



## **DOTTORATO DI RICERCA**

FILOSOFIA, EPISTEMOLOGIA E STORIA DELLA CULTURA

Ciclo XXXIII

### **TITOLO TESI**

Progettazione, realizzazione e testing di un ambiente di realtà  
virtuale immersiva per l'apprendimento

Settore/i scientifico disciplinari di afferenza

M-PSI/04 Psicologia dello sviluppo e Psicologia dell'educazione

M-PED/03 Didattica e pedagogia speciale

Presentata da:

Giada Corrias

Tutor

Prof.ssa Rachele Fanari

Co-tutor

Prof. Giovanni Bonaiuti

Esame finale anno accademico 2019 – 2020

Tesi discussa nella sessione d'esame Ottobre 2021



## **Ringraziamenti**

*Ringrazio tutti i partecipanti che, pur avendo preparato il tiramisù nella nostra cucina virtuale, non ne hanno potuto assaggiare nemmeno una fetta.*

*Ringrazio la Lawrence Technological University per l'ospitalità fornita, il Prof. Franco Delogu e la Prof.ssa Carla Meloni per il supporto scientifico e la Software House "Infora" per l'ospitalità e le attività di sviluppo software fornite durante lo svolgimento del lavoro di tesi.*



# Indice

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>8</b>
<b>PARTE PRIMA .....</b>	<b>12</b>
CAPITOLO 1: DEFINIRE LA REALTÀ VIRTUALE .....	13
1.1 Cosa si intende per realtà virtuale.....	13
1.2 Breve storia della realtà virtuale .....	14
1.3 Elementi chiave della VR .....	20
1.4 Diverse tipologie di realtà virtuale .....	24
1.5 Tecnologie per la realtà virtuale.....	26
CAPITOLO 2: LO STUDIO DELLA REALTÀ VIRTUALE IN AMBITO DI RICERCA E APPLICATIVO .....	36
2.1 Studi sulla percezione, la rappresentazione spaziale e la navigazione spaziale.....	36
2.2 VR e Psicologia .....	38
2.3 VR e intrattenimento.....	42
2.4 Ambienti virtuali per l'apprendimento .....	44
<b>PARTE SECONDA – LA CREAZIONE DEL SOFTWARE VIRTUALAB .....</b>	<b>52</b>
CAPITOLO 3: CREAZIONE DI UN LABORATORIO VIRTUALE IMMERSIVO.....	53
3.1 Premesse teoriche .....	53
3.2 Il software VirtuaLab .....	57
<b>PARTE TERZA – APPLICAZIONE IN AMBITO DI RICERCA DELL'AMBIENTE VIRTUALAB.....</b>	<b>70</b>
CAPITOLO 4: VIRTUAL KITCHEN 1.0 - STUDIO DEGLI EFFETTI DI DIFFERENTI SISTEMI DI FEEDBACK SULL'APPRENDIMENTO DI UNA PROCEDURA .....	71
4.1 Obiettivi di ricerca .....	71
4.2 Metodo.....	75
4.3 Materiali.....	77
4.4 La prova in VR con VK 1.0.....	88
4.5 Analisi dei dati .....	95
4.6 Discussione .....	110
CAPITOLO 5 - VIRTUAL KITCHEN 2.0: ANALISI E SVILUPPO .....	115
5.1 Metodo di lavoro .....	115
5.2 Modifiche effettuate.....	116

CAPITOLO 6: VIRTUAL KITCHEN 2.0 - STUDIO DEGLI EFFETTI DI DIFFERENTI ISTRUZIONI/TUTORIAL SULL'ESECUZIONE E L'APPRENDIMENTO DI UNA PROCEDURA.....	127
6.1 <i>Obiettivi di ricerca</i> .....	127
6.2 <i>Metodo</i> .....	131
6.3 <i>Materiali</i> .....	133
6.4 <i>La prova in VR con VK 2.0</i> .....	148
6.5 <i>Analisi dei dati</i> .....	160
6.6 <i>Discussione</i> .....	176
<b>DISCUSSIONE GENERALE E CONCLUSIONI .....</b>	<b>181</b>
<b>SVILUPPI FUTURI .....</b>	<b>184</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>188</b>
<b>SITOGRAFIA.....</b>	<b>205</b>
<b>APPENDICE A.....</b>	<b>207</b>
<b>APPENDICE B.....</b>	<b>209</b>
<b>APPENDICE C.....</b>	<b>216</b>
<b>APPENDICE D.....</b>	<b>221</b>
<b>APPENDICE E.....</b>	<b>222</b>
<b>APPENDICE F.....</b>	<b>223</b>
<b>APPENDICE G.....</b>	<b>228</b>
<b>APPENDICE H.....</b>	<b>234</b>
<b>APPENDICE I.....</b>	<b>236</b>



## *Introduzione*

La tesi espone il risultato delle attività di ricerca svolte durante il Corso di Dottorato in Filosofia Epistemologia e Storia della Cultura presso l'Università degli Studi di Cagliari. Il dottorato rientra nell'ambito dei “*Dottorati Innovativi con caratterizzazione industriale*” (PON-RI – XXXIII ciclo), tesi alla promozione e al rafforzamento dell'alta formazione in coerenza con i bisogni del sistema produttivo nazionale e con la Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente 2014-2020 approvata dalla Commissione europea. Il progetto di ricerca ha riguardato principalmente lo studio dei cicli di percezione-azione in ambienti di realtà virtuale (VR) immersiva al fine di comprendere come progettare al meglio ambienti virtuali dedicati all'apprendimento e all'insegnamento, mettendo alla prova la collaborazione tra scienze psicologiche, scienze dell'educazione e scienze informatiche.

A partire dagli anni '90 gli psicologi hanno cercato di analizzare le potenzialità offerte dai nuovi dispositivi per la VR, interrogandosi sul come in essi si esprimessero i più svariati processi mentali cognitivi e dinamici. Nel tempo sono stati ideati numerosi spazi virtuali e simulazioni destinate all'apprendimento, all'insegnamento e alla ricerca di base e applicata che hanno permesso di mettere in evidenza le numerose potenzialità delle tecniche di realtà virtuale quali: coinvolgimento e motivazione, apprendimento attivo e partecipativo, possibilità di dare struttura e rappresentazione a idee e concetti anche astratti, possibilità di sovvertire le regole fisiche e sociali.

A trent'anni dai primi studi la realtà virtuale abbandona l'immaginario collettivo per entrare nelle case, nelle scuole e nelle fabbriche grazie allo sviluppo di dispositivi sempre più economici, compatti e dotati di elaboratissimi sensori per l'analisi dell'interazione uomo macchina, assumendo nuove declinazioni che dal mero *gaming* si spostano al *serious gaming* e al training, definendo nuovi orizzonti di

ricerca potenzialmente in grado di modificare le conoscenze pregresse sugli ambienti virtuali e sui dispositivi utilizzati per accedervi.

Ecco quindi che la psicologia si trova davanti alla necessità di approfondire lo studio della realtà virtuale, specialmente quella immersiva, per trovarne una sempre più efficace applicazione specialmente nel settore dell'apprendimento, che come dimostrato dalla recente emergenza sanitaria da Covid-19, potrebbe trarre dalla VR importanti contributi in relazione a temi come l'insegnamento a distanza o la multimedialità e flessibilità dei contenuti e delle pratiche educative.

Nell'ambito della ricerca svolta, dopo una analisi dello stato dell'arte relativo alle ricerche e ai software sviluppati per la realtà virtuale, si è proceduto alla progettazione e sviluppo di un laboratorio per la realtà virtuale immersiva, con l'intento di analizzare l'impatto su apprendimenti di tipo procedurale di diverse combinazioni di caratteristiche strutturali e funzionali e di scenari implementabili.

Il laboratorio, nato dalla stretta collaborazione tra il gruppo di ricerca del Dipartimento di Pedagogia, Psicologia e Filosofia dell'Università di Cagliari, la Lawrence Technological University di Detroit e la *Software House* "Infora", grazie alla presenza di diversi moduli deputati alla sua configurazione, ha permesso di implementare diversi esperimenti che hanno portato a dettagliare gli aspetti tecnici e procedurali del laboratorio stesso e ad aprire importanti quesiti per future ricerche.

La tesi è strutturata in tre parti. Nella prima parte vengono esaminati gli aspetti teorici connessi all'utilizzo della realtà virtuale in ambiti che vanno dall'apprendimento alle professioni sanitarie, passando per l'intrattenimento e il training industriale. Partendo da una breve definizione del concetto di realtà virtuale (Capitolo 1) vengono esposte le principali tappe dell'evoluzione tecnologica della VR, e soprattutto della VR immersiva, e vengono introdotti teoricamente i tre concetti psicologici chiave dell'esperienza virtuale: immersione, presenza e *self-agency*. A seguire vengono presentate le principali tipologie di realtà virtuale, dettagliando i diversi sistemi hardware e software ad oggi presenti sul mercato. Nel capitolo

successivo (Capitolo 2) viene riportata una rassegna bibliografica ragionata degli studi che hanno preso in esame le diverse applicazioni ed obiettivi che la realtà virtuale ha incontrato nel tempo, con particolare riguardo per gli ambienti virtuali dedicati all'apprendimento e al training professionale.

Nella seconda parte viene presentato il software *VirtuaLab (VLab)* che è stato sviluppato per il lavoro di tesi (Capitolo 3). A partire dai presupposti teorici utilizzati per dettagliare la struttura del software, vengono specificate le sue funzionalità con particolare attenzione per il sistema di analisi delle interazioni e manipolazioni dei soggetti (*Modulo di registrazione delle attività*).

La terza parte della tesi si apre (Capitolo 4) con la descrizione del primo esperimento realizzato con una prima versione del software *VLab*, denominata *Virtual Kitchen 1.0 (VK 1.0)* che si è concentrato nell'analisi degli effetti di diverse modalità di erogazione di informazioni sulla correttezza dell'esecuzione di una procedura (feedback). Due gruppi di partecipanti sono stati invitati a preparare un dolce seguendo dettagliate istruzioni e sono stati sottoposti a due diverse modalità di feedback: un feedback esplicito, in cui i soggetti erano informati puntualmente sulle parti di compito svolte correttamente o erroneamente tramite suoni e spunte di diverso colore che comparivano sul testo delle istruzioni, e una situazione di feedback implicito in cui l'errore eventualmente compiuto durante l'esecuzione del compito era segnalato senza che venissero date informazioni dettagliate su quale dei suoi passaggi fosse stato svolto in modo sbagliato. Nostro interesse era comprendere quale delle due modalità si rivelasse più efficace per l'apprendimento procedurale in ambienti di realtà virtuale immersiva. Il capitolo comincia esponendo le ipotesi di ricerca e prosegue con la descrizione del protocollo sperimentale adoperato. In questa parte vengono presentate inoltre le caratteristiche e le motivazioni che hanno guidato la scelta dei dispositivi da noi selezionati. Vengono infine presentati e discussi i risultati della ricerca.

Nel capitolo successivo vengono esposte le principali modifiche a cui l'ambiente *VLab* è stato sottoposto grazie all'analisi effettuata sulla *user experience* dei soggetti

partecipanti all'esperimento con *VK 1.0* (Capitolo 5). Successivamente viene presentato un secondo esperimento realizzato con il software *VLab* modificato (*Virtual Kitchen 2.0* o *VK 2.0*), teso in questo caso alla verifica degli effetti sulla prestazione e l'apprendimento di due diverse modalità di istruzioni o tutorial (Capitolo 6). Due gruppi di partecipanti hanno preparato un dolce nella cucina virtuale seguendo due diverse modalità di tutorial. Un tutorial tradizionale, basato su brevi istruzioni scritte presentate attraverso un monitor, ed un tutorial che invece sfruttava maggiormente le potenzialità offerte dalla *VR*, attraverso l'uso di icone e simboli posti direttamente su luoghi e oggetti di lavoro. Nostro interesse era comprendere quale delle due modalità di tutorial si rivelasse più efficace per l'apprendimento procedurale in ambienti di *VR* immersiva. Il capitolo si apre con le ipotesi di ricerca, prosegue con la descrizione del protocollo sperimentale adoperato e si conclude con la presentazione e discussione dei risultati.

Nonostante le difficoltà riscontrate durante la sperimentazione, a causa dell'emergenza sanitaria da Covid-19, il lavoro multidisciplinare per la progettazione delle diverse versioni di *VirtuaLab* si pone come il maggiore punto di forza dell'intero percorso di Dottorato. Attraverso la costruzione di un software capace di offrire numerose potenzialità di sviluppo e modifica, si è infatti messa in luce l'importanza delle competenze in ambito psicologico e umanistico nelle attività di progettazione e sviluppo in realtà virtuale. Tali competenze sono risultate determinanti per la realizzazione di un prodotto di successo, evidenziando in particolare il concetto di *affordance* come determinante per la definizione di un'esperienza utente che sia piacevole ed efficace a fini formativi.

A conclusione del lavoro di tesi verranno presentati i risultati del nostro lavoro e discussi i possibili sviluppi futuri del software *VirtuaLab*.

## *Parte prima*

# Capitolo 1: Definire la realtà virtuale

## 1.1 Cosa si intende per realtà virtuale

Tra le diverse definizioni di realtà virtuale quella che ha resistito alla prova del tempo risulta essere quella coniata dall'astronomo e ricercatore della Nasa S. Bryson (2013): “*Virtual Reality is the use of computer technology to create the effect of an interactive three-dimensional world in which the objects have a sense of spatial presence*” (p.1).

Questa definizione integra quelli che sono i due elementi principali con cui la realtà virtuale viene storicamente definita. Il primo elemento è quello delle tecnologie usate per accedere alla realtà virtuale, ovvero gli specifici programmi e dispositivi tramite cui è possibile simulare ambienti 3D, realistici o immaginari, altamente interattivi al punto da consentire agli utenti con le loro interazioni di influenzarne forma e contenuto; Il secondo elemento ha a che fare con gli aspetti legati agli effetti cognitivi che la realtà virtuale è in grado di indurre su chi la utilizza quali il senso di immersione nel mezzo (Bombari et al., 2015; de Jong et al., 2017), determinato dalla contingenza sensomotoria realistica che negli ambienti simulati è possibile sperimentare (e che sarà quindi tanto maggiore quanto maggiore sarà il realismo offerto dalla simulazione) e il senso di presenza per cui il soggetto sente di essere incarnato e quindi di “esistere” all’interno dell’ambiente virtuale (*body ownership* e *self-location*) e di poter esperire e agire tramite la propria rappresentazione virtuale o avatar (*self-agency*) al punto da definire l’esperienza vissuta come reale e plausibile (Slater, 2009).

In questi termini quindi, con l’etichetta realtà virtuale (*virtual reality, VR*) viene definito qualsiasi “mondo sintetico” o simulazione mediata dal computer che può essere esperita attraverso una stimolazione sensoriale. Sebbene, il significato di “virtuale”, vale a dire qualcosa che “è in potenza e non in atto” possa apparire molto vicino al significato con cui generalmente adoperiamo i termini “mentale” o “immaginario”, il suo utilizzo in questo specifico ambito marca una delle differenze

fondamentali che esistono tra oggetti/ambienti virtuali e oggetti/ambienti immaginari: la possibilità dei mondi virtuali di essere condivisi tra più individui. Più persone possono infatti incontrarsi in una stanza virtuale ed esperirla attraverso i sensi ma non altrettanto può essere fatto in una stanza immaginaria. Per quanto nelle prime fasi della sua evoluzione, la VR fosse stata prevalentemente dominata dal senso della vista grazie all'uso di visori indossabili, oggi, tramite nuove ed interessanti tecnologie, permette di fornire ai suoi utenti feedback sempre più multimodali includendo il tatto (guanti e corpetti), l'udito e la propriocezione grazie al tracciamento del movimento corporeo e della postura. Tutte queste tecnologie permettono di potenziare il processo di incarnazione (*embodiment*) dell'utente nel corpo virtuale (avatar) ed immergerlo o trasferirlo all'interno dell'ambiente virtuale così da poter con esso interagire (Grabarczyk e Pokropski, 2016).

## *1.2 Breve storia della realtà virtuale*

I primi tentativi di costruire sistemi hardware e software per esperire la realtà virtuale risalgono al lontano 1957 quando il regista e direttore della fotografia Morton Heilig costruisce e brevetta il *Sensorama Simulator* (vedi figura 1). Questo dispositivo permetteva all'utente di vivere, attraverso un'esperienza multisensoriale, una corsa in motocicletta per le strade di New York. L'esperienza includeva stimoli visivi 3D a colori, suoni stereo, odori e addirittura stimoli tattili grazie a un seggiolino vibrante e a ventilatori capaci di simulare il vento sul volto (Heilig, 1962).

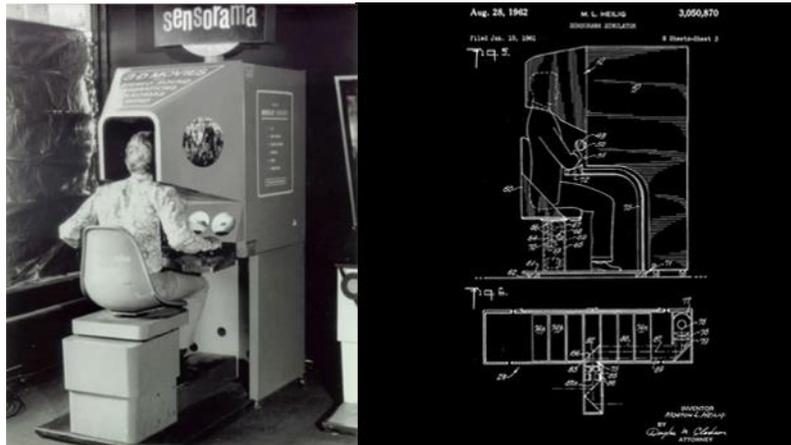


Fig. 1 Sensorama Simulator (fonte Heilig, 1962).

A questa prima esperienza, forse più simile ad un moderno cinema 5D, fecero seguito altri dispositivi, alcuni dei quali progressivamente sempre più simili all'idea di esperienza virtuale immersiva nella forma a cui pensiamo oggi, come accadde con la *Sword of Damocles* ideata dallo scienziato informatico Ivan Sutherland nel 1965. Il dispositivo (vedi figura 2) fu il primo a identificare nel tracciamento corporeo la possibilità di generare un'esperienza più immersiva, così, adoperando un visore connesso ad un braccio meccanico ancorato al soffitto era possibile catturare continuamente la posizione e l'orientamento della testa dell'utente e distribuire ai suoi occhi due immagini in 2D generate dal computer (una per ogni occhio). Questa correlazione tra i movimenti dell'utente e ciò che veniva proiettato nei suoi occhi si traduceva nella prima attiva e partecipata esperienza di un soggetto ad un mondo 3D generato al computer (Sutherland, 1968).

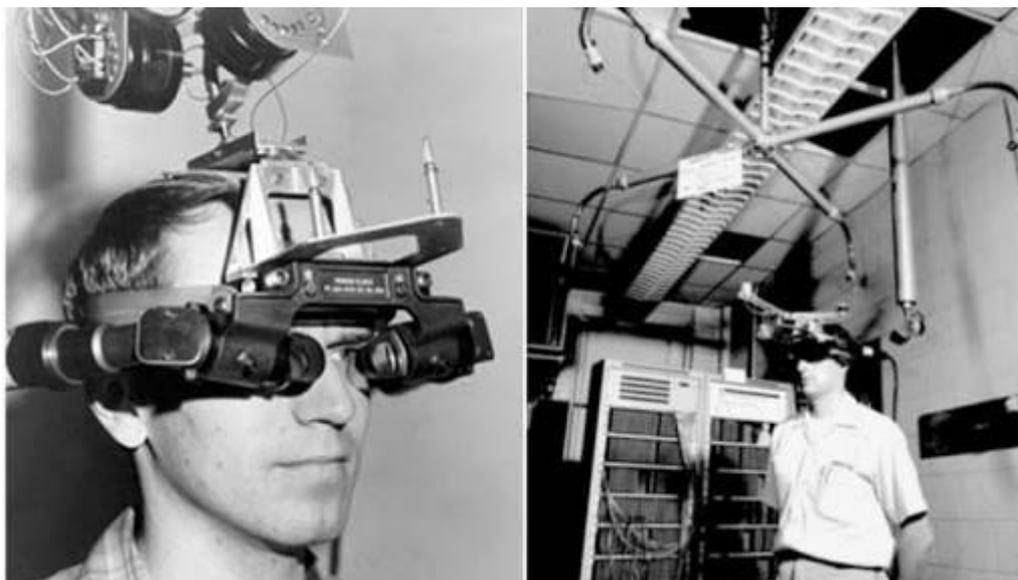


Fig. 2 *Sword of Damocles* (fonte aciiid.com).

Con gli anni gli scienziati orientarono progressivamente i loro sforzi di progettazione su due diversi versanti. Da un lato il lavoro si concentrò sulla creazione di dispositivi sempre più immersivi come ad esempio il sistema elaborato da Cruz-Neira e colleghi (1992) denominato *Cave Automatic Virtual Environment (CAVE™)*, che dominò le ricerche e le applicazioni nel campo della VR per oltre un decennio. Grazie a tale dispositivo potevano essere proiettate sulle pareti di una stanza delle immagini immergendo più di un utente in un ambiente virtualmente costruito mediante software ed esperibile grazie all'uso di occhiali 3D e di una coppia di piccoli manubri (*controller*). Sull'altro versante il lavoro si indirizzò sulla creazione di dispositivi sempre più portabili ed economici per poter far breccia nel mercato di massa, ormai sempre più intrigato da queste futuristiche tecnologie grazie anche al clamore generato dal mondo del cinema, in cui film come *"The Lawnmower Man"* (1992) descrivevano gli effetti fantastici dell'immersione in mondi sintetici sulle capacità cerebrali umane.

Tra i primi esempi eclatanti dello sforzo di coniugare leggerezza, economicità e tecnologia, ricordiamo sicuramente *Virtual Boy* (1995) della nota azienda giapponese *Nintendo* (vedi figura 3). Pubblicizzato come il primo assaggio del futuro virtuale,

questo visore del costo di circa 180\$ al momento della sua prima commercializzazione, si basava sulla stereoscopia e utilizzava degli occhiali contenenti un complesso sistema di specchi oscillanti, lenti e *LED* per proiettare negli occhi del giocatore le immagini tridimensionali monocromatiche dei videogiochi. La *console* che rimase in produzione per poco tempo, vendette meno di un milione di unità in tutto il mondo rivelandosi un vero fiasco soprattutto a causa del fatto di offrire esclusivamente immagini bicromatiche e per i problemi di chinetosi (o *motion sickness*) che l'uso del dispositivo induceva.



*Fig. 3 Virtual Boy (fonte Sammartino, 2016).*

Per quasi due decenni la *VR* sparì all'attenzione del grande pubblico, restando invece attiva nel mondo della ricerca, continuamente impegnato a migliorare l'esperienza percettiva offerta dai sistemi hardware e software attraverso l'introduzione di ulteriori canali di stimolazione oltre a quello audiovisivo (Hoffman et al., 1998; Davis et al., 1999; Dinh et al., 1999; Regia Corte et al., 2012), e a sviluppare sempre nuovi esperimenti per verificare e testare le potenzialità e le valenze educative (Bailenson et al., 2008; Dalgarno e Lee, 2010; Passig, 2015) offerte dai suoi aspetti

portanti quali le esperienze di presenza e di immersione, al fine di creare applicazioni da sfruttare nei più disparati settori.

Due sono gli eventi commerciali che più di tutti hanno determinato la rinascita di tale tecnologia. Nel 2003 il lancio in rete di *Second Life*, il primo ambiente virtuale multiutente persistente (*Multi-User Virtual Environment* o *MUVE*) creato dalla *Linden Lab Inc.*. In questa piattaforma informatica fruibile tramite personal computer (PC), combinante strumenti di comunicazione sincroni e asincroni e che esiste indipendentemente dalla presenza del singolo fruitore, gli utenti definiti “residenti” accedono al mondo virtuale tramite un avatar completamente personalizzabile e possono contribuire alla crescita del mondo artificiale, in cui sono immersi impegnandosi in qualsiasi tipo di esperienza, dal partecipare ad attività di gruppo o individuali come concerti, corsi o lezioni, fino alla creazione e vendita di contenuti digitali di ogni tipo di cui è possibile detenere la proprietà intellettuale. Il secondo evento di rilancio della tecnologia VR fu nel 2016 la commercializzazione del visore *Oculus VR's Rift*, il primo visore (*Head Mounted Device* o *HMD*) integrato per la fruizione della realtà virtuale in soggettiva (Desai et al., 2014) a cui fece seguito appena un anno dopo il sistema *Room Experience* della *HTC Vive* che incorporò il tracciamento infrarossi del movimento dell'utente all'interno dello spazio fisico traducendolo in tempo reale nel mondo virtuale grazie all'uso di una coppia di radiolari (Niehorster et al., 2017).

Tutto ciò comportò per la VR un enorme balzo in avanti come dimostrato anche dal grafico elaborato nel 2017 dalla *Gartner* (vedi figura 4), nota società di consulenza, ricerca e analisi nel campo dell'*Information Technology*: dal grafico è possibile infatti identificare la posizione delle tecnologie per la VR all'interno del cosiddetto “altopiano della produttività” (*Plateau of Productivity*), un punto che rappresenta il momento di maturità di una tecnologia nel mercato, momento in cui il prodotto ha raggiunto una buona affidabilità grazie al processo di miglioramento continuo ed in cui è possibile identificare facilmente le aziende che riescono a interpretare al meglio pregi e limiti di tale tecnologia.

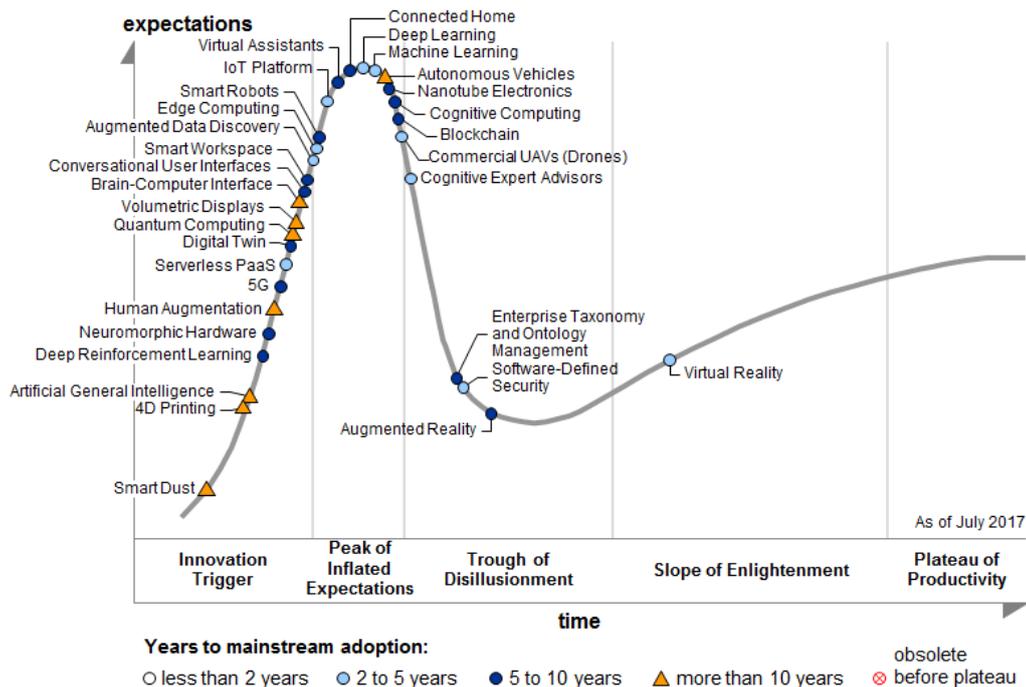


Fig. 4 Grafico Gartner per le Tecnologie Emergenti – 2017 (fonte datamediahub.it).

Recentemente inoltre, come dimostrano i dati pubblicati dal sito *Statista.org* nel 2021 (vedi figura 5), il mercato della VR è andato incontro ad un continuo aumento delle richieste, configurandosi come un mercato ancora oggi in forte e continua crescita passando da 1,8 miliardi di dollari di consumatori nel 2016 a 3,3 miliardi nel 2019 e prevedendo un picco di oltre 5.1 miliardi di dollari nel 2023. A partire dai suoi primi tentativi di commercializzazione e di utilizzo per il grande pubblico, quindi, in circa 20 anni, la VR si è ormai attestata come una delle tecnologie informatiche più importanti come diffusione e previsione di espansione.

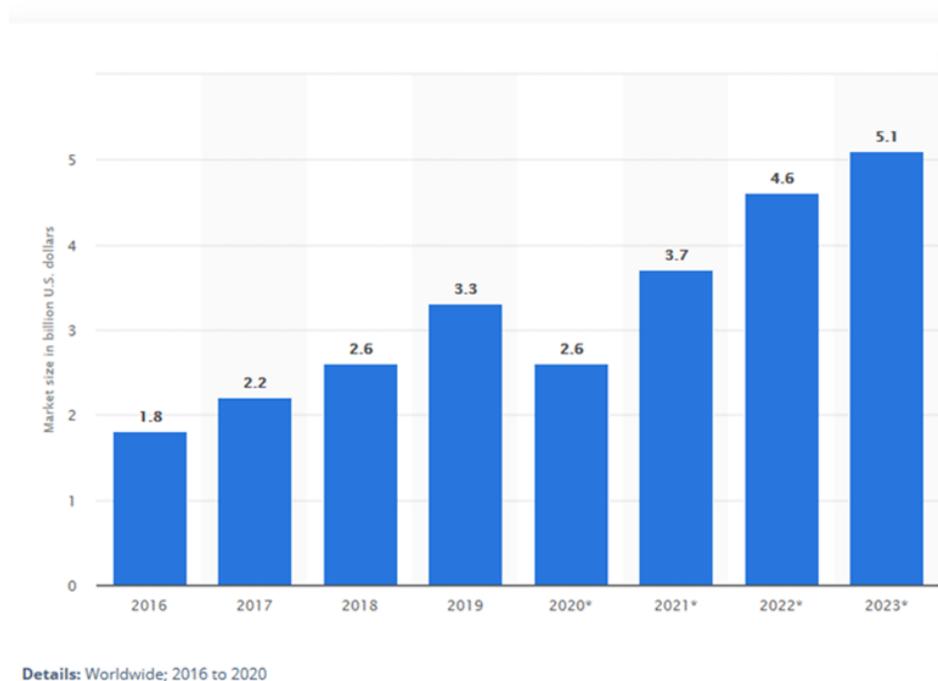


Fig. 5 Grafico Statista relativo alla dimensione del mercato mondiale per i dispositivi per la VR 2016-2023 (fonte statista.org)

## 1.3 Elementi chiave della VR

### 1.3.1 Il concetto di immersione

Una delle caratteristiche chiave dell'esperienza VR è quella dell'immersività. Il concetto di *immersione* può essere descritto come un profondo stato di coinvolgimento fisico nel mezzo, sia esso un libro, un film o un ambiente virtuale (Bombari et al., 2015; de Jong et al., 2017). Negli ambienti VR in particolare, questo senso di immersione sembra essere influenzato da due fattori principali quali l'uso di un alter ego digitale del sé fisico o avatar (Slater e Steed, 2000) e da aspetti legati alla tecnologia usata per accedere all'ambiente virtuale in termini di software e hardware.

L'avatar ha infatti lo scopo principale di fornire non solo un mezzo di interazione diretta con l'ambiente e gli oggetti virtuali in esso contenuti, ma anche di costituire una vera e propria estensione della personalità (Sé) del soggetto, pertanto tanto

maggiore sarà la personalizzazione che è possibile operare sull'avatar e tanto maggiore sarà il coinvolgimento che i soggetti saranno in grado di esperire, così come il senso di presenza e il senso di azione, altri importanti elementi dell'esperienza VR (Waltemate et al., 2018) che verranno analizzati in dettaglio più avanti.

Aspetti più legati al tipo di tecnologia coinvolta sono per esempio, l'estensione del campo visivo, il numero di sistemi sensoriali stimolati (visivo, tattico, uditivo e così via), la qualità del *rendering* e il realismo dell'immagine proiettata, la velocità di *frame rate* e la latenza, la portata del tracciamento dei movimenti dell'utente e la velocità e precisione con cui il sistema è in grado di riprodurre gli effetti visivi e uditivi di tali movimenti, sono tutti elementi tecnologici che concorrono ad aumentare l'esperienza di una contingenza sensomotoria realistica che permette di far corrispondere i dati sensoriali simulati alla propriocezione del soggetto aumentando il coinvolgimento (Sanchez-Vives e Slater, 2005).

### 1.3.2 Il concetto di presenza

Quando il senso di coinvolgimento nel mezzo è molto alto, si genera nell'utente un'esperienza psicologica illusoria molto forte, definita *presenza*. Originariamente tale fenomeno è stato identificato in modo semplicistico come la sensazione riferita dal soggetto di “trovarsi nell'ambiente virtuale”, ma ad una più attenta analisi delle risposte prodotte dai soggetti, ci si è resi conto che essa si configura maggiormente come la sensazione di essere incarnati (*embodiment*) e quindi di esistere all'interno dell'ambiente virtuale (Sanchez-Vives e Slater, 2005; Slater e Sanchez-Vives, 2014; Grabarczyk e Pokropski, 2016; Waltemate et al., 2018).

I soggetti che esperiscono un ambiente in VR sentono infatti di occupare un preciso spazio corporeo (*self-location*), di poter causare o generare degli effetti con quel corpo (*self-agency*) e che quel preciso corpo è la sede delle sensazioni provate (*body ownership*), tutti elementi che portano a percepire l'esperienza vissuta come reale e

plausibile. In particolar modo tale esperienza illusoria di *embodiment* appare strettamente connessa alla coincidenza spaziale e alla correlazione multisensoriale che intercorre tra il corpo virtuale e il corpo reale e che si traduce per il cervello in una sorta di momentanea sovrapposizione tra i due (Slater, 2009).

Tale sovrapposizione trova conferma nelle più recenti teorie sulla *Embodied Cognition* e nel famoso esperimento della *Rubber Hand Illusion* realizzato da Botvinick e Cohen (1998). Nello studio, partendo dalla presupposizione che le rappresentazioni cognitive siano basate su contenuti percettivi che hanno origine nelle aree del cervello deputate alla percezione (udito e visione), all'azione (movimento, propriocezione) e all'introspezione (stati mentali e affetti) e che possano quindi essere migliorate e rafforzate se associate a certi stimoli è stato possibile indurre in un soggetto l'illusione di possesso verso una mano di gomma. Nell'esperimento (vedi figura 6), davanti ai soggetti veniva collocata una mano di gomma mentre la mano corrispondente reale era nascosta alla vista, entrambe venivano poi sottoposte ad alcuni secondi di stimolazione visuo-tattile spazio temporale sincronizzata attraverso l'uso di un pennellino che solleticava nelle stesse aree e nello stesso momento l'arto reale nascosto e l'arto posticcio. Tale stimolazione induceva il soggetto a percepire la mano di gomma come propria al punto da mostrare ansia e comportamento riflesso quando la stessa veniva solleticata.

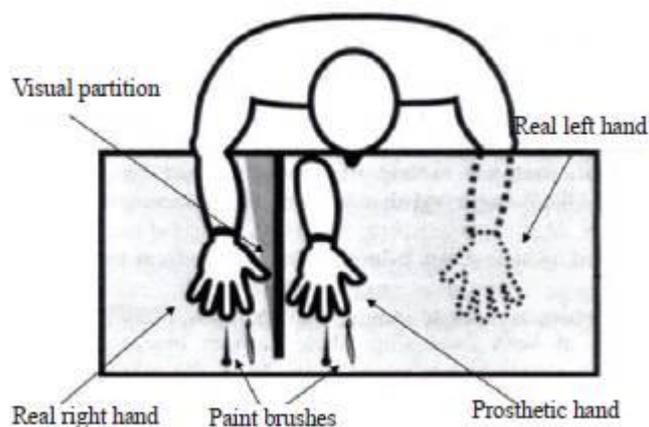


Fig. 6 Setting della Rubber Hand Illusion (fonte Botvinick e Cohen, 1998).

Attraverso diverse varianti dell'esperimento appena citato gli scienziati dimostrarono come tale senso di appartenenza poteva essere indotto non solo su singole parti corporee, ma anche su un corpo nella sua totalità (Petkova e Ehrsson, 2008), sia esso posticcio, virtuale o addirittura molto diverso dal corpo reale del soggetto per dimensione, colore o genere. Tale fenomeno di appartenenza risultava inoltre maggiormente possibile se la connessione tra i due corpi era accompagnata tra le altre stimolazioni sincrone da una sincronia nel movimento (Dummer et al., 2009).

Tra gli esiti psicologici più interessanti individuati in tale fenomeno vi è sicuramente quello relativo al forte senso di auto-identificazione da parte dei soggetti nel corpo virtuale che può temporaneamente portare a un cambiamento del comportamento e dell'immagine di sé. Tale cambiamento come teorizzato da Yee e Bailenson (2007) non è semplicemente frutto dell'effetto della desiderabilità sociale, ma appare dovuto al fatto che la persona stessa associa al corpo virtuale in cui è incarnata concetti e caratteristiche ad esso correlati (genere, età, colore della pelle). A conferma di tale cambiamento concorrono anche i diversi studi neuro-cognitivi sui "neuroni specchio", i quali hanno dimostrato come regioni cerebrali simili vengano attivate nel nostro cervello sia quando osserviamo uno stato corporeo negli altri, sia quando sperimentiamo noi stessi quello stato corporeo, riflettendo quindi una sovrapposizione tra il sé e le altre rappresentazioni corporee nel cervello (Keysers e Gazzola, 2009). Tale sovrapposizione sembra inoltre essere strettamente correlata ad aspetti come l'empatia e ad altri processi socio-cognitivi fondamentali come ad esempio la riduzione del pregiudizio implicito, dal momento che essa agisce aumentando la sovrapposizione sé-altro migliorando la risonanza neurale con l'outgroup razziale (Gallese, 2001 e 2003).

### *1.3.3 Il concetto di self-agency*

Con il termine *self-agency* o *sense of agency* ci si riferisce all'esperienza soggettiva di controllare le proprie azioni e prevedere le loro conseguenze sull'ambiente in un ciclo continuo di interazione reciproca tra individuo e contesto. Essa dipende in

modo cruciale dal fatto di avere un corpo capace in termini di funzioni percettive e motorie e soprattutto dal tipo di esperienze che tale corpo ha la possibilità di compiere (Gallagher, 2000).

Negli ambienti virtuali tale reciprocità è costantemente favorita dallo sviluppo di diverse tecnologie quali corpetti e guanti per il feedback tattile o la sensoristica per il tracciamento corporeo che favoriscono l'interattività, tecnologie tese cioè a rendere il movimento e la percezione dei soggetti nonché le risposte dell'ambiente e dei suoi oggetti sempre più realistiche e puntuali. Diversi studi hanno infatti riportato punteggi significativamente più alti di *self-agency* quando i soggetti sono stati messi nella condizione di controllare il proprio avatar in modo sincrono, attivo e coerente o quando è stato loro permesso di percepire un certo grado di somiglianza tra il proprio corpo virtuale ed il proprio corpo fisico (Nahab et al., 2011; Kokkinara et al., 2015; Ma e Hommel, 2015; Tieri et al., 2015), andando altresì ad incrementare il senso di immersione e presenza esperiti.

Inoltre, come accade nella realtà anche nella VR i soggetti adoperano sé stessi come metro per leggere le proprietà di sostanza e di superficie degli oggetti (*affordance*) così da comprendere come con essi sia possibile interagire, pertanto anche il realismo di tali proprietà, determinato dal software, appare essere implicato nell'aumentare la qualità dell'esperienza di *self-agency* e di immersione in generale (Grabarczyk e Pokropski, 2016).

### *1.4 Diverse tipologie di realtà virtuale*

Per comprendere le differenze che intercorrono tra le diverse tipologie di realtà virtuale oggi presenti sul mercato occorre partire dal concetto di realtà. Il dizionario Treccani (2020) nella sua prima accezione definisce il termine "realtà" come "*La qualità e la condizione di ciò che è reale, che esiste in sé e per sé o effettivamente e concretamente*" e ancora, in accordo con Bryson (2013) la realtà può essere intesa come ciò che esiste senza nessuna aggiunta o mediazione da parte delle tecnologie

della comunicazione. Ciò che infatti contraddistingue la realtà virtuale è proprio il mezzo che la determina e che permette ai soggetti di sentirsi immersi in un ambiente tridimensionale generato al computer in cui è possibile liberarsi dei propri vincoli fisici e rendere possibili esperienze normalmente impossibili (Bryson, 1995).

Secondo Milgram e Kishino (1994) è possibile delineare un continuum che connette gli ambienti completamente reali a quelli completamente virtuali sulla base del diverso grado di ancoraggio alla realtà e di interattività che i dispositivi hardware permettono ai soggetti.

