. Elsevier Health Sciences.
- Cordaro, D. T., Keltner, D., Tshering, S., Wangchuk, D., & Flynn, L. M. (2016). The voice conveys emotion in ten globalized cultures and one remote village in Bhutan. In *Emotion* (Vol. 16, Issue 1, pp. 117–128). <https://doi.org/10.1037/emo0000100>
- Cordaro, D. T., Sun, R., Keltner, D., Kamble, S., Huddar, N., & McNeil, G. (2018). Universals and cultural variations in 22 emotional expressions across five cultures. *Emotion*, 18(1), 75–93.
- Couture, N., Rivière, G., & Reuter, P. (2010). Tangible Interaction in Mixed Reality Systems. In *The Engineering of Mixed Reality Systems* (pp. 101–120).  
[https://doi.org/10.1007/978-1-84882-733-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-733-2_6)
- Coxon, M., Kelly, N., & Page, S. (2016). Individual differences in virtual reality: Are spatial presence and spatial ability linked? In *Virtual Reality* (Vol. 20, Issue 4, pp. 203–212).  
<https://doi.org/10.1007/s10055-016-0292-x>
- Cozzens, S. E., Bijker, W. E., Hughes, T. P., & Pinch, T. (1989). The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology. In *Technology and Culture* (Vol. 30, Issue 3, p. 705). <https://doi.org/10.2307/3105993>
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE:

- audio visual experience automatic virtual environment. In *Communications of the ACM* (Vol. 35, Issue 6, pp. 64–72). <https://doi.org/10.1145/129888.129892>
- Davis, K. H., Biddulph, R., & Balashek, S. (1952). Automatic Recognition of Spoken Digits. In *The Journal of the Acoustical Society of America* (Vol. 24, Issue 6, pp. 637–642). <https://doi.org/10.1121/1.1906946>
- De Michelis, G. (1998). *Aperto, molteplice, continuo. Gli artefatti alla fine del Novecento*.
- Eason, K. (1988). *Information technology and organizational change*.
- Edlinger, G., Holzner, C., Guger, C., Groenegress, C., & Slater, M. (2009). Brain-computer interfaces for goal orientated control of a virtual smart home environment. In *2009 4th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering*. <https://doi.org/10.1109/ner.2009.5109333>
- Ekman, P. (1999). Basic emotions. In *Handbook of cognition and emotion* (pp. 45–60).
- Ellis, C. A., Gibbs, S. J., & Rein, G. (1991). Groupware: some issues and experiences. In *Communications of the ACM* (Vol. 34, Issue 1, pp. 39–58). <https://doi.org/10.1145/99977.99987>
- El Saddik, A. (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. In *IEEE MultiMedia* (Vol. 25, Issue 2, pp. 87–92). <https://doi.org/10.1109/mmul.2018.023121167>
- Farra, S. L., Miller, E. T., & Hodgson, E. (2015). Virtual reality disaster training: translation to practice. *Nurse Education in Practice*, 15(1), 53–57.
- Favalora, G. E. (2005). Volumetric 3D displays and application infrastructure. In *Computer* (Vol. 38, Issue 8, pp. 37–44). <https://doi.org/10.1109/mc.2005.276>
- Fox, L. (2002). The Meaning of Home: A Chimerical Concept or a Legal Challenge? In *Journal of Law and Society* (Vol. 29, Issue 4, pp. 580–610). <https://doi.org/10.1111/1467-6478.00234>
- Franco, P. D. G. D., Di Franco, P. D. G., Camporesi, C., Galeazzi, F., & Kallmann, M. (2015). 3D Printing and Immersive Visualization for Improved Perception of Ancient Artifacts. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 24, Issue 3, pp. 243–264). [https://doi.org/10.1162/pres\\_a\\_00229](https://doi.org/10.1162/pres_a_00229)