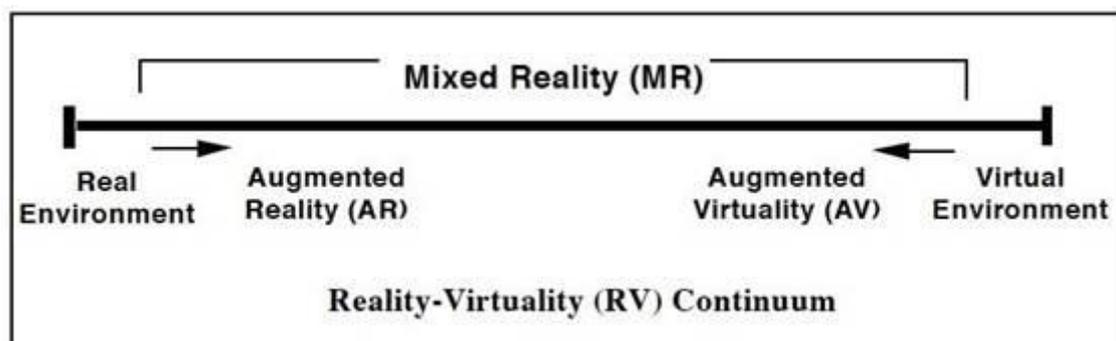


Fig. 7 Continuum Realtà-Virtualità di Milgram e Kishino (1994).

In accordo con la loro rappresentazione (vedi figura 7), a sinistra possiamo individuare tutti quegli ambienti costituiti esclusivamente da oggetti reali che possono essere esperiti direttamente o attraverso una visualizzazione video convenzionale, come ad esempio ambienti virtuali 3D fruibili tramite computer di tipo desktop o laptop come *Second Life* o *Active World*. In entrambi i casi il contatto che il soggetto ha con la realtà che lo circonda rimane pressoché inalterato, dal momento che egli può vedere, sentire e percepire il reale che è sempre attorno a lui.

Procedendo verso destra troviamo diversi livelli di mediazione del reale che vanno a costituire diverse sfumature o sottocategorie di quella che viene spesso definita come realtà mista (*Mixed Reality* o *MR*). Essa comprende la realtà aumentata (*Augmented Reality* o *AR*), in cui l'ambiente reale viene potenziato o aumentato grazie all'aggiunta di contenuti digitali 3D visualizzabili attraverso dispositivi che

preservano il senso di presenza del soggetto nell'ambiente reale come tablet, smartphone o speciali dispositivi come i *Google Glass* (Steffen et al., 2019). Un esempio applicato di tale tecnologia è sicuramente il celebre gioco *Pokemon Go* (Nintendo, 2016) in cui i giocatori, adoperando i propri smartphone, continuamente geolocalizzati dall'applicazione, possono andare a caccia di mostriciattoli virtuali digitalmente aggiunti all'ambiente reale circostante.

A questa realtà mista che prende avvio dal mondo reale, segue la virtualità aumentata (*Augmented Virtuality* o *AV*) che partendo dal mondo virtuale fonde in esso elementi fisici del mondo reale come oggetti o persone. Questa integrazione che può essere ottenuta con l'uso di varie tecniche, come lo *streaming* di video da spazi fisici, l'uso di webcams o la digitalizzazione 3D di oggetti fisici, consente di fatto di rappresentare in tempo reale lo stato di elementi del mondo reale negli ambienti dei media e delle tecnologie dell'informazione, permettendo ad esempio a un ingegnere addetto alla manutenzione di aeromobili di visualizzare su un computer un modello in tempo reale di un motore in volo a migliaia di chilometri di distanza ed intervenire su di esso in qualsiasi momento.

All'estrema destra della rappresentazione troviamo infine i *Virtual Environments* (*VE*), ovvero tutti quegli ambienti costituiti esclusivamente da oggetti virtuali in cui è possibile riprodurre e vivere esperienze simili o completamente diverse da quelle reali. Tali ambienti possono essere fruiti attraverso l'uso di dispositivi hardware estremamente complessi e classificabili in base al grado di immersività e di astrazione dalla realtà che comportano per l'utente arrivando al punto di incarnare lo stesso all'interno dell'ambiente virtuale attraverso un corpo anch'esso virtuale.

### *1.5 Tecnologie per la realtà virtuale*

Per percepire gli esseri umani usano il corpo nella sua totalità: girano la testa, muovono gli occhi, si chinano, toccano, spingono, tirano e spesso fanno tutte o

alcune di queste cose contemporaneamente. Ciò comporta l'essere costantemente immersi nel mondo circostante.

L'obiettivo tecnologico primario della *VR* è sempre stato quello di realizzare la percezione attraverso tali contingenze sensomotorie naturali nella migliore misura possibile, così da garantire quello stesso senso di immersione e *self-agency* che esperiamo quotidianamente nel mondo reale.

Questo obiettivo ha però incontrato nel tempo numerosi ostacoli che via via è stato possibile superare attraverso lo sviluppo di diverse tecnologie hardware e software, creando così dei sistemi per la *VR* immersivi, ovvero in grado di offrire la capacità di percepire attraverso contingenze sensomotorie naturali. In tal senso quindi possiamo classificare i diversi sistemi per la *VR* in base al loro grado di immersività.

### *1.5.1 Sistemi hardware e software passivi e attivi*

Per ciò che concerne i sistemi hardware, è possibile distinguere tra sistemi per la fruizione della realtà virtuale passivi (che risultano ad oggi i più economici ed i più usati in ambito educativo) e sistemi attivi, i quali, per le loro caratteristiche di immersività, interattività e presenza, rappresentano sicuramente la nuova frontiera nella ricerca e nella progettazione.

Tra i sistemi definiti passivi (comunemente chiamati *cardboard*) rientrano tutti quei visori con lenti che sfruttano la tecnologia dei monitor smartphone per fornire profondità, dettaglio e *frame rate* dell'immagine, e in cui pertanto la qualità dell'esperienza è prevalentemente legata alle specifiche dello smartphone stesso (vedi figura 8). Tali sistemi permettono di fruire di piccoli giochi in stile avventura grafica, video 360° e prodotti di cinema dinamico (come documentari naturalistici) in cui è possibile esaminare gli oggetti e navigare nello spazio virtuale in modo molto limitato attraverso una modalità di tipo "punta e clicca" adoperando un piccolo *controller*, tutti aspetti che rendono l'interattività e quindi l'esperienza di

immersione meno coinvolgente e realistica stanno portando al progressivo declino di questa tecnologia.



*Fig. 8 Il sistema di tipo cardboard Samsung Gear VR (fonte vrscout.com).*

I visori definiti attivi si caratterizzano invece per un'esperienza molto più immersiva ed interattiva e per l'elevata qualità video dei contenuti proposti. Tali visori (vedi figura 9) sono costituiti da un casco indossabile (*Head Mounted Display* o *HMD*) dotato di una coppia di schermi posizionati vicino agli occhi così da permettere una visione stereo e di diversi sistemi di rilevamento del movimento della testa così da garantire che le immagini provenienti ad entrambi gli occhi vengano aggiornate in base ai movimenti dell'utente all'interno dell'ambiente virtuale in cui si trova. In questi dispositivi l'audio viene trasmesso solitamente attraverso auricolari e il soggetto ha l'illusione di muoversi attraverso un ambiente tridimensionale che contiene oggetti statici e dinamici (compresa una propria rappresentazione virtuale) con cui può interagire adoperando una coppia di *controller*, anch'essi dotati di sensori per il tracciamento del movimento delle mani (Sanchez-Vives e Slater, 2005).



Fig. 9 Visore per realtà virtuale di tipo HMD (fonte androidcommunity.com).

Fino al 2018, per poter adoperare tali visori era spesso necessario l'uso di un computer dedicato con requisiti tecnici minimi abbastanza prestanti o l'acquisto di dispositivi specifici, come accadeva per il visore *Sony PlayStation VR* per cui era necessario l'acquisto della console *PlayStation 4* e della *PlayStation Camera*. Negli ultimi anni invece sono state sviluppate interessanti alternative per accontentare un mercato sempre più vario e interessato.

Da un lato è infatti cresciuto il numero di visori compatibili con tutti i tipi di computer, passando da visori come il *Razer OSVR* (nato da un progetto open source nel 2015) con una risoluzione di 1080x1200 e 90 Hz di frequenza di aggiornamento (*refresh rate*) al *Valve Index* (gennaio 2019) con una risoluzione di 1440x1600 e 140Hz di *refresh rate* capace di rendere l'esperienza più vivida e meno faticosa per l'occhio umano; e dall'altra la comparsa dei primi dispositivi definiti *stand-alone*, come l'*Oculus Go* (maggio 2018) pensato per il settore business o il suo successore *Oculus Quest* (maggio 2019) più adatto invece ad un uso domestico. Entrambi i visori sono utilizzabili in modalità wireless autonoma, disponendo al loro interno di un proprio hardware integrato e rendendo quindi non necessario il collegamento ad un dispositivo esterno per il loro funzionamento.

Un discorso a parte merita invece il noto sistema per la fruizione della realtà virtuale attivo denominato *Cave Automatic Virtual Environment* (o *CAVE*) sviluppato nel 1992 da un gruppo di ricercatori dell'Università dell'Illinois e la sua evoluzione del 2012, il *CAVE2*.

Il sistema *CAVE* (vedi figura 10) originario è caratterizzato dalla presenza di quattro retro-proiettori o mega schermi video *3D* che proiettano in stereo sulle pareti ed il pavimento di una stanza l'ambiente virtuale generato al computer, letteralmente circondando l'utente, il quale usufruisce dell'esperienza attraverso degli occhiali (simili a quelli usati nei cinema *IMAX*) dotati di sensori ad infrarossi che permettono il tracciamento dei movimenti corporei grazie a delle telecamere disposte nella stanza. Completano l'esperienza una coppia di *controller* funzionali alla manipolazione degli oggetti e un impianto audio surround (Cruz-Neira et al., 1992).

Questo tipo di esperienza, che risulta ancora oggi un prodotto non adatto all'uso domestico per via dei costi elevati (all'incirca 250 mila dollari per il sistema base proposto dalla compagnia americana *Visbox*) e degli ampi spazi richiesti per la costruzione dell'apparato, si rivela ancora dopo vari esperimenti come la meno intrusiva, infatti, data l'assenza di un visore da indossare, permette al soggetto di non essere isolato completamente dall'ambiente reale circostante. Quest'ultima caratteristica, unitamente al fatto di essere stato per lungo tempo l'unico tipo di esperienza *VR* a supportare la condivisione del medesimo spazio virtuale tra più utenti, ha reso *CAVE* il sistema più adoperato in ambito sperimentale per oltre un ventennio.

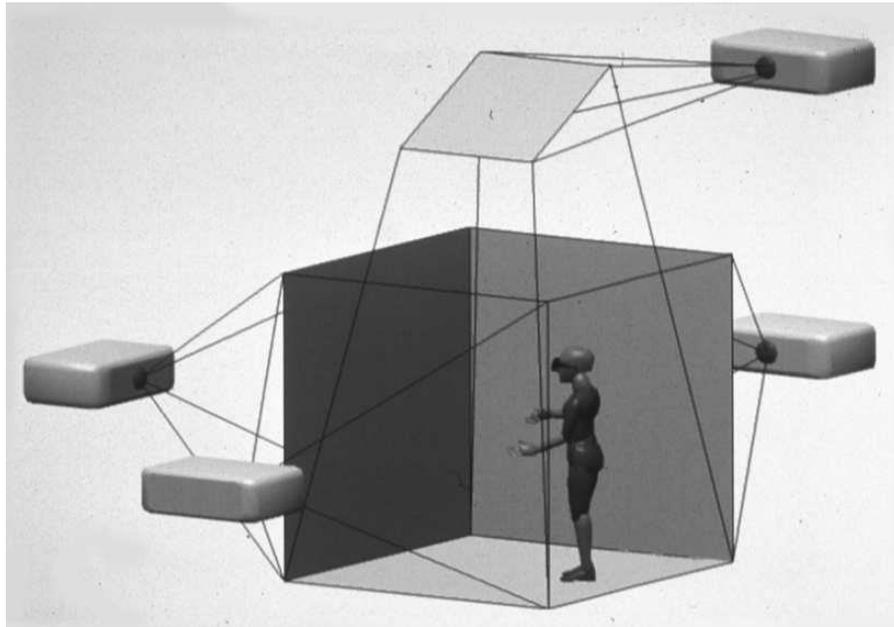


Fig. 10 Sistema di tipo CAVE (fonte Cruz-Neira et al., 1992).

Secondo diverse riviste online del settore *hi-tech* gli *HMD* orientati al mercato di massa ritenuti il top di gamma dell'esperienza *VR* sono oggi prodotti principalmente da due grandi aziende americane: la *Oculus VR* e la *Valve Corporation*.

La prima, che nel 2019 deteneva il primato nelle vendite per i dispositivi *VR*, raggiunge il mercato con due diverse proposte, il visore *Oculus Rift S* (marzo 2019) per computer dedicati e la versione di tipo *stand-alone* denominata *Oculus Quest* rilasciata pochi mesi dopo e aggiornata nel 2020 con una versione ancora più prestante.

La seconda si propone da un lato con un visore, il *Valve Index* (giugno 2019), basato sul ben noto sistema di tracciamento esterno tramite torrette a infrarossi (*sistema lighthouse*) capace di ridurre gli effetti di chinetosi e dall'altro con un sistema con tracciamento integrato nel recentissimo visore *HTC Vive Cosmos Elite* (marzo 2020).

Analizzando le principali caratteristiche tecniche dei visori di fascia alta più diffusi sul mercato è stato possibile elaborare una tabella comparativa (Tab.1), che ci permette di comprendere e riassumere in alcuni elementi chiave il trend di

progettazione per entrambe le case produttrici: il continuo aumento della qualità grafica dei visori in termini di risoluzione, *refresh rate* e campo visivo (*Field of view* o *FOV*); una maggiore attenzione per l'impiego di sistemi wireless e di sensori sempre più precisi e distribuiti per il tracciamento del movimento corporeo quali giroscopi, accelerometri e magnetometri; progettazione di dispositivi sempre più portabili ed economici grazie all'introduzione di sistemi *stand-alone*. Tutti questi elementi, in accordo con il lavoro di Slater (2009), concorrono a determinare la maggiore qualità dell'esperienza VR.

Tabella 1. Tabella comparativa dei visori HMD di fascia alta.

NOME	PlayStation VR	Oculus RIFT S	Oculus Quest	Valve Index	HTC Vive Cosmos Elite
<b>SVILUPPATO DA</b>	Sony ottobre 2016	Oculus VR marzo 2019	Oculus VR maggio 2019	Valve Corporation giugno 2019	Valve Corporation marzo 2020
<b>COSTO</b>	399\$	399,99\$	399,99\$	999\$	900\$
<b>PESO</b>	610gr	500gr	571gr	809gr	665gr
<b>SCHERMO</b>	Lenti OLED risoluzione 960x1080 90-120 Hz 100° FOV	Lenti Fast-switch LCD risoluzione 1280x1440 80 Hz 115° FOV	Lenti PenTile OLED risoluzione 1440 x 1600 60-90 Hz 90° FOV	Lenti LCD Risoluzione 1440x1600 80 -144 Hz 130° FOV	Lenti LCD risoluzione 1440x1700 90 Hz 110° FOV
<b>AUDIO</b>	Non integrato	2 Speaker stereo integrati	2 speaker stereo integrati	Cuffie stereo integrate	Cuffie stereo integrate
<b>TRACCIAMENTO</b>	Attraverso via PlayStation Camera con 9 LED	6DOF integrato nel dispositivo attraverso 5 telecamere	6DOF integrato nel dispositivo attraverso 4 telecamere	6DOF Attraverso sistema di tipo Lighthouse con minimo 2 stazioni	6 DOF Integrato nel dispositivo attraverso 6 telecamere
<b>CONTROLLER</b>	PlayStation Move, Dual Shock 4	Oculus Touch	Oculus Touch	Valve Index, HTC Vive e HTC Vive Pro	HTC Vive, HTC Vive Pro e Valve Index
<b>SISTEMI SUPPORTATI</b>	Play Station e PlayStation Camera	Microsoft Windows 7 SP1 o più recente, MacOS, Linux, Android,	Sistema operativo integrato	Windows 10, SteamOS, Linux	Windows 10

		Samsung			
<b>CONFIGURAZIONE MINIMA RICHIESTA</b>	Può essere adoperato solo con la PlayStation	Scheda video NVIDIA GTX 1050Ti o AMD Radeon RX 470, CPU Intel i3-6100 o AMD Ryzen 3 1200, FX4350, 8 GB di RAM	Può essere adoperato solo attraverso il proprio sistema operativo	Scheda video Nvidia GeForce GTX 970 o AMD RX480, CPU Dual Core with Hyper-Threading, 8 GB di RAM	Scheda video NVIDIA GeForce GTX 970 4GB o AMD Radeon R9 290 4GB, CPU Intel Core i5-4590 o AMD FX 8350, 4 GB di RAM o più

### 1.5.2 Sistemi software

I programmi di sviluppo software, più comunemente noti come *game engines*, altro non sono che degli strumenti di progettazione e sviluppo che aziende o singoli utenti possono adoperare per creare, tramite specifici linguaggi di programmazione (principalmente *C*, *C++*, *Swift* o *C#*), ambienti e contenuti virtuali in *2D* o *3D* per il gioco, l'apprendimento o la ricerca.

Petridis e colleghi (2012) identificano 6 requisiti essenziali che un *game engines* deve possedere per essere adoperato nell'ambito della creazione di *serious applications* (simulazioni, *serious gaming*):

- Fedeltà audio-visiva: permette di garantire alti livelli di immersione, presenza, coinvolgimento e apprendimento;
- Fedeltà funzionale: possibilità di ricreare interazioni realistiche con oggetti e ambienti;
- Componibilità: possibilità di riutilizzare e adattare gli ambienti progettati;
- Accessibilità: offrire un'interfaccia d'uso facile;
- Networking: possibilità di connettere più persone nell'esperienza;
- Eterogeneità: possibilità di condividere facilmente ciò che si è sviluppato su altre piattaforme e sistemi operativi;

Sul mercato attuale esistono centinaia di *game engines* ma quelli che maggiormente soddisfano questi parametri sono sicuramente *Unreal Engine* e *Unity*, come mostrato

anche dal grafico di Checa e Bustillo (2020) relativo ai più popolari programmi di sviluppo adoperati nell'ambito dei *serious games* per la VR (Fig.11).

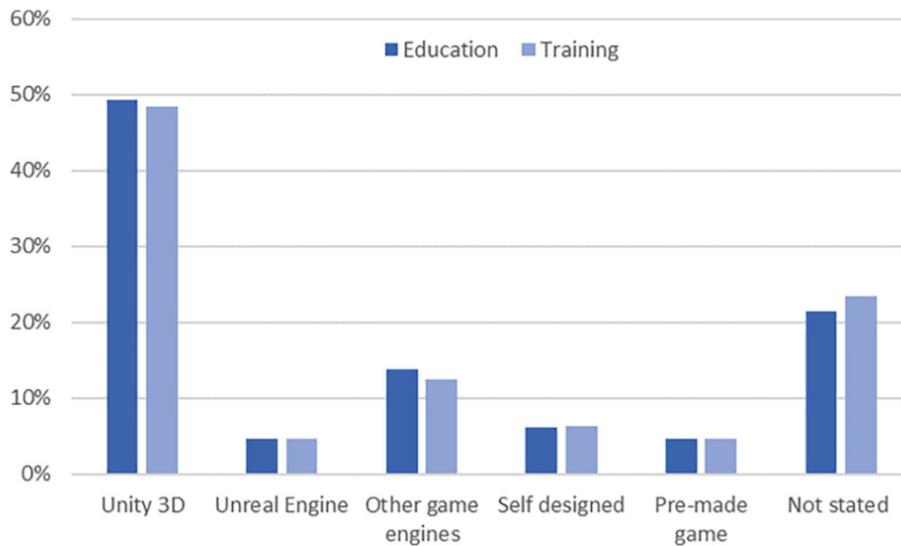


Fig. 11 Game engines più usati per soluzioni di serious gaming in VR (fonte Checa et al., 2019)

Entrambi i programmi di sviluppo si basano sul linguaggio di programmazione orientato agli oggetti *C++* (*Unity* utilizza *c#* per le attività di *scripting*), ritenuto estremamente efficiente e adatto per applicazioni altamente performanti. Inoltre, entrambi sono gratuiti a particolari condizioni e sono stati adoperati anche da grandi aziende produttrici di videogames come la *Electronic Arts* o la *Ubisoft*.

*Unity* in particolare è un ambiente di sviluppo multiplatforma, che permette cioè di sviluppare per sistemi desktop *Microsoft*, *Mac* e *Linux*, per diversi dispositivi VR (*Oculus Rift*, *Gear Vr*, *HTC Vive*, *Google Daydream* e altri *cardboard*), console (*Nintendo*, *Playstation* e *Xbox*), tablet e smartphone ed è ritenuto un programma di sviluppo adoperabile anche da programmatori inesperti perché caratterizzato da numerose librerie con funzioni, tutorial e altri dati di programmazione (come ad esempio *plugins* grafici) che rendono la progettazione meno complicata, permettendo così di risparmiare tempo nella scrittura del codice.

I *game engines* citati permettono di progettare e realizzare qualsiasi elemento utile per la creazione di un mondo/ambiente virtuale grazie alla presenza di diversi moduli:

- Modulo grafico - permette di progettare la grafica di oggetti *2D* o *3D* incluse le librerie per la mappatura di *texture*, ombre, luci e *human modeling*;
- Modulo fisico - permette di attribuire leggi fisiche agli oggetti (come la gravità o la fisica di un oggetto che si rompe);
- Modulo di rilevamento delle collisioni - permette di progettare le azioni che intercorrono quando due oggetti collidono nonché il movimento e le interazioni tra oggetti e avatar;
- Modulo di Input/Output - si occupa di integrare i diversi dispositivi di input e output nel motore *3D* come i sensori che tracciano i movimenti;
- Modulo di suono - permette di creare gli effetti sonori di ambienti e oggetti, e di gestire il loro posizionamento nello spazio;
- Modulo di Intelligenza Artificiale - risolve aspetti legati al comportamento autonomo degli oggetti nell'ambiente come ad esempio simulare il comportamento di un *computer-avatar*;
- Modulo di Networking - si occupa di creare elementi che permettono la condivisione dell'esperienza *VR* in tempo reale tra computer e server (ad esempio attraverso le *chat* o il *voip*);

Tali funzionalità possono poi essere estese attraverso l'uso di appositi moduli aggiuntivi o lo sviluppo software dedicato.

## **Capitolo 2: Lo studio della realtà virtuale in ambito di ricerca e applicativo**

La ricerca ha cominciato ad interessarsi agli ambienti virtuali intorno agli anni 90, circa 20 anni dopo lo sviluppo della prima tecnologia software ad opera dell'*Architecture Machine Group* del *MIT* denominata *Aspen Movie Map* (1977) e successivamente al lancio di *CAVE*, il primo sistema hardware capace di fornire una maggiore libertà di movimento fisico e quindi una maggiore interattività e immersività nella fruizione di un ambiente virtuale (Cruz-Neira et al., 1992). Da allora, diverse ricerche sono state realizzate utilizzando ed esplorando le diverse forme di *VR* che via via si affacciavano sul mercato, trovando applicazione in diversi campi che vanno dalla medicina alla psicologia passando per l'istruzione e l'intrattenimento.

### *2.1 Studi sulla percezione, la rappresentazione spaziale e la navigazione spaziale*

Diversi ambienti virtuali sono stati sviluppati in ambito accademico principalmente allo scopo di creare spazi virtuali multimediali per l'apprendimento, l'insegnamento e la ricerca sperimentale e per creare simulazioni di addestramento professionale realistiche che potessero essere esplorate e manipolate in modo sicuro ed economico. Fin da subito due sono stati gli interrogativi più importanti a cui dare risposta per accreditare tali forme di simulazione come il nuovo supporto all'educazione e all'apprendimento dell'epoca moderna: come le persone percepiscono negli ambienti virtuali? esistono delle congruenze tra percezione nel mondo reale e percezione negli ambienti virtuali?

Testando i principali paradigmi percettivi in ambiente virtuale emersero numerose similitudini tra percezione reale e virtuale per ciò che concerne le modalità di lettura dello spazio e degli oggetti, come dimostra l'esperimento di Regia-Corte e colleghi (2010) in cui veniva chiesto ai soggetti di identificare su quale dei piani inclinati virtuali osservati ritenessero di poter stare in equilibrio, dimostrando come la scelta fosse determinata considerando la frizione come frutto della combinazione di due elementi salienti quali l'ampiezza dell'angolo della tavola virtuale inclinata e il diverso tipo di *texture* (ghiaccio o legno) della stessa. Esattamente come accade nel mondo reale l'azione era ritenuta possibile solo se la percezione delle condizioni lo permetteva, percezione determinata dalle caratteristiche (*affordances*) offerte dal mondo circostante e dai suoi oggetti.

Nel reale il legame tra percezione, azione e cognizione è possibile proprio grazie al fatto di possedere un corpo capace in termini di funzioni percettive e motorie e soprattutto dal tipo di esperienze che tale corpo ha avuto la possibilità di compiere (Iverson e Thelen, 1999) cosa che è stato possibile rilevare anche negli ambienti VR, dimostrando ad esempio come ad un corpo con determinate caratteristiche competano percezioni diverse. Nell'esperimento di Banakoua e colleghi (2013) infatti, alcuni soggetti esperimentarono il medesimo ambiente virtuale assegnati a corpi differenti: il gruppo assegnato ad un corpo virtuale delle proporzioni di un bambino di 4 anni mostrò di sovrastimare la dimensione degli oggetti e manifestò tempi di reazione significativamente più bassi per la classificazione di sé come "bambini" se confrontato con il gruppo che esperiva invece l'ambiente senza un corpo virtuale. Ciò permise di dimostrare non solo la correlazione percettiva tra corpo e lettura dell'ambiente ma anche importanti effetti in termini di *body ownership illusion* e di conseguenti comportamenti correlati a tale illusione.

Tali scoperte in ambito percettivo hanno portato allo sviluppo di numerosi ambienti VR pensati ad esempio per la riabilitazione a seguito di danni neurologici capaci di compromettere le capacità cognitive e motorie. Simulando ad esempio ambienti domestici in cui realizzare semplici attività quotidiane (quelle in cui spesso tali soggetti sembrano essere più deficitari) come la preparazione di un caffè, è stato

possibile non solo misurare oggettivamente il comportamento in ambienti impegnativi ed ecologicamente validi, ma anche mantenere uno stretto controllo sperimentale e delle condizioni di sicurezza nella valutazione di attività talvolta ritenute troppo rischiose da testare nel reale in soggetti con tali deficit, come cucinare o guidare (Besnard et al., 2015).

Ancora, alla realizzazione di ambienti per lo studio della navigazione spaziale, grazie alla costruzione di ambienti virtuali sempre nuovi e di dimensioni soddisfacenti all'atto esplorativo, così da risolvere il principale problema di validità sperimentale dovuto agli ambienti reali solitamente studiati (ad esempio quartieri o campus) che risultano spesso ben noti agli stessi soggetti coinvolti negli esperimenti. In tali ambienti virtuali è stato possibile ad esempio manipolare diversi *landmarks* per studiarne gli effetti sulla navigazione spaziale e le eventuali differenze che intercorrono tra soggetti con diverse capacità o caratteristiche, come accaduto nello studio di Sandstorm e colleghi (1998) che analizza le differenze che intercorrono tra maschi e femmine in relazione all'uso di diversi indizi distali durante la navigazione spaziale in ambienti sconosciuti. Studi di questo tipo hanno inoltre permesso la costruzione di ambienti per l'identificazione e valutazione di deficit cognitivi spaziali in disturbi come la depressione (Gould et al., 2007) o l'Alzheimer (Cushman et al., 2008) dal momento che sembrano esserci sostanziali similitudini tra i deficit di navigazione spaziale rilevati in ambienti reali e quelli rilevati in ambienti virtuali.

## 2.2 VR e Psicologia

Le possibilità che tali ambienti offrono agli sviluppatori in termini di realismo e controllo delle variabili, unitamente alla possibilità di creare situazioni nuove capaci di travalicare gli stessi limiti della realtà per sperimentare paradigmi altrimenti impossibili (Slater e Sanchez-Vives, 2016), ha permesso alla VR di tradursi come un interessante strumento per la ricerca sperimentale e la pratica psicologica, capace di ridurre problemi etici e di validità ecologica e di indurre interessanti effetti legati all'incarnazione in un corpo virtuale.

Come riportato da Yee e Bailenson (2007) il senso di possesso che si sviluppa nei confronti dell'avatar impersonato all'interno di un ambiente virtuale è tale da indurre nei soggetti importanti modificazioni comportamentali che appaiono indipendenti da ciò che essi stessi suppongono gli altri interlocutori presenti abbiano elaborato (conferma sociale). I due ricercatori hanno infatti dimostrato come i soggetti costruiscono un'interpretazione dei possibili comportamenti che il proprio avatar può agire legata al come caratteristiche dell'avatar quali aspetto, genere, età o persino l'abbigliamento possono venire lette dagli altri soggetti presenti nel medesimo ambiente. Ciò comportava ad esempio che un soggetto incarnato in un alter ego virtuale visivamente attraente tendeva ad avvicinarsi maggiormente al proprio interlocutore durante una conversazione, più di quanto non facesse un soggetto incarnato in un alter ego meno attraente, e questo sebbene l'interlocutore fosse inconsapevole di tale caratteristica dal momento che il viso che aveva di fronte appariva completamente sfumato.

Questa interessante scoperta, definita *Proteus Effect*, unitamente ai fenomeni di immersione e presenza si è concretizzata in diversi esperimenti e applicativi sia nell'ambito della Psicologia Sociale che nell'ambito della Psicologia Clinica.

### 2.2.1 *Perspective-taking in VR*

Il *perspective-taking* è una tecnica comunemente usata nell'ambito della Psicologia Sociale per la riduzione di fenomeni come stereotipi negativi e pregiudizi: attraverso il gioco di ruolo le persone possono essere per così dire “trasportate” nei panni e quindi nella mente dell'altro, sperimentando così nei suoi confronti una maggiore empatia. Con la VR tale trasporto nella mente dell'altro viene notevolmente amplificato, dal momento che l'incarnazione nell'avatar virtuale è in grado di indurre nel soggetto che la sperimenta una forte illusione di possesso, configurando la VR come una “macchina dell'empatia definitiva”, capace di rendere le persone migliori (Christofi e Michael-Grigoriou, 2017).

Utilizzando simulazioni di situazioni reali in cui i soggetti erano chiamati ad interagire con altri *avatar-umani* (esseri umani virtuali controllati da esseri umani reali) o *computer-avatar* (esseri umani virtuali controllati dal computer) è stato possibile studiare aspetti come la prossemica, l'inibizione e la facilitazione sociale o ancora la conformità e il confronto sociale (Blascovich et al., 2002).

Tra gli esempi più interessanti in tal senso, possiamo citare l'esperimento effettuato da Maister e colleghi (2013) in cui impiegando il paradigma della *Rubber Hand Illusion*, hanno fornito una stimolazione multisensoriale ad un gruppo di soggetti caucasici di pelle chiara per indurre la sensazione che una mano dalla pelle scura appartenesse loro. L'ipotesi da valutare era relativa al fatto se tale sensazione potesse cambiare i pregiudizi razziali impliciti nei confronti delle persone con la pelle scura. Attraverso due sessioni sperimentali fu possibile dimostrare come ad una più intensa illusione di possesso sulla mano di gomma scura, coincida un più positivo atteggiamento razziale implicito, suggerendo quindi come attraverso l'induzione di una sovrapposizione tra il proprio corpo e quello degli altri fosse possibile cambiare e ridurre gli atteggiamenti impliciti negativi nei confronti dell'outgroup.

Altri esperimenti hanno cercato di verificare l'illusione di possesso non solo su singole parti corporee ma su un corpo nella sua interezza e con caratteristiche assai diverse dal corpo attuale come accaduto ad esempio nello studio di Hershfield e colleghi (2011). In tale esperimento fu possibile ad esempio incoraggiare le persone a fare scelte più orientate al futuro, come un'alimentazione più sana o una maggiore attività fisica, portandole ad interagire con rappresentazioni di loro stesse in età avanzata. O ancora Rosenberg e colleghi (2013) studiarono gli effetti sul comportamento legati alla percezione di possesso di capacità corporee fuori dall'ordinario. Nel loro esperimento infatti, alcuni soggetti erano assegnati a due gruppi: uno possedeva il potere del "super volo", mentre l'altro aveva la possibilità di pilotare un elicottero. I gruppi così formati erano poi ulteriormente suddivisi in due diverse attività quali l'esplorazione della città o una missione di salvataggio. I soggetti con il potere, a prescindere dall'attività intrapresa si dimostrarono molto più predisposti ad aiutare lo sperimentatore a raccogliere le penne che egli lasciava

all'apparenza accidentalmente cadere sul pavimento, rispetto ai soggetti assegnati al gruppo che per le proprie attività aveva adoperato l'elicottero. I risultati indicano come la percezione, seppur virtuale, di possedere un superpotere come il volo sia così forte da innescare nella mente del soggetto concetti e archetipi legati ai super eroi capaci di potenziarne i comportamenti pro-sociali nel mondo reale.

### 2.2.2 Ambienti virtuali per la terapia

L'opportunità di ricreare scenari verosimili, come ad esempio un evento pubblico in cui parlare davanti ad una platea capace di mostrare diversi gradi di risposta comportamentale a quanto viene riferito (Pertaub et al., 2002); di combinare elementi virtuali con elementi reali per aumentare la percezione fisica, usando ad esempio una replica di una tarantola come controparte reale di una tarantola virtuale con cui interagire in un percorso di desensibilizzazione sistemica (Carlin et al., 1997) o ancora le possibilità di *perspective-taking* offerte dall'incarnare avatar molto lontani dal proprio corpo, come un criminale di violenza domestica di sesso maschile nel corpo di una vittima femminile (Seinfeld et al., 2018), hanno permesso un uso efficace della VR nell'ambito della terapia psicologica di tipo cognitivo-comportamentale per il trattamento a lungo termine di disturbi quali ansia sociale, fobie o nel trattamento dei comportamenti devianti, il tutto senza esporre i pazienti a rischi diretti e superando le questioni etiche che normalmente possono insorgere negli esperimenti e nelle pratiche terapeutiche reali.

Ancora la possibilità di integrare diversi sistemi per la lettura degli stati fisiologici e affettivi del paziente, come ad esempio il tracciamento oculare o i sensori di posizione e movimento, hanno permesso di ottenere risultati interessanti nel trattamento del disturbo post traumatico da stress (*DPTS*), come riportato negli esperimenti effettuati su veterani del Vietnam (Rothbaum et al., 2001) o su soggetti sopravvissuti al disastro dell'11 Settembre (Difede e Hoffman, 2003), lavorando attraverso gradualità e controllati percorsi di desensibilizzazione virtuale che hanno prodotto risultati simili alle stesse terapie svolte in modo tradizionale.

Infine, la possibilità di adoperare *human avatar* e *computer avatar* ha permesso negli ultimi anni di realizzare diverse applicazioni in cui la *VR* è stata adoperata per l'intervento su soggetti con bisogni speciali. Ad esempio, come strumento per l'implementazione di attività tese al riconoscimento e alla gestione di abilità sociali ed emotive in soggetti affetti da Disturbi dello spettro autistico (*ASD*), ricreando situazioni realistiche di socializzazione come aule o parchi giochi in cui è possibile controllare, manipolare e adattare in tempo reale diversi elementi di interazione in base alle esigenze dei diversi soggetti coinvolti (Lorenzo et al., 2018). Le diverse abilità che possono essere apprese nella *VR* possono infatti essere facilmente trasferite nel mondo reale, soprattutto quanto più il mondo virtuale ricreato viene percepito come realistico e capace di immergere il soggetto. Così facendo è stato possibile ad esempio potenziare abilità di sicurezza in scenari di vita quotidiana come imparare ad attraversare sulle strisce pedonali in una strada trafficata (Tzanavari et al., 2015), o ancora insegnare a gestire un'emergenza ambientale a scuola come un tornado o un incendio (Self et al., 2007).

### 2.3 *VR e intrattenimento*

Il settore dell'intrattenimento è stato ed è ancora quello per cui sono state sviluppate nel tempo le maggiori applicazioni e che di fatto ha dettato il trend tecnologico, andando a contribuire allo sviluppo di dispositivi per la *VR* sempre più compatti, immersivi ed economici.

Oltre che per i classici videogames, la *VR* è stata adoperata per consentire alle persone di tutto il mondo di esperire virtualmente in modo interattivo di siti ed eventi storici e culturali. Questa nuova forma di turismo, resa possibile grazie alla digitalizzazione e al *rendering* di diversi siti, ha permesso di mostrare come avrebbero potuto apparire in passato (restaurandoli e/o popolandoli di avatar virtuali) o come potrebbero apparire in futuro, ad esempio in diversi scenari climatici come a seguito degli effetti del riscaldamento globale.

Tra gli esempi più interessanti di tali applicazioni ricordiamo quelle descritte da Gaitatzes e colleghi (2001), che tramite un sistema di tipo *CAVE* hanno permesso ai visitatori di un museo di ripercorrere le strade dell'antica città di Mileto, o l'applicazione sviluppata da Nim e colleghi (2016) in cui è stato possibile sperimentare le condizioni di salute della Grande Barriera Corallina attraverso una visita virtuale in cui le scelte quotidiane dei soggetti, influenzando la loro impronta ecologica, potevano andare a trasformare l'aspetto della barriera stessa.

In tal senso, queste soluzioni hanno permesso di preservare monumenti e siti archeologici di tutto il mondo per le generazioni future, e più recentemente ne hanno reso possibile la fruizione in modo sicuro durante la pandemia da Covid-19. Infatti, in un articolo apparso sul sito online del *National Geographic*, Valeriy Kondruk, amministratore delegato di *Ascape*, nota agenzia di viaggi *VR*, riportava un aumento di download delle applicazioni dalla propria piattaforma del 60% a dicembre 2019 e un raddoppio a gennaio 2020.

Proprio grazie alla sua capacità di supportare la comprensione di concetti complessi, coinvolgere le emozioni attraverso la manipolazione degli stimoli visivi, uditivi e tattili presentati all'utente e ispirare l'azione attraverso esperienze di cambiamento, è stato possibile usare la *VR* per generare nuove forme di giornalismo definito immersivo, in cui le persone possono sperimentare in prima persona eventi e situazioni descritti nelle news. L'obiettivo non è più esclusivamente la mera presentazione dei fatti, ma fornire alle persone una visione esperienziale e non analitica degli eventi, per dare loro l'illusione di essere presenti, come accaduto con l'esperimento di de la Pena e colleghi (2010), in cui tre soggetti, adoperando un visore *HMD* hanno potuto sperimentare un'esperienza di detenzione attraverso un avatar abbigliato con una tuta arancione, e posto in una posizione di stress simile a quelle adoperate per forzare un interrogatorio. I partecipanti potevano vedere il proprio corpo virtuale riflesso in uno specchio posto nella cella e sentire dei suoni relativi ad un cruento interrogatorio che stava avvenendo nella cella adiacente. Sebbene i soggetti fossero comodamente seduti su una sedia nel mondo reale tutti e tre riferirono l'esperienza come disagiata e dolorosa e pur non avendo alcun

riferimento relativo all'evento che stavano vivendo tutti riportarono di aver avuto la sensazione di trovarsi in posto molto simile a Guantanamo, la celebre prigione i cui abusi erano stati recentemente riportati alla pubblica attenzione dai media.

Sfruttando dinamiche e meccaniche mutuatae dal mondo del *gaming* (competizione, status sociale, compensi e successo) è stato possibile inoltre rendere più intrigante l'attività fisica con la *VR*, combinando ad esempio una normale sessione di tapis roulant o di cyclette con l'esperienza immersiva di una corsa sulla Grande Muraglia Cinese o di partecipare ad una gara ciclistica, in cui la presenza di competitori virtuali ha l'effetto di potenziare la motivazione all'attività fisica, specialmente in soggetti che per la loro salute devono allenarsi quotidianamente, come anziani (Anderson\_Hanley et al., 2011) o giovani obesi (Guixeres et al., 2013; Baños et al., 2016).

## *2.4 Ambienti virtuali per l'apprendimento*

In psicologia l'apprendimento è inteso come quel processo di cambiamento relativamente permanente nel comportamento di una persona generato dall'esperienza (Feldman et al., 2017). Attraverso l'apprendimento le persone acquisiscono o modificano le proprie capacità, abilità, conoscenze o comportamenti attraverso diverse forme di pratica o esperienza diretta, attraverso lo studio, l'osservazione, il ragionamento o l'istruzione (Schunk, 1991).

Il termine istruzione infatti si riferisce generalmente a quel processo di facilitazione dell'apprendimento, dell'acquisizione di conoscenze, abilità o valori positivi che ha come obiettivo principale la preparazione degli studenti alla vita, al lavoro e alla cittadinanza attraverso la formazione di conoscenze e abilità ritenute necessarie nella società (Gutmann e Ben-Porath, 2014).

Per conseguire questi obiettivi molte istituzioni educative in tutto il mondo stanno progressivamente introducendo nuovi strumenti tecnologici capaci di aiutare a

soddisfare le sfide educative moderne e le esigenze di diverse popolazioni di studenti. I libri tradizionali vengono sostituiti da contenuti didattici digitali, specialmente di tipo *open source*. Notebook, tablet o smartphone con applicazioni dedicate hanno sostituito i classici quaderni. L'apprendimento a distanza e personalizzato vengono utilizzati per adattare l'istruzione ai punti di forza, debolezza, preferenze e obiettivi accademici di ogni studente. La ludicizzazione dei contenuti e delle modalità di insegnamento ha sdoganato l'uso dei videogiochi nella didattica.

In questo scenario così eterogeneo la realtà virtuale viene a configurarsi come un potente strumento, capace di facilitare i processi di apprendimento e insegnamento. La possibilità di vedere il proprio corpo virtuale in soggettiva attraverso il visore, di vederlo riflettersi in uno specchio e muoversi in modo sincrono al corpo reale sono gli elementi di stimolazione multisensoriale che permettono di creare e rafforzare l'illusione di presenza e possesso. Tale illusione, come accade nel mondo reale, configura il nuovo corpo virtuale come la misura con cui è possibile valutare le *affordance* degli stimoli che l'ambiente offre, non solo in termini di mera lettura spaziale (dimensioni, distanze) e d'uso ma anche in termini di conoscenze, attraverso una sorta di *embodied cognition* che grazie alle azioni di esplorazione e manipolazione diretta e alle rappresentazioni fisiche facilita la comprensione concettuale (Lindgren et al., 2016).

L'aumento di interattività nell'apprendimento è comunemente considerato una necessità: Barker (1994) considera ad esempio l'interattività nell'apprendimento come un meccanismo necessario e fondamentale per l'acquisizione della conoscenza e per lo sviluppo sia di abilità fisiche che cognitive, mentre Dewey (1966) sostenendo l'ottica costruttivista, ritiene come gli studenti debbano attivamente "costruire" la conoscenza estraendola da esperienze che hanno significato e importanza per loro, testando idee e concetti e integrando ciò che di nuovo viene appreso con costrutti ed esperienze preesistenti; e non da ultimo, Piaget (2013), noto per la sua teoria dello sviluppo psicologico dei bambini, credeva nel ruolo dell'azione e dell'attività spontanea nello sviluppo delle strutture cognitive, soprattutto attraverso

il gioco, strumento elettivo per unire immaginazione e intelletto in più di un modo e per aiutare i bambini a scoprire le cose al loro ritmo.

La VR non ha però solo il grande vantaggio di supportare l'apprendimento grazie all'azione e al gioco (Roussou, 2004), essa è infatti capace di offrire la possibilità di trasformare l'astratto in tangibile, dando struttura e rappresentazione metafisica a idee e concetti anche particolarmente complessi come quelli appartenenti al mondo della matematica o della fisica (Dalgarno e Lee, 2008; Minocha et al., 2017) permettendone una migliore comprensione. È capace di indurre un maggiore coinvolgimento e motivazione nei suoi utilizzatori (Dillenbourg et al., 2002) grazie alla capacità di condividere e collaborare all'esperienza di apprendimento con individui non solo lontani nello spazio ma anche diversi per cultura ed esperienza. Permette di visitare luoghi lontani o pericolosi e addirittura di ribaltare le regole fisiche e sociali ricreando spazi perfettamente calzanti alle necessità di ogni singolo studente (Bailenson et al., 2008; Lau e Lee, 2015).

Tutto ciò ha determinato nel tempo il fiorire di numerosi ambienti virtuali per l'apprendimento (*Virtual learning environment* o *VLE*) di contenuti specifici attraverso la realtà virtuale, di cui a seguire parleremo nel dettaglio.

#### *2.4.1 VLE per il training professionale*

Tra i settori professionali che hanno tratto vantaggio da percorsi di formazione e training in VR possiamo sicuramente menzionare il settore militare, l'industria aerospaziale, chimica e manifatturiera e il settore medico-sanitario.

Fin dagli albori, la VR è stata considerata uno strumento indispensabile per la formazione militare grazie all'uso di campi di battaglia virtuali per l'addestramento militare o medico e grazie all'uso di simulatori di volo o di veicoli, capaci di preparare i soldati a situazioni estremamente pericolose in assoluta sicurezza e di consentire loro di imparare a reagire nei modi più appropriati a diverse circostanze proposte, adattando ad esse le nuove tecniche e abilità apprese (Lele, 2011). In tale

settore inoltre la *VR* è stata utilizzata con successo per il trattamento del Disturbo da stress post-traumatico, aiutando i veterani a adattarsi alla vita normale (Rothbaum et al., 2001) o per insegnare ai soldati diverse importanti *soft skills* quali le capacità comunicative con i civili nelle zone di guerra o la leadership (Gordon et al., 2004).

Per ciò che concerne l'industria la *VR* è stata ed è tutt'ora ampiamente utilizzata nei processi di sviluppo dei prodotti attraverso la creazione di prototipi virtuali, capaci di riprodurre in modo realistico il comportamento del prodotto da qualsiasi punto di vista così da apprezzare non solo l'estetica prima della commercializzazione, ma anche per individuare eventuali difetti di progettazione prima della realizzazione del prototipo fisico. Così facendo è stata adoperata per eseguire diverse analisi di tipo tecnico come la raggiungibilità delle parti, il cablaggio, la progettazione o l'assemblaggio (Bruno et al., 2009). Inoltre, l'uso di scenari virtuali controllati si è rivelato un valido strumento per la formazione del nuovo personale e per la formazione continua relativamente alle operazioni di assemblaggio di prodotti, manutenzione e riparazione di impianti industriali. Specialmente in tutte quelle situazioni di emergenza, che richiedono un'azione immediata per ridurre i danni psicologici, fisici e materiali la *VR* ha permesso di progettare ambienti di lavoro più sicuri, promuovendo una migliore interazione tra uomo e tecnologia e tra gli uomini nell'ambiente di lavoro (Shamsuzzoha et al., 2019).

Ultimo ma non meno importante è il settore medico-sanitario, che ad oggi risulta essere il settore professionale che maggiormente ha beneficiato del training attraverso la *VR*, specialmente per ciò che riguarda la formazione chirurgica. La visualizzazione del corpo umano da una prospettiva immersiva può fornire agli studenti di medicina una comprensione dell'anatomia senza precedenti, permettendo loro di esplorare gli organi da scala micro a macro. Inoltre, modelli dinamici immersivi dei processi corporei in condizioni fisiologiche e patologiche porterebbero a un'esperienza di "medicina immersiva" altamente formativa, specialmente combinando l'uso della *VR* con interfacce di tipo tattile, attività che sta portando a risultati interessanti sia per la formazione neurochirurgica in pratiche altamente rischiose e delicate come l'inserimento di cateteri per ventricolostomia (Alaraj et al.,

2011) che per la chirurgia endoscopica ed endovascolare (Dongen et al., 2011). Ciò ha permesso tra le altre cose di superare le preoccupazioni legali ed etiche legate alla sicurezza dei pazienti, le restrizioni settimanali di lavoro previste per il personale medico ed il costo delle sale operatorie. Recenti studi hanno evidenziato inoltre come la VR si sia tradotta in un valido strumento di telemedicina per fronteggiare la recente emergenza sanitaria permettendo non solo di proseguire la formazione dei medici a distanza ma anche di dare vita ad una nuova modalità per la cura del paziente e per la sua educazione in relazione alla malattia (Singh et al., 2020).

#### 2.4.2 VLE per la didattica scolastica

Data la recente commerciabilità di dispositivi per la realtà virtuale, aumentata e mista, ed il fiorire di numerosi ambienti software per l'insegnamento e l'apprendimento (*Virtual learning environments* o *VLE*) più o meno immersivi o ludicizzati, è evidente come la ricerca negli ultimi anni si sia concentrata sul cercare di delineare luci e ombre della loro applicazione a supporto della didattica tradizionale.

Per ciò che concerne i *VLE* di tipo immersivo o aumentato, come mostrano le tabelle riportate qui sotto (Fig. 12 e 13), la maggior parte degli studi riguarda principalmente l'applicazione di tali tecnologie nell'ambito dell'istruzione superiore (scuole superiori e università) e sebbene siano ancora scarsi gli studi longitudinali relativi agli effetti che potrebbero essere indotti da prolungate e ripetute esperienze di immersione, si sono rivelati promettenti specialmente nel loro utilizzo per l'apprendimento di discipline appartenenti al gruppo *STEM* (acronimo per *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) come la matematica o le scienze naturali specialmente per ciò che riguarda un approccio all'apprendimento di tipo costruttivista, in cui cioè gli studenti apprendono attraverso processi di esperienza attiva capaci di favorire l'uso e lo sviluppo di importanti abilità quali il pensiero critico, il problem solving o la creatività (Tovar et al., 2020).

	<b>Garzon &amp; Acevedo (2019)</b>	<b>Hedberg, et al. (2018)</b>	<b>Akçayır &amp; Akçayır (2017)</b>
<b>Early childhood education (K)</b>	0	6	1
<b>Primary education (grades 1-6)</b>	19	18	35
<b>Secondary education (7-12)</b>	25	17	
<b>Higher education</b>	20	34	19
<b>Adult education</b>	NA	NA	7
<b>NA</b>	NA	2	6

Fig. 12 Distribuzione di studi in AR in base al livello di educazione (fonte Tovar et al., 2020).

	<b>Kavanagh et al. (2017)</b>	<b>Merchant et al., (2014)</b>
<b>Early childhood education (K)</b>	4	NA
<b>Primary education (grades 1-6)</b>	6	8
<b>Secondary education (grades 7-12)</b>	9	24
<b>Higher education</b>	52	35
<b>Other (e.g., museums, general tools)</b>	21	NA

Fig. 13 Distribuzione di studi in VR in base al livello di educazione (fonte Tovar et al., 2020)

Grazie all'uso delle simulazioni gli studenti possono esplorare da soli o in gruppo diversi scenari e oggetti di studio in ambienti di realtà virtuale immersiva o aumentata più o meno realistici, e rispondere a diversi quesiti di studio come accaduto nello studio di Chang e colleghi (2015) in cui un gruppo di studenti adoperando un'applicazione in AR per valutare l'impatto di un disastro nucleare sull'ambiente, ha cercato e misurato gli oggetti radioattivi contaminati dal disastro avvenuto in un impianto nucleare sito vicino alla scuola, guadagnando così conoscenze relative a concetti come radiazioni, inquinamento nucleare o bio-

magnificazione; o ancora nello studio di Gordon e colleghi (2019) in cui utilizzando ambienti *VR* per presentare situazioni realistiche ed interattive, come fare la spesa al supermercato o praticare uno sport, è stato possibile rafforzare la connessione tra sistemi linguistici e motori degli studenti nell'apprendimento di una seconda lingua.

La *VR* nel tempo non ha solo ridefinito l'attività di laboratorio e cambiato la natura dei viaggi studio, essa ha trovato applicazione anche come valido strumento per la formazione degli insegnanti attraverso la predisposizione di aule virtuali che gli insegnanti possono imparare ad organizzare. Ad esempio, usando il feedback di studenti virtuali appositamente programmati per comprendere come fornire ad ogni studente il giusto livello di attenzione/contatto visivo o per comprendere come l'attività di studenti virtuali modello o disturbanti possa incidere sulla qualità della lezione tenuta (Bailenson et al., 2008).

Tali ambienti possono inoltre concorrere ad aumentare la consapevolezza degli educatori rispetto alle diverse esperienze cognitive, sensoriali ed emotive che gli studenti possono vivere nelle diverse fasi dello sviluppo, come accaduto nell'esperimento di Passig e colleghi (2001) in cui grazie ad un ambiente virtuale alcuni insegnanti di asilo nido hanno potuto vivere le esperienze dei primi giorni in struttura nei panni di bambini di due anni.

Sebbene non vi sia ancora unanimità sulla maggiore efficacia dell'uso della *VR* rispetto a metodiche di insegnamento più tradizionali in termini di migliori risultati e prestazioni, sono invece ormai assodate, attraverso l'analisi di diverse revisioni sistematiche, le reali possibilità di trasferimento delle conoscenze apprese in *VR* al mondo reale e i benefici nel loro uso, in termini di aumento della motivazione e del coinvolgimento nelle attività didattiche. Tali benefici appaiono dovuti principalmente ad alcune peculiari caratteristiche della *VR*, come l'uso di immagini *3D* per esplorare nuove idee, visualizzare e comprendere concetti intangibili; l'integrazione di diverse modalità e materiali di apprendimento (scrittura, video, stimoli sonori, manipolazioni); e di realizzare un apprendimento attivo e partecipativo (Akçayır e Akçayır, 2017; Checa e Bustillo, 2020; Radiani et al., 2020).

Recenti studi hanno inoltre dimostrato come la *VR* possa configurarsi anche come un valido strumento per affrontare gli effetti del distanziamento sociale dovuti ad esempio al passaggio mondiale alla didattica a distanza in scuole e università. Durante il periodo della pandemia da Covid-19 la necessità di proseguire la didattica in remoto ha comportato infatti un progressivo aumento nell'uso delle più svariate tecnologie dell'informazione e comunicazione come *Zoom*, *Skype*, *Twitch* e in alcuni casi anche di *VLE* che permettono di realizzare classi in realtà virtuale fruibili tramite *HMD* come accaduto nell'esperimento di Yoshimura e Borst (2020). Utilizzando la piattaforma *Mozilla Hubs* è stato possibile permettere a 13 studenti di seguire delle lezioni in una classe virtuale, guidati da un istruttore, percependo buoni livelli di presenza e compresenza con il gruppo classe. Allo stesso modo Won e colleghi (2020) hanno rilevato come 24 studenti universitari, sottoposti a diversi strumenti di didattica a distanza, riferivano di essersi sentiti socialmente più connessi ai propri compagni seguendo un ciclo di lezioni attraverso un mondo virtuale, come *Second Life* o *Mozilla Hubs*, rispetto a *Zoom*, soprattutto grazie alla possibilità che tali piattaforme erano in grado di offrire in termini di interazione tramite avatar, cosa che ha anche permesso agli studenti di sentirsi più coinvolti nei contenuti della lezione.

L'eventualità di nuove e protratte crisi della mobilità in futuro sta quindi dando vita ad una nuova era di studi e applicazioni relativi alla *Extended Reality (XR)* in molteplici ambiti e soprattutto in quello educativo, tesi a comprendere come migliorare le esperienze di immersione, presenza ed interattività che in essi è possibile sperimentare. I limiti dell'esperienza sociale determinati dall'uso di applicazioni come *Zoom* o *Teams* sono evidenti mentre le potenzialità delle interazioni via avatar sono ancora tutte da scoprire e potenziare grazie anche ai numerosi ambienti virtuali per la collaborazione e la socializzazione che sono fioriti nel biennio 2019-2020 come ad esempio *SPACES*, *rumii* o *MeetinVR* (Matthews et al., 2020).

*Parte seconda – La creazione del software*

*VirtuaLab*

## Capitolo 3: Creazione di un laboratorio virtuale immersivo

### 3.1 Premesse teoriche

Come illustrato nei paragrafi precedenti, uno dei campi su cui si è concentrato lo studio delle caratteristiche della realtà virtuale è stato quello della possibilità di utilizzo della VR in campo educativo, formativo e di training, sia scolastico che professionale. Le ricerche hanno evidenziato come siano molti i fattori che entrano in gioco in questo tipo di applicazioni, non solo fattori tecnici, ma anche fattori legati alla struttura cognitiva e percettiva di chi ne usufruisce, e diverse revisioni sistematiche (Lee, 1999; Mikropoulos e Natsis, 2011; Merchant et al., 2014) hanno negli anni ampiamente evidenziato punti di forza e debolezze dell'uso della realtà virtuale, specialmente per finalità educative e formative.

Uno dei maggiori limiti degli studi disponibili è di tipo prettamente tecnico, dal momento che sono ancora poche le ricerche sugli effetti dell'uso dei dispositivi più recenti sviluppati per la fruizione della realtà virtuale immersiva. La maggior parte degli studi scientifici analizzati dalle revisioni sistematiche è stata infatti effettuata adoperando primissime forme di visori *HMD*, spesso ingombranti e/o dalle limitate caratteristiche tecniche e dispositivi primitivi per la manipolazione degli oggetti, che risultano molto lontani per forma e risposta ai moderni *controller*, guanti o corpetti. Questo determinava per i soggetti testati una serie di effetti capaci di ridurre le esperienze di realismo e immersività, limitando inoltre la portata degli esperimenti che era possibile compiere in tali ambienti (Jensen e Konradsen, 2018; Hamilton et al., 2021).

Per individuare nuovi paradigmi di ricerca e per porre a verifica gli assunti fino ad oggi elaborati in relazione all'azione e cognizione umana in VR si rendono quindi necessarie ulteriori indagini e ricerche sperimentali che utilizzino i nuovi dispositivi presenti sul mercato. Indagini che dovrebbero coinvolgere la collaborazione di esperti provenienti da ambiti differenti, come ingegneri del software, ingegneri

elettronici ed esperti di scienze umane come psicologi, scienziati cognitivi e comportamentali, neuroscienziati e scienziati esperti di pedagogia e educazione.

Negli ultimi 50 anni, la Psicologia e le scienze delle tecnologie educative applicate all'ingegneria del software hanno permesso di migliorare le fasi di progettazione, sviluppo e valutazione delle tecnologie informatiche per l'apprendimento. Fornendo importanti contributi sul come le persone percepiscono, ricordano e risolvono problemi ed evidenziando l'importanza del considerare le differenze individuali e sociali durante l'interazione uomo-macchina, è stato possibile sviluppare sistemi software e hardware *user-friendly*, capaci di ridurre il carico cognitivo e gli errori, migliorare la memoria e l'apprendimento, aumentare la motivazione e la soddisfazione soggettiva.

Un approccio multidisciplinare di questo tipo sembra la strada per permettere di lavorare non solo alla comprensione della percezione e cognizione umana nei nuovi ambienti di realtà virtuale immersiva, ma anche alla creazione di linee guida per la realizzazione di ambienti specifici per l'apprendimento e l'insegnamento da integrare nella didattica tradizionale delle nuove generazioni (Kamińska et al., 2019).

Il sistema educativo è un sistema in evoluzione da secoli. Si è sempre adattato alle tecnologie disponibili e alle esigenze degli studenti. La generazione che sta iniziando l'istruzione formale in questo momento è stata online per tutta la vita, immersa in un mondo digitale ritenuto importante e coinvolgente quanto quello reale. Sono i cosiddetti nativi digitali, la generazione Z, nata nel mondo dei telefoni cellulari e di Internet con il suo accesso immediato alle informazioni. Educare tale generazione è una sfida che richiede un approccio completamente diverso per massimizzare efficienza e coinvolgimento.

Proprio il coinvolgimento appare come uno degli aspetti chiave per innescare in tali generazioni processi di apprendimento efficace. Un coinvolgimento capace di sostenere la loro motivazione attraverso risposte di feedback, di riflessione e partecipazione attiva (Garris et al., 2002).

Nel prossimo futuro la sfida più interessante per i *designers* coinvolti nella creazione di ambienti virtuali di apprendimento sarà quella di trovare il giusto equilibrio tra usabilità (efficacia ed efficienza) e specifici risultati di apprendimento. Per realizzare ciò sarà necessaria la ridefinizione del processo di progettazione ponendo al centro il discente per soddisfarne più da vicino esigenze e capacità (de Freitas e Jarvis, 2006).

Tale design antropocentrico (*Human Centered Design* o *HCD*) potrebbe trarre grande vantaggio dallo studio degli elementi che caratterizzano gli ambienti di realtà virtuale in cui gli studenti/utenti si trovano ad agire. Elementi come le proprietà (*affordance*) attuali e percepite degli oggetti che permettono di capire quali azioni è possibile fare; i segni e i suoni (*significanti*) che suggeriscono dove è possibile compiere l'azione e come debba essere compiuta; i sistemi di feedback che permettono di comprendere quali combinazioni di azioni sono corrette per produrre l'output desiderato (Norman, 2019).

Le più recenti teorie di stampo interattivo-cognitivista suppongono che le rappresentazioni cognitive siano basate su contenuti percettivi che hanno origine nelle aree del cervello deputate alla percezione (udito e visione), azione (movimento, propriocezione) e introspezione (stati mentali e affetto) e quindi appaiono come delle esperienze fisiche multimodali schematizzate collocate in memoria (Borghi, 2002).

Questo enfatizza lo stretto legame che esiste tra percezione-azione e cognizione: il pensiero nasce e si sviluppa dall'interazione del corpo con l'ambiente dando vita a quella che viene definita come *embodied cognition*. Una cognizione che nasce e progredisce tramite l'esperienza e la percezione del mondo circostante e mediante l'azione su di esso e che dipende in modo cruciale dal possesso di un corpo capace in termini di funzioni percettive e motorie e dal tipo di esperienze che tale corpo ha avuto possibilità di compiere (Iverson e Thelen, 1999).

Nella realtà, quindi, le persone usano sé stesse come metro per leggere le proprietà di sostanza e di superficie degli oggetti così da poter con esse interagire (Grabarczyk e Pokropski, 2016), ma negli ambienti virtuali le proprietà percepite non

corrispondono necessariamente all'effettiva interattività dell'oggetto, dato che quest'ultima dipende da quanto definito nel software. Elementi come le *affordance* o i feedback potrebbero quindi non appartenere agli oggetti con cui ci si trova ad interagire o potrebbero legarsi ad essi in modo erroneo o fuorviante determinando una compromissione nella performance cognitiva e una compromissione in termini di presenza e realismo dell'esperienza virtuale.

Nelle esperienze educative in *VR*, una progettazione cognitivamente e fisicamente più ergonomica di tutti gli elementi presenti, e soprattutto degli elementi pedagogici di feedback e tutoring, avrebbe il vantaggio di aiutare gli studenti al corretto uso delle interfacce e permetterebbe loro di vedere i legami tra gli oggetti più velocemente, agendo come un saggio istruttore capace di calibrare la frustrazione del discente in modo produttivo, guardando, commentando, sottolineando le relazioni chiave al momento opportuno (Aldrich, 2009).

Proprio in relazione al design del feedback in ambienti *VR*, l'analisi dello stato dell'arte in letteratura rileva una mancanza di studi specifici, che ad esempio analizzano l'efficacia pedagogica in termini di qualità e velocità degli apprendimenti determinata da diversi elementi strutturali del feedback come tipo, contenuto, formato, frequenza e la loro combinazione (Rogers, 1951). Allo stesso modo è possibile rilevare una mancanza di studi che analizzano l'efficacia di diversi tipi di sistemi di istruzione (tutorial), capaci di combinare ad esempio diversi mezzi di comunicazione.

Per tali ragioni si è deciso di costruire un laboratorio sperimentale per la realtà virtuale immersiva, denominato *VirtuaLab (VLab)*, attraverso cui testare diverse combinazioni di variabili, ad iniziare da quelle connesse al sistema di feedback e di tutorial, per verificarne l'efficacia in relazione a finalità pedagogiche.

## 3.2 *Il software VirtuaLab*

Grazie alla stretta collaborazione tra il gruppo di sviluppo della società “Infora”, il Dipartimento di Psicologia dell’Università di Cagliari e lo Humanities, Social Sciences, and Communication Department della Lawrence Technological University di Detroit è stato possibile progettare un laboratorio virtuale 3D modulabile, capace di supportare le più recenti tecnologie per la realtà virtuale immersiva al fine di osservare, registrare e misurare diverse attività e comportamenti umani.

Nei prossimi paragrafi saranno illustrati i passaggi di sviluppo del software *VirtuaLab* (VLab) che ha rappresentato la base per lo sviluppo delle due versioni del software che sono state utilizzate nella parte empirica della ricerca. Le due versioni del software, da cui sono tratti anche gli esempi e le immagini che riportiamo nei paragrafi successivi, hanno visto il laboratorio modulabile configurato per rappresentare una cucina domestica, completamente esperibile in soggettiva attraverso un avatar personalizzabile.

### 3.2.1 *Metodologia di sviluppo*

Le attività di sviluppo per la creazione di *VirtuaLab* (VLab) sono state organizzate secondo il framework di programmazione *Agile* chiamato *Scrum*, che prevede il costante coinvolgimento dell’intero team di ricerca e sviluppo in tutte le fasi di disegno e realizzazione del software. In questo modo è stato possibile effettuare rilasci molto frequenti di semilavorati che hanno consentito di valutare costantemente l’avanzamento del software, così da apportare progressive correzioni o modifiche prima del rilascio della versione definitiva (Schwaber e Sutherland, 2017).

Schematizzando il modello di iterazione da noi adoperato è possibile identificare i seguenti momenti:

- Pianificazione e definizione dell’ambito - partendo dall’analisi dello stato dell’arte sulla VR e sulle sue principali applicazioni nell’ambito dell’apprendimento e del training è stato possibile valutare le caratteristiche

ed i vincoli dell'ambiente software che ci si prefiggeva di sviluppare. In tale fase è stato fondamentale anche delineare le prime ipotesi di ricerca e il protocollo sperimentale;

- Definizione e priorità - tramite riunioni periodiche sono stati definiti i requisiti principali del software e le priorità di sviluppo, definendo la suddivisione del lavoro e gli obiettivi di ogni ciclo;
- Implementazione - tramite momenti di *testing funzionale* interno è stato possibile reiterare ciclicamente le sottofasi di analisi, progettazione e realizzazione per arrivare al rilascio di una versione *Alfa* del software;
- Alfa testing esterno - usufruendo del laboratorio del Dipartimento di Pedagogia, Psicologia, Filosofia dell'Università di Cagliari è stato possibile effettuare una prova di collaudo del software non definitivo. Per fare questo sono stati coinvolti dieci studenti dell'Università di Cagliari che, tramite un protocollo di tipo *think aloud*, hanno descritto le loro interazioni con l'ambiente e con la procedura sperimentale ideata;
- Attività di polishing e debug - grazie alle registrazioni delle attività di *Alfa testing* e ai protocolli raccolti è stato possibile correggere gli errori presenti e rifinire ulteriormente tutti i contenuti del software e della procedura sperimentale, così da incrementare la qualità complessiva;
- Rilascio della Beta - il software, ormai ritenuto ad un buon livello di maturità viene rilasciato per la fase sperimentale;

### 3.2.2 Descrizione del software

Il laboratorio virtuale, realizzato attraverso il framework di sviluppo software *Unity*, permette di essere configurato per rappresentare qualsiasi scenario reale o immaginato e per riprodurre qualsiasi tipo di attività. Oggetti, spazi e arredi possono infatti essere creati ad hoc attraverso l'uso di specifici software di modellazione come *Blender*, oppure possono essere acquistati precostruiti su diverse piattaforme, come ad esempio l'*Asset Store* del sito *Unity*. Il laboratorio è inoltre capace di supportare diversi dispositivi per la realtà virtuale di ultima generazione, come visori *HMD* di tipo "*all in one*" o tracciati da stazioni radio esterne, capaci cioè di far

corrispondere il movimento fisico nell'ambiente virtuale ad un reale movimento fisico nell'ambiente reale.

I moduli base programmabili di cui il software *VLab* è stato dotato sono:

Presentazione delle attività: per poter misurare il comportamento dell'utente nello svolgimento di diversi compiti è necessario presentare le attività da svolgere. Si è quindi definito un sistema che consente di costruire diverse tipologie di tutorial valutando in tempo reale lo svolgimento dei compiti proposti da parte dei soggetti, siano queste attività da svolgere in stretta sequenza o senza un particolare ordine. Il modulo permette di combinare diverse tipologie di istruzione (scritta, sonora o per immagini) e di feedback (sonori, visivi, aptici) e diversi aspetti grafici (come un libro, un monitor o un *computer avatar*);

Ricchezza dell'ambiente: abbiamo previsto di poter regolare la quantità di oggetti che popolano l'ambiente per verificare se un ambiente più o meno ricco di stimoli o più o meno spazialmente organizzato possa influenzare il carico cognitivo. È possibile quindi decidere quali oggetti rendere o meno disponibili a seconda della numerosità desiderata e gestirne il posizionamento nello spazio;

Interattività: l'immagine sottostante (Fig.14) mostra il modulo con cui è possibile attivare o disattivare l'interattività degli oggetti (*Experiment Item Configurator*) sia con i soggetti che con lo stesso ambiente virtuale al fine di valutarne un eventuale effetto in termini di presenza, prestazione e gradimento (ad esempio quali sono le risposte cognitive dei soggetti se un oggetto lanciato non rispetta le comuni leggi fisiche del reale o se l'oggetto che egli ha davanti non può realmente essere spostato o manipolato);

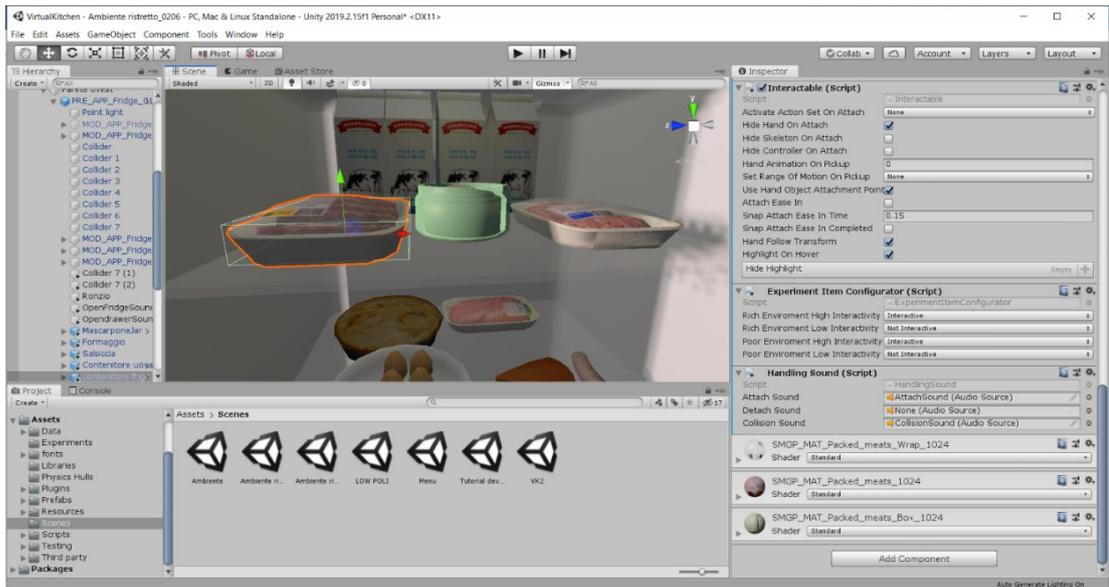


Fig. 14 Screenshot dello Unity Editor di VLab che mostra il modulo “Interattività”.

Suono: tale modulo (Fig.15) permette di associare ad ogni oggetto o azione effettuata dal soggetto un suono (*Handling Sound*) per le diverse modalità di interazione previste nell’ambiente quali presa, collisione e attività. Dei suoni associati è inoltre possibile regolare le caratteristiche di altezza, durata, intensità e timbro;

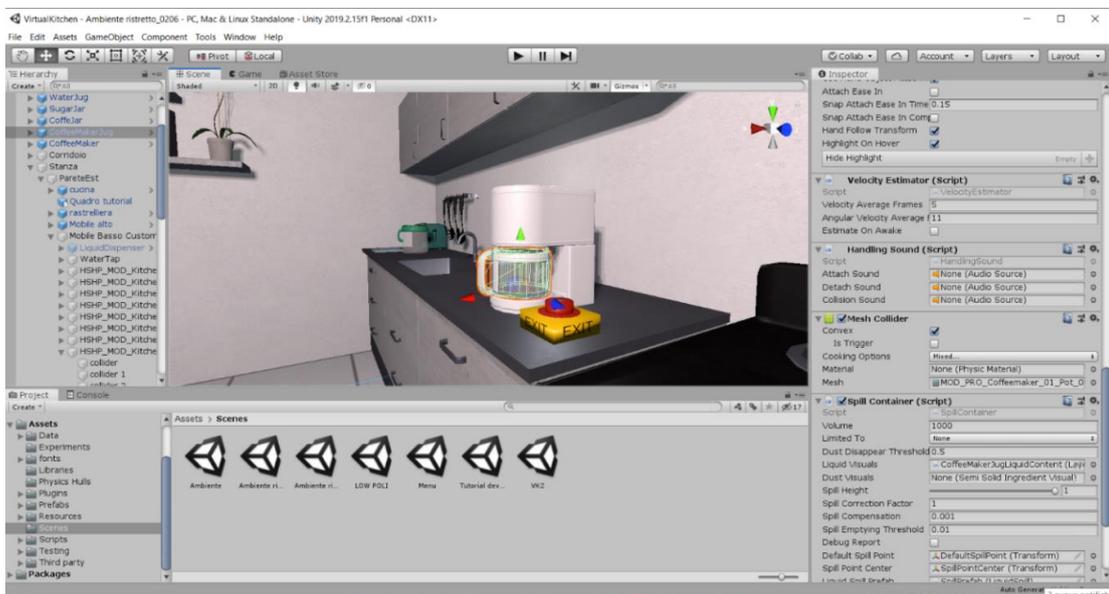


Fig. 15 Screenshot dello Unity Editor di VLab che mostra il modulo “Suono”.

Timer: permette di regolare la durata della performance all'interno dell'ambiente virtuale per analizzare eventuali correlazioni tra tempi e qualità della prestazione. Il modulo può assumere diverse configurazioni visive, e può essere reso o meno visibile al soggetto;

Registrazione delle attività: questo modulo rappresenta il cuore delle informazioni che possono essere raccolte e misurate con *VirtuaLab*. Esso permette infatti di registrare il momento, la durata e la qualità delle manipolazioni/interazioni dell'utente con tutti gli oggetti presenti nello spazio virtuale. I dati raccolti vengono poi restituiti allo sperimentatore attraverso un file di tipo *comma separated values* (o *CSV*) così da poter essere facilmente analizzati con i principali software statistici.

La tabella 2 offre una leggenda dei dati presentati dal registro delle attività, e spiega quale tipo di informazioni essi rappresentino.

Tabella 2. Leggenda dei dati presentati dal modulo "Registro delle attività di VLab.

<b>COLONNA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>StartTime</b>	Indica il tempo di inizio di ogni azione agita dal soggetto ( <i>Category Core</i> ) o monitorata dal software (del tipo <i>Category Action</i> , <i>Category Step</i> o <i>Category Task</i> ).
<b>EndTime</b>	Indica il tempo finale di ogni azione agita dal soggetto ( <i>Category Core</i> ) o monitorata dal software (del tipo <i>Category Task</i> ).
<b>Duration</b>	Indica la durata totale ogni azione agita dal soggetto ( <i>Category Core</i> ) o monitorata dal software (del tipo <i>Category Task</i> ).
<b>ActivityName</b>	Indica l'oggetto che viene manipolato in quel momento dal soggetto o l'attività che viene monitorata dal software.
<b>Category</b>	Indica la diversa categoria di appartenenza dell'azione: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Core</i> azioni realizzate dal soggetto premendo il tasto trigger del controller per afferrare (<i>Pinch</i>) o rilasciare (<i>Trow</i>) un oggetto;</li> <li>• <i>Action</i> azioni come attività di riempimento (<i>Fill</i>) o svuotamento dei contenitori (<i>Empty</i>) monitorate dal software;</li> <li>• <i>Step</i> identifica un sotto compito della procedura di cui il</li> </ul>

	<p>software ha registrato il completamento;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Task</i> identifica un compito della procedura di cui il software ha registrato il completamento;</li> <li>• <i>TaskError</i> identifica l'azione di verifica del compito attivata con la pressione dell'apposito tasto verde.</li> </ul>
<b>Type</b>	<p>Indica la tipologia di azione agita dal soggetto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pinch</i> pressione del tasto trigger per manipolare un oggetto (afferrare, rilasciare, trascinare o ruotare);</li> <li>• <i>Throw</i> pressione del tasto trigger per lasciar cadere un oggetto da una certa altezza.</li> </ul> <p>o monitorata dal software:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fill</i> riempimento di un contenitore;</li> <li>• <i>Empty</i> svuotamento di un contenitore;</li> <li>• <i>Step completed</i> segnala il completamento del sotto compito indicato nella colonna <i>ActivityName</i> corrispondente;</li> <li>• <i>Task completed</i> segnala il completamento del compito indicato nella colonna <i>ActivityName</i> corrispondente;</li> <li>• <i>Task advancement error</i> segnala la presenza di un errore nel compito indicato nella colonna <i>ActivityName</i> corrispondente.</li> </ul>
<b>Description</b>	<p>Descrive l'azione agita dal soggetto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Instantaneous interaction</i> indica che l'azione svolta rientra tra le categorie di azione base apprese nell'ambiente di familiarizzazione (afferrare, rilasciare, trascinare o ruotare);</li> <li>• <i>Object thrown</i> indica che l'oggetto della colonna <i>ActivityName</i> corrispondente è stato lanciato o lasciato cadere da una certa altezza rispetto ad un piano di appoggio;</li> <li>• <i>Attached to RightHand o LeftHand</i> segnala quando il soggetto sta afferrando (<i>Pinch</i>) due oggetti contemporaneamente.</li> </ul> <p>o monitorata dal software:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Segnalando il tipo di sotto compito completato (<i>es. water opened o Water jug full</i>) o il tipo di compito completato (<i>es. washing hands task</i>) o in cui è stato rilevato un errore (<i>es. Task advancement failed: progress at 0%</i>);</li> <li>• Segnalando la progressione di certe attività svolte dal software (<i>es: waterjug container filled/emptied to 200,002/2000 of water: 200,00</i>);</li> </ul>

Al fine di comprendere come il registro delle attività permetta ai ricercatori di analizzare nel dettaglio le manipolazioni effettuate dai soggetti testati, abbiamo deciso di inserire l'analisi particolareggiata di tre frammenti rappresentativi del

modulo di *Registrazione delle attività* elaborati dal software *VLab* nella versione *Virtual Kitchen 1.0* adoperata durante la sperimentazione pilota:

1. La prima immagine (Fig.16) mostra i dati rilevati dal software durante l'esecuzione del sotto compito n.3 del secondo compito della procedura di preparazione del tiramisù prevista nell'esperimento con *VK 1.0* che chiedeva al soggetto “*Riempi di caffè il cucchiaino grande*” (cfr. tabella 3 pag.92), per fare ciò il soggetto era chiamato a individuare e recuperare il “*cucchiaino grande*”. La categoria delle attività analizzate nel frammento è di tipo *Core* (*Type Core*), ovvero si riferisce ad azioni svolte dal soggetto.

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
1	164,1298	205,7785	41,6487	WaterJug	Core	Pinch	Attached to RightHand
2	197,0542	0	0	WaterJug	Core	Throw	Object thrown
3	228,6169	241,7169	13,10004	CoffeJar	Core	Pinch	Attached to LeftHand
4	212,623	245,6508	33,02785	paletta 4	Core	Pinch	Attached to RightHand
5	236,9265	0	0	paletta 4	Core	Throw	Object thrown
6	238,2569	248,315	10,05809	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_06	Core	Pinch	Attached to RightHand
7	240,412	249,8282	9,416214	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_06	Core	Pinch	Attached to RightHand
8	242,8802	252,5356	9,65535	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_08	Core	Pinch	Attached to RightHand
9	244,9358	254,4408	9,504944	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_07	Core	Pinch	Attached to RightHand
10	247,7608	258,3784	10,6176	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_02	Core	Pinch	Attached to RightHand
11	252,1501	261,0753	8,925247	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_02	Core	Pinch	Attached to RightHand
12	252,6661	261,6788	9,01268	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_02	Core	Pinch	Attached to RightHand
13	253,4794	263,3831	9,903732	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_01	Core	Pinch	Attached to RightHand
14	264,2649	274,5016	10,23663	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_05	Core	Pinch	Attached to RightHand
15	270,4337	279,8386	9,404816	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_05	Core	Pinch	Attached to LeftHand
16	268,0762	281,5143	13,43805	BigFillableSpoon	Core	Pinch	Attached to RightHand

Fig. 16 Frammento del Registro delle attività per l'istruzione “*Riempi il cucchiaino grande di caffè*”.

Il soggetto sta ancora impugnando la caraffa (*WaterJug*) utilizzata per eseguire il compito precedente. Come possiamo vedere la caraffa viene tenuta in mano per 41,6487 secondi (*Duration*), a partire dal tempo 164,1298 (*StarTime*) e fino al tempo 205,7785 (*EndTime*) e viene successivamente lasciata cadere (*Object thrown*) al tempo 197,0542 (*StartTime*) come mostrato nel rigo 2.

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
1	164,1298	205,7785	41,6487	WaterJug	Core	Pinch	Attached to RightHand
2	197,0542	0	0	WaterJug	Core	Throw	Object thrown

Al rigo 4 il registro ci permette di isolare un errore che il software non è programmato per rilevare. Il soggetto identifica nell'oggetto "paletta 4" il "cucchiaino grande" richiesto dalle istruzioni, pertanto lo afferra con la mano destra (*Type Pinch/Attached to LeftHand*) al tempo 212,623 (*StartTime*). Il soggetto prova quindi ad adoperare questo oggetto per assolvere all'istruzione. Afferra con la mano sinistra il contenitore del caffè (riga 3 - *CoffeeJar*) al tempo 228,619 e per 13,10004 secondi (*Duration*) cerca riempire la "paletta 4" con la polvere di caffè. Non riuscendo nel compito richiesto, il soggetto, continuando a tenere la paletta nella mano destra si volta per rileggere le istruzioni (dato rilevato dalla registrazione del video in soggettiva). Una volta identificato l'errore poggia il contenitore del caffè al tempo 241,7169 (*EndTime*) e lascia cadere la paletta 4 (riga 5).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
3	228,6169	241,7169	13,10004	CoffeeJar	Core	Pinch	Attached to LeftHand
4	212,623	245,6508	33,02785	paletta 4	Core	Pinch	Attached to RightHand
5	236,9265	0	0	paletta 4	Core	Throw	Object thrown

Il soggetto comincia quindi ad esplorare la cucina alla ricerca dell'oggetto corretto. Durante questa esplorazione il registro ci permette di osservare come tale esplorazione venga agita dal soggetto. Osservando la riga 6 e 7 è possibile individuare come la durata dell'azione di apertura del cassetto numero 6 (*drawer\_06*) si riduca tra la prima e la seconda azione di apertura. E come la stessa cosa accade per 3 volte anche durante l'esplorazione del cassetto numero 7 (*drawer\_07*). Indicazioni di questo tipo possono essere utili per l'analisi di aspetti cognitivi come la ricerca visuo-spaziale o per evidenziare difficoltà legate alla lettura delle *affordance* degli oggetti durante la loro manipolazione.