- Frohlich, D., & Kraut, R. (n.d.). The Social Context of Home Computing. In *Inside the Smart Home* (pp. 127–162). [https://doi.org/10.1007/1-85233-854-7\\_8](https://doi.org/10.1007/1-85233-854-7_8)
- Fuchs, H., Andrei State, & Bazin, J.-C. (2014). Immersive 3D Telepresence. In *Computer* (Vol. 47, Issue 7, pp. 46–52). <https://doi.org/10.1109/mc.2014.185>
- Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *Quality & Safety in Health Care*, 13 Suppl 1, i2–i10.
- Gagné, R. M., Briggs, L. J., & Wager, W. W. (1988). *Principles of instructional design*. Holt McDougal.
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Basic Books.
- Gaudina, M., Zappi, V., Bellanti, E., & Vercelli, G. (2013). eLaparo4D: A Step Towards a Physical Training Space for Virtual Video Laparoscopic Surgery. In *2013 Seventh International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*. <https://doi.org/10.1109/cisis.2013.110>
- Gavrila, D. M. (1999). The Visual Analysis of Human Movement: A Survey. In *Computer Vision and Image Understanding* (Vol. 73, Issue 1, pp. 82–98). <https://doi.org/10.1006/cviu.1998.0716>
- Genise, P. (2002). *Usability evaluation: methods and techniques: Version 2.0*. University of Texas.
- Getz, D. (2008). Event tourism: Definition, evolution, and research. In *Tourism Management* (Vol. 29, Issue 3, pp. 403–428). <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.07.017>
- Goffman, E. (1959). *The Presentation of Self in Everyday Life*. Anchor Books.
- Goldberg, J. M., & Fernandez, C. (1984). The vestibular system. In American Physiological Society (Ed.), *Handbook of physiology—the nervous system III*. (pp. 916–977).
- Goldstein, E. (2009). *Sensation and Perception*. Cengage Learning.
- Grajewski, D., Górski, F., Zawadzki, P., & Hamrol, A. (2013). Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces. In *Procedia Computer Science* (Vol. 25, pp. 289–301). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.035>
- Greenfield, A. (2010). *Everyware: The Dawning Age of Ubiquitous Computing*. New Riders.

- Grudin, J. (1994). Computer-supported cooperative work: history and focus. In *Computer* (Vol. 27, Issue 5, pp. 19–26). <https://doi.org/10.1109/2.291294>
- Guttentag, D. A. (2010). Virtual reality: Applications and implications for tourism. In *Tourism Management* (Vol. 31, Issue 5, pp. 637–651). <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003>
- Hall, E. T. (1966). The Hidden Dimension. In *Leonardo* (Vol. 6, Issue 1, p. 94). <https://doi.org/10.2307/1572461>
- Han, P.-H., Chen, Y.-S., Lee, K.-C., Wang, H.-C., Hsieh, C.-E., Hsiao, J.-C., Chou, C.-H., & Hung, Y.-P. (2018). Haptic around: multiple tactile sensations for immersive environment and interaction in virtual reality. *24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*.
- Harper, R. (2003). Inside the Smart Home: Ideas, Possibilities and Methods. In *Inside the Smart Home* (pp. 1–13). [https://doi.org/10.1007/1-85233-854-7\\_1](https://doi.org/10.1007/1-85233-854-7_1)
- Held, R., & Durlach, N. (1992). Telepresence. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*.
- Hespanhol, L., & Dalsgaard, P. (2015). Social Interaction Design Patterns for Urban Media Architecture. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015* (pp. 596–613). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22698-9\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22698-9_41)
- Hespanhol, L., & Tomitsch, M. (2015). Strategies for Intuitive Interaction in Public Urban Spaces. In *Interacting with Computers* (Vol. 27, Issue 3, pp. 311–326). <https://doi.org/10.1093/iwc/iwu051>
- Hofmeester, K., & Wixon, D. (2010). Using metaphors to create a natural user interface for microsoft surface. In *Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI EA '10*. <https://doi.org/10.1145/1753846.1754204>
- Hollerbach, J. M. (2002). Locomotion interfaces. In *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications*, (pp. 239–254).
- Hönig, W., Milanes, C., Scaria, L., Phan, T., Bolas, M., & Ayanian, N. (2015). Mixed reality for robotics. *Proceedings of the ... IEEE/RSJ International Conference on Intelligent*

*Robots and Systems. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.*

- Horne, M., & Thompson, E. M. (2008). The Role of Virtual Reality in Built Environment Education. In *Journal for Education in the Built Environment* (Vol. 3, Issue 1, pp. 5–24).  
<https://doi.org/10.11120/jebe.2008.03010005>
- Hsi, S. (2007). Conceptualizing Learning from the Everyday Activities of Digital Kids. In *International Journal of Science Education* (Vol. 29, Issue 12, pp. 1509–1529).  
<https://doi.org/10.1080/09500690701494076>
- Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. *2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction.*
- Jain, J., Lund, A., & Wixon, D. (2011). The Future of Natural User Interfaces. *CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems.*
- Javidi, G., & White, J. (1999). *Virtual Reality and Education.*
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. In *International Journal of Human-Computer Studies* (Vol. 66, Issue 9, pp. 641–661).  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004>
- Jiang, L., Liu, D.-Y., & Yang, B. (2004). Smart home research. *Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics.*
- Jin, S.-A. A. (2013). The moderating role of sensation seeking tendency in robotic haptic interfaces. In *Behaviour & Information Technology* (Vol. 32, Issue 9, pp. 862–873).  
<https://doi.org/10.1080/0144929x.2012.687769>
- Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1992). Neural mechanisms of tactual form and texture perception. *Annual Review of Neuroscience*, 15, 227–250.
- Johnson-Lentz, P., & Johnson-Lentz, T. (1982). Groupware: The process and impacts of design choices. *Computer-Mediated Communication Systems: Status and Evaluation.*
- Kapur, R. (2018). *Family and Society.*
- Keltner, D., Oatley, K., & Jenkins, J. M. (2019). *Understanding emotions.*

- Khundam, C. (2015). First person movement control with palm normal and hand gesture interaction in virtual reality. In *2015 12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*.  
<https://doi.org/10.1109/jcsse.2015.7219818>
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 21, Issue 4, pp. 373–387).  
[https://doi.org/10.1162/pres\\_a\\_00124](https://doi.org/10.1162/pres_a_00124)
- Kinateder, M., Ronchi, E., Nilsson, D., Kobes, M., Müller, M., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2014). Virtual Reality for Fire Evacuation Research. In *Proceedings of the 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*.  
<https://doi.org/10.15439/2014f94>
- Kolko, J. (2010). *Thoughts on Interaction Design*. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-61347-7>
- Kotonya, G., & Sommerville, I. (1998). *Requirements engineering: processes and techniques*. Wiley.
- Kourouthanassis, P., Boletsis, C., Bardaki, C., & Chasanidou, D. (2015). Tourists responses to mobile augmented reality travel guides: The role of emotions on adoption behavior. In *Pervasive and Mobile Computing* (Vol. 18, pp. 71–87).  
<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.08.009>
- Kruger, W., -A. Bohn, C., Frohlich, B., Schuth, H., Strauss, W., & Wesche, G. (1995). The Responsive Workbench: a virtual work environment. In *Computer* (Vol. 28, Issue 7, pp. 42–48). <https://doi.org/10.1109/2.391040>
- LaFleur, K., Cassady, K., Doud, A., Shades, K., Rogin, E., & He, B. (2013). Quadcopter control in three-dimensional space using a noninvasive motor imagery-based brain-computer interface. In *Journal of Neural Engineering* (Vol. 10, Issue 4, p. 046003).  
<https://doi.org/10.1088/1741-2560/10/4/046003>
- Langlotz, T., Regenbrecht, H., Zollmann, S., & Schmalstieg, D. (2013). Audio stickies: visually-guided spatial audio annotations on a mobile augmented reality platform. *25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application,*