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
6	238,2569	248,315	10,05809	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_06	Core	Pinch	Attached to RightHand
7	240,412	249,8282	9,416214	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_06	Core	Pinch	Attached to RightHand
8	242,8802	252,5356	9,65535	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_08	Core	Pinch	Attached to RightHand
9	244,9358	254,4408	9,504944	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_07	Core	Pinch	Attached to RightHand
10	247,7608	258,3784	10,6176	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_02	Core	Pinch	Attached to RightHand
11	252,1501	261,0753	8,925247	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_02	Core	Pinch	Attached to RightHand
12	252,6661	261,6788	9,01268	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_02	Core	Pinch	Attached to RightHand
13	253,4794	263,3831	9,903732	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_01	Core	Pinch	Attached to RightHand

Le ultime tre righe della tabella mostrano infine l'apertura del cassetto corretto al tempo 264,2649 (*StartTime*), la presa del “cucchiaio grande” con la mano destra (*BigFillableSpoon/Core/Pinch/Attached to RightHand*) al tempo 268,0762 (*StartTime*) e la chiusura del cassetto effettuata con la mano sinistra (riga 15) al tempo 279,8386 (*EndTime*).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
14	264,2649	274,5016	10,23663	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_05	Core	Pinch	Attached to RightHand
15	270,4337	279,8386	9,404816	HSHP_MOD_Kitchen_counter_drawer_05	Core	Pinch	Attached to LeftHand
16	268,0762	281,5143	13,43805	BigFillableSpoon	Core	Pinch	Attached to RightHand

2. La seguente immagine (Fig.17) espone tre diverse categorie di azione (*Step*, *Task* e *Task Error*) relative al compito 1 della procedura che chiedeva al soggetto “Vai al lavandino, aprilo e lava bene entrambe le mani” (cfr. tabella 3 pag.92).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
1	45,45387	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
2	49,4175	0	0	OpenWater	Step	Step completed	Water opened
3	52,8804	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
4	84,22755	0	0	WashHandsTask	TaskError	Task advancement error	Task advancement failed: progress at 0%
5	81,23172	0	0	Body	Core	Pinch	Instantaneous interaction
6	97,29829	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
7	100,6175	0	0	OpenWater	Step	Step completed	Water opened
8	105,7064	0	0	WashHands	Step	Step completed	Hands washed
9	110,6674	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
10	118,3632	0	0	Body	Core	Pinch	Instantaneous interaction
11	0	121,4036	121,4036	WashHandsTask	Task	Task completed	Washing hands task.

Fig. 17 Frammento del Registro delle attività per l'istruzione “Vai al lavandino, aprilo e lava bene entrambe le mani”.

Al tempo 45,45387 viene afferrato il rubinetto (*WaterTap/Core/Pinch*), completando la rotazione di apertura al tempo 49,4175 (*StartTime*), momento in cui il sistema rileva l'apertura del rubinetto (*OpenWater/Step/Step completed/ Water opened*).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
1	45,45387	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
2	49,4175	0	0	OpenWater	Step	Step completed	Water opened

Al rigo 4 il soggetto verifica la correttezza del compito (*WashHandsTask*) premendo il tasto verde di verifica al tempo 81,23172. Il sistema rileva quindi un errore (*TaskError/Task advancement*) la cui natura verrà poi rivelata grazie all'analisi della registrazione video. L'avanzamento del compito viene quindi classificato dal software come nullo (*Task advancement failed: progres at 0%*).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
3	52,8804	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
4	84,22755	0	0	WashHandsTask	TaskError	Task advancement error	Task advancement failed: progress at 0%
5	81,23172	0	0	Body	Core	Pinch	Instantaneous interaction

Il soggetto, come suggerito dalle istruzioni del libro tutorial deve svolgere nuovamente il compito dall'inizio. Apre il rubinetto (riga 7) e lava le mani correttamente (*WashHands/Step/Step completed/Hand Washed*). Una volta chiuso il rubinetto (riga 9) e premuto il tasto verde di verifica al tempo 118,3632 (*Body/Core/Pinch*), il sistema legge il compito come completato (*WashHandsTask/Task/Task completed/Washing hands task*) al tempo 121,4036 (*EndTime*).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
6	97,29829	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
7	100,6175	0	0	OpenWater	Step	Step completed	Water opened
8	105,7064	0	0	WashHands	Step	Step completed	Hands washed
9	110,6674	0	0	WaterTap	Core	Pinch	Instantaneous interaction
10	118,3632	0	0	Body	Core	Pinch	Instantaneous interaction
11	0	121,4036	121,4036	WashHandsTask	Task	Task completed	Washing hands task.

- La seguente immagine (Fig.18) mostra il dettaglio delle azioni svolte dal soggetto nell'esecuzione di una parte del sotto compito 4 del compito 2 che chiedeva al soggetto “*Usalo (il cucchiaino) per aggiungere 3 cucchiaini di caffè nello scomparto C della macchina del caffè americano*” (cfr. tabella 3 pag.92).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
1	612,6057	0	0	BigFillableSpoon	Action	Fill	BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust : 25,00 -
2	612,6057	0	0	PutCoffeinLargeSpoon	Step	Step completed	Put coffee in large spoon
3	613,9724	0	0	BigFillableSpoon	Action	Empty	BigFillableSpoon container emptied to 0 / 25 of
4	615,5501	0	0	BigFillableSpoon	Action	Fill	BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust : 25,00 -
5	616,9056	0	0	BigFillableSpoon	Action	Empty	BigFillableSpoon container emptied to 0 / 25 of
6	617,9946	0	0	BigFillableSpoon	Action	Fill	BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust : 25,00 -
7	619,5723	0	0	BigFillableSpoon	Action	Empty	BigFillableSpoon container emptied to 0 / 25 of
8	619,5723	0	0	FillCoffeeTank	Step	Step completed	Coffee Machine full of coffee

Fig. 18 Frammento del Registro delle attività per l'istruzione "Usalo (il cucchiaino) per aggiungere 3 cucchiaini di caffè nello scomparto C della macchina del caffè americano".

Al rigo 2 il sistema rileva al tempo 612,6957 (*StartTime*) il riempimento dell'oggetto "cucchiaino grande" con la polvere di caffè (*PutCoffeinLargeSpoon/Step/Step completed/BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust: 25,00*) come previsto dal sotto compito precedente.

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
1	612,6057	0	0	BigFillableSpoon	Action	Fill	BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust : 25,00 -
2	612,6057	0	0	PutCoffeinLargeSpoon	Step	Step completed	Put coffee in large spoon

Mentre al rigo 3 il sistema rileva l'inserimento del primo cucchiaino di polvere di caffè nello scomparto della macchina del caffè americano (*BigFillableSpoon/Action /Empty/BigFillable Spoon container emptied to 0/25 / 25 of CoffeeDust: 25,00*). La successione di riempimenti e di svuotamenti del cucchiaino viene poi eseguita altre 2 volte (dal rigo 4 al rigo 7) concludendosi con la lettura da parte del sistema della correttezza del sotto compito svolto (*FillCoffeeTank/Step/Step completed/Coffee Machine full of coffee*).

	StartTime	EndTime	Duration	ActivityName	Category	Type	Description
3	613,9724	0	0	BigFillableSpoon	Action	Empty	BigFillableSpoon container emptied to 0 / 25 of
4	615,5501	0	0	BigFillableSpoon	Action	Fill	BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust : 25,00 -
5	616,9056	0	0	BigFillableSpoon	Action	Empty	BigFillableSpoon container emptied to 0 / 25 of
6	617,9946	0	0	BigFillableSpoon	Action	Fill	BigFillableSpoon container filled to 25 / 25 of CoffeeDust : 25,00 -
7	619,5723	0	0	BigFillableSpoon	Action	Empty	BigFillableSpoon container emptied to 0 / 25 of
8	619,5723	0	0	FillCoffeeTank	Step	Step completed	Coffee Machine full of coffee

Durante gli esperimenti effettuati con le diverse versioni di *VLab* il modulo di *Registrazione delle attività* ha permesso l'analisi della performance di apprendimento dei soggetti, riportando in modo dettagliato il numero di errori commesso e il tempo

impiegato per eseguire i diversi sotto compiti e compiti della procedura. Ha anche permesso di analizzare l'usabilità degli oggetti da noi progettati e programmati, ad esempio attraverso l'analisi del numero delle prese effettuate sul medesimo oggetto, come accaduto per l'oggetto "paletta", erroneamente identificato come il "cucchiaino grande" in uno dei sotto compiti appena analizzati, o come accaduto in relazione alle difficoltà nell'uso degli oggetti deputati ai sotto compiti che prevedevano di travasare elementi da un contenitore all'altro.

Risulta quindi evidente come l'uso di un software per la simulazione comporti l'indubbio vantaggio di poter tracciare le interazioni del soggetto con l'ambiente in modo puntuale e con un livello di definizione difficilmente ottenibile da una prova svolta in un ambiente reale;

Nelle pagine successive, come anticipato, verranno presentati due esperimenti pilota realizzati attraverso due distinte versioni del software *VLab: Virtual Kitchen 1.0 (VK 1.0)* e *Virtual Kitchen 2.0 (VK 2.20)*. In entrambe le versioni *VLab* è stato configurato come una comune cucina domestica dotata di arredi e oggetti manipolabili. La scelta di una cucina ci è sembrata una metafora di contesto e di attività sufficientemente intuitiva per verificare alcune ipotesi relative all'apprendimento procedurale in *VR*, capace inoltre di favorire un buon livello di presenza e immersione, essendo un ambiente familiare alla maggior parte delle persone. I due ambienti pur condividendo il fatto che ai soggetti è stato sottoposto un compito di esecuzione e apprendimento di una procedura culinaria presentata attraverso compiti e sottocompiti, differiscono per i loro obiettivi di ricerca tesi alla verifica degli effetti sull'esecuzione del compito di diverse combinazioni di variabili.

Nel primo esperimento, realizzato attraverso la versione del software denominata *Virtual Kitchen 1.0* sono stati analizzati gli effetti di due tipi differenti di feedback. Grazie ai risultati ottenuti da questo primo esperimento è stato possibile migliorare e correggere il software *VLab* determinando lo sviluppo della nuova versione, denominata *Virtual Kitchen 2.0*, utilizzata per indagare eventuali effetti

sull'apprendimento connessi all'utilizzo di diverse modalità di tutorial (testuale vs visuale).

*Parte terza – Applicazione in ambito di  
ricerca dell'ambiente VirtuaLab*

## **Capitolo 4: Virtual Kitchen 1.0 - Studio degli effetti di differenti sistemi di feedback sull'apprendimento di una procedura**

### *4.1 Obiettivi di ricerca*

La VR emerge, dalla rassegna della letteratura precedentemente presentata come un potente e versatile strumento utilizzabile sia sul versante applicativo che sul versante della ricerca, destinato a diffondersi e consolidarsi in diversi settori, primo tra tutti quello dell'educazione e dell'apprendimento, richiedendo lo sforzo congiunto da parte di esperti tecnologici, formatori e psicologi per la realizzazione di ambienti sempre più efficaci ai fini pedagogici.

La letteratura sostiene come tra le variabili capaci di influenzare l'apprendimento in situazioni reali, specialmente quello di tipo procedurale, inteso come l'apprendimento di una sequenza dettagliata di istruzioni finalizzate a risolvere un particolare compito con successo, rientri il feedback formativo, ovvero la disponibilità e il tipo di informazioni date sullo svolgimento dei compiti e capaci di modificare il pensiero o il comportamento del soggetto così da potenziarne l'apprendimento (Shute, 2008).

Una delle caratteristiche che influenzano l'efficacia del feedback è data dalla velocità con cui lo stesso viene elargito al momento di un eventuale errore (cfr. la metanalisi di Hattie e Timperley del 2007). Nelle situazioni di apprendimento/addestramento attraverso ambienti VR è possibile erogare tale feedback in modo costante e automatico al momento dell'eventuale errore o discostamento dalla procedura attesa, nonché variarne facilmente e velocemente la tipologia, ad esempio optando in base alle necessità per *feedback direttivi*, che dicono allo studente in modo specifico cosa deve essere corretto o rivisto, o *feedback facilitativi*, che forniscono cioè allo studente dei commenti o suggerimenti capaci di orientare ad una auto correzione o

revisione. Variazioni di questo tipo è stato dimostrato come possano efficacemente ridurre il carico cognitivo degli studenti, specialmente di quelli novizi o problematici, migliorandone la qualità dell'apprendimento (Black e Wiliam, 2018).

Diverse ricerche effettuate in ambienti di apprendimento reale hanno sottolineato come l'incertezza relativa all'esito di una prestazione possa produrre negli studenti uno stato avverso tale da motivarli ad attuare strategie volte alla sua riduzione o gestione (Bordia et al., 2004). Inoltre, dal momento che l'incertezza esperita è spesso spiacevole e capace di distogliere l'attenzione dall'esecuzione del compito (Kanfer e Ackerman, 1989), utilizzare strumenti capaci di ridurre l'incertezza può portare ad un aumento della motivazione ed a più efficienti strategie di attività. Il feedback formativo ha quindi un duplice vantaggio: da un lato aiuta i soggetti a individuare in quale passaggio del compito sia presente un divario tra il livello attuale di prestazione e il livello di rendimento o obiettivo desiderato, e risolvendo questo divario può motivare livelli di impegno più elevati (Locke e Latham, 1990; Song e Keller, 2001); dall'altro può ridurre efficacemente il carico cognitivo dello studente, specialmente quello alle prime armi o in difficoltà (Sweller et al., 1998; Paas et al., 2003).

Alcuni ricercatori sembrano inoltre convergere verso la visione che un feedback efficace dovrebbe includere elementi di verifica ed elaborazione (Bangert-Drowns et al., 1991; Moson e Bruning, 2001). Dove la verifica esplicita o implicita, è definita come il semplice giudizio della correttezza di una risposta (ad esempio evidenziando o contrassegnando la risposta corretta con una spunta) e l'elaborazione è definita come l'aspetto informativo del messaggio, capace di fornire spunti rilevanti per guidare lo studente verso una risposta corretta (ad esempio indirizzando in modo specifico la risposta corretta o fornendo un esempio concreto).

Ed ancora ulteriori ricerche hanno sostenuto la superiorità in termini di velocità di apprendimento di un feedback immediato, ovvero somministrato subito dopo che uno studente ha risposto a un elemento o problema o subito dopo il completamento di un quiz o di un test, rispetto a quello ritardato, specialmente nel caso di compiti legati

all'acquisizione di materiale verbale, di abilità procedurali e altre abilità motorie (Brosvic e Cohen, 1988; Anderson et al., 1995; Corbett e Anderson, 2001; Dihoff et al., 2003).

Sebbene siano molteplici gli studi che hanno esaminato l'impatto sul processo di istruzione delle nuove tecnologie (cfr. la metanalisi di Merchant et al. del 2014), non sono presenti ancora lavori che nello specifico abbiano indagato l'effetto del tipo di feedback sull'istruzione o sull'addestramento in una situazione di realtà virtuale immersiva.

Sulla base di questi presupposti si è deciso di mettere alla prova l'impatto di diverse forme di istruzioni (feedback) rese ai partecipanti durante la loro prestazione nell'ambiente di realtà virtuale immersiva *VLab* descritto nel capitolo 3.2.

Configurando il software per assumere le sembianze di una cucina domestica, da noi denominata *Virtual Kitchen 1.0 (VK 1.0)*, abbiamo quindi invitato i soggetti a svolgere una procedura di cucina (preparazione di un tiramisù) attraverso l'uso di un libro di ricette virtuale nel quale erano contenute le istruzioni dettagliate che dovevano essere seguite per arrivare alla confezione finale del dolce, suddivise in compiti e sotto compiti. Il libro di ricette era stato organizzato in modo tale da aprirsi una pagina per volta, mostrando il nuovo compito/pagina solo nel caso in cui il soggetto avesse portato a termine tutti i sotto compiti della pagina precedente in modo soddisfacente. Sono state quindi confrontate due modalità di istruzione e feedback differenti: un gruppo di partecipanti, quando commetteva un errore in un sotto compito, vedeva semplicemente che il libro di ricette non si apriva alla pagina successiva, mentre un altro gruppo vedeva comparire sulla pagina del ricettario un'indicazione esplicita che segnalava quale sotto compito non fosse stato eseguito in modo corretto.

La nostra ipotesi principale era che avere a disposizione un maggior numero di informazioni relative a quale parte della procedura fosse stata portata a termine scorrettamente (indicazione specifica o esplicita) potesse essere di maggiore aiuto

per i partecipanti, rispetto ad una condizione in cui la presenza di un errore veniva segnalata in modo generico o implicito, senza dare ulteriori informazioni su quale specifico movimento o passaggio fosse quello errato (nessuna rotazione della pagina). Inoltre, il feedback formativo specifico da noi ideato venendo erogato immediatamente rispetto al compito richiesto, ed essendo caratterizzato sia da elementi di verifica (la pagina che non gira in caso di errore) che di elaborazione puntuale (marcando con spunte differenti i sotto compiti svolti in modo corretto ed errato), avrebbe comportato per i soggetti testati una riduzione del carico cognitivo relativo alla nuova prestazione richiesta. Tale feedback infatti determinando una riduzione del livello di incertezza relativamente alla propria prestazione dovrebbe concorrere a migliorare la performance dei soggetti sia in termini di tempi di esecuzione che di numero di errori commessi rispetto al gruppo sperimentale sottoposto ad un feedback formativo generico, in cui gli elementi di elaborazione sono assenti.

Non essendo presenti in letteratura, a nostra conoscenza, studi che abbiano esplorato l'influenza del tipo di feedback in una situazione di VR immersiva, lo studio si configura come uno studio esplorativo e le ipotesi che abbiamo tracciato sono basate sugli studi effettuati in ambienti reali.

Le ipotesi specifiche che abbiamo voluto verificare sono le seguenti:

- *H1: I soggetti sottoposti al feedback specifico producono meno errori dei soggetti sottoposti a feedback generico;*
- *H2: I soggetti sottoposti al feedback specifico impiegano meno tempo a svolgere i singoli compiti rispetto ai soggetti sottoposti a feedback generico;*
- *H3: I soggetti sottoposti al feedback specifico hanno un migliore ricordo della procedura svolta nella cucina virtuale rispetto ai soggetti sottoposti a feedback generico;*

Nella fase precedente all'esperienza in VR sono state raccolte anche delle misure di abilità cognitiva attraverso la somministrazione di alcuni test psicologici, mentre

nella fase successiva sono state raccolte delle misure relative al giudizio dei partecipanti su alcune dimensioni dell'esperienza virtuale (gradimento, sensazione di presenza, immersione e utilità percepita del feedback ricevuto) e una misura del grado di ricordo dell'esperienza VR misurato a distanza di due settimane.

Lo scopo di queste misure era di a) poter valutare l'eventuale influenza di alcuni aspetti cognitivi connessi alle attività di esplorazione e manipolazione (ricerca visuo-spaziale, velocità psicomotoria e funzioni esecutive) e di apprendimento (memoria a lungo termine e memoria di lavoro) su elementi propri dell'esperienza VR eseguita quali la sensazione di presenza e immersione, il gradimento o la chiarezza ed utilità percepita rispetto al tipo di feedback ricevuto e di b) valutare la presenza di una relazione tra le variabili di presenza, immersione e grado di gradimento sul ricordo della procedura eseguita in VR.

## 4.2 Metodo

### 4.2.1 Partecipanti

Per l'esperimento sono stati reclutati 39 partecipanti (26 femmine e 13 maschi) tutti di madrelingua italiana che hanno volontariamente partecipato alla ricerca. I partecipanti sono in grande maggioranza studenti e studentesse provenienti da diverse facoltà dell'Università di Cagliari, fatta eccezione per uno studente frequentante il quinto anno di secondaria di secondo grado e un ex studente universitario. I partecipanti erano tutti adulti ( $M=24$  anni,  $DS=7.64$ ) con pregresso sviluppo tipico e senza diagnosi di disabilità cognitive o percettive acquisite. Tutti i partecipanti avevano visus nella norma o corretto alla norma e hanno firmato il consenso informato prima di essere sottoposti alle prove.

Sono stati successivamente esclusi dalle analisi statistiche: cinque soggetti che non hanno completato il protocollo sperimentale e due soggetti che sono risultati in possesso di una diagnosi di Disturbo Specifico dell'Apprendimento (DSA). Il campione finale della ricerca è quindi di 33 soggetti (21 femmine e 12 maschi).

I partecipanti sono stati inseriti in modo semi casuale in uno dei due gruppi sperimentali previsti dall'esperienza *VK 1.0* differenti in base al tipo di feedback che veniva fornito durante l'esecuzione della prova: il *Gruppo A - Feedback specifico*, a cui veniva data una informazione puntuale su quale punto specifico della procedura fosse stato commesso un eventuale errore e il *Gruppo B - Feedback generico*, che aveva solo un'informazione generale in caso di errore ma non informazioni specifiche sul punto in cui l'errore fosse stato commesso. La formazione dei gruppi è stata effettuata in modo tale che fossero bilanciati per età, sesso e pregresse esperienze in *VR*, avendo cura anche di verificare, attraverso l'analisi dei risultati delle prestazioni alle prove cognitive, che i due gruppi fossero confrontabili anche per le abilità cognitive.

#### 4.2.2 Procedura

Il protocollo sperimentale ha compreso tre fasi: una prima fase di intervista e somministrazione di test psicologici cognitivi, una fase di prova nell'ambiente virtuale *VK 1.0* seguita immediatamente dalla somministrazione di un questionario post esperienza e infine una prova di memoria differita relativa alla procedura appresa nell'ambiente virtuale.

- **Fase 1**

*Intervista e test cognitivi*: dopo la lettura dell'Informativa e la firma del consenso informato tutti i soggetti sono stati sottoposti ad un questionario preliminare (V. Appendice A) allo scopo di raccogliere informazioni anagrafiche e alcune informazioni relative all'esperienza videoludica (incluse precedenti esperienze in *VR*) e alla preparazione di pasti; Dopo il questionario preliminare i soggetti sono stati sottoposti ad una batteria di test cognitivi (V. Appendice B) psicologici carta e matita (Test di memoria di prosa, Trial Making Test A e B, Digit Span Inverso);

I dati ottenuti in questa fase sono stati utilizzati per assegnare i soggetti ai due gruppi sperimentali in modo che i due gruppi fossero bilanciati per abilità cognitive generali.

- **Fase 2**

A distanza di tre settimane i soggetti sono stati sottoposti alla prova in realtà virtuale che prevedeva alcuni minuti all'interno di un ambiente di familiarizzazione ai dispositivi, 30 minuti di prova utilizzando il software sperimentale *Virtual Kitchen (VK 1.0)* e la successiva somministrazione di un questionario post-esperienza relativo all'esperienza VR appena effettuata (V. Appendice C);

- **Fase 3**

Due settimane dopo la prova in *VK 1.0* i soggetti sono stati chiamati ad effettuare una prova di memoria differita di tipo carta e matita relativamente alla procedura appresa nella cucina virtuale (V. Appendice D).

## 4.3 *Materiali*

### 4.3.1 *Prove Cognitive*

Sono stati utilizzati i seguenti test standardizzati: il Test di memoria di prosa (Novelli et al., 1984), i Trial Making Test A e B (TMT A e B) (Reitan, 1958; adattato dal Giovagnoli et. al, 1996) e il Digit Span Inverso. Per le prime due prove sono state utilizzate le modalità di somministrazione e scoring come indicate nel testo "*Esame neuropsicologico breve 2. Una batteria di test per lo screening neuropsicologico*" (Mondini et al., 2011). Per il Digit Span inverso è stata utilizzata la procedura indicata da di Monaco et. al. (2013).

#### *Test di memoria di prosa*

Il test di memoria di prosa (Novelli et al., 1986) è un test per la memoria a lungo termine che permette di valutare l'abilità di apprendimento di materiale verbale organizzato gerarchicamente. Al soggetto viene letto un breve racconto e si chiede di ripetere tutto quello che ricorda dello stesso, attribuendo così un punto ad ogni elemento del racconto rievocato correttamente dal soggetto. Al termine della rievocazione il brano viene riletto e viene richiesta una seconda ripetizione differita

di dieci minuti. Il punteggio sarà dato dalla media dei punteggi ottenuti in memoria immediata e in memoria differita.

#### *Il Trial Making Test A e B*

I Trial Making Test A e B (Reitan, 1958; adattato da Giovagnoli, Del Pesce, Mascheroni, Simoncelli, Laiacona, Capitani, 1996) valutano le capacità di ricerca visuo-spaziale. Il TMT A valuta in specifico la capacità di attenzione selettiva, chiedendo al soggetto di tracciare una riga a matita su un foglio per congiungere in maniera progressiva tutti i numeri stampati in ordine sparso; il TMT B valuta abilità cognitive connesse alla velocità psicomotoria e alle funzioni esecutive, richiedendo di tracciare una linea di collegamento in modo alternato tra numeri e lettere in modo progressivo, permettendo così di valutare anche l'attenzione visiva e alternata e l'aggiornamento della memoria di lavoro.

#### *Digit Span Inverso*

La versione del Digit span inverso utilizzata è stata estratta dall'articolo di Monaco et al. (2013), ed indaga la capacità di immagazzinamento ed elaborazione di materiale nella memoria di lavoro. Al soggetto viene chiesto di ripetere all'indietro le sequenze di cifre pronunciate dall'esaminatore. Se il soggetto sbaglia la ripetizione di una sequenza, ha una seconda possibilità di ripetere una sequenza della stessa lunghezza. Lo span sarà dato dal numero di cifre della stringa più lunga che il soggetto è stato in grado di ripetere.

#### *4.3.2 Questionari*

Sono stati elaborati alcuni questionari ad hoc carta e matita: il *Questionario preliminare di informazioni sul partecipante* ed il *Questionario post-esperienza*, creato ispirandosi alla seconda versione del *Presence Questionnaires* di Witmer e Singer (1998).

### *Il Questionario preliminare di informazioni sul partecipante*

Questo strumento combina domande aperte e chiuse ed è stato creato allo scopo di raccogliere i principali dati personali dei soggetti (età, sesso, lateralizzazione ed eventuali disturbi pregressi) e alcune informazioni utili per l'assegnazione a uno dei due gruppi sperimentali, in modo da poter creare due gruppi confrontabili per caratteristiche dei partecipanti. Le domande venivano lette direttamente dallo sperimentatore che compilava la scheda del partecipante in base alle sue risposte.

Le domande poste sono così classificabili:

- Precedenti esperienze in VR - analizzavano la tipologia di ambienti e di dispositivi precedentemente adoperati dal partecipante per la fruizione di esperienze di realtà virtuale, pregressa familiarità nell'uso di *controller* e frequenza d'uso di dispositivi e applicativi per la VR. Lo scopo di quest'ultima domanda era quello di assegnare i soggetti ad una delle quattro categorie di fruitore di dispositivi per la VR da noi identificate in base alla frequenza d'uso: novizio (mai provata), occasionale (meno di due volte in tutta la vita), saltuario (tre volte nello scorso anno) o frequente (più di tre volte nello scorso anno). In base alle risposte fornite dai soggetti, nel nostro campione, sono stati identificati n=0 soggetti frequenti, n=1 soggetti saltuari, n=8 soggetti occasionali e n=25 soggetti novizi;
- Esperienza nell'uso videogiochi - avevano lo scopo di comprendere se il soggetto avesse mai avuto precedenti esperienze in ambito videoludico, la tipologia di giochi e di dispositivi adoperati e la frequenza su base settimanale.

Per la lista completa delle domande si rinvia alla lettura dell'Appendice A.

### *Questionario post-esperienza (QPE)*

Il Questionario prevedeva alcune domande aperte e alcune chiuse lette direttamente dallo sperimentatore allo scopo di indagare le capacità culinarie del soggetto e la presenza di particolari condizioni fisiologiche (es. problemi visivi, vestibolari) che avrebbero potuto aumentare o scatenare fenomeni di chinetosi (intesa come la

sensazione di malessere simile al mal d'auto che in alcuni soggetti può essere scatenata da esperienze di VR immersiva). A queste seguiva un questionario carta e matita su scala Likert a 5 punti da compilare in autonomia da parte del soggetto in cui il partecipante doveva esprimere il proprio grado di accordo/disaccordo in relazione a 21 affermazioni indaganti la sensazione provata durante l'esperienza in VR.

Le domande sono state in parte rielaborate a partire da quelle contenute nel *Presence Questionnaires* di Witmer e Singer (1998), ed indagavano i seguenti aspetti:

- Esperienza di Presenza (domande da 1 a 7) valutavano il grado di coinvolgimento e immersione provato all'interno dell'ambiente virtuale in relazione all'attività svolta (preparazione del tiramisù) e alle caratteristiche hardware e software del mezzo adoperato;
- Livello di Interattività (domande da 8 a 12) valutavano il gradimento relativo alla possibilità di manipolare gli oggetti e muoversi nello spazio, la coerenza del comportamento degli oggetti con le leggi fisiche o la propria esperienza nel reale;
- Ambiente di familiarizzazione (domande da 13 a 15) valutavano chiarezza delle istruzioni e utilità percepita dai soggetti rispetto all'attività svolta in questo ambiente preparatorio;
- Virtual Kitchen 1.0 (domande da 16 a 19) valutavano chiarezza e utilità percepita dai soggetti rispetto alle istruzioni fornite nel libro-tutorial e al feedback fornito;
- Gradimento (domande 20 e 21) indagavano il grado di coinvolgimento generale durante la prova e il grado di frustrazione esperito durante l'interazione con gli oggetti presenti nell'ambiente.

Ogni domanda, prevedeva di assegnare un punteggio di accordo/disaccordo su scala Likert a 5 punti, dove il valore 1 corrisponde ad una valutazione di massimo accordo e il valore 5 ad una valutazione di nessun accordo.

*Es. 3) Il controller ed il visore mi hanno distratto nell'esecuzione del compito e/o nell'interazione con l'ambiente*

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

Per le domande numero 3, 5 e 21 che erano state formulate in modo da chiedere l'accordo ad affermazioni formulate in modo che andava in direzione opposta alle altre (come nell'esempio della domanda 3 sopra riportata, in cui si chiedeva quanto si era stati distratti dal dispositivo invece che quanto era stato gradito un determinato aspetto dell'ambiente come nelle altre domande) si è provveduto a invertire i valori delle risposte in modo da poter calcolare il *rating* medio dato al gruppo di domande. Il questionario prevedeva inoltre uno spazio bianco per permettere ai soggetti di commentare la propria scelta.

Per la lista completa delle domande si rinvia alla lettura dell'Appendice C.

#### *Memoria dell'esperienza VK 1.0 (MEVK 1.0)*

La prova aveva lo scopo di verificare quanto i soggetti ricordassero della procedura appresa nella cucina virtuale a distanza di due settimane. I soggetti erano chiamati a scrivere in modo dettagliato la procedura eseguita per la preparazione del tiramisù, immaginando di fornire le istruzioni ad un soggetto che, pur trovandosi nell'ambiente cucina, non avesse a disposizione le istruzioni del libro tutorial. La prova prevedeva l'assegnazione di un punto per ogni elemento dei sotto compiti previsti dalla procedura rievocato correttamente dai soggetti. Il punteggio massimo teorico acquisibile in questa prova corrispondeva quindi a 71.

#### *4.3.3 La prova di realtà virtuale: sistemi hardware e software utilizzati*

Per la prova in VK 1.0 i soggetti sono stati equipaggiati con i seguenti dispositivi hardware:

- Head Mounted Display *HTC Vive* - sviluppato dalla *Valve Corp* nel 2016 ritenuto uno dei dispositivi top di gamma per l'esperienza *VR*, grazie alle sue

lenti *OLED* da 7'' che permettono una risoluzione di 1080x1200 e un campo visivo di 110° permette un'eccellente qualità video in termini di colori, contrasto e tempi di risposta (90Hz capaci di ridurre affaticamento degli occhi e chinetosi). Il peso di appena 500 grammi rende il dispositivo compatto e comodamente indossabile anche da soggetti con occhiali correttivi, la presenza diversi sensori come giroscopio, accelerometro, magnetometro, tracking posizionale a 360° permettono di tracciare con grande accuratezza i movimenti e le attività del soggetto. Il dispositivo è inoltre dotato di una predisposizione audio *3D* ed il suo costo contenuto (circa 820\$ per il pacchetto che comprende anche una coppia di radiofari e di *controller*) lo rende uno dei dispositivi con maggiori probabilità di essere scelto per l'uso in ambienti scolastici;

- Controller *STEAM VR Wireless* - questa coppia di telecomandi ha permesso la manipolazione degli oggetti presenti nell'ambiente virtuale (grazie all'uso di bottoni precedentemente programmati) e il tracciamento del movimento delle mani grazie alla presenza di 24 sensori, *trackpad* multifunzione, *trigger* a doppio stadio, e feedback tattile *HD*;



Fig. 19 Visore HTC Vive e controller STEAM VR Wireless (fonte gearsforwinning.com).

- Radiofari - il visore *HTC Vive* supporta l'uso di due rilevatori laser esterni che coprono un raggio d'azione di 5mX5m garantendo all'utente un maggiore

movimento ed una maggiore immersione, riportando in scala i movimenti dal mondo reale al mondo virtuale. Questa esperienza definita “*room experience*” o “*room scale*” è stata scelta per ridurre ulteriormente gli effetti di chinetosi;

- PC Desktop dedicato - la maggior parte dei dispositivi per la VR richiedono un PC dedicato con una configurazione minima specifica. Nel nostro caso abbiamo utilizzato un sistema che superava abbondantemente i requisiti minimi per poter garantire un elevato *frame rate* e ridurre il rischio di chinetosi, costituito da un PC Desktop con scheda video GTX1080 8GB, CPU AMD Ryzen 7 1700X, 32GB di RAM.
- Adattatore wireless - questo dispositivo del peso di appena 129 grammi consiste in una coppia di antenne e una batteria integrata con oltre due ore di autonomia, esso ha permesso di massimizzare ancora di più l’esperienza di immersione liberando il visore dal cavo e garantendo quindi la massima libertà di movimento ai soggetti testati;
- Set di altoparlanti - per la diffusione dei rumori dell’ambiente cucina abbiamo adoperato il sistema di *Speaker Z323* per PC della Logitech composto da due casse e un subwoofer. La diffusione esterna del suono è stata preferita alla diffusione *in-ear* nell’eventualità di dover assistere prontamente il soggetto in caso di necessità.



Fig. 20 Sistemi hardware adoperati durante la sperimentazione.

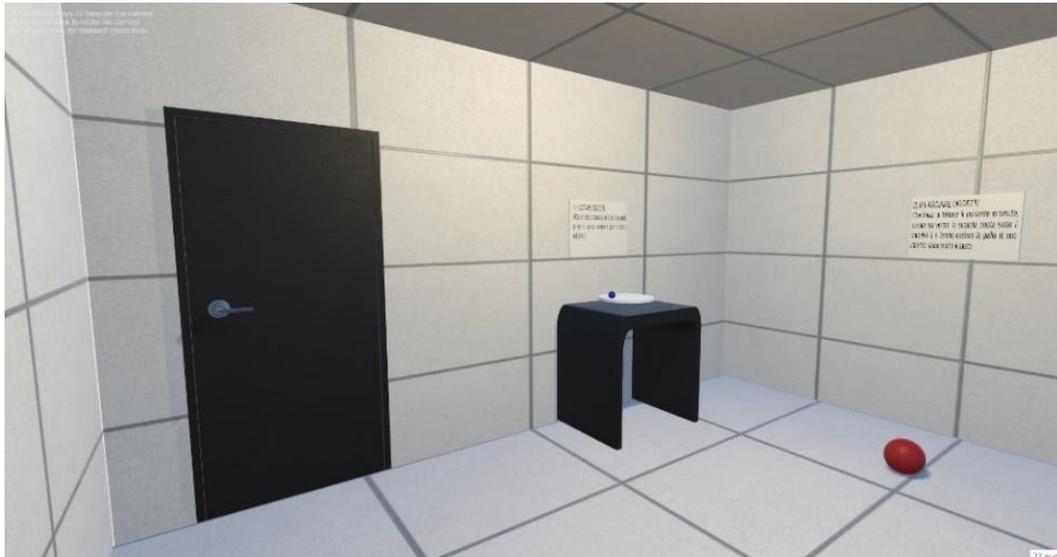
La prova in VR ha previsto l'uso di due distinte configurazioni del software *VLab*, un ambiente di familiarizzazione per l'uso dei dispositivi e il laboratorio sperimentale *Virtual Kitchen 1.0*. Entrambi gli ambienti virtuali condividono le seguenti caratteristiche:

- Lo spazio virtuale è perfettamente proporzionato allo spazio reale definito all'interno del laboratorio. La dimensione per entrambi è di circa 12 mq;
- L'ambiente viene esperito interamente in soggettiva. L'avatar incarnato dai soggetti è rappresentato da un paio di mani umane guantate che reggono dei *controller* virtuali (in tutto e per tutto identici a quelli reali). Il *controller* e le mani dei soggetti scompaiono nel momento in cui il soggetto manipola un oggetto virtuale per poi ricomparire al suo rilascio;
- Il movimento fisico nell'ambiente virtuale corrisponde ad un reale movimento fisico nell'ambiente reale. Questa modalità di movimento rispetto alla più classica modalità definita di "teletrasporto" o "punta e clicca", risulta secondo la letteratura di riferimento (Langbehn et al., 2018) come

maggiormente capace di ridurre eventuali fenomeni di chinetosi e aumentare la percezione di immersività e *self agency* da parte dell'utente;

- Semplici ma realistiche leggi fisiche regolano l'ambiente aumentando ulteriormente il realismo. Tutti gli oggetti legati al compito richiesto infatti se rilasciati o urtati (entro un certo raggio di azione rispetto al *controller*) cadono a terra, possono essere scagliati o versare il proprio contenuto, inoltre quando vengono appoggiati su un ripiano entro un certo margine di distanza dal ripiano stesso, vengono automaticamente poggiati sopra il piano o viceversa cadono al suolo se rilasciati fuori dal perimetro del piano;

### *Ambiente di familiarizzazione per l'uso dei dispositivi*



*Fig. 21 Ambiente di familiarizzazione per l'uso dei dispositivi.*

Questo ambiente è stato introdotto allo scopo di creare una *base line* tra i soggetti che avevano dichiarato di aver già avuto esperienze di ambienti di realtà virtuale (immersiva e non) e coloro che invece si apprestavano per la prima volta a farne esperienza. L'ambiente si presenta come una stanza accessoriata di una porta e di quattro postazioni contraddistinte da altrettanti cartelli numerati (V. Appendice E) in cui erano presenti le istruzioni per apprendere l'uso del tasto *trigger* (vedi figura 22)

presente nei *controller* e le principali funzionalità di movimento da utilizzarsi all'interno dell'ambiente sperimentale vero e proprio quali:

- Afferrare premendo il tasto *trigger* i soggetti possono impugnare un oggetto virtuale precedentemente evidenziato e spostarlo da un punto all'altro della cucina;
- Rilasciare rilasciando il tasto *trigger* i soggetti possono rilasciare nel punto desiderato un oggetto virtuale precedentemente afferrato;
- Trascinare premendo il tasto *trigger* i soggetti possono trascinare avanti e indietro su un piano orizzontale un oggetto virtuale precedentemente evidenziato;
- Ruotare premendo il tasto *trigger* i soggetti possono ruotare in senso orario o antiorario un oggetto virtuale precedentemente afferrato;

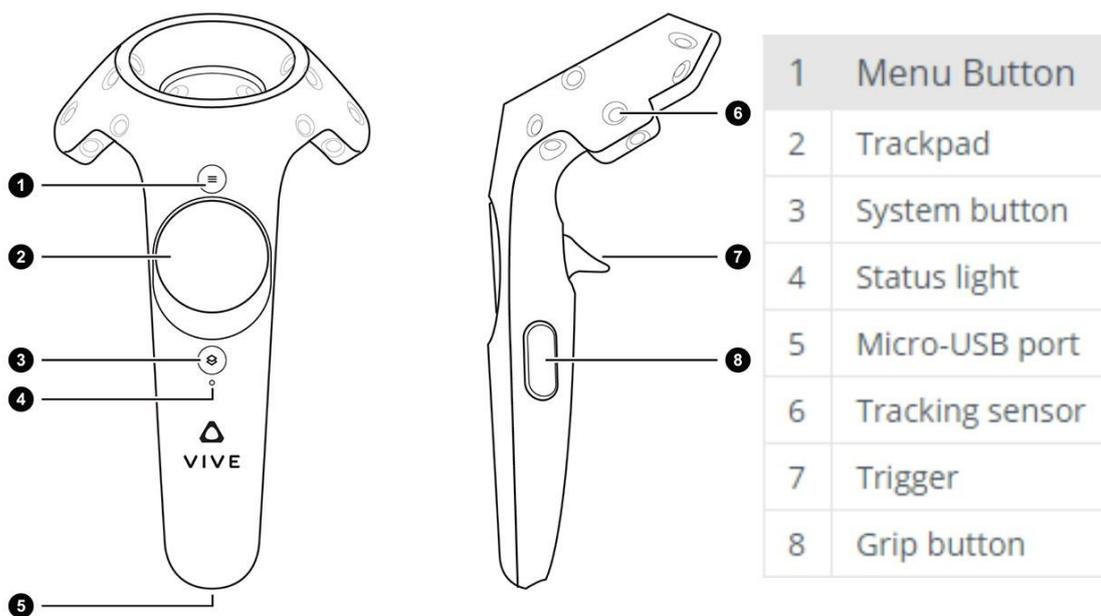


Fig. 22 Dettaglio dei pulsanti sul controller STEAM VR Wireless (fonte docs.unity3d.com).