*Innovation, Collaboration.*

- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 63–76).  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6)
- Lee, H. (2013). 3D Holographic Technology and Its Educational Potential. In *TechTrends* (Vol. 57, Issue 4, pp. 34–39). <https://doi.org/10.1007/s11528-013-0675-8>
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. In *TechTrends* (Vol. 56, Issue 2, pp. 13–21). <https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>
- Lee, K. M. (2004). Presence, Explicated. In *Communication Theory* (Vol. 14, Issue 1, pp. 27–50). <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2004.tb00302.x>
- Lee, Y.-C. N., Shan, L.-T., & Chen, C.-H. (2013). System Development of Immersive Technology Theatre in Museum. *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Systems and Applications.*
- Lindemann, B. (2001). Receptors and transduction in taste. In *Nature* (Vol. 413, Issue 6852, pp. 219–225). <https://doi.org/10.1038/35093032>
- Lindsay, S., & Lampzey, D. L. (2019). Pedestrian navigation and public transit training interventions for youth with disabilities: a systematic review. *Disability and rehabilitation*, 41(22), 2607-2621.
- Lin, J.-H. T. (2017). Fear in virtual reality (VR): Fear elements, coping reactions, immediate and next-day fright responses toward a survival horror zombie virtual reality game. In *Computers in Human Behavior* (Vol. 72, pp. 350–361).  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.057>
- Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the Heart of It All: The Concept of Presence. In *Journal of Computer-Mediated Communication* (Vol. 3, Issue 2, pp. 0–0).  
<https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- Lombardo, V., & Valle, A. (2014). *Audio e multimedia*. Maggioli Editore.
- Low, S. (2013). *The Politics of Public Space*.
- Luck, M., & Ruth, A. (2000). Applying artificial intelligence to virtual reality: Intelligent virtual

environments. *Applied Artificial Intelligence: AAI*.

- Lv, Z., Halawani, A., Khan, M. S. L., Réhman, S. U., & Li, H. (2013). Finger in air. In *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '13*. <https://doi.org/10.1145/2541831.2541833>
- Lv, Z., Yin, T., Zhang, X., Song, H., & Chen, G. (2016). Virtual Reality Smart City Based on WebVRGIS. In *IEEE Internet of Things Journal* (Vol. 3, Issue 6, pp. 1015–1024). <https://doi.org/10.1109/jiot.2016.2546307>
- MacKenzie, D. A., & Wajcman, J. (1985). *The Social Shaping of Technology: How the Refrigerator Got Its Hum*. Milton Keynes; Philadelphia: Open University Press.
- Ma, M., & Zheng, H. (2011). Virtual Reality and Serious Games in Healthcare. In *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment* (pp. 169–192). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17824-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17824-5_9)
- Mann, S. (2002, August 6). Mediated reality with implementations for everyday life. *Presence Connect*, 1.
- Marcutti S, Vercelli G.V, Torre I. (2020 \*\* in preparation), The shape of immersive experiences: key elements, application domains and a proposal framework for its design
- Marcutti, S., & Vercelli, G. V. (2016). Enabling Touchless Interfaces for Mobile Platform: State of the Art and Future Trends. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 251–260). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-40651-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40651-0_20)
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2007). *Human Anatomy & Physiology*. Pearson Education.
- Matlin, M. W., & Foley, H. J. (1992). *Sensation and Perception*. Allyn & Bacon.
- Mekni, M., & Lemieux, A. (2014). Augmented Reality: Applications, Challenges and Future Trends. *Applied Computational Science*.
- Mergel, B. (1998). *Instructional Design & Learning Theory*.
- Merrill, M. (1996). *Reclaiming Instructional Design*.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*.

- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and Telepresence Technologies*. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Mindy, Y., & Thung, G. (2016). Classification of Trash for Recyclability Status. *CS229 Project Report 2016*.
- Mine, M. R. (1995). Virtual Environment Interaction Techniques. *Technical Report TR95-018, University of North Carolina at Chapel Hill*.
- Minsky, M. (1980). TelePresence. *OMNI Magazine*.
- Minuto, M. N., Marcocci, G., Soriero, D., Santori, G., Sguanci, M., Mandolino, F., Casaccia, M., Fornaro, R., Stabilini, C., Vercelli, G., Marcutti, S., Gaudina, M., Stratta, F., & Frascio, M. (2018). Validation of a Simulator Set Up Entirely in an Academic Setting: Low-Cost Surgical Trainer Rather than High-Cost Videogame. *Biomed J Sci & Tech Res*.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. In *Ad Hoc Networks* (Vol. 10, Issue 7, pp. 1497–1516). <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- Moggridge, B. (2007). *Designing Interactions*. Mit Press.
- Munafò, J., Diedrick, M., & Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 235(3), 889–901.
- Munyan, B. G., 3rd, Neer, S. M., Beidel, D. C., & Jentsch, F. (2016). Olfactory Stimuli Increase Presence in Virtual Environments. *PloS One*, 11(6), e0157568.
- Nakamoto, T., Otaguro, S., Kinoshita, M., Nagahama, M., Ohinishi, K., & Ishida, T. (2008). Cooking up an interactive olfactory game display. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 28(1), 75–78.
- Nakevska, M., van der Sanden, A., Funk, M., Hu, J., & Rauterberg, M. (2017). Interactive storytelling in a mixed reality environment: The effects of interactivity on user experiences. In *Entertainment Computing* (Vol. 21, pp. 97–104).