È possibile visionare un video illustrativo dell'ambiente di familiarizzazione in esecuzione attraverso il seguente link: <https://youtu.be/GC8-EvNIaUA>

## *Virtual Kitchen 1.0*



*Fig. 23 Virtual Kitchen 1.0.*

Questo secondo ambiente virtuale riproduce una cucina domestica completamente accessoriata. Essa è composta da un mobile con cassetti sormontato da un pensile dotato di sportelli, un modulo cucina, un frigorifero e un tavolo. Adornano le pareti due quadri, un orologio e alcune mensole con dei libri ed un vaso. Sul tavolo e sul mobile con cassetti si trovano alcuni degli oggetti utili al compito (macchina da caffè, caraffa, bilancia, libro di ricette e pulsante di verifica). Al soffitto è presente un lampadario come principale fonte luminosa. Con l'intento di rendere la stanza più accogliente e realistica sono state inserite anche una porta chiusa ed una finestra che mostra un panorama urbano.

### *OBS Studio*

Al fine di registrare il *live streaming* della prova effettuata dal soggetto negli ambienti virtuali si è deciso di utilizzare *OBS Studio*, un codificatore per lo *streaming* video e audio di tipo *open source*. Il software è stato scaricato dal sito [obsproject.com](https://obsproject.com).

#### 4.4 La prova in VR con VK 1.0

A distanza di tre settimane dalla somministrazione delle prove cognitive, i partecipanti sono stati invitati nuovamente presso il laboratorio del Dipartimento di Pedagogia, Psicologia, Filosofia dell'Università di Cagliari, per essere sottoposti alla prova in VK 1.0. La procedura a cui i soggetti sono stati sottoposti prevedeva la preparazione di un dolce, un tiramisù, da eseguire seguendo le istruzioni presentate attraverso un libro di ricette virtuale (Fig.24) che, a differenza di un tradizionale libro di ricette, è stato creato per sfruttare le potenzialità offerte dalla realtà virtuale così da potenziare la sua funzione di fornitore di istruzioni e di aiuto.



Fig. 24 Il libro tutorial.

Il libro tutorial infatti non fornisce solo i passi dettagliati della ricetta suddivisi in 7 compiti principali, ognuno dei quali dotato di un numero variabile di sotto compiti, ma anche i feedback nei casi di correttezza o errore durante l'esecuzione dei diversi sotto compiti previsti dalla procedura. La modalità di erogazione dei feedback è stata differenziata in base al gruppo sperimentale a cui i soggetti, come precedentemente descritto, sono stati semi-casualmente assegnati provvedendo che i due gruppi fossero paragonabili per età, sesso, esperienza in VR e abilità cognitive.

I gruppi sono stati da noi rispettivamente denominati *Gruppo A (Feedback specifico)* e *Gruppo B (Feedback generico)*:

- Gruppo A - Feedback specifico - I soggetti assegnati a questo gruppo in caso di errore nel seguire la procedura (per esempio se prendevano un oggetto sbagliato o non inserivano il corretto numero di uova nella ciotola) non vedevano la pagina del libro ruotare al compito successivo e venivano informati di quale sotto compito della procedura era stato svolto in modo errato attraverso l'uso di indicatori visivi, dando quindi loro un'informazione dettagliata su quale dei sottopassaggi era stato dal sistema considerato come errato. Gli indicatori visivi adoperati erano posti all'inizio di ogni riga che descrive un sotto compito ed erano rappresentati da una "X" colorata in rosso in caso di errore in quel determinato passaggio della ricetta o da un segno di spunta  colorato in verde in caso di passaggio svolto correttamente. Questi soggetti ricevevano inoltre un feedback sonoro positivo (squillo di tromba) in caso di compito completato con successo o negativo (tre note discendenti) in caso di compito errato ogni volta che premevano il bottone verde per verificare l'esito delle proprie azioni;

È possibile visionare un video illustrativo del feedback specifico in esecuzione attraverso il seguente link: <https://youtu.be/Q799318cKoA>

- Gruppo B - Feedback generico - i soggetti assegnati a questa tipologia di feedback non erano messi a conoscenza di quale punto della procedura avessero sbagliato. In caso di errore in uno dei sotto compiti il soggetto semplicemente non vedeva la pagina ruotare al compito successivo e doveva quindi rileggere accuratamente ogni istruzione relativa ai sotto compiti della procedura per comprendere in autonomia in che punto esattamente aveva commesso l'errore. Alla pressione del bottone di verifica alla fine del compito effettuato, non ricevevano alcun feedback sonoro;

È possibile visionare un video illustrativo del feedback generico in esecuzione attraverso il seguente link: <https://youtu.be/IKD-i4fmJws>

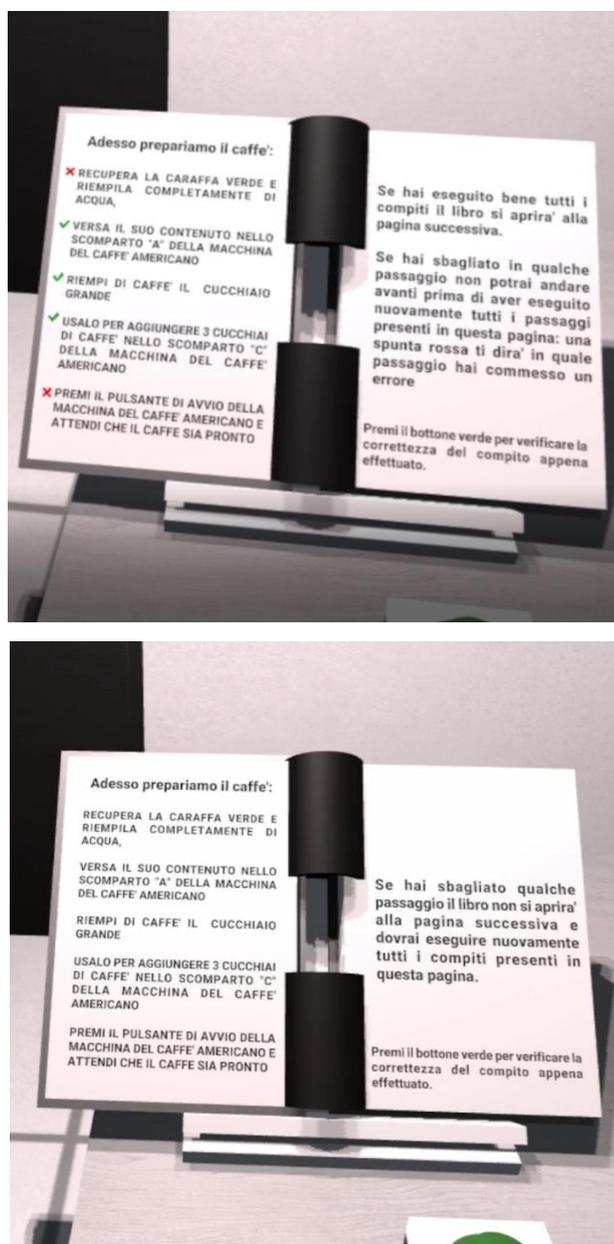


Fig. 25 La visualizzazione delle due diverse tipologie di feedback (in alto il Feedback specifico - la X rossa indica i sotto compiti svolti in modo errato, la  verde quelli svolti in modo corretto).

Il protocollo sperimentale adoperato per la prova in VR prevedeva che il ricercatore dotasse il soggetto di un visore e di una coppia di controller e che avviasse il software per la registrazione delle immagini provenienti dal visore. A questo punto, i soggetti venivano introdotti nell'ambiente virtuale di familiarizzazione (cfr. pag. 84) e ricevevano la seguente istruzione: *“In questa stanza sono presenti quattro cartelli numerati da uno a quattro, in ognuno troverai delle istruzioni da seguire. Il primo cartello è proprio davanti a te, in fondo alla stanza, cammina verso il cartello e segui le istruzioni riportate. Ricordati che potrai usare una sola mano per prendere un solo oggetto e che non hai un limite di tempo per svolgere questa prova, passeremo all'ambiente sperimentale vero e proprio quando ti sentirai pronto”*. Il passaggio in questo ambiente, come descritto precedentemente, aveva lo scopo di permettere a tutti i partecipanti di familiarizzare con i dispositivi prima della prova in VK 1.0.

Quando i soggetti dichiaravano di sentirsi pronti per passare all'ambiente successivo ricevevano la seguente istruzione: *“Per passare all'ambiente successivo ti invito a posizionarti davanti alla porta e a girarti su te stesso per darle le spalle, a momenti vedrai comparire il nuovo ambiente davanti ai tuoi occhi”*.

A questo punto lo sperimentatore inseriva l'identificativo del soggetto nel software VK 1.0, impostava i parametri relativi al tipo di feedback a cui lo stesso era stato assegnato e il soggetto veniva trasportato nell'ambiente cucina VK 1.0 nel quale si svolgeva la prova vera e propria.

Per mantenere la sensazione di presenza e continuità fisica tra i due ambienti i soggetti comparivano nella cucina virtuale dando le spalle ad una porta ed esattamente in quel momento il software iniziava a registrare la loro permanenza nell'ambiente, attivando un cronometro che avrebbe interrotto la prova dopo 30 minuti a prescindere dalla conclusione o meno del compito assegnato. I soggetti non erano informati di questo tempo limite, che è stato da noi scelto per ridurre possibili rischi di chinetosi legati ad una permanenza prolungata nell'ambiente virtuale, così come suggerito dalla stessa *“Safety and Regulatory Guide”* del dispositivo.

Una volta comparsi all'interno della cucina l'operatore forniva al soggetto la seguente istruzione: *“Nella stanza c'è un tavolo. Sopra il tavolo c'è un libro, avvicinati al libro, aprilo e segui le istruzioni che trovi in esso riportate”*.

Una volta posizionato davanti al libro-tutorial il soggetto poteva leggere sulla copertina la seguente dicitura *“Benvenuto in Virtual Kitchen 1.0 prepariamo il Tiramisù”* e una volta aperto il libro alla prima pagina trovava le seguenti istruzioni: *“Nelle prossime pagine troverai le istruzioni per portare a termine il compito che ti è stato assegnato. Leggi bene le istruzioni e seguile con attenzione. Ricorda che se non segui con precisione le istruzioni passo passo potresti essere costretto a rifare qualche passaggio. Volta pagina”*.

A questo punto il soggetto cominciava la prova vera e propria, e poteva leggere sulla pagina sinistra del libro i diversi compiti relativi alla preparazione del dolce divisi in sotto compiti di numero variabile, e sulla pagina destra l'istruzione relativa al tipo di feedback che avrebbero ricevuto in caso di errore che, come precedentemente spiegato, differiva in base al gruppo sperimentale di appartenenza.

Le istruzioni riportate recitavano infatti:

- Gruppo A - Feedback specifico *“Se hai eseguito bene tutti i compiti il libro si aprirà alla pagina successiva. Se hai sbagliato in qualche passaggio non potrai andare avanti prima di aver eseguito nuovamente tutti i passaggi previsti in questa pagina: una spunta rossa ti dirà in quale passaggio hai commesso un errore. Premi il bottone verde per verificare la correttezza del compito appena effettuato”*;
- Gruppo B - Feedback generico *“Se hai sbagliato in qualche passaggio il libro non si aprirà alla pagina successiva e dovrai eseguire nuovamente tutti i passaggi presenti in questa pagina. Premi il bottone verde per verificare la correttezza del compito appena effettuato”*;

Nella tabella successiva sono riportati i diversi compiti e sotto compiti previsti che il soggetto doveva svolgere in modo consecutivo per portare a termine la procedura di preparazione del tiramisù:

Tabella 3 Tabella riassuntiva dei compiti previsti nella procedura.

COMPITI	SOTTO COMPITI	
1. Benvenuto Chef! Prima di iniziare la ricetta di oggi è necessario lavarsi le mani:	1	VAI AL LAVANDINO, APRILO E LAVA BENE ENTRAMBE LE MANI
2. Adesso prepariamo il caffè:	1	RECUPERA LA CARAFFA VERDE E RIEMPILA COMPLETAMENTE DI ACQUA
	2	VERSA IL SUO CONTENUTO NELLO SCOMPARTO “a” DELLA MACCHINA DEL CAFFÈ’ AMERICANO
	3	RIEMPI DI CAFFÈ’ IL CUCCHIAIO GRANDE
	4	USALO PER AGGIUNGERE 3 CUCCHIAI DI CAFFÈ’ NELLO SCOMPARTO “c” DELLA MACCHINA DEL CAFFÈ’ AMERICANO PREMI IL PULSANTE DI AVVIO DELLA MACCHINA DEL CAFFÈ’ AMERICANO E ATTENDI CHE IL CAFFÈ’ SIA PRONTO
3. Adesso prepariamo le uova:	1	RECUPERA I SEGUENTI OGGETTI E METTILI SUL TAVOLO: CIOTOLA BLU, CIOTOLA GIALLA, YOLKFISH (ha la forma di un pesce rosso)
	2	METTI 2 UOVA NELLA CIOTOLA BLU PER APRIRLE
	3	AVVICINA IL PESCIOLINO AL ROSSO DELL’UOVO PER CATTURARLO
	4	INFILA IL PESCIOLINO NELLA CIOTOLA GIALLA PER RILASCIARE IL ROSSO DELL’UOVO. RIPETI QUESTI ULTIMI DUE PASSAGGI PER ENTRAMBI I ROSSI
4. Prepariamo la crema al mascarpone	1	METTI LA CIOTOLA GIALLA SULLA BILANCIA
	2	PRENDI IL CUCCHIAIO PICCOLO E AGGIUNGI 40 GR DI ZUCCHERO
	3	PRENDI IL CUCCHIAIO GRANDE E AGGIUNGI 200 GR DI MASCARPONE (barattolo verde)
	4	CERCA LA FRUSTA E USALA PER MESCOLARE IL COMPOSTO

<p>5. Montiamo la chiara a neve e uniamola alla crema al mascarpone</p>	<p>1 2 3</p>	<p>USA LA FRUSTA PER MESCOLARE BENE IL BIANCO DELL'UOVO NELLA CIOTOLA BLU</p> <p>VERSA IL COMPOSTO DELLA CIOTOLA GIALLA NELLA CIOTOLA BLU</p> <p>USA LA FRUSTA PER MESCOLARE BENE LA CREMA</p>
<p>6. Assembliamo il nostro tiramisù</p>	<p>1 2 3 4 5 6</p>	<p>RECUPERA LA CIOTOLA ROSSA E VERSACI DENTRO IL CAFFÈ</p> <p>RECUPERA LA TEGLIA NERA E METTILA SUL TAVOLO</p> <p>PRENDI LA SCATOLA DI BISCOTTI E METTILA SUL TAVOLO</p> <p>PRENDI UN BISCOTTO E INZUPPALO NEL CAFFÈ</p> <p>RIPONILO NELLA TEGLIA E RIPETI L'OPERAZIONE PER ALTRE 3 VOLTE</p> <p>USA IL CUCCHIAIO GRANDE PER VERSARE 8 CUCCHIAI DI CREMA AL MASCARPONE SUI BISCOTTI</p>
<p>7. Buon appetito!</p>	<p>1</p>	<p>PREMI IL TASTO EXIT PER USCIRE DA KITCHEN LAB</p>

Il modulo di *Registrazione delle attività* del software ha permesso di tenere automaticamente traccia dell'intera attività esplorativa e manipolativa del soggetto durante l'esecuzione della prova. Inoltre, per l'estrazione dei dati, sono state utilizzate le videoregistrazioni della prestazione del soggetto e un protocollo cartaceo appositamente creato per annotare durante lo svolgimento della prova i seguenti elementi:

- Errori compiuti dal soggetto durante lo svolgimento della prova e classificati come uso di oggetti diversi da quello richiesto per lo svolgimento dello sotto compito, cambiamento nell'ordine della sequenza proposta dal compito, errori nelle quantità degli ingredienti richiesti dal sotto compito;
- Commenti da parte del soggetto relativi al compito che stava eseguendo;
- Bug software che potevano intaccare la qualità della prova;

- Comportamenti extra compito come ad esempio azioni di manipolazione degli oggetti o di esplorazione dell'ambiente cucina non richieste dal compito;

Alla fine della prova, che poteva avvenire automaticamente (allo scadere dei 30 minuti) o a seguito del completamento della procedura, i soggetti venivano aiutati nella rimozione dei dispositivi e invitati a compilare il *Questionario post-esperienza*.

A distanza di due settimane dalla prova in *VK 1.0* i soggetti erano chiamati a sostenere la prova di *Memoria dell'esperienza VK 1.0 (MEVK 1.0)*. A tale scopo veniva fornito loro un protocollo da leggere in autonomia in cui era richiesto di ricordare i vari passaggi compiuti durante l'esperienza in *VR*. Le istruzioni fornite ai soggetti erano le seguenti: *“Nella sessione precedente qui nel laboratorio ti abbiamo fornito delle istruzioni scritte e tu le hai seguite per arrivare a preparare un tiramisù nella cucina virtuale. Come spiegheresti a qualcuno che si trovasse nella cucina virtuale, ma senza istruzioni, quali sono le cose che deve fare per preparare il tiramisù? Prova, insomma, a scrivere cosa ricordi della procedura che hai dovuto fare per arrivare alla fine del compito. La prima istruzione che ho ricevuto era...”*. Una volta letto il protocollo se il soggetto non ricordava la prima istruzione il ricercatore forniva verbalmente il seguente suggerimento: *“Vai al lavandino, aprilo e lava bene entrambe le mani”*. A questo punto il soggetto era lasciato libero di scrivere quello che ricordava della procedura.

#### *4.5 Analisi dei dati*

A causa di alcuni *bug software* e della difficoltà incontrata da alcuni soggetti nel portare a conclusione le prime prove nel tempo limite stabilito (30 minuti), non tutti i partecipanti sono riusciti a completare la prova in *VK 1.0*. Per questo motivo, è stato possibile avere registrazioni complete e confrontabili dell'esperienza solo per i primi tre compiti della procedura e le analisi dei dati che verranno successivamente

illustrate saranno quindi relative solo ai primi tre compiti e ai loro relativi sotto compiti.

Per ciascun partecipante e per ciascun gruppo (*Gruppo A - Feedback specifico* e *Gruppo B - Feedback generico*) sono state calcolate le seguenti misure:

- I punteggi ottenuti nel Test di Memoria di Prosa (Novelli et al., 1984), i punteggi ottenuti nei test cognitivi TMT A e B (Reitan, 1958; adattato da Giovagnoli et.al, 1996) e quelli ottenuti nel Digit Span inverso (Monaco et al., 2013). Per tali prove i punteggi cognitivi sono stati assegnati seguendo le istruzioni dei rispettivi manuali;
- I punteggi relativi al tempo totale impiegato dai soggetti per portare a termine i primi tre compiti eseguiti nella prova in VR espressi in secondi, il numero di errori totali commessi nei primi tre compiti, i punteggi registrati nel *Questionario post-esperienza (QPE)* e nella prova di *Memoria dell'esperienza VK 1.0 (MEVK 1.0)*.

Su queste misure sono state effettuati i confronti tra le prestazioni del *Gruppo A (Feedback specifico)* e del *Gruppo B (Feedback generico)* utilizzando la statistica non parametrica U di Mann-Whitney. La scelta di questa statistica è stata determinata dall'esiguità del campione e dal fatto che non tutte le variabili hanno una distribuzione normale e presentano violazione delle assunzioni di normalità e di omogeneità delle varianze ai Test di Normalità di Shapiro-Wilk e di Omogeneità della Varianza di Levene (vedi tabella 4 e 5 rispettivamente). Successivamente sono state calcolate anche le analisi di correlazione sulle misure raccolte utilizzando la statistica r di Pearson.

Tabella 4. Test di Normalità Shapiro-Wilks per i risultati relativi alla prestazione nella prova in VK 1.0, ai risultati ottenuti al Questionario post-esperienza e alla prova di Memoria dell'esperienza VK 1.0.

	<b>W</b>	<b>P</b>
<b>Somma dei tempi nei primi 3 compiti</b>	0.929	0.032
<b>Errori totali nei primi 3 compiti</b>	0.969	0.440
<b>Percentuale MEVK 1.0</b>	0.979	0.749
<b>Presenza</b>	0.903	0.007
<b>Livello di interattività</b>	0.978	0.735
<b>Ambiente di familiarizzazione</b>	0.883	0.002
<b>Virtual Kitchen 1.0</b>	0.974	0.590
<b>Gradimento</b>	0.874	0.001

*Un valore di p basso suggerisce una violazione dell'assunzione di normalità*

Tabella 5. Test di Omogeneità della Varianza di Levene per i risultati relativi alla prestazione nella prova in VK 1.0, ai risultati ottenuti al Questionario post-esperienza e alla prova di Memoria dell'esperienza VK 1.0.

	<b>F</b>	<b>df</b>	<b>df2</b>	<b>p</b>
<b>Somma dei tempi nei primi 3 compiti</b>	3.2039	1	31	0.083
<b>Errori totali nei primi 3 compiti</b>	0.1441	1	31	0.707
<b>Percentuale MEVK 1.0</b>	0.0245	1	31	0.877
<b>Presenza</b>	0.9409	1	31	0.340
<b>Livello di interattività</b>	7.66e-5	1	31	0.993

<b>Ambiente di familiarizzazione</b>	0.7282	1	31	0.400
<b>Virtual Kitchen 1.0</b>	0.4934	1	31	0.488
<b>Gradimento</b>	0.3621	1	31	0.552

*Un valore di p basso suggerisce una violazione dell'assunzione di omogeneità della varianza*

#### 4.5.1 Risultati delle analisi statistiche

##### *Analisi descrittive dei dati raccolti nelle prove cognitive*

Nella tabella 6 sono esposte le analisi descrittive per i punteggi relativi ai test cognitivi somministrati ai soggetti prima della loro esposizione alla prova in VR con VK 1.0.

Tabella 6. Analisi descrittiva dei punteggi ottenuti ai test cognitivi dei partecipanti assegnati al Gruppo A o al Gruppo B.

	<b>GRUPPO</b>	<b>Memoria di prosa (Immediata)</b>	<b>Memoria di prosa (Differita)</b>	<b>TMT_A Tempo</b>	<b>TMT_A Errori</b>	<b>TMT_B Tempo</b>	<b>TMT_B Errori</b>	<b>Digit span inverso</b>
<b>N</b>	A	17	16	17	17	17	17	17
	B	16	16	16	16	16	16	16
<b>Moda</b>	A	9.00	13.0	.00	15.0	68.0	.00	6.00
	B	9.00	12.0	.00	17.0	73.0	.00	5.00
<b>Mediana</b>	A	9	16.0	0	18	66	0	6.00
	B	10.5	17.0	.00	20.0	65.0	.500	5.00
<b>Media</b>	A	10.5	15.8	.294	24.1	.706	67.6	5.29
	B	9.94	15.5	.250	21.8	.875	68.5	5.00
<b>DS</b>	A	3.54	2.86	.588	11.8	.985	16.0	1.05
	B	3.62	4.05	.447	7.20	1.15	22.6	.516

<b>Minimum</b>	A	5	10	0	13	0	43	3
	B	3	8	0	12	0	38	4
<b>Maximum</b>	A	17	20	2	50	3	99	7
	B	15	23	1	38	4	121	6

#### *Analisi dei dati relativi alla prestazione nella prova in VK 1.0*

Per ciascuno dei tre compiti abbiamo calcolato il tempo (in secondi) impiegato dai partecipanti per portare a termine le operazioni richieste e il numero di errori totali compiuti nell'esecuzione delle stesse. Come precedentemente riportato, a causa dei numerosi *bug software* riscontrati, abbiamo dovuto limitare la nostra analisi esclusivamente ai primi tre compiti della prova (*lavaggio mani, preparazione del caffè e preparazione delle uova*), dal momento che questi sono gli unici compiti svolti senza alcun problema da tutti i soggetti testati. Nella tabella 7 sono riportate le analisi descrittive dei tempi (in secondi) e degli errori totali commessi dai due gruppi di partecipanti per i primi tre compiti della prova.

Tabella 7. Analisi descrittiva relativa alle misure di tempo ed errore relative ai primi tre compiti della prova in VR

	<b>Gruppo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>Tempo totale nei primi 3 compiti</b>	A	17	796	802	1.91
	B	16	833	734	3.51
<b>Errori totali nei primi 3 compiti</b>	A	17	5.12	5	2.09
	B	16	4.38	4.5	2.06

*(Gruppo A= Feedback specifico; Gruppo B= Feedback generico)*

Per verificare se vi fosse una differenza statistica significativa tra i due gruppi sperimentali testati, rispetto alle nostre ipotesi *H1 (I soggetti sottoposti al feedback specifico producono meno errori dei soggetti sottoposti a feedback generico)* e *H2 (I soggetti sottoposti al feedback specifico impiegano meno tempo a svolgere i singoli*

*compiti rispetto ai soggetti sottoposti a feedback generico*), abbiamo quindi calcolato una statistica U di Mann-Whitney per campioni indipendenti.

Tabella 8. Statistica U di Mann-Whitney per le misure di tempo ed errore relative ai primi tre compiti della prova in VR.

	<b>Mann-Whitney U</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect Size</b>
<b>Tempo totale nei primi 3 compiti</b>	125	.709	-.131
<b>Errori totali nei primi 3 compiti</b>	108	.308	.358

Come mostra la tabella 8 non è possibile riscontrare differenze significative nel tempo totale impiegato a svolgere i primi 3 compiti della procedura ( $U=125$ ,  $p=.709$ ) tra il *Gruppo A* ( $Mdn=802$ ) che in caso di errore ha ricevuto il *feedback specifico* ed il *Gruppo B* ( $Mdn=734$ ) che invece ha ricevuto un *feedback generico*. Non è neanche possibile riscontrare differenze significative in relazione al numero totali di errori compiuti nell'esecuzione dei primi 3 compiti della procedura ( $U=108$ ,  $p=.308$ ) tra il *Gruppo A* ( $Mdn=5$ ) che in caso di errore ha ricevuto il *feedback specifico* ed il *Gruppo B* ( $Mdn=4.5$ ) che invece ha ricevuto un *feedback di tipo generico*.

Il *Gruppo A* (tabella 7) ha prodotto una media di errori pari a 5.12 ( $DS= 2.09$ ), mentre il *Gruppo B* una media pari a 4.38 ( $DS= 2.06$ ). Le due medie sono tra loro molto vicine così come lo è la media del tempo di esecuzione complessivo dei primi tre compiti. Il *Gruppo A* ha infatti ottenuto una media pari a 796 secondi ( $DS= 191$ ) mentre il *Gruppo B* una media pari a 833 secondi ( $DS= 351$ ).

Per verificare se vi fosse una differenza statistica significativa tra i due gruppi sperimentali testati rispetto alla nostra ipotesi  $H3$  (*I soggetti sottoposti al feedback specifico hanno un migliore ricordo della procedura svolta nella cucina virtuale rispetto ai soggetti sottoposti a feedback generico*), abbiamo analizzato i punteggi ottenuti dai soggetti nella prova di *Memoria dell'esperienza (MEVK 1.0)* eseguita a distanza di due settimane dalla prova in *VK 1.0*. Per calcolare tali punteggi abbiamo

escluso dall'analisi i dati riferibili al ricordo del primo compito “*Lavaggio delle mani*”, utilizzato dal ricercatore come esempio per elicitare nei soggetti la memoria della procedura. I dati anche in questo caso sono stati calcolati considerando il ricordo per i compiti 2 (*preparazione del caffè*) e 3 (*preparazione delle uova*) della procedura, dal momento che sono stati gli unici compiti svolti da tutti i soggetti senza incorrere in *bug software*. Pertanto, il punteggio massimo che poteva essere assegnato per la prova *MEVK 1.0* in relazione ai due compiti era pari a 32.

Nella tabella 9 sono riportati media e deviazione standard degli elementi relativi ai compiti 2 e 3 correttamente rievocati dai partecipanti nella prova *MEVK 1.0*. Come si vede dai valori riportati in tabella, la media di elementi correttamente ricordati relativamente ai compiti 2 (*preparazione del caffè*) e 3 (*preparazione delle uova*) sono molto simili nei partecipanti del *Gruppo A - Feedback specifico* e in quelli del *Gruppo B - Feedback generico*.

Tabella 9. Analisi descrittiva per le misure relative alla Prova di memoria differita dell'esperienza in VR per i compiti 2 e 3.

	<b>Gruppo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>SD</b>
<b>MEVK 1.0 per i compiti 2 e 3</b>	A	17	14.4	16	5.68
	B	16	15.7	15.5	6.01

(Gruppo A= *Feedback specifico*; Gruppo B= *Feedback semplice*).

I punteggi riportati dai partecipanti dei due gruppi alla prova *MEVK 1.0* sono stati successivamente confrontati attraverso la statistica U di Mann-Whitney.

Tabella 10. Statistica U di Mann-Whitney per le misure relative alla Prova di memoria differita dell'esperienza in VR per i compiti 2 e 3.

	<b>Mann-Whitney U</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect size</b>
<b>MEVK 1.0 per i compiti 2 e 3</b>	127	.759	-.218

Come mostra la tabella 10, da tale confronto non sono emerse differenze significative in relazione al numero di elementi della procedura rievocati per i compiti 2 e 3 ( $U=127$ ,  $p=-.218$ ) tra il *Gruppo A* ( $Mdn=16$ ) che in caso di errore ha ricevuto il *feedback specifico* ed il *Gruppo B* ( $Mdn=15.5$ ) che invece ha ricevuto un *feedback di tipo generico*, come mostrato nella tabella 10.

Abbiamo inoltre voluto verificare se le due diverse modalità di feedback potessero aver inciso in modo statisticamente significativo su altri aspetti dell'esperienza in realtà virtuale, quali quelli misurati attraverso il *Questionario post-esperienza* relativi a: esperienza di presenza, interattività percepita, chiarezza ed utilità percepita del feedback e delle istruzioni ricevute nell'ambiente cucina, e gradimento complessivo riferito dai soggetti rispetto all'intera esperienza nella cucina virtuale.

Tabella 11. Analisi descrittiva per le misure relative al Questionario post-esperienza in VK 1.0 per i due gruppi.

	<b>Gruppo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>Presenza</b>	A	17	2.48	2.43	.481
	B	16	2.51	2.43	.394
<b>Livello di interattività</b>	A	17	2.41	2.40	.502
	B	16	2.36	2.40	.491
<b>Ambiente di familiarizzazione</b>	A	17	1.29	1.00	.371
	B	16	1.60	1.67	.408

<b>Virtual Kitchen 1.0</b>	A	17	1.68	1.75	.383
	B	16	2.06	2.00	.496
<b>Gradimento</b>	A	17	1.91	2.00	.712
	B	16	1.91	1.75	.779

(Gruppo A= Feedback specifico; Gruppo B= Feedback semplice)

Come mostra la tabella 11 che riporta media e deviazione standard delle dimensioni analizzate dal *Questionario post-esperienza*, i soggetti appartenenti al Gruppo A, che hanno ricevuto un feedback specifico, mostrano di ritenere l'ambiente di familiarizzazione come più chiaro nelle istruzioni e nell'utilità percepita riportando una media più bassa 1.29 (DS= .371) rispetto ai soggetti appartenenti al Gruppo B, sottoposti a feedback generico che riportano invece una media più alta pari a 1.60 (DS= .408). Allo stesso modo, i soggetti del Gruppo A mostrano di ritenere come mediamente più chiaro nelle istruzioni e più utile ai fini della realizzazione della procedura il tipo di feedback ricevuto (feedback specifico) riportando una media più bassa pari a 1.68 (DS= .383) rispetto ai soggetti che hanno ricevuto un feedback generico (Gruppo B), che hanno riportato una media pari a 2.00 (DS= .496). Ricordiamo infatti che i punteggi alti della scala Ambiente di familiarizzazione e Virtual Kitchen 1.0, corrispondono ad una valutazione soggettiva della stessa di tipo negativo. Non sono state rilevate altre differenze tra i due gruppi sulle altre dimensioni considerate.

Per verificare se vi fosse una differenza statistica significativa tra i due gruppi sperimentali testati, rispetto alle variabili espresse dal *Questionario post-esperienza* abbiamo calcolato una statistica U di Mann-Whitney.

Tabella 12. Statistica U di Mann-Whitney per le dimensioni analizzate dal Questionario post-esperienza VK 1.0.

	<b>Mann-Whitney U</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect size</b>
<b>Presenza</b>	132.5	.913	-.069
<b>Livello di interattività</b>	126.5	.743	.099
<b>Ambiente di familiarizzazione</b>	77.5	.029*	-.794
<b>Virtual Kitchen 1.0</b>	74.0	.024*	-.875
<b>Gradimento</b>	133.5	.941	.007

*Livelli di significatività \*  $p < .05$*

Come mostra la tabella 12 sono presenti due differenze significative: una tra il Gruppo A ( $Mdn=1,00$ ) che in caso di errore ha ricevuto il *feedback specifico* ed il Gruppo B ( $Mdn=1,67$ ) in relazione alla percezione di utilità e chiarezza rispetto all'esperienza nell'ambiente di familiarizzazione ( $U=77,5$ ,  $p=.029$ ); ed una tra il Gruppo A ( $Mdn=1,75$ ) che ha ricevuto un *feedback di tipo specifico* e il Gruppo B ( $Mdn=2,00$ ) che invece ha ricevuto un *feedback di tipo generico*, per ciò che riguarda la percezione di utilità e chiarezza rispetto all'esperienza in VK1.0 ( $U=74,0$ ,  $p=.024$ ).

#### *Analisi di correlazione*

Dal momento che non sono emerse differenze significative tra i due gruppi nel tempo impiegato e nel numero di errori commessi durante la prestazione in VR, si è deciso di collassare i soggetti testati in un unico gruppo di 33 soggetti per verificare la presenza di correlazioni tra le variabili considerate relative sia alla prestazione di tempo e correttezza in VK 1.0 che ai valori registrati per quel che riguarda le dimensioni valutate attraverso la prova di Memoria dell'esperienza VK 1.0 (MEVK 1.0) e il Questionario post-esperienza.

La tabella 13 mostra le analisi descrittive relative al gruppo di 33 soggetti per le dimensioni che verranno successivamente analizzate attraverso la statistica di correlazione  $r$  di Pearson.

Tabella 13. Analisi descrittive dei punteggi ottenuti dai 33 soggetti alla prestazione in VK 1.0 (tempo totale e numero di errori totali nei primi 3 compiti), alla prova MEVK 1.0 per i compiti 2 e 3 e al Questionario post-esperienza.

	N	Moda	Mediana	Media	DS	Minimum	Maximum
<b>Tempo totale compiti 2 e 3</b>	33	250	658	666	264	250	1522
<b>Errori totali compiti 2 e 3</b>	33	4.00	3	3.03	1.67	0	6
<b>MEVK 1.0 per i compiti 2 e 3</b>	33	21.0	16	15.0	5.79	3	29
<b>Presenza</b>	33	16.0	17	17.5	3.04	10	24
<b>Livello di interattività</b>	33	12.0	12	11.9	2.45	7	17
<b>Ambiente di familiarizzazione</b>	33	3.00	4	4.33	1.24	3	6
<b>Virtual Kitchen 1.0</b>	33	8.00	8	7.39	1.92	4	12
<b>Gradimento</b>	33	2.00	4	3.82	1.47	2	6

Abbiamo cominciato le nostre analisi di correlazione verificando la relazione tra le misure tempo totale, errori totali e numero di elementi ricordati durante la prova di *Memoria dell'esperienza VK 1.0 (MEVK 1.0)* per i compiti 2 e 3.

Tabella 14. Correlazioni  $r$  di Pearson tra le misure tempo totale, errori totali e numero di elementi ricordati durante la prova di Memoria dell'esperienza VK 1.0 (MEVK 1.0) per i compiti 2 e 3.

	<b>Tempo totale compiti 2 e 3</b>	<b>Errori totali compiti 2 e 3</b>	<b>MEVK 1.0 per i compiti 2 e 3</b>
<b>Tempo totale compiti 2 e 3</b>	-	-	-
<b>Errori totali compiti 2 e 3</b>	.683***	-	-
<b>MEVK 1.0 per i compiti 2 e 3</b>	.674***	.538**	-

*Livelli di significatività \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ ,  $N=33$*

Come mostra la tabella 14, il totale di errori commessi dai soggetti nei compiti 2 (*preparazione del caffè*) e 3 (*preparazione delle uova*), dato dalla somma del numero di errori commessi nelle due prove, correla positivamente con il tempo totale (espresso in secondi) impiegato per lo svolgimento dei due compiti  $r(33) = 0.68$ ,  $p < .001$ . Come atteso, le persone che hanno commesso la percentuale di errore maggiore, sono anche quelle che hanno impiegato più tempo per portare a termine i due compiti, dal momento che il sistema comportava in caso di errore di ripetere il compito dall'inizio.

Altro risultato atteso è quello rilevato dalla correlazione positiva tra il numero di elementi ricordato correttamente nella prova di memoria differita dell'esperienza virtuale (*MEVK 1.0*) per i compiti 2 e 3 ed il tempo totale (in secondi) impiegato per svolgere i compiti 2 e 3 della prova di cucina  $r(33) = 0.67$ ,  $p < .001$ . Come attesa era la correlazione positiva riscontrata tra gli elementi ricordati nella prova *MEVK 1.0* e il numero totale di errori commessi nei compiti 2 e 3  $r(33) = 0.53$ ,  $p < .01$ . I soggetti che hanno speso più tempo nell'ambiente cucina e che hanno commesso una

percentuale più alta di errori sono anche quelli che hanno ricordato meglio la procedura a distanza di due settimane.

Sempre utilizzando la statistica  $r$  di Pearson abbiamo voluto verificare la presenza di una relazione tra le misure del tempo e degli errori per i compiti 2 e 3 della procedura e le dimensioni relative al *Questionario post-esperienza*.

Tabella 15. Correlazioni  $r$  di Pearson tra le misure di tempo totale ed errori totali nei compiti 2 e 3 e le dimensioni misurate attraverso il Questionario post-esperienza.

	Tempo totale compiti 2 e 3	Errori totali compiti 2 e 3	Presenza	Livello di interattività	Ambiente di familiarizzazione	Virtual Kitchen 1.0	Gradimento
Tempo totale compiti 2 e 3	-						
Errori totali compiti 2 e 3	.683***	-					
Presenza	.283	.170	-				
Livello di interattività	.357*	.291	.528**	-			
Ambiente di familiarizzazione	.008	.025	.066	.110	-		
Virtual Kitchen 1.0	-.109	.016	.348*	.338	.441*	-	
Gradimento	.109	.219	.558***	.423*	.103	.176	-

*Livelli di significatività* \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ ,  $N=33$

I risultati dell'analisi presentati nella tabella 15 mostrano una correlazione statistica positiva significativa tra il *Livello di Interattività* misurata attraverso il *Questionario post-esperienza* e il tempo totale impiegato per svolgere i compiti 2 e 3  $r(33) = 0.35$ ,  $p < .05$ . Da notare che, anche se tempo ed errori sono correlati tra loro,

non è invece statisticamente significativa la correlazione tra l'interattività e la percentuale di errori per gli stessi compiti  $r(33) = 0.29, p = .1$ . I soggetti che hanno impiegato più tempo a svolgere i compiti in VR sono quindi quelli che hanno avvertito l'ambiente come meno interattivo. Risultato atteso è invece quello che rileva una correlazione positiva statisticamente significativa tra il *Livello di interattività* e la *Presenza*  $r(33) = 0.52, p < .01$ . I soggetti che hanno percepito una maggiore interattività sono anche quelli che hanno esperito una maggiore esperienza di presenza.

La dimensione della *Presenza* appare inoltre correlare positivamente anche con il *Gradimento*  $r(33) = 0.55, p < .001$ . I soggetti che hanno percepito un maggior livello di presenza nell'ambiente sono anche quelli che hanno gradito maggiormente l'ambiente e provato una minore frustrazione nell'interazione con lo stesso. Tale dato trova sostegno anche nella correlazione positiva ottenuta tra la dimensione del *Gradimento* e dell'*Interattività*  $r(33) = 0.42, p < .05$ . Risulta invece interessante la correlazione positiva tra la *Presenza* e la dimensione ambiente *Virtual Kitchen 1.0*  $r(33) = 0.34, p < .05$ . I soggetti che hanno ritenuto le istruzioni fornite dal libro tutorial e i feedback come più chiari, ed utili, a prescindere che fossero sottoposti al tutorial avanzato o generico, sono anche quelli che hanno sperimentato una maggiore esperienza di presenza.

Ancora, è presente una correlazione positiva tra la dimensione *Ambiente di familiarizzazione* e la dimensione ambiente *Virtual Kitchen 1.0*  $r(33) = 0.44, p < .05$ . I soggetti che hanno trovato utili e chiare le istruzioni nell'ambiente di familiarizzazione, sono anche quelli che hanno poi trovato più chiare e utili le istruzioni nell'ambiente di cucina virtuale.

Infine, nella tabella 16 sono riportati i valori di correlazione calcolati con la statistica  $r$  di Pearson tra i punteggi ottenuti nelle prove cognitive e le dimensioni rilevate attraverso il *Questionario post-esperienza*.

Tabella 16. Correlazioni  $r$  di Pearson tra le prove cognitive e le dimensioni misurate attraverso il Questionario post-esperienza.

		Presenza	Livello	Ambiente	di	Virtual	Gradimento
			di	familiarizzazione		Kitchen	
			interattività			1.0	
<b>Memoria di prosa (Immediata)</b>	<b>di</b>	.337	.135	.019		-.033	.574***
<b>Memoria di prosa (Differita)</b>	<b>di</b>	.195	.123	-.234		-.146	.400*
<b>TMT-A Tempi</b>		-.078	-.5032	.044		-.099	-.302
<b>TMT-A Errori</b>		-.200	-.233	.292		-.289	.067
<b>TMT-B Tempi</b>		-.084	.181	.315		.151	-.229
<b>TMT-B Errori</b>		-.027	-.114	.177		-.246	-.268
<b>Digit inverso</b>	<b>span</b>	.105	-.118	-.170		-.222	.023

Livelli di significatività \*  $p < .05$ , \*\*\*  $p < .001$ ,  $N=33$

I risultati mostrano una correlazione positiva della dimensione del *Gradimento* sia con la prova di *Memoria di prosa Immediata*  $r(33)= 0.57$ ,  $p < .001$  che con la prova di *Memoria di prosa differita*  $r(33)= 0.40$ ,  $p < .05$ . Non sono state invece rilevate altre correlazioni sulle restanti dimensioni considerate.

## 4.6 *Discussione*

Sebbene il software *VK 1.0* abbia mostrato diversi *bug software* che hanno impedito la registrazione dei dati per l'interezza dei compiti a cui i partecipanti erano sottoposti e sebbene il numero dei soggetti testati sia stato piuttosto limitato a causa dell'emergenza pandemica che ha impedito la presa di dati successiva alla risoluzione dei problemi riscontrati come era stata programmata, i risultati ottenuti possono comunque dare una prima indicazione, di tipo esplorativo, sulla relazione tra il tipo di feedback che viene fornito e la velocità e correttezza nel seguire le istruzioni di un compito procedurale in un ambiente di realtà virtuale immersiva.

Come risulta dalle analisi statistiche, il tipo di feedback ricevuto appare ininfluenza sia in relazione al numero di errori compiuti che al tempo impiegato per completare la procedura, così come non appare significativo in relazione alla qualità del ricordo della procedura a distanza di due settimane rilevata attraverso la prova di *Memoria dell'esperienza VK 1.0*. I soggetti che hanno ricevuto un feedback facilitativo più esplicito (*Feedback specifico*), basato su suoni e spunte che segnalavano in quale passaggio esattamente era stato compiuto l'errore, hanno infatti ottenuto per tali parametri risultati molto simili ai soggetti che hanno ricevuto un feedback implicito (*Feedback generico*). Tutte le nostre ipotesi risultano pertanto non verificate: i soggetti sottoposti a feedback formativi specifici, a differenza da quanto da noi ipotizzato, non manifestano un numero minore di errori (*H1*) né impiegano meno tempo a svolgere i compiti di cucina da noi proposti (*H2*) rispetto ai soggetti sottoposti a feedback generico. Allo stesso modo non mostrano un ricordo significativamente migliore della procedura in *VR* a distanza di tempo (*H3*).

Una differenza tra i due gruppi emerge invece nel grado di chiarezza ed utilità percepita dai soggetti rispetto all'Ambiente di familiarizzazione e nella chiarezza ed utilità percepita delle istruzioni e del feedback esperiti durante l'esperienza nell'ambiente *VK 1.0*. I risultati delle analisi sui dati del *Questionario post-esperienza*, rilevano infatti come i soggetti che hanno ricevuto un *Feedback specifico* (*Gruppo A*) abbiano trovato entrambi gli ambienti come più chiari e utili rispetto ai

soggetti sottoposti a *Feedback generico (Gruppo B)*. Il feedback specifico ricevuto, quindi, anche se non è riuscito a migliorare la prestazione dei soggetti, è stato comunque ritenuto più intuitivo e apprezzato rispetto ad un feedback più generico.

Per quel che riguarda le analisi di correlazione, che sono state effettuate collassando i partecipanti dei due gruppi sperimentali in un unico gruppo, erano attesi i risultati che hanno evidenziato una correlazione positiva tra il tempo impiegato a svolgere la procedura, la percentuale di errori totali e i punteggi conseguiti alla successiva prova di memoria dell'esperienza in *VK 1.0*. Dal momento che la procedura da noi proposta prevedeva, in caso di errore in uno dei sotto compiti che il soggetto ripetesse il compito dall'inizio, era immaginabile che i soggetti che avessero effettuato più errori fossero anche quelli che avrebbero impiegato più tempo a svolgere la procedura. I nostri risultati mostrano che i partecipanti che sono rimasti più tempo nell'ambiente *VK 1.0* e che hanno fatto più errori, hanno comunque immagazzinato in memoria più dettagli rispetto alla procedura che era stato loro richiesto di eseguire. La reiterazione dei compiti dovuta agli errori e l'esposizione prolungata all'ambiente *VK 1.0* sembrano aver favorito di fatto la memorizzazione dei singoli passaggi della procedura da parte dei soggetti.

Altri risultati attesi sono quelli relativi alla correlazione tra il *Gradimento* percepito e le dimensioni della *Presenza* e del *Livello di interattività*. I soggetti che hanno percepito una maggior sensazione di presenza, hanno anche percepito l'esperienza come più interattiva e più gradevole. Tali risultati confermano i risultati di studi precedenti (es. Van der Straaten, 2000), ed in particolare lo studio di Mütterlein (2018) che ha identificato un'influenza diretta e positiva tra l'interattività e l'esperienza di presenza nonché tra la presenza e la percezione di soddisfazione di un'esperienza di realtà virtuale immersiva.

Ancora si può notare come i soggetti che hanno ottenuto punteggi più alti nella prova di memoria di prosa immediata e differita (che erano, ricordiamo, pure prove di memoria a lungo termine) sono quelli che hanno manifestato un maggior gradimento per la prova di cucina. Il dato trova sostegno anche nel fatto che i soggetti che hanno

manifestato un maggiore gradimento sono anche quelli che hanno rilevato una maggiore esperienza di presenza. L'esperienza di presenza può essere stata meglio ritenuta in memoria in quanto connessa alla vivida percezione dell'esperienza virtuale che, garantita dal dettaglio visivo e delle interazioni esperite (toccare gli oggetti, camminare, sentire i suoni), potrebbe aver aumentato l'esperienza di gradimento complessiva dell'esperienza in VR, e quindi potrebbe aver anche stimolato la capacità mnemonica. Questa considerazione è avvalorata dai risultati di diversi studi che hanno mostrato come le persone che vivono un evento connotato emozionalmente, riportano memorie vivide e dettagliate in relazione allo stesso (Yuille e Cutshall, 1986; Christianson e Hübner, 1993).

Risulta interessante la correlazione positiva riscontrata tra la *Presenza* e la chiarezza ed utilità percepita rispetto alle istruzioni fornite dal libro tutorial e dal feedback fornito. I soggetti che hanno percepito come più utili e chiare le istruzioni ed il feedback ricevuti nell'ambiente di cucina virtuale sono anche quelli che hanno esperito una maggiore sensazione di *Presenza*. L'esperienza di presenza così come descritta in letteratura (cfr. Capitolo 1) appare fortemente determinata dalla possibilità di possedere un corpo capace di azione e movimento all'interno dell'ambiente virtuale e conseguentemente di un ambiente virtuale capace di offrire tali potenzialità. Il sistema di tutorial da noi elaborato, presentandosi in entrambe le versioni fornite come un libro interattivo, che poteva essere sfogliato e che forniva anche un feedback rispetto all'esito delle proprie azioni ha in una certa misura aumentato nei soggetti tale esperienza di presenza.

Altrettanto interessante risulta la correlazione positiva riscontrata tra il tempo impiegato per svolgere i compiti della prova (*preparazione del caffè e preparazione delle uova*) ed il *Livello di interattività* percepita nell'ambiente virtuale. I soggetti che hanno passato più tempo all'interno di VK 1.0 hanno infatti percepito l'ambiente come meno interattivo, ma non hanno necessariamente commesso più errori, cosa confermata dalla mancata correlazione di questo dato con la dimensione dell'*Interattività*.

Un'analisi di tipo qualitativo, basata sulle osservazioni effettuate in presenza e sulle videoregistrazioni, portano ad alcune riflessioni generali sul funzionamento del software, anche in relazione ai risultati commentati precedentemente. Questi dati infatti ci portano a considerare come il presentarsi non solo di inattesi *bug software*, ma anche degli effetti sull'azione e interazione dei soggetti da parte di alcuni errori di progettazione dell'ambiente, abbiano probabilmente penalizzato l'esperienza proprio in relazione agli elementi indagati dalla dimensione *Livello di Interattività*. Un esempio rappresentativo sono sicuramente i problemi emersi dall'analisi dell'esperienza dei soggetti in relazione ai sotto compiti che prevedevano di travasare un ingrediente da un contenitore all'altro, come nel caso della preparazione del caffè, in cui i soggetti dovevano riempire l'apposito scomparto della macchina del caffè americano d'acqua. I contenitori coinvolti nelle procedure di travaso (caraffa verde e scomparto della macchina del caffè) sono stati progettati per un uso che mettesse in primo piano una lettura di tipo visivo della loro *affordance d'uso*, cosa abbastanza comune negli ambienti *VR* simili al nostro, che non prevedono feedback di tipo aptico in caso di urti o collisioni tra oggetti. Il soggetto doveva quindi regolare il proprio movimento corporeo affinché gli oggetti interessati non collidessero tra loro in fase di travaso, agendo posizionando il contenitore pieno più in alto di quanto non avrebbero fatto eseguendo la medesima azione nel mondo reale. La modalità di travaso da noi richiesta ha comportato difficoltà di adattamento da parte della maggior parte dei soggetti testati che hanno versato ponendo la caraffa in posizione ravvicinata rispetto allo scomparto della macchina del caffè americano. La modalità da noi progettata andava quindi a scontrarsi con i naturali modelli concettuali d'uso di tali oggetti, costruiti nella realtà e quindi basati su movimenti che prevedono una maggiore vicinanza tra gli oggetti e su una risposta di tipo aptico in caso di collisioni. I soggetti che restavano più a lungo nell'ambiente essendo stati esposti a tali modalità non naturali in modo ripetuto, hanno più volte visto compromessa la loro esperienza d'uso con tali oggetti a causa dell'errato modello concettuale elicitato dagli stessi. Ciò ha probabilmente concorso a rendere l'esperienza nell'ambiente virtuale non più difficile ma a tratti più frustrante perché più lontana dall'esperienza reale e più complessa da prevedere ed interpretare. Tale ipotesi troverebbe conferma in quanto teorizzato da Norman (1990) in relazione alle modalità con cui le persone

elaborano cognitivamente la loro interazione con oggetti nuovi. Secondo l'autore, infatti, la gradevolezza o meno percepita durante l'interazione con un nuovo oggetto è frutto di un processo che comprende la qualità dell'azione svolta con l'oggetto (che ne include le caratteristiche), la sua capacità di conseguire lo scopo per cui è stato progettato e l'attento confronto con precedenti esperienze (modelli cognitivi) con oggetti simili.

I risultati del nostro studio, per quanto esplorativo, preliminare e limitato a solo una parte dei compiti previsti nell'ambiente virtuale, non ha portato a confermare le nostre ipotesi principali ma ha messo in luce l'importanza di fattori legati all'interattività, alla presenza e al gradimento in fase di progettazione per creare degli efficaci ambienti di apprendimento.

Il design di un ambiente virtuale di apprendimento deve configurarsi quindi come un processo sistematico guidato da dati costruiti grazie all'osservazione e all'analisi non solo degli scopi legati all'apprendimento ma anche dalle caratteristiche e dalle necessità dell'utente. Occorre tenere presenti le sue caratteristiche, non solo in termini di età e comfort con l'interfaccia e le tecnologie proposte, ma anche capirne i limiti fisici e gli aspetti emotivi. Occorre osservare e capire come svolge nel reale i compiti e le azioni che andrà a svolgere nell'ambiente virtuale e lavorare alla progettazione di input e output che superino i limiti dell'interfaccia così che l'esperienza con essa risulti non solo efficace ed efficiente ma anche emotivamente soddisfacente. L'esperienza della costruzione di *Virtual Kitchen 1.0* non ha permesso in modo definitivo di rispondere con sicurezza alle domande di ricerca che erano state inizialmente formulate, ma ha permesso, dal punto di vista tecnico, di sviluppare un software di progettazione di ambienti virtuali per l'apprendimento e di guidare la messa in opera della versione 2.0 di *Virtual Kitchen* che verrà descritta nel prossimo capitolo.

## Capitolo 5 - Virtual Kitchen 2.0: analisi e sviluppo

L'attenta analisi dell'esperienza dei soggetti testati (*user experience analysis*) presso l'Università degli Studi di Cagliari con l'ambiente *Virtual Kitchen 1.0* e i risultati dei questionari da essi compilati, hanno messo in luce una serie di problematiche che, tramite un lavoro di stretta collaborazione con gli sviluppatori software ha permesso il miglioramento dell'ambiente *VirtuaLab* e degli oggetti in esso contenuti in termini di interattività, realismo e lettura delle *affordance*.

### 5.1 Metodo di lavoro

Prendendo a riferimento i precetti della *Game User Research (GUR)*, abbiamo adoperato come principale fonte di riferimento per il lavoro di implementazione e *debugging* del software i dati comportamentali raccolti nell'attività di *playthrough* (Drache et al., 2018) svolte dai soggetti durante l'uso di *VK 1.0* attraverso tre canali principali: i protocolli cartacei compilati dal ricercatore, le videoregistrazioni delle attività nell'ambiente virtuale e i *log* compilati dal *Modulo di registrazione delle attività*.

Partendo dai protocolli cartacei compilati dal ricercatore per ogni soggetto testato, è stato possibile inquadrare rapidamente due principali aree di intervento: quella delle modifiche software e quella delle modifiche di configurazione dell'ambiente. Successivamente, incrociando i dati delle videoregistrazioni in soggettiva e i dati dei *log* raccolti dal *Modulo di registrazione delle attività* durante l'esperienza in *VK 1.0*, è stato possibile compilare un report per permettere agli sviluppatori di individuare per ogni area le specifiche criticità riscontrate e la loro gravità. Il report comprendeva la lista accurata in ordine di importanza dei problemi rilevati, specificando per ognuno di essi i momenti/situazioni in cui si erano verificati e le cause ipotetiche, il

tutto corredato dai frammenti dei video e dei *log* dell'attività dell'utente corrispondenti al problema elencato.

Le principali aree di intervento rilevate per le modifiche software hanno riguardato interventi tesi alla correzione di errori e al miglioramento della *user experience*, mentre per le modifiche di configurazione dell'ambiente hanno compreso la sostituzione, revisione ed eliminazione di oggetti che hanno comportato per i soggetti testati difficoltà di usabilità legate alla lettura delle *affordance d'uso*.

Successivamente alle correzioni degli sviluppatori sono stati effettuati una serie di test interni di usabilità tesi a verificare la validità degli interventi apportati prima del rilascio della nuova versione *Virtual Kitchen 2.0 (VK2.0)* per le nuove attività sperimentali.

## 5.2 Modifiche effettuate

### *Modifiche di tipo software*

Semplificazione del livello grafico (vedi figura 26) tale modifica ha permesso di aumentare la frequenza dei fotogrammi per secondo (*frame rate per second, FPS*) presentati dal software, alleggerendo non solo il carico di lavoro del sistema hardware ma anche migliorando l'illusione del movimento delle immagini presentate, andando così a ridurre ulteriormente possibili fenomeni di chinetosi.



Fig. 26 Virtual Kitchen prima (in alto) e dopo le modifiche.

Modifiche dell'interazione con gli oggetti legati alle attività di “travaso” (vedi figura 27) gli oggetti per tale attività quali la caraffa o le ciotole (gialla, rossa e blu) sono stati inizialmente progettati per un uso che mettesse in primo piano una lettura di tipo visivo della loro *affordance d'uso*. Tale modalità di progettazione, risulta abbastanza comune negli ambienti VR simili al nostro, in cui non sono previsti feedback di tipo aptico in caso di urti o collisioni tra oggetti. Gli utenti erano chiamati a regolare il proprio movimento corporeo affinché la caraffa o le ciotole non collidessero con altri

oggetti durante lo svolgimento di compiti che prevedevano attività di travaso. Per fare ciò i soggetti avrebbero dovuto agire posizionando il contenitore pieno, da cui si prevede di versare il contenuto, più in alto rispetto al contenitore in cui avrebbero dovuto versare. Una tale modalità di azione è risultata per diversi soggetti estremamente innaturale, andando a cozzare con i naturali modelli cognitivi dell'azione di travaso, basati su una maggiore vicinanza tra gli oggetti al fine di evitare di rovesciare il contenuto. Modelli cognitivi che nella realtà sono favoriti non solo da una risposta visiva ma anche dalla risposta aptica determinata dalla collisione tra gli oggetti.



*Fig. 27 Due compiti che includono l'azione di travaso.*

L'analisi dei video della prova effettuata dai soggetti, riportata nel grafico alla figura 28, evidenzia infatti come per il sotto compito numero due del secondo compito (C2sc2) che chiedeva “*Versa il suo contenuto nello scomparto A della macchina del caffè americano*”, il 35% dei soggetti abbia svolto l'azione di travaso da una posizione più simile a quella che avrebbero svolto nella realtà (ovvero più ravvicinata per evitare di rovesciare il contenuto della caraffa). Ciò ha comportato per i soggetti degli errori che hanno richiesto di ripetere il sotto compito per poter proseguire nella preparazione del dolce.



Fig. 28 Grafico dei dati percentuale relativi al sotto compito 2 del compito 2 previsto in VK 1.0.

Allo stesso modo, come mostrato nel grafico alla figura 29, nel sotto compito numero due del quinto compito (C5sc2) che chiedeva “*Versa il composto della ciotola gialla nella ciotola blu*”, il 47% dei soggetti ha effettuato l'azione di travaso adoperando una posizione più simile a quella che avrebbero svolto nella realtà, incorrendo in errori che hanno comportato la necessità di ripetere il sotto compito per poter proseguire nella preparazione del dolce.

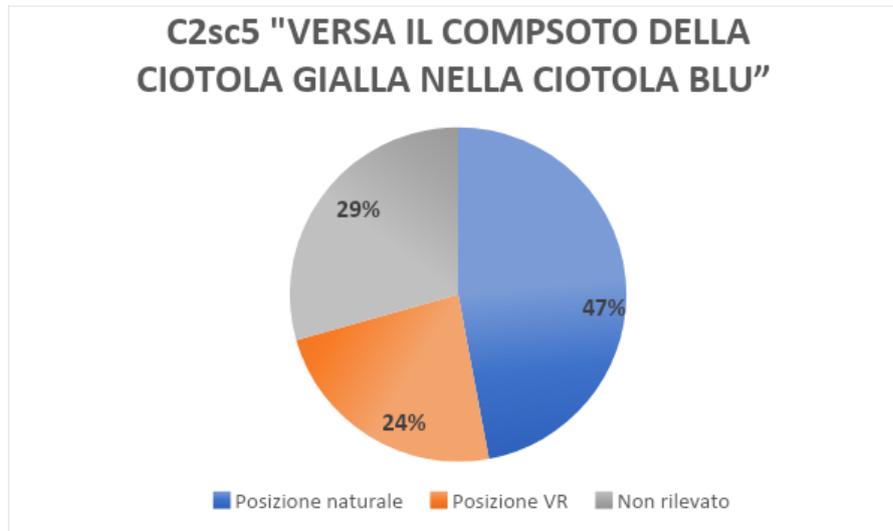


Fig. 29 Grafico dei dati percentuale relativi al sotto compito 2 del compito 5 previsto in VK 1.0

Analizzando questi comportamenti è stato possibile riprogrammare gli oggetti previsti nei compiti di travaso, includendo la possibilità di versare in posizione ravvicinata da un oggetto ad un altro. Tale modifica permette di rispettare la più naturale lettura dell'*affordance d'uso* degli oggetti coinvolti nel compito, rispettando non solo la lettura fisica (collisioni) ma anche i modelli cognitivi posseduti. Così facendo è possibile permettere agli oggetti virtuali legati ai compiti di travaso di approssimare sempre di più nel loro comportamento quello degli oggetti reali corrispondenti.

#### *Modifiche di configurazione dell'ambiente*

Queste modifiche hanno riguardato principalmente azioni di riprogettazione del design dei seguenti oggetti:

Yolkfish (vedi figura 30) nonostante il libro di ricette specificasse l'aspetto e la modalità d'uso del separatore per uova, il 32% dei soggetti è incorso in un errore da noi definito come errore d'uso. Invece di seguire l'istruzione riportata nel libro, che chiedeva di avvicinare il pesciolino per catturare il tuorlo, i soggetti erano soliti effettuare un movimento simile a quello che avrebbero adoperato se l'oggetto fosse stato un cucchiaino. Tale comportamento, conteggiato attraverso il numero di prese

(*pinch*), ha determinato numerose collisioni con la ciotola, conseguenti in errori tali da impedire il completamento del compito richiesto.

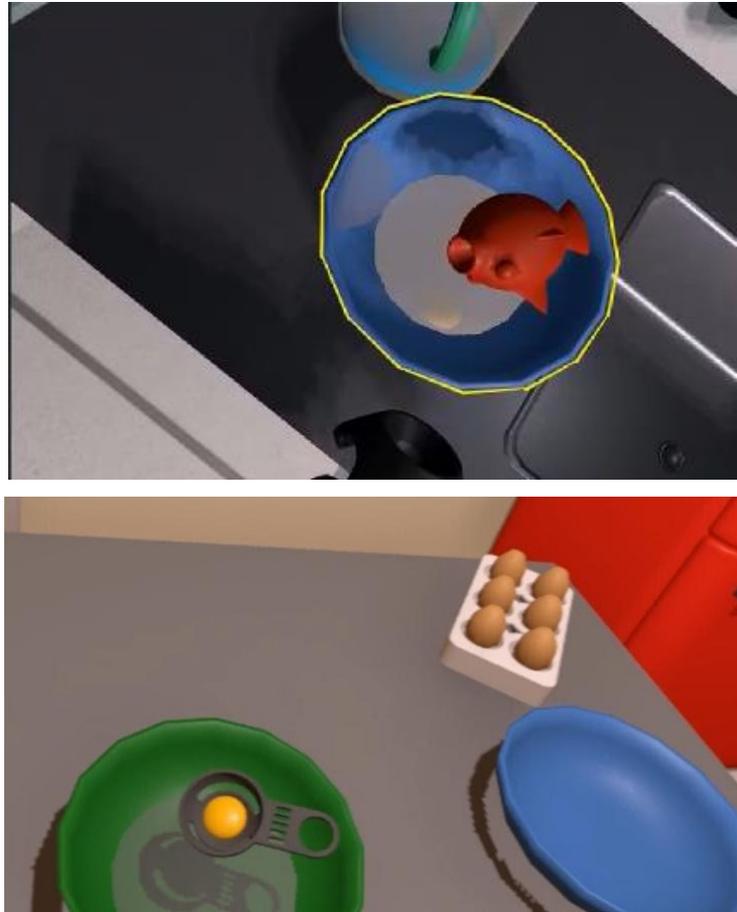


Fig. 30 Lo Yolkfish prima (in alto) e dopo la modifica.

Nel nuovo VK 2.0 si è deciso pertanto di sostituire l'oggetto con uno che risultasse per i soggetti di più facile lettura per ciò che concerne l'*affordance d'uso*. Somigliando maggiormente ad un cucchiaino, il nuovo "*separatore delle uova*" permetterà ai soggetti testati di muoversi con maggiore sicurezza nell'azione di cattura del tuorlo, evitando collisioni o compenetrazioni che potrebbero conseguire in errori.

Contenitore delle uova (vedi figura 31) il 18% dei soggetti ha espresso dei dubbi nel riconoscimento di tale oggetto, manifestati attraverso la richiesta di una conferma verbale allo sperimentatore relativamente alla correttezza dell'oggetto selezionato.



*Fig. 31 Il contenitore delle uova prima (in alto) e dopo la modifica.*

Per approssimare maggiormente l'oggetto al modello cognitivo posseduto dai soggetti si è deciso di sostituire la ciotola contenente le uova con un contenitore ad alloggiamenti più simile a quelli solitamente inclusi nei comuni frigoriferi.

Mani virtuali (vedi figura 32) Nell'esperimento pilota l'avatar dei soggetti si presentava come una coppia di mani guantate che reggevano una copia virtuale dei *controller* reali. Tali *controller* e le mani stesse, scomparivano nel momento in cui i soggetti afferravano un qualsiasi oggetto virtuale attraverso la pressione del tasto *trigger* posto sotto l'indice della mano reale.

Dopo l'esperimento con *VK 1.0* ci siamo interrogati se alcuni problemi manifestati dai soggetti nella lettura delle distanze durante le azioni di manipolazione degli oggetti (presa, trascinamento e rotazione) e durante il primo compito richiesto dalla procedura che prevedeva il lavaggio delle mani (un compito dall'apparenza semplice ma che ha indotto la maggior parte dei soggetti in errore) non fossero stati indotti proprio dall'aspetto e dalla configurazione da noi utilizzate per l'avatar.

Per comprendere la prima tipologia di problemi ci siamo soffermati sull'analisi dei primi due compiti, in quanto sono i primi momenti della prova che permettono ai soggetti di praticare le tre manipolazioni base apprese nell'ambiente di familiarizzazione ai dispositivi. Le manipolazioni di cui parliamo sono la *rotazione* del pomello per l'apertura del rubinetto, la *presa* della caraffa e il *trascinamento* per l'apertura del cassetto per recuperare il "*cucchiaino grande*". Analizzando il numero di prese (*pinch*) effettuate in questi passaggi abbiamo rilevato come il 29% dei soggetti non si avvicinasse abbastanza all'oggetto che desiderava manipolare, cosa confermata dalla mancata accensione dell'alone giallo attorno all'oggetto virtuale.

Per ciò che concerne i problemi riscontrati durante l'esecuzione del primo compito, (*lavaggio delle mani*) abbiamo rilevato come il 74% dei soggetti avesse eseguito il compito richiesto lavando le mani separatamente e non "*entrambe*" come richiesto dall'istruzione. La dicitura da noi adoperata come sinonimo di "insieme" potrebbe aver indotto i soggetti all'errore, ma, considerando anche l'analisi precedente relativa alle difficoltà nella lettura delle distanze durante le manipolazioni, non possiamo escludere che l'errore sia stato aggravato anche dalla presenza dei *controller* nelle mani durante il compito di lavaggio mani. Presenza che ha reso innaturale l'azione del lavaggio delle mani congiunto.



*Fig. 32 L'avatar prima (in alto) e dopo la modifica.*

Alla luce di questi dati siamo stati portati a riconsiderare il design dell'avatar al fine di arginare eventuali errori correlati all'aspetto dello stesso.

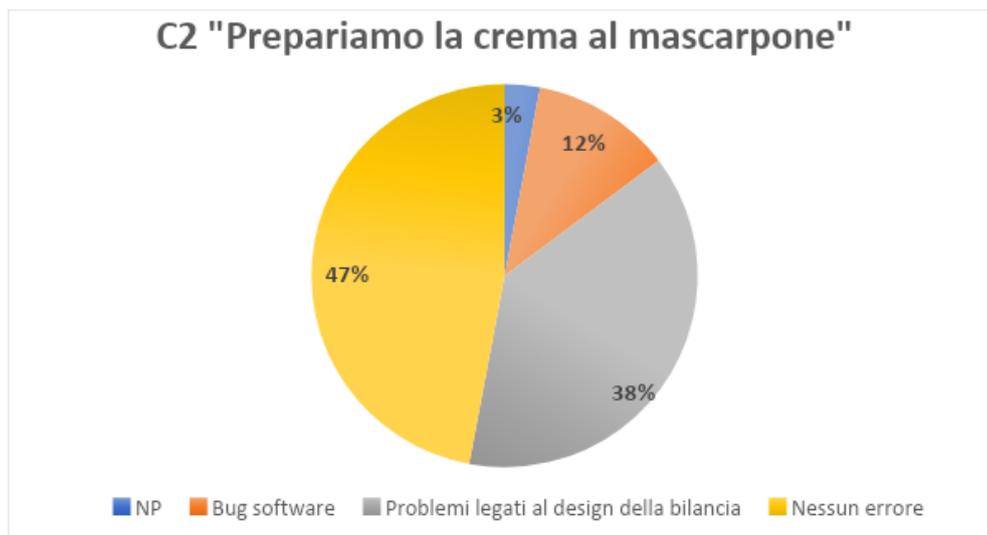
Il nuovo avatar utilizzato in *VK 2.0* si presenta ora come una coppia di mani nude, senza guanti e senza *controller*. Anche in questo caso, le mani virtuali scompaiono nel momento in cui il soggetto, premendo il tasto *trigger*, afferra, trascina o ruota gli oggetti virtuali presenti nell'ambiente.

Bilancia (vedi figura 33) questo oggetto previsto per il completamento del compito 4 della nostra procedura di cucina ha comportato per i soggetti testati problemi legati sia al design da noi scelto che ad alcuni *bug software*.



Fig. 33 La bilancia durante l'esecuzione del Compito 4 in VK 1.0.

La dimensione dell'oggetto, unitamente all'impossibilità di tarare il peso delle ciotole ha reso difficile per il 38% dei soggetti (vedi grafico alla figura 32) sia la visualizzazione del display indicante il peso degli ingredienti introdotti nella ciotola, sia l'uso efficace della bilancia stessa. A questi soggetti si unisce un ulteriore 12 % che ha incontrato durante l'esecuzione del compito un *bug software* dovuto alla scorretta gestione delle collisioni. Il *bug*, determinando urti e conseguenti rovesciamenti delle ciotole ha reso impossibile ai soggetti la buona riuscita del compito al primo tentativo.



*Fig. 34 Grafico degli errori incontrati dai soggetti nell'esecuzione del compito 2 in VK 1.0.*

L'impossibilità di effettuare test specifici sull'oggetto "bilancia" per comprendere quale fosse il migliore design per renderlo più funzionale all'esecuzione del compito richiesto ci ha indotti ad eliminare questo oggetto da VK 2.0 e a rivedere il compito in funzione di ciò.

## **Capitolo 6: Virtual Kitchen 2.0 - Studio degli effetti di differenti istruzioni/tutorial sull'esecuzione e l'apprendimento di una procedura**

### *6.1 Obiettivi di ricerca*

Gli ambienti virtuali di apprendimento come quello da noi sviluppato rientrano a pieno titolo tra gli ambienti di apprendimento multimediale, ovvero ambienti in cui è possibile usare diverse combinazioni di testi, immagini, video e suoni per la presentazione del materiale da apprendere.

Tale multimedialità secondo Rieber (1995) ha la capacità di stimolare l'immaginazione e la visualizzazione, definita come la rappresentazione di informazioni costituite da caratteristiche spaziali e olistiche; mentre Peregoy e Boyle (2005) sostengono come tali ambienti permettano *"una più profonda comprensione e conservazione del materiale"* (p. 79).

Specialmente l'uso della comunicazione visuale appare uno strumento importante per sostenere l'apprendimento degli studenti (Vanichvasin, 2013). Icone ed elementi grafici possono infatti veicolare informazioni e contenuti in modo più rapido e di più facile comprensione rispetto al puro testo scritto in lettura silente, dal momento che ogni lettera in una parola è essenzialmente un simbolo. Per leggere il testo, il cervello deve prima agire come un decodificatore, abbinando quelle lettere con le forme immagazzinate nella memoria. Da lì il cervello deve capire come tutte le lettere si incastrano per formare le parole, come le parole formano le frasi e come le frasi formano i paragrafi. Sebbene tutta questa comprensione avvenga in una frazione di secondo, relativamente parlando, rispetto a come il cervello gestisce le immagini, il processo richiede uno sforzo mentale considerevolmente maggiore che con le immagini (Smiciklas, 2012).

Nell'ambito dell'*Instructional Design* per i VLE l'uso delle immagini è preponderante, specialmente per ciò che riguarda il training industriale. Immagini statiche o dinamiche vengono collocate direttamente negli spazi o sopra gli oggetti virtuali con cui i soggetti si trovano ad interagire, spesso sostituendo completamente le parole od integrandosi ad esse, allo scopo di velocizzare e massimizzare gli apprendimenti riducendo il carico cognitivo. Eppure, sebbene il *Visual Learning* sia utilizzato da aziende molto famose come *Walmart*, *Nasa* o *Ikea*, ancora pochi sono gli studi a supporto della loro efficacia per ciò che concerne la realtà virtuale immersiva.

Per tali ragioni si è deciso di configurare *Virtual Kitchen 2.0* per mettere alla prova due diverse modalità di tutorial durante l'esecuzione di una procedura di cucina: un tutorial più tradizionale basato principalmente su istruzioni scritte presentate su un monitor ed uno che invece sfrutta maggiormente le potenzialità offerte dalla VR, utilizzando istruzioni espresse attraverso icone e simboli integrati nello spazio o sopra gli oggetti virtuali utili per l'esecuzione del compito richiesto. Obiettivo della nuova sperimentazione era quello di comparare l'efficacia in termini di qualità e velocità dell'apprendimento delle due diverse modalità di tutorial.

In accordo con Paivio (1991) emerge come le immagini siano non solo più facili da riconoscere ed elaborare delle parole, ma anche più facili da ricordare. Quando le parole entrano nella memoria a lungo termine, lo fanno con un unico codice, a differenza delle immagini che contengono due codici: uno visivo e l'altro verbale, ciascuno immagazzinato in diversi punti del cervello. La natura a doppia codifica delle immagini consente quindi di accedere ai ricordi visivi usando due modalità indipendenti, che di fatto aumentano la possibilità di ricordare almeno uno dei due codici.

Secondo Mayer (2005) inoltre, per favorire i processi cognitivi essenziali all'apprendimento in ambienti multimediali, occorre operare strutturando tali ambienti secondo precisi principi che permettano ai soggetti di comprendere il materiale essenziale di un contenuto multimediale riducendo l'impatto di tutto quel

materiale per così dire di contorno o estraneo, non necessario all'apprendimento. I processi cognitivi essenziali rappresentano infatti il carico cognitivo intrinseco richiesto per svolgere un compito mentale. Tale carico è soprattutto indotto dalla complessità del contenuto e dal fine della risorsa didattica. Esso è tanto più elevato quanto maggiore è il numero degli elementi che interagiscono fra loro e che devono essere organizzati e coordinati per comprendere il significato del messaggio (Clark e Nguyen, 2006).

Per evitare che i processi cognitivi essenziali richiesti per comprendere il messaggio multimediale eccedano le capacità cognitive del discente e per favorire la corretta gestione dei processi cognitivi essenziali, lo psicologo americano individua alcuni principi da seguire nella progettazione di risorse multimediali per la didattica. Le persone imparano meglio quando i contenuti da apprendere vengono presentati attraverso modalità di più semplice elaborazione come immagini o simboli (*Principi di Coerenza, Ridondanza e Multimediale*) e quando tali contenuti vengono forniti in modo graduale e segmentato (*Principio di Segmentazione*). Lo stesso accade quando vengono aggiunti segnali che evidenziano l'organizzazione del materiale essenziale da apprendere secondo modalità spazialmente e temporalmente contigue (*Principi di Segnalazione e Contiguità*).

Sulla base di queste considerazioni siamo portati a supporre che un tutorial in cui il materiale di apprendimento venga presentato attraverso modalità di rappresentazione visuale, come icone e simboli collocati esattamente sui luoghi o oggetti di utilizzo, possa comportare per i soggetti un carico cognitivo minore e una migliore capacità di elaborazione rispetto alle stesse informazioni espresse in forma scritta su un monitor. Il minor carico cognitivo permetterebbe ai soggetti testati di svolgere la procedura richiesta (es. la preparazione di un dolce) in modo più efficace, riducendo il numero di errori ed il tempo impiegati rispetto alla stessa procedura svolta attraverso un tutorial testuale. Allo stesso modo i soggetti sottoposti ad un tutorial visuale dovrebbero manifestare non solo una memoria più accurata della procedura rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale, ma anche una maggiore padronanza della

procedura (meno errori e tempi ridotti) verificata attraverso una nuova prova nell'ambiente virtuale proposta a distanza di tempo.

Le ipotesi che abbiamo voluto verificare sono state così espresse:

- *H1: i soggetti sottoposti al tutorial visuale producono meno errori dei soggetti sottoposti al tutorial testuale;*
- *H2: i soggetti sottoposti al tutorial visuale impiegano meno tempo a svolgere i compiti richiesti rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale;*
- *H3: i soggetti sottoposti al tutorial visuale, a distanza di una settimana dalla prova in VK 2.0 producono meno errori e ottengono tempi di esecuzione migliori durante lo svolgimento di una nuova prova nell'ambiente di cucina virtuale;*
- *H4: i soggetti sottoposti al tutorial visuale, a distanza di una settimana dalla prima prova in VK 2.0 producono meno errori in una prova di memoria/apprendimento della procedura rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale;*

Diversi studi hanno sottolineato inoltre come tra i fattori che possono incidere sull'esperienza di presenza vi sia sicuramente il realismo visivo (Van der Straaten, 2000). Per realismo visivo non si intendono solo aspetti quali illuminazione, geometrie, morbidezza delle ombre o tecniche di *rendering*, tutti aspetti che si sono rivelati positivamente correlati nel facilitare la percezione dei dettagli, la concretizzazione di concetti astratti e persino l'esperienza di apprendimento in tutti quegli scenari che si collegano alla vita reale (Huang et al., 2019). Ma anche quei fattori, che secondo Popova (2010), concorrono a generare due distinte esperienze di realismo, definite *realismo interno* e *realismo esterno*. Per *realismo interno* si intende la misura in cui l'ambiente virtuale è percepito dal soggetto come coerente al suo stesso all'interno o rispetto alle aspettative suscitate dal suo genere. Per esempio, un ambiente di fantascienza potrebbe apparire internamente plausibile se ritrae costantemente un alieno come in grado di volare. Per *realismo esterno* si intende invece il grado di coerenza percepito dai soggetti all'interno di un ambiente virtuale

rispetto alla loro personale conoscenza del mondo. Ogni volta che questi due aspetti del realismo vengono violati si assiste ad un calo nell'esperienza di presenza percepita.

In accordo con tali considerazioni siamo portati a credere che, un ambiente seppur graficamente realistico come la nostra cucina, possa, nella modalità offerta dal tutorial visuale, compromettere il realismo esterno percepito dai soggetti. Seguire una serie di istruzioni composte da icone e frecce mobili, che fluttuano sugli oggetti e i luoghi d'uso, è infatti un'esperienza piuttosto incoerente con la realtà a cui i soggetti sono normalmente abituati, che potrebbe influire sull'esperienza di presenza percepita, soprattutto per ciò che concerne la dimensione del realismo.

Tale considerazione ci porta a valutare un'ulteriore ipotesi così espressa:

- *H5: i soggetti sottoposti al tutorial visuale manifestano un minor grado di presenza percepita rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale, specialmente nella dimensione del realismo (Fattore Realismo);*

## 6.2 Metodo

### 6.2.1 Partecipanti

Per l'esperimento sono stati reclutati 23 partecipanti (11 femmine e 12 maschi) che hanno volontariamente partecipato alla ricerca. I partecipanti, studenti e studentesse di diversi dipartimenti della *Lawrence Technological University* (MI - USA), erano tutti adulti ( $M=21$  anni,  $DS= 6.65$ ) con pregresso sviluppo tipico e senza diagnosi di disabilità cognitive o percettive acquisite. Tutti i partecipanti avevano visus nella norma o corretto alla norma e hanno firmato il consenso informato prima di essere sottoposti alle prove. I partecipanti erano tutti residenti negli Stati Uniti e di madrelingua inglese.

Sono stati successivamente esclusi dalle analisi statistiche: tre soggetti a causa della presenza di *bug software* che hanno reso impossibile lo svolgimento della prova e un

soggetto che non ha completato il protocollo sperimentale previsto. Il campione finale della ricerca è quindi di 19 soggetti (9 femmine e 10 maschi). I partecipanti sono stati assegnati ai due gruppi sperimentali utilizzando una procedura semi randomizzata, avendo cura che i due gruppi fossero bilanciati per sesso, età e pregressa familiarità con la VR.