<https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.01.001>

- Niku, S. B. (2001). *Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications*.
- Norman, D. (1988). *The Psychology Of Everyday Things*. Books, Basic.
- Norman, D. (2007). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. Hachette UK.
- Norman, D. A. (2010). Natural user interfaces are not natural. *Interactions*, 17, 6–10@article{Norman2010NaturalUI, title={Natural user interfaces are not natural}, author={Donald A. Norman}, journal={Interactions}, year={2010}, volume={17}, pages={6–10} }.
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction*.
- Norman, D., Miller, J., & Henderson, A. (1995). What you see, some of what's in the future, and how we go about doing it. In *Conference companion on Human factors in computing systems - CHI '95*. <https://doi.org/10.1145/223355.223477>
- Paci, A., Marcutti, S., Ricci, S., Casadio, M., Vercelli, G. V., Marchiolè, P., & Cordone, M. (2016). eBSim: Development of a Low-Cost Obstetric Simulator. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 101–110). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-40651-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40651-0_9)
- Pantelidis, V. S. (1996). Suggestions on when to use and when not to use virtual reality in education. *VR in the Schools*.
- Pantelidis, V. S. (2009). Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. *THEMES IN SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION*.
- Pavlik, J. V. (2019). *Journalism in the Age of Virtual Reality: How Experiential Media Are Transforming News*. Columbia University Press.
- Peiris, R. L., Peng, W., Chen, Z., Chan, L., & Minamizawa, K. (2017). ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedbackwith Head Mounted Displays. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Peña, N. de la, de la Peña, N., Weil, P., Llobera, J., Spanlang, B., Friedman, D., Sanchez-

- Vives, M. V., & Slater, M. (2010). Immersive Journalism: Immersive Virtual Reality for the First-Person Experience of News. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 19, Issue 4, pp. 291–301). [https://doi.org/10.1162/pres\\_a\\_00005](https://doi.org/10.1162/pres_a_00005)
- Perera, C., Ranjan, R., Wang, L., Khan, S. U., & Zomaya, A. Y. (2015). Big Data Privacy in the Internet of Things Era. In *IT Professional* (Vol. 17, Issue 3, pp. 32–39). <https://doi.org/10.1109/mitp.2015.34>
- Persson, H., Åhman, H., Yngling, A. A., & Gulliksen, J. (2015). Universal design, inclusive design, accessible design, design for all: different concepts—one goal? On the concept of accessibility—historical, methodological and philosophical aspects. In *Universal Access in the Information Society* (Vol. 14, Issue 4, pp. 505–526). <https://doi.org/10.1007/s10209-014-0358-z>
- Portet, F., Vacher, M., Golanski, C., Roux, C., & Meillon, B. (2013). Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects. In *Personal and Ubiquitous Computing* (Vol. 17, Issue 1, pp. 127–144). <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0470-5>
- Poslad, S. (2011). *Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions*. John Wiley & Sons.
- Ranasinghe, N., Nakatsu, R., Nii, H., & Gopalakrishnakone, P. (2012). Tongue Mounted Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste. In *2012 16th International Symposium on Wearable Computers*. <https://doi.org/10.1109/iswc.2012.16>
- Rautaray, S. S., & Agrawal, A. (2015). Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. In *Artificial Intelligence Review* (Vol. 43, Issue 1, pp. 1–54). <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9356-9>
- Reeves, S., Benford, S., O'Malley, C., & Fraser, M. (2005). Designing the spectator experience. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '05*. <https://doi.org/10.1145/1054972.1055074>
- Reflections on the 2008 AECT Definitions of the Field. (2008). In *TechTrends* (Vol. 52, Issue 1, pp. 24–25). <https://doi.org/10.1007/s11528-008-0108-2>

- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations, 5th Edition*. Simon and Schuster.
- Rogers, Y., Sharp, H., & Preece, J. (2011). *Interaction Design: Beyond Human - Computer Interaction*. John Wiley & Sons.
- Rubenstein-Montano, B., Liebowitz, J., Buchwalter, J., McCaw, D., Newman, B., & Rebeck, K. (2001). A systems thinking framework for knowledge management. In *Decision Support Systems* (Vol. 31, Issue 1, pp. 5–16). [https://doi.org/10.1016/s0167-9236\(00\)00116-0](https://doi.org/10.1016/s0167-9236(00)00116-0)
- Russell, S., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: a modern approach*.
- Saffer, D. (2007). *Design dell'interazione. Creare applicazioni intelligenti e dispositivi ingegnosi con l'interaction design*. Pearson Italia S.p.a.
- Saha, H. N., Auddy, S., Pal, S., Kumar, S., Pandey, S., Singh, R., Singh, A. K., Banerjee, S., Ghosh, D., & Saha, S. (2017). Waste management using Internet of Things (IoT). *2017 8th Annual Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference (IEMECON)*.
- Salimi, I., Dewantara, B. S. B., & Wibowo, I. K. (2018). Visual-based trash detection and classification system for smart trash bin robot. In *2018 International Electronics Symposium on Knowledge Creation and Intelligent Computing (IES-KCIC)*. <https://doi.org/10.1109/kcic.2018.8628499>
- Schissler, C., Nicholls, A., & Mehra, R. (2016). Efficient HRTF-based Spatial Audio for Area and Volumetric Sources. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22(4), 1356–1366.
- Schmalsteig, D., Fuhrmann, A. L., Szalavari, Z., & Gervautz, M. (1996). *Studierstube - An Environment for Collaboration in Augmented Reality*.
- Schmidt, A., Beigl, M., & Gellersen, H.-W. (1999). There is more to context than location. In *Computers & Graphics* (Vol. 23, Issue 6, pp. 893–901). [https://doi.org/10.1016/s0097-8493\(99\)00120-x](https://doi.org/10.1016/s0097-8493(99)00120-x)
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2014). Applying the User Experience Questionnaire (UEQ) in Different Evaluation Scenarios. In *Design, User Experience*,

- and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience* (pp. 383–392). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_37)
- Schultze, U., & Orlikowski, W. J. (2010). Research Commentary—Virtual Worlds: A Performative Perspective on Globally Distributed, Immersive Work. In *Information Systems Research* (Vol. 21, Issue 4, pp. 810–821). <https://doi.org/10.1287/isre.1100.0321>
- Seijo, S. P. (2017). Immersive Journalism: From Audience to First-Person Experience of News. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 113–119). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46068-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46068-0_14)
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2012). *Modeling, simulation, information technology & processing roadmap*. National Aeronautics and Space Administration.
- Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. In *Displays* (Vol. 29, Issue 2, pp. 58–69). <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>
- Shekelle, P. G., Morton, S. C., & Keeler, E. B. (2006). *Costs and Benefits of Health Information Technology*. <https://doi.org/10.23970/ahrqepcerta132>
- Sheridan, T. B. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 1, Issue 1, pp. 120–126). <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.120>
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann.
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646.
- Shneiderman, B. (2000). Universal Usability. In *Ubiquity* (Vol. 2000, Issue August, p. 1 – es). <https://doi.org/10.1145/347634.350994>
- Sias, P. M. (2008). *Organizing Relationships: Traditional and Emerging Perspectives on*

*Workplace Relationships*. SAGE.

Slater, M. (2003). *A Note on Presence Terminology*.

Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., & Kooper, R. (1996). Immersion, presence and performance in virtual environments. In *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '96*. <https://doi.org/10.1145/3304181.3304216>

Slater, M., & Usoh, M. (1994). Body Centred Interaction in Immersive Virtual Environments. *Artificial Life and Virtual Reality*.

Snowdon, D., Churchill, E. F., & Munro, A. J. (2001). *Collaborative Virtual Environments: Digital Spaces and Places for CSCW: An Introduction*.

Somalvico, M. (1987). *Intelligenza artificiale*.

Somerville, P. (1997). The social construction of home. *Journal of Architectural and Planning Research*.

Stamer, T. (1996). Human-powered wearable computing. In *IBM Systems Journal* (Vol. 35, Issue 3.4, pp. 618–629). <https://doi.org/10.1147/sj.353.0618>

Stein, G., & Ledeczki, A. (2019). Mixed Reality Robotics for STEM Education. In *2019 IEEE Blocks and Beyond Workshop (B&B)*. <https://doi.org/10.1109/bb48857.2019.8941229>

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. In *Journal of Communication* (Vol. 42, Issue 4, pp. 73–93). <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>

Styliani, S., Fotis, L., Kostas, K., & Petros, P. (2009). Virtual museums, a survey and some issues for consideration. In *Journal of Cultural Heritage* (Vol. 10, Issue 4, pp. 520–528). <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.03.003>

Suh, A., & Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: A literature analysis. In *Computers in Human Behavior* (Vol. 86, pp. 77–90). <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.019>

Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three-dimensional display. *Proceedings of AFIPS* 68.

Taekman, J. M., & Shelley, K. (2010). Virtual environments in healthcare: immersion,



- disruption, and flow. *International Anesthesiology Clinics*, 48(3), 101–121.
- Takemura, H., & Kishino, F. (1992). Cooperative work environment using virtual workspace. In *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work - CSCW '92*. <https://doi.org/10.1145/143457.269747>
- ter Heijden, N., & Brinkman, W.-P. (2011). Design and evaluation of a virtual reality exposure therapy system with automatic free speech interaction. *Journal of CyberTherapy and Rehabilitation*.
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. In *International Journal of Virtual Reality* (Vol. 9, Issue 2, pp. 1–20). <https://doi.org/10.20870/ijvr.2010.9.2.2767>
- Vacca, G., Ricci, S., Carlini, G., Rossi, P., Marcutti, S., Vercelli, G. V., Cordone, M., Torre, G., Chirico, M., & Casadio, M. (2020 \*\* in preparation). *A magnetic transducer for the detection of the fetal engagement level in part-task trainers*.
- Vetere, F., O'Hara, K., Paay, J., Ploderer, B., Harper, R., & Sellen, A. (2014). Social NUI: social perspectives in natural user interfaces. *Designing Interactive Systems*, 215–218.
- Vickers, J., Piascik, B., Lowry, D., Scotti, S., Stewart, J., & Calomino, A. (2010). *Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing Road Map*. National Aeronautics and Space Administration.
- Wagner, E. (2011). Essay: In Search of the Secret Handshakes of ID. *The Journal of Applied Instructional Design*.
- Weinschenk, S. (2011). *100 Things Every Designer Needs to Know About People*. New Riders.
- Weinschenk, S. (2015). *100 MORE Things Every Designer Needs to Know About People*. New Riders.
- Weiser, M. (1993). Hot topics-ubiquitous computing. In *Computer* (Vol. 26, Issue 10, pp. 71–72). <https://doi.org/10.1109/2.237456>
- Wexelblat, A. (1994). Virtual reality: applications and explorations. In *Choice Reviews Online* (Vol. 31, Issue 05, pp. 31–2732). <https://doi.org/10.5860/choice.31-2732>

- Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). *Brave NUI world: designing natural user interfaces for touch and gesture* (Elsevier (Ed.)).
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 7, Issue 3, pp. 225–240). <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. In *Computers & Education* (Vol. 62, pp. 41–49). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Wu, J. (2017). *Private and Public on Social Network Sites*. <https://doi.org/10.3726/b11197>
- Yardi, S., & Bruckman, A. (2012). Income, Race, and Class: Exploring Socioeconomic Differences in Family Technology Use. *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.