I dati sui partecipanti sono stati raccolti durante il periodo di studio all'estero svoltosi tra agosto 2019 e marzo 2020 come da approvazione del *MIUR*. La sperimentazione è stata interrotta a seguito della chiusura dei locali della *Lawrence Technological University* a causa della situazione di emergenza sanitaria che in quel periodo, negli Stati Uniti e a Detroit in particolare, si era fatta particolarmente grave.

### 6.2.2 Procedura

Il protocollo sperimentale ha compreso varie fasi: una prima fase di intervista preliminare seguita da una prima prova nell'ambiente virtuale *VK 2.0* seguita a sua volta dalla somministrazione di un questionario volto a valutare l'esperienza appena effettuata; e una seconda fase, a distanza di una settimana, in cui i partecipanti sono stati dapprima sottoposti ad un test di ricordo della procedura appresa durante la prima esperienza nell'ambiente *VK 2.0* e quindi sottoposti ad una seconda prova nell'ambiente virtuale con le stesse modalità di tutorial seguite durante la prima prova.

- **Fase 1**

*Questionario preliminare:* dopo la lettura dell'Informativa e la compilazione del Consenso informato tutti i soggetti sono stati sottoposti ad intervista allo scopo di raccogliere alcune informazioni anagrafiche (sesso, età, lateralizzazione, eventuali problemi pregressi e appartenenza alla categoria madrelingua inglese), informazioni relative alle proprie abilità e conoscenze culinarie (tra cui è stata presentata un'immagine e una spiegazione tratta da *Wikipedia* in relazione al dolce che si accingevano a preparare, dal momento che esso appartenendo tipicamente alla cucina italiana poteva essere

completamente sconosciuto a qualche partecipante) e infine informazioni relative all'esperienza videoludica (incluse precedenti esperienze in VR);

*Prova in realtà virtuale* dopo l'intervista i soggetti opportunamente equipaggiati di visore e controller effettuavano prima una prova di familiarizzazione ai dispositivi in un ambiente appositamente realizzato e infine la prova vera e propria nell'ambiente cucina *Virtual Kitchen 2.0*. La prova per entrambi i soggetti aveva una durata limite di 30 minuti; *Questionario post esperienza* al termine della prova in VR i soggetti compilavano un questionario al fine di valutare l'esperienza di presenza secondo il questionario di Witmer e Singer (1998) e l'utilità e chiarezza percepite rispetto al tutorial appena seguito;

- **Fase 2**

A distanza di una settimana dalla prima prova i soggetti sono stati sottoposti ad una valutazione dell'apprendimento/memoria della procedura attraverso un *Questionario di valutazione del ricordo della procedura* e successivamente sostenevano una nuova prova in VK2.0 utilizzando la stessa tipologia di tutorial precedentemente adoperata;

## 6.3 Materiali

### 6.3.1 Questionari

I questionari costruiti ad hoc sono stati predisposti in formato elettronico e sono stati compilati dai soggetti grazie all'uso di un PC messo a disposizione per tale scopo. I questionari utilizzati sono stati: il *Questionario preliminare (QP)*, il *Questionario post-esperienza (QPE)* e il *Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP)*.

### *Questionario preliminare (QP)*

Questo strumento (V. Appendice F) che combina domande aperte e chiuse è stato creato allo scopo di raccogliere informazioni sui partecipanti relative a età, sesso, lateralizzazione, prima lingua e presenza di disturbi fisici e/o cognitivi.

Nel questionario sono state raccolte anche alcune informazioni successivamente utilizzate per l'assegnazione dei soggetti al gruppo sperimentale quali:

- Precedenti esperienze di cucina - le domande a cui doveva rispondere il partecipante erano relative a familiarità e livello di abilità nella pratica culinaria e la conoscenza pregressa relativa al dolce che doveva essere preparato. Gli sperimentatori hanno ritenuto inoltre necessario introdurre in tale sezione una breve descrizione del dolce (tiramisù) di cui era richiesta la preparazione tratta da *Wikipedia* e corredata da una fotografia;
- Precedenti esperienze in VR - le domande analizzavano la tipologia di ambienti e di dispositivi precedentemente adoperati dal partecipante per la fruizione di esperienze di realtà virtuale. Lo scopo di queste domande era quello di comprendere il livello di familiarità con pratiche legate alla VR;
- Esperienza nell'uso videogiochi - le domande avevano lo scopo di raccogliere informazioni sulle precedenti esperienze del partecipante in ambito videoludico, la tipologia di giochi e di dispositivi adoperati e la frequenza d'uso su base settimanale;

### *Questionario post-esperienza (QPE)*

Il *Questionario post-esperienza (QPE)* è composto da 37 domande. Le prime 35 domande chiedevano ai partecipanti una risposta da esprimere su scala Likert a 7 punti, con il punteggio 1 che corrispondeva ad una risposta del tipo “per niente”, “nulla” e il punteggio 7 che corrispondeva ad una risposta del tipo “moltissimo”, “sempre”. Le ultime due domande erano invece domande a risposta aperta.

Il *QPE* aveva lo scopo di analizzare le seguenti dimensioni:

Presenza (item da 1 a 32) questa dimensione è stata misurata utilizzando tutte le domande presenti nel *Presence Questionnaire (PQ)* di Witmer e Singer estratto dall'articolo "*Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire*" (1998). Alcune domande hanno subito delle piccole modifiche che vengono più avanti descritte nel dettaglio. Il *PQ* elaborato da Witmer e Singer comprende 32 domande per valutare attraverso una scala Likert a 7 punti i quattro fattori (controllo, sensoriale, distrazione e realismo) ritenuti come determinanti l'esperienza di presenza in un ambiente virtuale. Tali fattori, sono riportati nella tabella 17 insieme ad alcuni esempi di domande.

Tabella 17. Tabella riassuntiva delle dimensioni prese in considerazione dal Presence Questionnaire (PQ) di Witmer e Singer (1998).

<b>FATTORE</b>	<b>ASPETTI INDAGATI</b>	<b>DOMANDE TIPO</b>
<b>Controllo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grado di controllo</li> <li>• immediatezza del controllo</li> <li>• anticipazione degli eventi</li> <li>• modalità di controllo</li> <li>• modificabilità dell'ambiente fisico</li> </ul>	<p>How much were you able to control events?</p> <p>How responsive was the environment to actions that you initiated (or performed)?</p> <p>How well could you move or manipulate objects in the virtual environment?</p>
<b>Sensoriale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modalità sensoriale</li> <li>• ricchezza ambientale</li> <li>• presentazione multimodale</li> <li>• coerenza informazione multimodale</li> </ul>	<p>How much did the visual aspects of the environment involve you?</p> <p>How compelling was your sense of moving around the virtual</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grado di percezione del movimento</li> <li>• ricerca attiva;</li> </ul>	<p>environment?</p> <p>How well could you examine objects from multiple viewpoints?</p>
<b>Distrazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• isolamento</li> <li>• attenzione selettiva</li> <li>• consapevolezza dell'interfaccia</li> </ul>	<p>How aware were you of events occurring in the real world around you?</p> <p>How aware were you of your display and control devices?</p> <p>How distracting was the control mechanism?</p>
<b>Realismo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• realismo della scena</li> <li>• informazione coerente con il mondo oggettivo</li> <li>• meschinità di esperienza</li> <li>• ansia da separazione/ disorientamento</li> </ul>	<p>How inconsistent or disconnected was the information coming from your various senses?</p> <p>To what degree did you feel confused or disoriented at the beginning of breaks or at the end of the experimental session?</p> <p>How much did your experiences in the virtual environment seem consistent with your real world experiences? (questa domanda è anche una domanda del control factor)</p>

Come accennato, alcuni degli item del *Presence Questionnaire* di Witmer e Singer sono stati modificati per adattarli alle nostre esigenze. Gli item modificati sono i seguenti:

- Domanda originale del PQ numero 9 (PQ9): *How aware were you of your display and control devices?*  
Domanda modificata utilizzata in questa ricerca (QPE9): *How aware were you of your head mounted display and control devices?*
- PQ22. *To what degree did you feel confused or disoriented at the beginning of breaks or at the end of the experimental session?*  
QPE22. *To what degree did you feel confused or disoriented at the end of the experimental session?*
- PQ29. *How much did the control devices interfere with the performance of assigned tasks or with other activities?*  
QPE29. *How much did the control devices interfere with the performance of assigned tasks?*

Inoltre, gli item 31 e 32 del *PQ* di Witmer e Singer sono stati trasformati in domande a risposta chiusa che prevedevano una risposta affermativa o negativa.

- QPE 34. *Did you learn new techniques that enabled you to improve your performance?*
- QPE 35. *Were you involved in the experimental task to the extent that you lost track of time?*

Virtual Kitchen Tutorial (item da 33 a 35) questi item, espressi anche loro attraverso scala Likert a 7 punti, avevano lo scopo di misurare la chiarezza ed utilità percepita dai soggetti rispetto alla modalità di tutorial adoperata durante la procedura richiesta;

Coinvolgimento e Frustrazione (item 36 e 37) queste due domande a risposta aperta avevano lo scopo di indagare rispettivamente gli elementi che potevano aver determinato nel soggetto coinvolgimento e frustrazione durante l'esperienza virtuale. Le risposte ottenute a queste domande sono state successivamente codificate e classificate da due giudici indipendenti per le successive analisi che sono state utili per una riflessione sul design dell'esperienza *VK 2.0* per come è stata percepita dai soggetti testati.

Per il dettaglio delle domande del *QPE* si invia alla lettura dell'Appendice G.

#### *Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP)*

Questo questionario (V. Appendice H) di nostra ideazione che aveva lo scopo di misurare l'entità del ricordo e dell'apprendimento della procedura effettuata in *Virtual Kitchen 2.0*, è strutturato con 13 domande a scelta multipla relative a precisi sotto compiti della procedura di preparazione del tiramisù a cui i soggetti dovevano rispondere scegliendo una sola tra le quattro alternative di risposta proposte. Successivamente veniva assegnato un punto per ogni risposta corretta e zero punti per ogni risposta sbagliata;

#### *6.3.2 La prova di realtà virtuale: sistemi hardware e software utilizzati*

Per la nuova sperimentazione si è deciso di utilizzare lo stesso impianto hardware adoperato per l'esperimento effettuato con gli studenti dell'Università di Cagliari (cfr. paragrafo 4.3.3 pag.81), che comprendeva: un visore di tipo *HMD HTC Vive*, una coppia di controller *STEAM VR wireless*, un adattatore wireless, un PC desktop dedicato ed un set di altoparlanti.



*Fig. 35 Sistemi hardware adoperati durante la sperimentazione con VK 2.0.*

La scelta di mantenere lo stesso sistema hardware già adoperato nella ricerca svolta a Cagliari con il software *VK 1.0*, è stata motivata non solo dai fattori tecnici precedentemente esposti che hanno guidato alla scelta di tali dispositivi, ma anche dall'analisi delle risposte che i soggetti testati a Cagliari hanno fornito al *Questionario post esperienza* relativamente all'uso di tali dispositivi.

Come mostra la figura 36, all'Item numero 3 del *Questionario post esperienza (QPE)* utilizzato nella precedente ricerca che chiedeva "*I controller ed i visori mi hanno distratto nell'esecuzione del compito e/o nell'interazione con l'ambiente*", il 61% dei soggetti si è ritenuto per niente d'accordo o in disaccordo nel ritenere i dispositivi come distraenti nelle attività richieste (esecuzione del compito e interazione con l'ambiente), rispetto al 15% dei soggetti che si è ritenuto invece molto d'accordo o d'accordo.

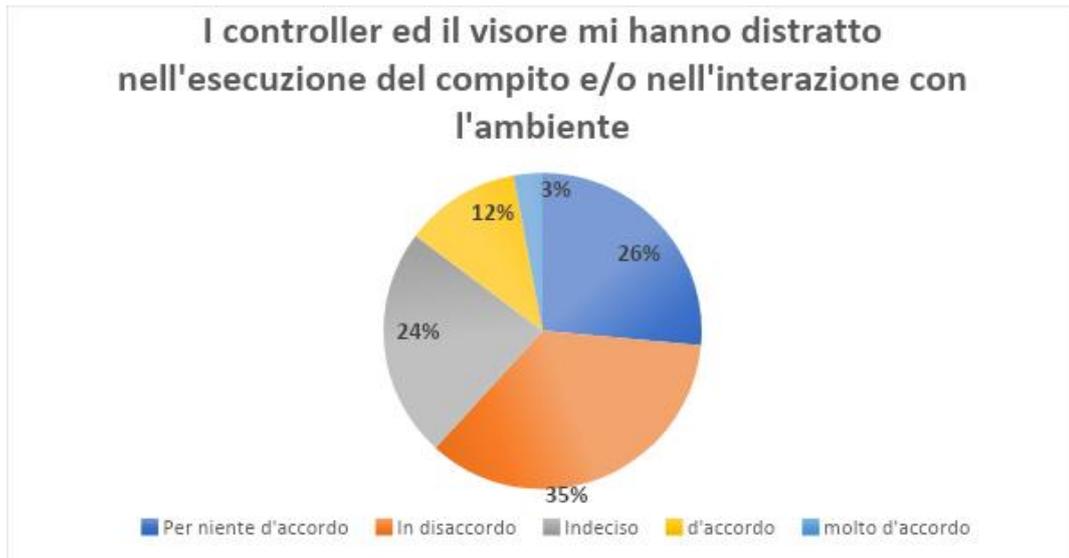


Fig. 36 Grafico dei dati percentuale delle risposte all'Item 3 del QPE utilizzato nella ricerca svolta con VK 1.0.

Tali dati trovano sostegno anche dall'analisi del comportamento dei soggetti rilevato durante la prova in VR con VK 1.0.

Solo 6 soggetti su 34 hanno infatti lamentato fastidi o disagi dovuti esclusivamente al visore, come tentativi ripetuti di sistemare il dispositivo con le mani (4 soggetti) e riferita sensazione di peso o visione sfocata (2 soggetti).

Tali fastidi o disagi non hanno comunque indotto i soggetti ad interrompere lo svolgimento della prova, sebbene ne avessero facoltà.

Inoltre, come mostrato nella figura 37, all'item 11 dello stesso questionario che chiedeva "Il movimento all'interno dell'ambiente mi è sembrato naturale" l'82% dei soggetti si è detto d'accordo o molto d'accordo nel ritenere il movimento all'interno dell'ambiente come naturale, contro il 6% che invece si è ritenuto in disaccordo.

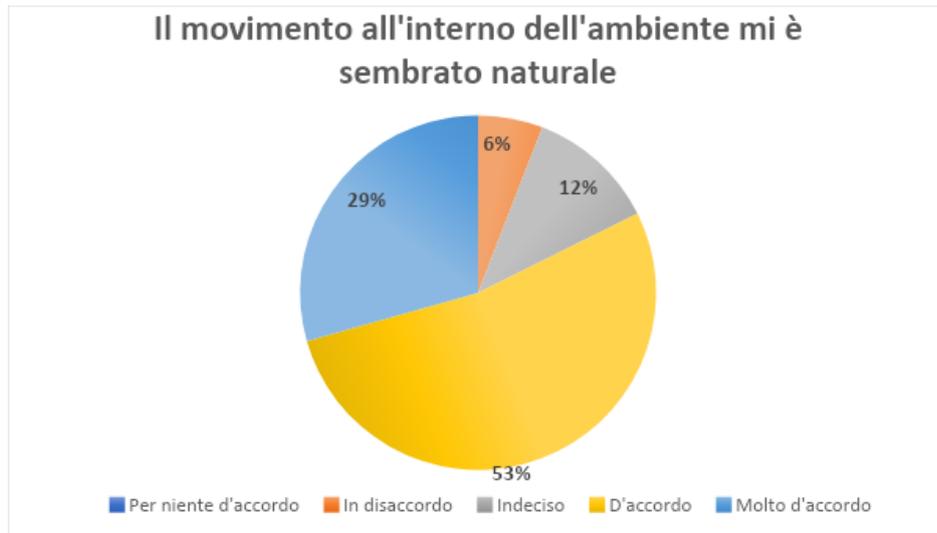


Fig. 37 Grafico dei dati percentuale delle risposte all'Item 11 del QPE utilizzato nella ricerca svolta con VK 1.0.

Infine, sostengono la validità dello strumento adoperato anche le risposte rilevate alla fine dell'esperienza in VK 1.0, attraverso la domanda "Ti senti nauseato, stordito o altro?".

Dei 34 soggetti testati, infatti, solo due hanno risposto affermativamente riferendo rispettivamente le seguenti risposte:

ID002: "Mi sta venendo la nausea"

ID027: "Mi sento nauseato e accaldato"

I *controller*, il visore e la libertà di movimento garantita dal sistema "room experience" da noi adoperati hanno quindi permesso alla maggior parte dei soggetti testati di svolgere l'esperienza in VR senza particolari disagi o fastidi fisici e senza distrazioni rispetto al compito richiesto e all'esplorazione dell'ambiente.

#### *Ambiente di familiarizzazione per l'uso dei dispositivi*

Le risposte fornite dai soggetti al QPE utilizzato nella sperimentazione italiana con VK 1.0 ci hanno spinto a mantenere un ambiente di familiarizzazione all'uso dei dispositivi anche nella nuova sperimentazione.

Come riportato nel grafico alla figura 38, all'item 15 che chiedeva *“Aver fatto pratica prima nell'interazione con gli oggetti e nel movimento è stato utile per agire nella cucina virtuale”* il 91% dei soggetti si è ritenuto molto d'accordo o d'accordo nel ritenere tale ambiente come utile per la comprensione delle modalità esplorative e manipolative successivamente attuate nella prova di cucina virtuale.

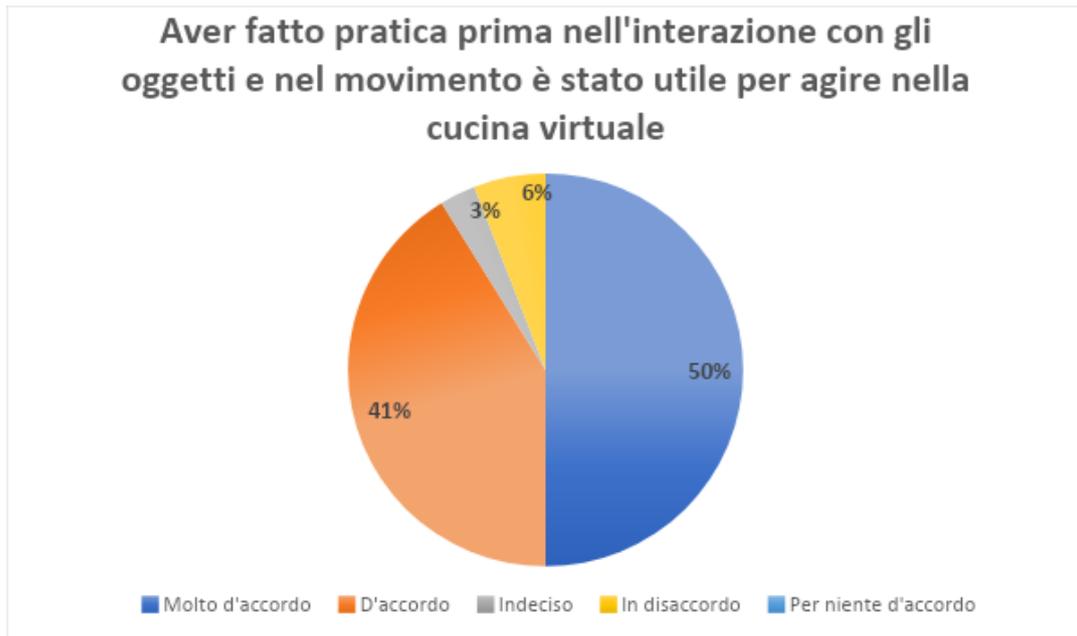


Fig. 38 Grafico dei dati percentuale delle risposte all'Item 15 del QPE utilizzato nella ricerca svolta con VK 1.0.

Inoltre, come dimostrano le risposte fornite all' item 13 dello stesso questionario (Fig.30) che chiedeva *“Nel primo ambiente di familiarizzazione con i dispositivi le istruzioni per muoversi nello spazio riportate sui cartelli erano chiare”*, il 97% dei soggetti si è detto molto d'accordo o d'accordo nel ritenere chiare le istruzioni relative al movimento nello spazio.

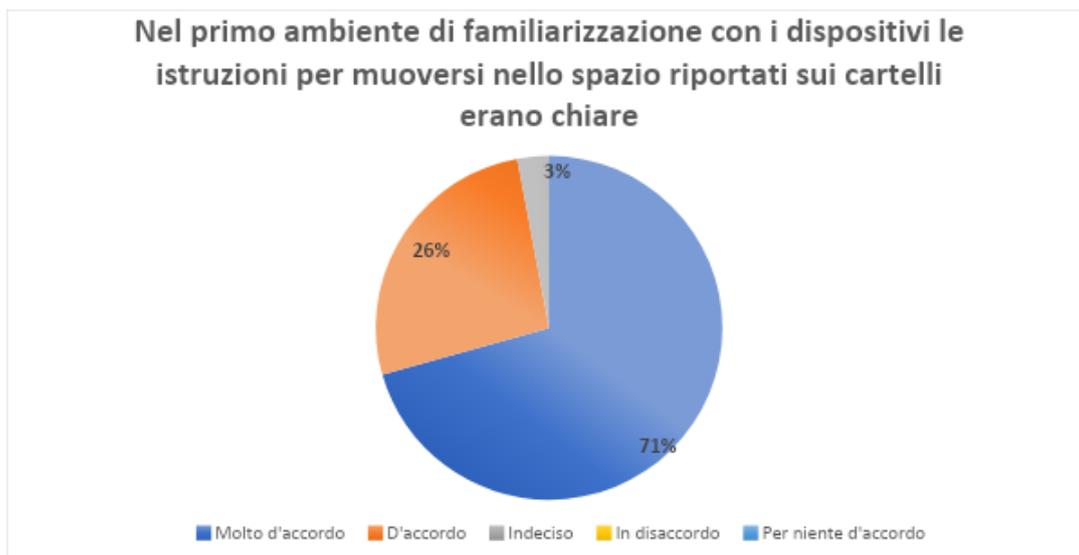


Fig. 39 Grafico dei dati percentuale delle risposte all'Item 13 del QPE utilizzato nella ricerca svolta con VK 1.0.

Mentre all'item 14 (Fig.40) dello stesso questionario, che chiedeva “*Nel primo ambiente di interazione con i dispositivi le istruzioni per interagire con gli oggetti riportate sui cartelli erano chiare*” il 100 % dei soggetti si è detto molto d'accordo o d'accordo nel ritenere chiare le istruzioni per interagire con gli oggetti;

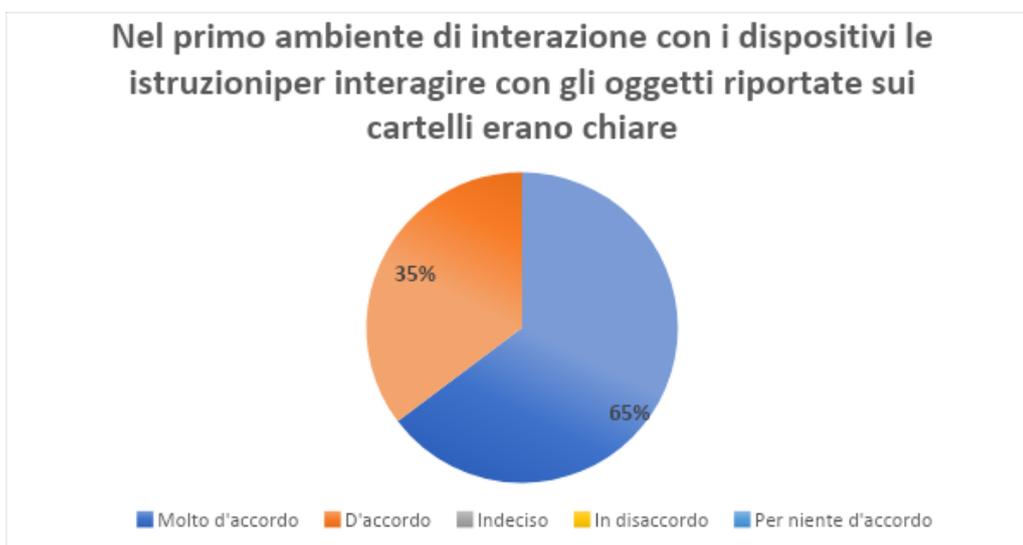


Fig. 40 Grafico dei dati percentuale delle risposte all'Item 14 del QPE utilizzato nella ricerca svolta con VK 1.0.

L'analisi della *user experience* dei soggetti che hanno utilizzato il software *VK 1.0* ha inoltre determinato la modifica di alcuni dei compiti presentati nell'ambiente di familiarizzazione.

Per ciò che riguarda il compito numero uno "*Afferrare oggetti*", solo 7 soggetti su 34 non hanno manifestato esitazione nel piegarsi verso la palla posta sul pavimento per afferrarla. Per tutti gli altri si è reso necessario un intervento verbale per spiegare come l'ambiente virtuale rispondesse ad un'azione realistica. Ai soggetti veniva infatti riferito che per afferrare un oggetto posto ai loro piedi avrebbero dovuto piegarsi verso di esso per raggiungerlo.

In questo modo, l'istruzione, inizialmente espressa come:

*"Cammina verso la palla rossa e una volta raggiunta punta il controller su di essa, quando vedrai comparire un alone luminoso premi il pulsante che si trova sotto l'indice della tua mano"*

è stata così riformulata:

*"Cammina verso la palla rossa, abbassati per raggiungerla con la mano e quando vedi comparire l'alone luminoso premi il bottone che si trova sotto l'indice della tua mano"*

Versione originale in inglese: *"Walk towards the red ball, lower yourself to reach it with your hand and when you see the bright halo, press the button located under the index finger of your hand"*.

Prima di cominciare la prova di familiarizzazione, ai soggetti sottoposti a sperimentazione con il software *VK 1.0* è stato inoltre riferito verbalmente che l'azione "*afferrare*" poteva essere effettuata contemporaneamente su due oggetti distinti, uno per mano. Come riportato nel grafico alla figura 41, analizzando i comportamenti dei soggetti durante l'esecuzione dei primi due compiti della prova abbiamo rilevato come il 38% dei soggetti non adoperasse mai tale modalità di

interazione con gli oggetti. A questi si aggiunge un ulteriore 9% che ha adoperato tale modalità una sola volta durante i due compiti considerati.

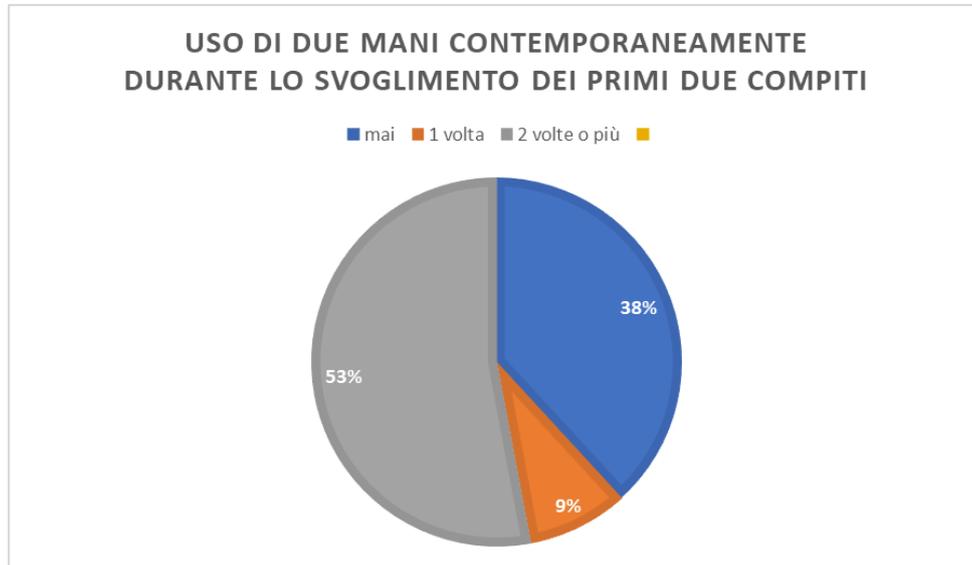


Fig. 41 Grafico dei dati percentuale relativo all'uso di due mani in VK 1.0.

Per escludere che un tale comportamento fosse stato indotto dalla mancata pratica di questa modalità in fase di familiarizzazione con il dispositivo, si è deciso di aggiungere un secondo compito di presa all'interno del compito numero due "Rilasciare oggetti" (vedi figura 42).

In questo modo, l'istruzione inizialmente espressa come:

*"Continua a tenere il pulsante premuto, cammina verso la scatola posta sotto il cartello 1 e lascia cadere la palla al suo interno rilasciando il tasto"*

è stata così riformulata:

*"Afferra la palla gialla con la mano libera e muovi entrambe le palle verso la scatola sotto il cartello numero 1. Lasciale cadere nella scatola rilasciando il tasto sotto l'indice della tua mano"*

Versione originale in inglese: *“Grab the yellow ball with your free hand and move both balls to the box under the number 1 sign. Drop them into the box by releasing the button under the index finger of your hand”*.



Fig. 42 Ambiente di familiarizzazione per l'esperimento con VK 2.0, Compito "Rilasciare oggetti".

L'ambiente di familiarizzazione è stato inoltre arricchito dall'aggiunta di un compito specificatamente legato alla pressione di bottoni in realtà virtuale. Il nuovo compito esposto in un quinto cartello posto accanto alla porta (vedi figura 43) è stato introdotto perché 4 di 34 soggetti da noi testati nell'esperimento italiano con VK 1.0 hanno manifestato difficoltà nell'esecuzione di tale azione.

La prova denominata *“Premere bottone”* è stata espressa con la seguente istruzione:

*“Premi il bottone quando hai finito: clicca il bottone sotto il tuo indice e muovi la tua mano in avanti per premere il bottone”*

Versione originale in inglese: *“Press the red button when done: Click the button under your index finger and move your hand forward to press the button”*.

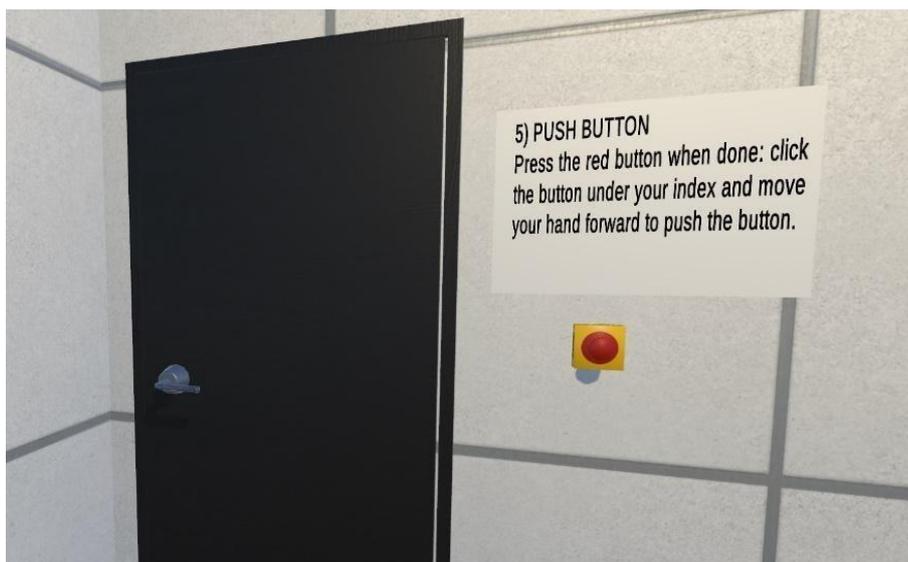


Fig. 43 Ambiente di familiarizzazione per l'esperimento con VK 2.0, Compito "Premere bottone".

È possibile visionare il nuovo ambiente di familiarizzazione in esecuzione attraverso il seguente link: <https://youtu.be/-9X23yPHKDU>

#### *Virtual Kitchen 2.0 (VK 2.0)*

L'ambiente virtuale adoperato (Fig.44) per la nuova sperimentazione, frutto di una serie di modifiche software descritte nel Capitolo 5, rappresenta ancora una cucina domestica, interamente esplorabile in soggettiva dai partecipanti attraverso un avatar rappresentato da un paio di mani naturali.

Gli arredi e gli oggetti sono rimasti pressoché invariati, fatta eccezione per l'eliminazione di un quadro collocato in origine sopra la cucina, lo spostamento della coppia di mensole con libri sopra la cucina e il posizionamento al posto delle suddette mensole di un grande monitor interattivo. L'orologio è stato sostituito con un timer per permettere ai soggetti di tenere traccia del tempo. Per i dettagli relativi al tipo di variabili analizzate si rinvia alla lettura del paragrafo successivo.



Fig. 44 Virtual Kitchen 2.0.

### *OBS Studio*

Per la registrazione live streaming della prova effettuata dai soggetti negli ambienti virtuali si è deciso di continuare ad usare lo stesso software di codifica video e audio adoperato nella sperimentazione italiana.

### *Google forms*

Per la costruzione e somministrazione dei questionari ci siamo avvalsi di *Google forms*, un'applicazione web per la creazione di sondaggi inclusa nella suite per ufficio di *Google Drive*. Questo strumento consente di raccogliere informazioni dagli utenti tramite sondaggi o quiz personalizzabili. Le informazioni raccolte vengono automaticamente collegate a un foglio di calcolo che viene successivamente compilato con le risposte fornite dagli utenti.

## *6.4 La prova in VR con VK 2.0*

Il nuovo esperimento si poneva come obiettivo principale quello di comprendere se, nell'esecuzione di una procedura vi fossero differenze significative in termini di durata e correttezza del compito legate all'uso di due diverse modalità di tutorial.

Inoltre, si voleva verificare se tali modalità di tutorial potessero incidere sul ricordo nel tempo delle istruzioni e della procedura, e quindi indirettamente sull'apprendimento.

Durante la procedura prevista, i soggetti sono stati invitati a preparare un tiramisù seguendo le istruzioni presentate attraverso delle scritte che comparivano su un monitor o attraverso l'uso di icone e frecce presentate direttamente sugli oggetti d'uso. Tale ultima tipologia di tutorial, che risulta essere la più diffusa nelle pratiche di training nei *VLE*, è stata scelta proprio per la sua capacità di sfruttare le potenzialità offerte dagli ambienti virtuali di combinare immagini tridimensionali nello spazio circostante.

Entrambe le modalità di tutorial (vedi figura 45) presentano in modo graduale e segmentato 78 brevi istruzioni per la realizzazione della ricetta proposta. Tali istruzioni sono necessarie per il completamento di 13 diversi compiti, ognuno composto da un numero variabile di istruzioni.

I partecipanti sono stati assegnati ad uno dei due gruppi da noi denominati *Gruppo A - Tutorial Testuale* e *Gruppo B - Tutorial Visuale*:

- Gruppo A - Tutorial Testuale - i soggetti assegnati a questo gruppo potevano svolgere il compito assegnato seguendo le istruzioni scritte su un monitor presente nella cucina. A supporto della localizzazione e della memorizzazione degli oggetti presenti, potevano contare su numeri o lettere posti sopra i mobili della cucina (cassetti, pensili e frigo) e sopra gli oggetti utili per il compito (i vari contenitori degli ingredienti).

È possibile visionare un video illustrativo del tutorial testuale in esecuzione attraverso il seguente link: <https://youtu.be/TToJZ68yKF0>

- Gruppo B - Tutorial Visuale - i soggetti assegnati a questo gruppo potevano svolgere il compito assegnato seguendo le istruzioni presentate attraverso l'uso di icone e numeri posizionati direttamente sui luoghi o gli oggetti di

utilizzo. A supporto della localizzazione degli oggetti sono state usate delle frecce mentre per la memorizzazione della sequenza i mobili della cucina (cassetti, pensili e frigo) e gli oggetti utili per il compito (i vari contenitori degli ingredienti) presentavano numeri o lettere per identificarli.

È possibile visionare un video illustrativo del tutorial visuale in esecuzione attraverso il seguente link: <https://youtu.be/rkgDvqWjskI>



*Fig. 45 La visualizzazione delle due diverse tipologie tutorial in VK 2.0, testuale (sopra) e visuale (sotto) per la prima istruzione della procedura.*

Entrambe le modalità di tutorial presentavano inoltre il medesimo feedback di tipo implicito in caso di errore durante l'esecuzione delle singole istruzioni. I soggetti infatti non potevano vedere l'istruzione o le icone successive se non avevano svolto correttamente l'istruzione precedente.

Il protocollo sperimentale adoperato per la prova in *VK 2.0* prevedeva che il ricercatore dotasse il soggetto di visore e controller e che avviasse il software per la registrazione delle immagini provenienti dal visore, a questo punto, i soggetti venivano introdotti nell'ambiente virtuale di familiarizzazione al dispositivo ricevendo la seguente istruzione: *“In questa stanza sono presenti cinque cartelli numerati, in ognuno troverai delle istruzioni da seguire. Il primo cartello è proprio davanti a te, in fondo alla stanza, cammina verso il cartello e segui le istruzioni riportate”* (versione originale in inglese: *In this room there are five numbered signs, in each one you will find the instructions to follow. The first sign is right in front of you, at the back of the room, walk over to the sign and follow the instructions*).

Una volta svolto l'ultimo compito previsto dall'ambiente di familiarizzazione, i soggetti venivano proiettati in una sala d'attesa virtuale. Lo sperimentatore inseriva l'identificativo del soggetto nel software *VK 2.0*, impostava i parametri relativi al tipo di tutorial a cui lo stesso era stato assegnato e forniva le seguenti informazioni ai soggetti: *“Sul muro della cucina virtuale in cui ti troverai tra pochi secondi è presente un monitor che ti fornirà le istruzioni che dovrai seguire per preparare un dolce. Hai 30 minuti per completare la prova. Appena dentro avvicinati al monitor e segui le istruzioni”* (versione originale in inglese: *On the wall of the virtual kitchen in which you will find yourself in a few seconds there is a monitor that will give you the instructions that you will have to follow to prepare a dessert. You have 30 minutes to complete the test. As soon as you are inside, go to the monitor and follow the instructions*).

A questo punto il soggetto veniva trasportato nell'ambiente cucina e una volta posizionato davanti al monitor il soggetto poteva leggere la seguente dicitura *“Benvenuto in Virtual Kitchen 2.0. Prepariamo il TIRAMISÙ’. Premi AVANTI per continuare”* (versione originale inglese: *Welcome to Virtual Kitchen 2.0. Let’s make TIRAMISÙ’. Press NEXT to continue*).

Una volta premuto il bottone AVANTI sul monitor i soggetti potevano leggere le seguenti diciture differenti per i due gruppi:

- Gruppo A - Tutorial testuale *“Su questa lavagna troverai le istruzioni per preparare il TIRAMISÙ’. Solo seguendole con precisione e attenzione potrai raggiungere il tuo obiettivo. Premi AVANTI per continuare”* (versione originale inglese: *On this board you will find instructions for preparing TIRAMISÙ’. Only by following them with precision and care can you reach your goal. Press NEXT to continue*). Dopo aver premuto nuovamente il tasto avanti, compariva la seguente dicitura *“Questa ricetta ha un numero preciso di passaggi da seguire. Solo completando correttamente un passaggio sarai in grado di vedere quello successivo. Se commetti un errore durante un passaggio puoi premere il tasto RESET e ricominciare il passaggio. Se vedi comparire un liquido blu dopo aver mescolato gli ingredienti, hai commesso un errore. Premi il tasto AVANTI per cominciare”* (versione originale inglese: *This recipe has a certain number of precise steps to follow. Only by correctly completing a step will you be able to view the next one. If you make a mistake during the step, you can always press the RESET button and start that step again. If you see a blue liquid after mixing ingredients, you made a mistake. Press NEXT to start*).
- Gruppo B - Tutorial Visuale *“Nell’ambiente troverai le istruzioni visuali per preparare il TIRAMISÙ’. Solo seguendole con precisione e attenzione potrai raggiungere il tuo obiettivo. Premi AVANTI per continuare”* (versione originale inglese: *In this environment you will find visual instructions for preparing TIRAMISÙ’. Only by following them with precision and care can you reach your goal. Press NEXT to continue*). Dopo aver premuto

nuovamente il tasto avanti, compariva la seguente dicitura “*FRECCHE e ICONE appariranno nella cucina per guidarti attraverso la preparazione della ricetta, che include un certo numero di passaggi da seguire. Solo completando correttamente un passaggio sarai in grado di vedere quello successivo. Se commetti un errore durante un passaggio puoi premere il tasto RESET e ricominciare il passaggio. Se vedi comparire un liquido blu dopo aver mescolato gli ingredienti, hai commesso un errore. Premi il tasto AVANTI per cominciare*” (versione originale inglese: *ARROWS and ICONS will appear in the kitchen to guide you through the recipe preparation, which includes a certain number of precise steps to follow. Only by correctly completing a step will you be able to view the next one. If you make a mistake during the step, you can always press the RESET button and start that step again. If you see a blue liquid after mixing ingredients, you made a mistake. Press NEXT to start*).

A questo punto cominciava la prova vera e propria. I soggetti del *Gruppo A* seguivano le istruzioni scritte che comparivano sul monitor, mentre i soggetti del *Gruppo B* le icone e le frecce che comparivano nell’ambiente cucina.

Nella tabella 18 sono riportate le diverse classi di compiti e le diverse istruzioni che il soggetto doveva completare in modo sequenziale per portare a termine la procedura di preparazione del tiramisù.

Tabella 18. Tabella riassuntiva dei compiti previsti nella procedura per il Gruppo A (Tutorial testuale).

COMPITO	PASSAGGIO	ISTRUZIONE (testuale)
1. Istruzioni del tutorial	1	Welcome to Virtual Kitchen. Let’s make TIRAMISU’ 

		<p>Press NEXT to continue</p> <p>2</p> <p>On this board you will find instructions for preparing TIRAMISU'</p> <p>Only by following them with precision and care you can reach your goal.</p> <p>Press NEXT to continue</p> <p>3</p> <p>The recipe has a certain number of precise steps to follow.</p> <p>Only by correctly completing a step you will be able to view the next one.</p> <p>If you make a mistake you can always press the RESET button and start that step again.</p> <p>If you see a blue liquid after mixing ingredients, you made a mistake.</p> <p>Press NEXT to star</p>
2. Lavaggio mani	<p>1</p> <p>2</p>	<p>Go to the sink and open the tap</p> <p>Wash your hands (together) for 5 seconds</p>
3. Riempimento scomparto acqua MDC	<p>1</p> <p>2</p>	<p>Open drawer number 1</p> <p>Take the carafe</p>

	3	Put the carafe in the sink
	4	Use the water to completely fill the carafe
	5	Pour all the content of the carafe into compartment “W” of the coffee machine
4. Preparazione del caffè	1	Open drawer number 6
	2	Take the tablespoon
	3	Put 3 tablespoons of ground coffee (C jar) in compartment “C” of the coffee machine
	4	Press the red button to start the coffee machine
	5	Wait 10 second for the coffee to be ready
5. Preparazione del tavolo n.1	1	Open drawer number 3
	2	Grab the blue bowl
	3	Put the blue bowl on the table
	4	Open the letter “A” fridge door
	5	Take out the egg container

	6	Put the egg container on the table
	7	Open drawer number 3
	8	Take out the green bowl
	9	Put the green bowl on the table
6. Separazione delle uova	1	Open drawer number 7
	2	Take the egg separator
	3	Put the egg separator on the table
	4	Drop an egg into the green bowl to crack it
	5	Touch the egg yellow with the egg separator to catch it
	6	Bring the egg separator inside the blue bowl to let the egg yellow fall into it
	7	Crack one more egg in the green bowl and again move this yellow egg to the blue bowl using the yolkfish
7. Preparazione dei rossi	1	Grab the sugar jar (S jar)
	2	Put the sugar jar on the table

	3	Open drawer number 6
	4	Take the tea-spoon
	5	Put 5 teaspoons of sugar in the blue bowl (50gr)
	6	Open the letter “A” fridge door
	7	Grab the mascarpone cheese (MC jar)
	8	Put the mascarpone cheese on the table
	9	Take the tablespoon
	10	Put 8 tablespoons of mascarpone cheese in the blue bowl (160gr)
8. Mescolare crema e mascarpone	1	Open drawer number 7
	2	Take the whisk
	3	Mix the mixture in the blue bowl with the whisk for 10 seconds
9. Assemblaggio crema mascarpone	1	Go to the sink and open the tap
	2	Wash the whisk under the water for 5 seconds

	3	Mix the egg white in the green bowl with the whisk for 10 seconds
	4	Pour the blue bowl mixture inside the green bowl
	5	Mix the mixture in the green bowl with the whisk for 10 seconds
10. Travaso caffè	1	Open drawer number 3
	2	Grab the red bowl
	3	Put the red bowl on the table
	4	Take the carafe full of coffee from the coffee machine
	5	Pour the coffee in the red bowl
11. Preparazione del tavolo n.2	1	Open drawer number 2
	2	Grab the black baking tray
	3	Put the black baking tray on the table
	4	Open cabinet door number 2
	5	Grab the cookie box

	6	Put the cookie box on the table
12. Assemblaggio del dolce	1	Soak 1 cookie in the red bowl
	2	Put the soaked cookie on the black baking tray
	3	Soak 7 more cookies and place them on the black baking tray
	4	Open drawer number 8
	5	Grab the ladle
	6	Pour 8 ladles of mixture of the blue bowl over the soaked cookies
13. Decorazione del dolce	1	Open cabinet door number 3
	2	Take the cocoa
	3	Sprinkle the dessert's surface with cocoa powder
14. Uscita	1	Great job chef! Now press the EXIT button to quit the simulation

Per il dettaglio delle istruzioni previste per il *Gruppo B (Tutorial visivo)* si rinvia alla lettura dell'Appendice I.

Alla fine della prova, che poteva avvenire automaticamente (allo scadere dei 30 minuti) o a seguito del completamento della procedura, i soggetti venivano aiutati nella rimozione dei dispositivi e invitati a compilare il *Questionario post-esperienza (QPE)*. Ricordiamo che, come per l'esperimento italiano, la durata di 30 minuti è stata scelta al fine di ridurre possibili rischi di chinetosi legati ad una permanenza prolungata in VR, così come suggerito dalla stessa "*Safety and Regulatory Guide*" del dispositivo.

A distanza di una settimana dalla prova in VR, tutti i soggetti tornavano nel laboratorio per la terza parte della sperimentazione, che prevedeva la compilazione del *Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP)* e una nuova prova di cucina, effettuata adoperando le stesse modalità di tutorial della prima volta.

Il modulo di *Registrazione delle attività* del software ha permesso di tenere automaticamente traccia dell'intera attività esplorativa e manipolativa del soggetto durante l'esecuzione delle prove virtuali. Ad integrazione di questi dati gli esaminatori hanno utilizzato le videoregistrazioni della prestazione del soggetto e un protocollo appositamente creato per annotare i seguenti elementi:

- Errori compiuti dal soggetto durante lo svolgimento della prova e classificati come uso di oggetti diversi da quello richiesto per lo svolgimento del passaggio, errori nelle quantità degli ingredienti richiesti dal passaggio;
- Commenti da parte del soggetto relative al passaggio che stava eseguendo;
- Bug software che potevano intaccare la qualità della prova;
- Comportamenti extra-compito come ad esempio azioni di manipolazione degli oggetti o di esplorazione dell'ambiente cucina non richieste dal compito;

## 6.5 Analisi dei dati

Per ciascun partecipante e per ciascun gruppo (*Gruppo A – Tutorial Testuale* e *Gruppo B – Tutorial Visuale*) sono state calcolate le seguenti misure: tempo totale (in

minuti) impiegato dai soggetti per portare a termine le due prove in *VK 2.0* e numero totale di errori commessi per ciascuna delle prove a cui il soggetto è stato esposto, i punteggi ottenuti nel *Questionario post-esperienza (QPE)* e nel *Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP)*. Per il *QPE* sono state calcolate le somme dei punteggi da 1 a 7 dati dai soggetti per il gruppo di domande relative ad ognuno dei cinque fattori considerati (*Controllo, Sensoriale, Distrazione, Realismo e VK Tutorial*). Per il *QVRP* è stata calcolata la somma dei punteggi relativi alle risposte corrette.

Su queste misure sono stati effettuati i confronti tra le prestazioni del *Gruppo A (Tutorial testuale)* e del *Gruppo B (Tutorial visuale)* utilizzando la statistica non parametrica U di Mann-Whitney. La scelta di questa statistica è stata determinata dall'esiguità del campione e dal fatto che non tutte le variabili hanno una distribuzione normale e presentano violazione delle assunzioni di normalità e di omogeneità delle varianze ai Testi di Normalità di Shapiro-Wilk e di Omogeneità della Varianza di Levene (vedi tabella 19 e 20 rispettivamente). Successivamente sono state calcolate le analisi di correlazione sulle misure raccolte utilizzando la statistica r di Pearson.

Tabella 19. Test di Normalità di Shapiro-Wilk per i risultati relativi al Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP) e al Questionario post-esperienza (QPE).

	<b>W</b>	<b>P</b>
<b>Tempo prima prova</b>	0.979	0.773
<b>Errori prima prova</b>	0.956	0.503
<b>Tempo seconda prova</b>	0.960	0.572
<b>Errori seconda prova</b>	0.945	0.327
<b>QVRP</b>	0.921	0.116

<b>Controllo</b>	0.911	0.076
<b>Sensoriale</b>	0.901	0.051
<b>Distrazione</b>	0.927	0.153
<b>Realismo</b>	0.903	0.054
<b>VK Tutorial</b>	0.881	0.022

*Un valore di p basso suggerisce una violazione dell'assunzione di normalità*

*Controllo= grado ed immediatezza di controllo/anticipazione eventi; Sensoriale= ricchezza ambientale, coerenza multimodale, ricerca attiva, grado di percezione del movimento; Distrazione= isolamento, attenzione selettiva, consapevolezza interfaccia; Realismo= realismo della scena, informazione coerente con il mondo oggettivo; VK Tutorial= chiarezza ed utilità percepita rispetto alla modalità di tutorial adoperata.*

Tabella 20. Test di Omogeneità della Varianza di Levene per i risultati relativi al Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP) e al Questionario post-esperienza (QPE).

	<b>F</b>	<b>df</b>	<b>df2</b>	<b>p</b>
<b>Tempo prima prova</b>	0.5456	1	17	0.470
<b>Errori prima prova</b>	0.3605	1	17	0.556
<b>Tempo seconda prova</b>	0.1341	1	17	0.719
<b>Errori seconda prova</b>	2.5568	1	17	0.128
<b>QVRP</b>	0.1858	1	17	0.672
<b>Controllo</b>	0.0586	1	17	0.812
<b>Sensoriale</b>	0.9141	1	17	0.352
<b>Distrazione</b>	0.1288	1	17	0.724

<b>Realismo</b>	2.6970	1	17	0.119
<b>VK Tutorial</b>	2.2258	1	17	0.154

*Controllo= grado ed immediatezza di controllo/anticipazione eventi; Sensoriale= ricchezza ambientale, coerenza multimodale, ricerca attiva, grado di percezione del movimento; Distrazione= isolamento, attenzione selettiva, consapevolezza interfaccia; Realismo= realismo della scena, informazione coerente con il mondo oggettivo; VK Tutorial= chiarezza ed utilità percepita rispetto alla modalità di tutorial adoperata.*

Sono state inoltre costruite delle classificazioni per le risposte ottenute alle domande aperte previste dal *QPE* relative agli elementi dell'esperienza in *VK 2.0* ritenuti dai soggetti come coinvolgenti o frustranti e di queste sono state analizzate le diverse distribuzioni di frequenza.

### 6.5.1 Risultati delle analisi statistiche

#### *Analisi dei dati relativi alla prestazione nella prova in Virtual Kitchen 2.0*

Nella tabella 21 sono riportate le statistiche descrittive relative al tempo (in minuti) e al numero di errori compiuti dai partecipanti dei due gruppi per portare a termine le operazioni richieste nella prima prova con *VK 2.0*.

Tabella 21. Analisi descrittiva relativa alle misure di tempo ed errore relative alla prima in *VK 2.0*.

	<b>Gruppo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>Tempo prima prova</b>	A	9	16.6	15.9	3.28
	B	10	14.1	14.5	2.48
<b>Errori prima prova</b>	A	9	10.7	11	4.21
	B	10	7.80	6.50	3.46

*(Gruppo A= Tutorial Testuale; Gruppo B= Tutorial Visuale)*

Per verificare se vi fosse una differenza statistica significativa tra i due gruppi rispetto alle ipotesi *H1* (*I soggetti sottoposti al tutorial visuale producono alla prima*

prova meno errori dei soggetti sottoposti al tutorial testuale) e H2 (I soggetti sottoposti al tutorial visuale impiegano alla prima prova meno tempo a svolgere i compiti richiesti rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale) precedentemente espresse, abbiamo calcolato una statistica U di Mann-Whitney per campioni indipendenti per le variabili considerate.

Tabella 22. Statistica U di Mann-Whitney per le misure di tempo ed errore relative alla prima prova nei due gruppi A e B in VK 2.0.

	<b>Mann-Whitney U</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect Size</b>
<b>Tempo prima prova</b>	25.0	0.113	0.842
<b>Errori prima prova</b>	27.0	0.162	0.748

Come mostra la tabella 22 non è stata riscontrata una differenza significativa relativa al tempo impiegato a svolgere la prova in VK 2.0 e al numero di errori compiuti tra il gruppo che ha effettuato la prova seguendo il *Tutorial Testuale* (Gruppo A) ed il gruppo che invece ha effettuato la prova con il *Tutorial Visuale* (Gruppo B).

I soggetti del Gruppo A ( $M=16.6$  (3.28);  $Mdn=15.9$ ) ed i soggetti del Gruppo B ( $M=14.1$  (2.48);  $Mdn=14.5$ ) hanno svolto la prova con tempi che non differiscono significativamente tra loro ( $U=25$ ,  $p=0.113$ ).

Allo stesso modo, il numero di errori commesso durante l'esecuzione del compito dai due gruppi non risulta significativamente differente ( $U=27.0$ ,  $p=0.748$ ) e risulta simile sia per i soggetti del Gruppo A ( $M=10.7$  (4.21);  $Mdn=11$ ) che per i soggetti del Gruppo B ( $M=7.80$  (3.46);  $Mdn=6.50$ ).

Per verificare se vi fosse una differenza statistica significativa tra i due gruppi sperimentali testati rispetto alla nostra ipotesi H3 (I soggetti sottoposti al tutorial visuale, a distanza di una settimana dalla prova in VK 2.0 producono meno errori e ottengono tempi di esecuzione migliori durante lo svolgimento di una nuova prova nell'ambiente di cucina virtuale), abbiamo analizzato le differenze in relazione al tempo impiegato ed al numero di errori compiuti intercorse tra la prima prova in VK

2.0 e la seconda prova nella cucina virtuale avvenuta a distanza di una settimana. Per fare questo abbiamo calcolato le analisi descrittive (tabella 23) e, data la dimensione ridotta del campione, si è deciso di utilizzare per le analisi il test non parametrico W di Wilcoxon. Abbiamo quindi proceduto a confrontare le misure dei tempi e degli errori tra la prima e la seconda prova in VK 2.0 separatamente per il Gruppo A (*Tutorial Testuale*) ed il Gruppo B (*Tutorial Visuale*), utilizzando la statistica non parametrica W di Wilcoxon.

Tabella 23. Analisi descrittiva relativa alle misure di tempo ed errore per le due prove in VK 2.0 del Gruppo A (Tutorial Testuale).

	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>Tempo prima prova</b>	9	16.58	15.9	3.28
<b>Tempo seconda prova</b>	9	12.83	13.1	2.65
<b>Errori prima prova</b>	9	10.67	11	4.21
<b>Errori seconda prova</b>	9	8.11	7	3.52

Tabella 24. Statistica W di Wilcoxon per le misure di tempo ed errore per le due prove in VK 2.0. del Gruppo A (Tutorial Testuale).

				<b>W</b>	<b>di</b>	<b>p-</b>	<b>Effect</b>
				<b>Wilcoxon</b>		<b>value</b>	<b>Size</b>
<b>Tempo</b>	<b>prima</b>	<b>Tempo</b>	<b>seconda</b>	43.0		0.012*	0.911
<b>prova</b>		<b>prova</b>					
<b>Errori prima prova</b>		<b>Errori</b>	<b>seconda</b>	27.0		0.234	0.500
		<b>prova</b>					

*Livello di significatività \*p < .05*

Come mostra la tabella 24, per quanto riguarda il *Gruppo A (Tutorial Testuale)*, possiamo rilevare una differenza significativa tra la prima e la seconda prova in VK 2.0 solo per quel che riguarda i tempi. I soggetti del *Gruppo A* hanno infatti registrato alla seconda prova tempi significativamente minori (*Media=12,83 (2.65); Mdn=13.1*) rispetto alla prima volta (*Media=16.58 (3.28); Mdn=15.9*),  $W=43.0$ ,  $p=0.012$ ;

Tabella 25. Analisi descrittiva relativa alle misure di tempo ed errore per le due prove in VK 2.0 del Gruppo B (Tutorial Visuale).

	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>Tempo prima prova</b>	10	14.15	14.47	2.48
<b>Tempo seconda prova</b>	10	10.62	10.60	2.18
<b>Errori prima prova</b>	10	7.80	6.50	3.46
<b>Errori seconda prova</b>	10	4.00	3.50	1.70

Tabella 26. Statistica W di Wilcoxon per le misure di tempo ed errore per le due prove in VK 2.0. del Gruppo B (Tutorial Visuale).

			<b>W di Wilcoxon</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect Size</b>
<b>Tempo prima prova</b>	<b>Tempo</b>	<b>seconda</b>	53.0	0.006*	0.927
	<b>prova</b>				
<b>Errori prima prova</b>	<b>Errori</b>	<b>seconda</b>	51.5	0.016*	0.873
	<b>prova</b>				

*Livello di significatività \*  $p < .05$*

Come mostra la tabella 26, per quanto riguarda il *Gruppo B (Tutorial Visuale)*, possiamo rilevare una differenza significativa tra la prima e la seconda prova in *VK 2.0* sia in relazione al tempo impiegato che al numero di errori commesso.

I soggetti del *Gruppo B* hanno infatti registrato alla seconda prova ( $M=10.62$  ( $2.18$ );  $Mdn=10.6$ ) tempi significativamente minori rispetto alla prima volta ( $M=14.15$  ( $2.48$ );  $Mdn=14.4$ ),  $W=53.0$ ,  $p=0.006$ ; Inoltre, alla seconda prova il *Gruppo B* ha riportato anche un numero di errori significativamente minore ( $M=4.00$  ( $1.70$ );  $Mdn=3.50$ ) rispetto alla prima volta ( $M=7.80$  ( $3.46$ );  $Mdn=6.50$ ),  $W=51.5$   $p=0.016$ ; La nostra ipotesi *H3* risulta pertanto pienamente verificata dal momento che solo i soggetti che hanno seguito un tutorial visuale (*Gruppo B*) sono stati sia più veloci che maggiormente corretti alla seconda prova rispetto alla prima.

Per verificare l'ipotesi *H4* (*I soggetti sottoposti al tutorial visuale, a distanza di una settimana dalla prima prova in VK2 producono meno errori in una prova di memoria/apprendimento della procedura rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale*) abbiamo analizzato i risultati prodotti dai due gruppi in relazione al *Questionario di valutazione degli apprendimenti (QVRP)*, compilato dai soggetti a distanza di una settimana dalla prima prova in *VK 2.0* e prima che fossero sottoposti alla seconda prova nella cucina virtuale. Si ricordi che il punteggio massimo che i partecipanti potevano ottenere al *QVRP* era pari a 13. Per fare questo abbiamo calcolato le analisi descrittive (tabella 27) e successivamente utilizzato la statistica *U* di Mann-Whitney per campioni indipendenti per la variabile considerata.

Tabella 27. Analisi descrittiva relativa Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP).

	<b>Gruppo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>QVRP</b>	A	9	5.89	6	1.36
	B	10	7.00	7.00	1.63

(*Gruppo A= Tutorial Testuale; Gruppo B= Tutorial Visuale*)

Tabella 28. Statistica U di Mann-Whitney per il Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP).

	<b>Mann-Whitney U</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect Size</b>
<b>QVRP</b>	27.0	0.144	-0.735

Come mostrano i dati in tabella 27 e i risultati esposti in tabella 28 non è possibile riscontrare una differenza significativa tra i due gruppi ( $U=27.0$ ,  $p=0.144$ ) per ciò che concerne la valutazione degli apprendimenti a distanza di una settimana. I soggetti sottoposti al *Tutorial Testuale* (*Gruppo A*,  $M=5.89$  ( $1.36$ );  $Mdn=6$ ) hanno avuto risultati molto simili a quelli ottenuti dai soggetti sottoposti al *Tutorial Visuale* (*Gruppo B*,  $M=7.00$  ( $1.63$ );  $Mdn= 7.00$ ) in relazione al numero di errori prodotto al *QVRP*.

Infine, per verificare l'ipotesi  $H5$  (*I soggetti sottoposti al tutorial visuale manifestano un minor grado di presenza percepita rispetto ai soggetti sottoposti al tutorial testuale, specialmente nella dimensione del realismo*) abbiamo confrontato i punteggi al *Questionario post-esperienza (QPE)* dei partecipanti dei due gruppi. Per l'analisi dei dati del *QPE* abbiamo utilizzato la somma delle risposte espresse dai partecipanti su scala Likert a 7 punti per ogni fattore, seguendo le modalità di calcolo utilizzate nel questionario originale PQ di Witmer e Singer (1998). Dopo il controllo sull'assunzione di normalità ed omogeneità delle varianze (cfr. tabelle 19 e 20), abbiamo effettuato le analisi descrittive (tabella 29) e infine utilizzato la statistica non parametrica U di Mann-Whitney per confrontare i due gruppi nelle dimensioni considerate. Si ricorda che le dimensioni *Coinvolgimento* e *Frustrazione* incluse nel *QPE*, costituite da domande a risposta aperta, sono state analizzate separatamente (cfr. pag. 134).

Tabella 29. Analisi descrittiva relativa Questionario post-esperienza.

	<b>Gruppo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DS</b>
<b>Controllo</b>	A	9	67.2	69	6.24
	B	10	71.5	73.5	5.42
<b>Sensoriale</b>	A	9	64.8	64	6.89
	B	10	64.6	67.5	10.1
<b>Distrazione</b>	A	9	32.9	33	5.71
	B	10	32.4	34.0	4.90
<b>Realismo</b>	A	9	41.8	44	4.47
	B	10	40.1	42.5	6.28
<b>VK Tutorial</b>	A	9	12.7	12	3.67
	B	10	14.2	14.0	1.62

(Gruppo A= Tutorial Testuale; Gruppo B= Tutorial Visuale).

*Controllo= grado ed immediatezza di controllo/anticipazione eventi; Sensoriale= ricchezza ambientale, coerenza multimodale, ricerca attiva, grado di percezione del movimento; Distrazione= isolamento, attenzione selettiva, consapevolezza interfaccia; Realismo= realismo della scena, informazione coerente con il mondo oggettivo; VK Tutorial= chiarezza ed utilità percepita rispetto alla modalità di tutorial adoperata.*

Tabella 30. Statistica U di Mann-Whitney per il Questionario post esperienza (QPE).

	<b>Mann-Whitney U</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect Size</b>
<b>Controllo</b>	26.0	0.129	-0.734
<b>Sensoriale</b>	41.5	0.806	0.020
<b>Distrazione</b>	43.5	0.935	0.092
<b>Realismo</b>	38.5	0.623	0.305

<b>VK Tutorial</b>	23.0	0.077	-0.551
--------------------	------	-------	--------

*Controllo= grado ed immediatezza di controllo/anticipazione eventi; Sensoriale= ricchezza ambientale, coerenza multimodale, ricerca attiva, grado di percezione del movimento; Distrazione= isolamento, attenzione selettiva, consapevolezza interfaccia; Realismo= realismo della scena, informazione coerente con il mondo oggettivo; VK Tutorial= chiarezza ed utilità percepita rispetto alla modalità di tutorial adoperata.*

Come mostrano i risultati nella tabella 30 non è possibile riscontrare differenze statisticamente significative tra i due gruppi per i fattori volti alla valutazione dell'esperienza di *Presenza* (*Controllo, Sensoriale, Distrazione e Realismo*) e per la dimensione del questionario volta alla valutazione del tutorial seguito in *VK 2.0* (*VK Tutorial*). Tra il *Gruppo A* (*Tutorial Testuale*) e il *Gruppo B* (*Tutorial Visuale*) non esistono differenze statisticamente significative.

Le analisi descrittive espresse nella tabella 29 mostrano infatti come le medie ottenute al questionario da entrambi i gruppi siano tra loro molto vicine, per ciò che riguarda i fattori legati all'esperienza di *Presenza* che per quelli legati alla chiarezza ed utilità del tutorial adoperato (*V Tutorial*).

#### *Analisi di correlazione*

Vista l'esiguità del campione e visto che non sono state rilevate sufficienti differenze statisticamente significative nei due gruppi relativamente alla prestazione generale (tempo e numero di errori), si è deciso di considerare il campione come un unico gruppo di 19 soggetti, al fine di verificare la presenza di correlazioni tra le variabili da noi considerate.

È stata usata la statistica *r* di Pearson per analizzare la presenza di relazioni tra le prestazioni dei soggetti in termini di tempo impiegato e di numero di errori commessi nella prima e nella seconda prova in *VK 2.0* e i punteggi rilevati al *Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP)* compilato successivamente.

Tabella 31. Correlazioni  $r$  di Pearson tra le misure tempo, errori totali e risposte al Questionario di valutazione del ricordo della procedura (QVRP).

	<b>Tempo prima prova</b>	<b>Errori prima prova</b>	<b>Tempo seconda prova</b>	<b>Errori seconda prova</b>	<b>QVRP</b>
<b>Tempo prima prova</b>	—				
<b>Errori prima prova</b>	.401	—			
<b>Tempo seconda prova</b>	.601**	-.024	—		
<b>Errori seconda prova</b>	.478*	.227	.337	—	
<b>QVRP</b>	-.404	-.197	-.4751*	-.277	—

*Livelli di significatività \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$*

Come mostra la tabella 31, il tempo impiegato per portare a termine i compiti durante la seconda prova in *VK 2.0* correla positivamente con il tempo impiegato a portare a termine i compiti durante la prima prova  $r(19) = 0.60, p < .01$ .

Ancora è possibile rilevare una correlazione negativa tra i punteggi ottenuti al *QVRP* e il tempo totale impiegato per completare la prova durante la seconda sessione in *VK 2.0*  $r(19) = -0.47, p < .05$ . I soggetti che hanno fornito più risposte corrette al questionario (vale a dire che hanno ricordato meglio la procedura) sono anche quelli che hanno impiegato meno tempo a completare la prova la seconda volta.

Risulta anche una correlazione positiva tra il numero totale di errori commesso durante la seconda prova in *VK 2.0* ed il tempo totale impiegato ad eseguire la procedura di cucina durante la prima prova  $r(19) = 0.47, p < .05$ . I soggetti che hanno commesso più errori durante la seconda esperienza di cucina virtuale sono anche quelli che durante la prima volta hanno impiegato più tempo a svolgere la prova.

Sempre utilizzando la statistica  $r$  di Pearson si è voluta analizzare l'eventuale presenza di relazioni tra le cinque dimensioni analizzate dal *Questionario post-esperienza (QPE)*.

Tabella 32. Correlazioni  $r$  di Pearson tra le dimensioni del Questionario post-esperienza (QPE).

	<b>Controllo</b>	<b>Sensoriale</b>	<b>Distrazione</b>	<b>Realismo</b>	<b>VK tutorial</b>
<b>Controllo</b>	—				
<b>Sensoriale</b>	.653**	—			
<b>Distrazione</b>	.327	-.0098	—		
<b>Realismo</b>	.686*	.924***	.062	—	
<b>VK Tutorial</b>	-.202	.104	-.607**	-.011	—

*Livelli di significatività \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .*

*Controllo= grado ed immediatezza di controllo/anticipazione eventi; Sensoriale= ricchezza ambientale, coerenza multimodale, ricerca attiva, grado di percezione del movimento; Distrazione= isolamento, attenzione selettiva, consapevolezza interfaccia; Realismo= realismo della scena, informazione coerente con il mondo oggettivo; VK Tutorial= chiarezza ed utilità percepita rispetto alla modalità di tutorial adoperata.*

Come mostra la tabella 32, sono state trovate diverse correlazioni tra i fattori che costituiscono l'esperienza di *Presenza*, come quella che intercorre tra il *fattore Controllo* e quello *Sensoriale*  $r(19) = 0.65$ ,  $p < .01$ ; quella tra il *fattore Realismo* ed il *fattore Controllo*  $r(19) = 0.68$ ,  $p < .05$  o quella tra il *fattore Realismo* e il *fattore Sensoriale*  $r(19) = 0.92$ ,  $p < .001$ . Tali correlazioni risultano attese in accordo con gli studi di Witmer e Singer (1998). Secondo gli autori infatti, i soggetti che sperimentano un più alto livello di controllo dell'ambiente virtuale e dei suoi contenuti sono anche quelli che riferiscono di aver percepito una maggiore stimolazione sensoriale e un maggiore realismo.

Si rileva inoltre una correlazione negativa tra la dimensione che valutava chiarezza ed utilità percepita rispetto al tutorial seguito durante la procedura (*VK Tutorial*) e la *Distrazione*  $r(19) = -.0.60, p < .01$ . I soggetti che hanno percepito il tutorial come più chiaro e utile sono quelli che hanno anche percepito i dispositivi utilizzati (visore e *controller*) come meno distraenti.

#### *Analisi delle dimensioni per le risposte aperte del QPE*

Nel *QPE* erano state inserite due domande aperte (domanda 36 e 37) che avevano lo scopo di indagare gli elementi che potevano aver determinato nei partecipanti alla prova in *VK 2.0* un senso di coinvolgimento o frustrazione. Le risposte a tali domande sono state codificate da due giudici indipendenti e sono state identificate le seguenti classi di risposta:

Per la dimensione relativa al *Coinvolgimento* sono state identificate le seguenti classi di risposta:

- Azione/controllo degli oggetti - rientrano in tale classe tutte le risposte in cui i soggetti hanno fatto riferimento alla possibilità di manipolare gli oggetti e ricevere dagli stessi risposte fisiche coerenti come *“Having to pick up and use all of the needed tools as well as opening and closing the cabinets”* o *“Grabbing stuff to make the items”*;
- Realismo ambientale - comprende tutte quelle risposte che si riferivano al realismo grafico offerto dall’ambiente come *“The reality feeling felt almost real. And the kitchen set up was similar to a real kitchen”* o *“It really felt like a kitchen, and one point I almost fell because I leaned against the countertop”*;
- Compito assegnato - comprende quelle risposte in cui i soggetti si sono direttamente riferiti ai compiti eseguiti come motivo di coinvolgimento come *“The task given”* o *“The step by step kept me involved when trying to prepare the dessert. I felt that it kept me more involved than it would have if I did not have the steps”*.

Per la dimensione relativa alla *Frustrazione* sono state identificate le seguenti classi di risposta:

- Azione/controllo degli oggetti - rientrano in tale classe tutte le risposte in cui i soggetti si riferivano a difficoltà di manipolazione/interazione con gli oggetti come *“Sometimes if you didn't hold the whisk or spoon correctly you'd have to readjust, particularly with the whisk at points it would spazz out”* o *“Only a few moments within the program i was having some troubles picking objects up with one hand but it was easier with the other hand”*;
- Istruzioni del tutorial - tale classe comprende le risposte in cui i soggetti si riferivano a difficoltà di comprensione delle istruzioni proposte per lo svolgimento della prova come *“The instructions towards the end was a bit confusing I was not able to understand”* o *“At times, I could not find where to go to when it was time to go to the next prompt”*;
- Assenza di feedback aptico - comprende le risposte in cui i soggetti hanno riportato difficoltà relative al maneggiare oggetti a causa dell'assenza di feedback in caso di collisioni come *“The sensitivity of the movements made me knock a few items over, so I had to redo some of the previous activities”* o *“Picking things up oriented properly with my hands was not seamless”*.

Per le classi di risposta sopra riportate sono state successivamente calcolate le percentuali di partecipanti che hanno dato quel tipo di risposta. Come mostra il grafico riportato qui sotto (Fig.46), il 56% dei soggetti ha ritenuto come maggiormente coinvolgente la possibilità di manipolare oggetti e ricevere da essi risposte coerenti, il 33% ha ritenuto il realismo offerto dall'ambiente come fonte principale di coinvolgimento e l'11% si è riferito alla natura del compito proposto come motivo di coinvolgimento.

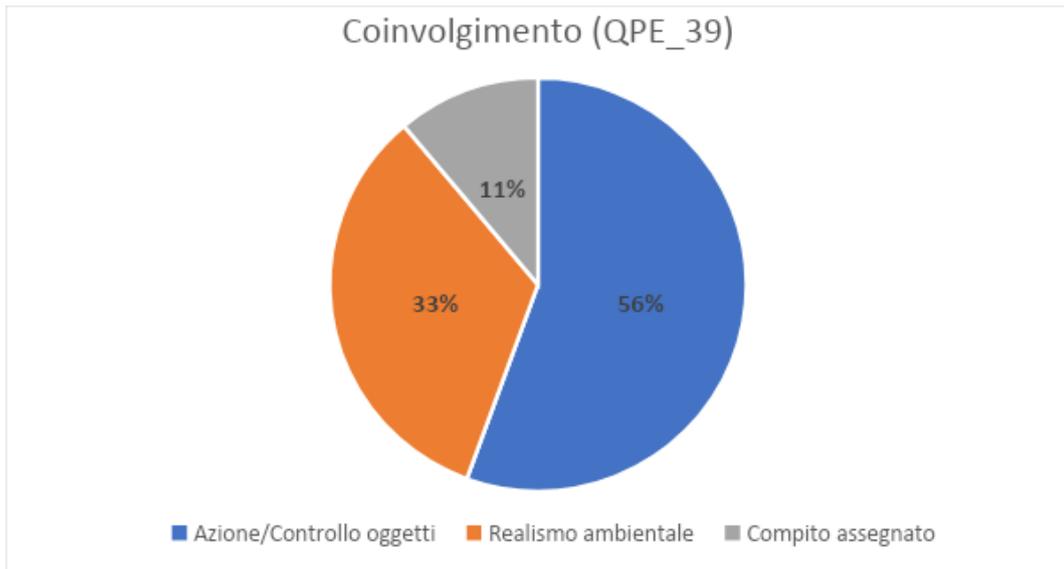


Fig. 46 Grafico percentuale delle classi di risposta per la dimensione Coinvolgimento.

Come mostra invece il grafico seguente (Fig.47), la principale fonte di frustrazione esperita dai soggetti proveniva per il 63% dall'azione/controllo sugli oggetti, seguita da un 21% legato all'assenza di feedback aptico in caso di collisioni tra oggetti e da un 16% legato alle istruzioni proposte dal tutorial.

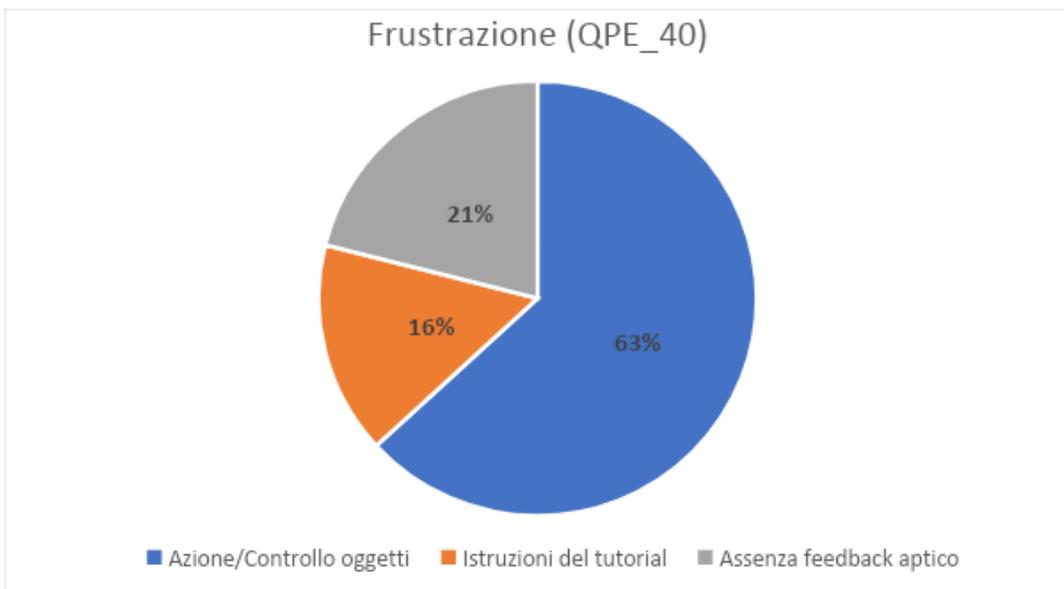


Fig. 47 Grafico percentuale delle classi di risposta per la dimensione Frustrazione.

## 6.6 *Discussione*

Nonostante la sperimentazione sia stata interrotta in modo forzato non permettendo di raggiungere la numerosità originariamente prevista dal campione, i risultati ottenuti sono comunque interessanti e permettono di riflettere sulla relazione che intercorre tra il tipo di tutorial e la velocità e correttezza nel seguire istruzioni in un compito di tipo procedurale in un ambiente di realtà virtuale immersiva.

Come mostrato dai risultati, il tipo di tutorial adoperato dai soggetti appare ininfluenza in relazione al numero di errori compiuto e al tempo impiegato per completare la procedura durante la prima prova in *VK 2.0*, così come appare ininfluenza in relazione alla sua capacità di facilitare la qualità del ricordo esplicito della procedura a distanza di una settimana dalla prova virtuale. A differenza di quanto da noi ipotizzato, infatti, i soggetti sottoposti ad un *Tutorial Visuale*, non manifestano, alla loro prima prova in *VK 2.0* un numero di errori minore (*H1*), né tempi migliori (*H2*) rispetto ai soggetti sottoposti a *Tutorial Testuale*. Allo stesso modo non compiono meno errori alla prova di memoria/apprendimento della procedura (*H4*) eseguita a distanza di una settimana.

A distanza di una settimana dalla prova però, è possibile riscontrare una differenza statisticamente significativa tra i soggetti appartenenti al *Gruppo A*, che hanno effettuato la prova seguendo il Tutorial testuale, presentato attraverso un monitor, ed i soggetti appartenenti al *Gruppo B*, che hanno effettuato la prova seguendo il Tutorial visuale, basato su icone e simboli sugli oggetti d'uso.

Infatti, sebbene i due gruppi abbiano impiegato tempi molto simili in entrambe le prove di cucina, i soggetti esposti al *Tutorial Visuale (Gruppo B)*, un tipo di tutorial che ricordiamo maggiormente esprime le potenzialità della *VR* combinando multimedialità e comunicazione visuale, hanno prodotto alla seconda prova in *VK 2.0* un tempo migliore ed un minor numero di errori rispetto alla loro prima prova, mentre non troviamo lo stesso vantaggio di una maggiore correttezza nella seconda rispetto alla prima prova per i partecipanti del gruppo che ha seguito un tutorial più

tradizionale (*Gruppo A*). Questi ultimi hanno impiegato, nella seconda prova, un tempo inferiore, e non stupisce che rifacendo la stessa procedura siano stati più veloci, ma non sono stati più corretti. In accordo con la nostra ipotesi (*H3*), quindi, i soggetti che hanno eseguito la prova attraverso l'uso di icone e simboli (*Tutorial Visuale*) sembra abbiano in qualche modo imparato meglio a portare a termine il compito, rispetto ai soggetti esposti al tutorial scritto. Questo risultato ci porta a supporre che l'uso di icone e simboli sugli oggetti di utilizzo possa aver aiutato i soggetti non tanto a maturare un miglior ricordo esplicito, di tipo dichiarativo della procedura, dal momento che i risultati alla prova di valutazione degli apprendimenti risultano simili tra i due gruppi testati, ma a identificare in modo più chiaro la connessione tra istruzioni, azione e conseguenze. Un tutorial di tipo visuale sembra quindi avere una maggiore ricaduta rispetto ad una memoria di tipo procedurale piuttosto che ad una memoria di tipo dichiarativo. Questo risultato che conferma una delle nostre ipotesi di partenza, pur avendo bisogno di ulteriori conferme data la scarsa numerosità del campione, sembra mettere in luce una maggiore efficacia della modalità di istruzione di tipo visuale rispetto ad una di tipo scritto tradizionale.

Contrariamente a quanto da noi ipotizzato (*H5*), invece, il tipo di tutorial a cui il soggetto è stato sottoposto non ha avuto effetto sui diversi fattori determinanti l'esperienza di presenza analizzate dal *Questionario post-esperienza*. Aver seguito un *Tutorial Visuale*, che si presentava come più lontano dall'esperienza reale dei soggetti, sembra non aver comportato una minore percezione di presenza: i soggetti testati, indifferentemente dal tutorial eseguito hanno infatti percepito lo stesso grado di controllo dell'ambiente virtuale, la stessa ricchezza e coerenza sensoriale, lo stesso grado di consapevolezza delle interfacce adoperate e lo stesso livello di realismo dell'esperienza.

Inoltre, anche analizzando la percezione dei soggetti rispetto all'utilità e chiarezza del tutorial seguito per preparare il tiramisù virtuale non sono state rilevate differenze significative tra i soggetti sottoposti al *Tutorial Testuale (Gruppo A)* e quelli sottoposti al *Tutorial Visuale (Gruppo B)*, sebbene anche in questo caso l'esiguo numero dei partecipanti potrebbe aver oscurato il risultato.

Per quel che riguarda le analisi di correlazione, che sono state effettuate collassando i due gruppi in un unico gruppo, era atteso il risultato che ha evidenziato come i partecipanti che dopo la prima prova in VR ne avevano ritenuto un miglior ricordo, fossero più veloci nell'eseguire nuovamente la procedura nella loro seconda prova. Aver meglio memorizzato la procedura sembra aver aiutato i soggetti a gestire in modo più efficiente gli spazi e gli utensili e a focalizzarsi sulle diverse istruzioni che dovevano essere svolte, così da rendere l'esecuzione della prova più rapida rispetto alla prima volta.

Erano altrettanto attesi i risultati che hanno riportato una correlazione positiva tra i diversi fattori determinanti l'esperienza di Presenza. Come già descritto da numerosi autori (Witmer e Singer, 1998; Grabarczyk e Pokropski, 2016) la possibilità di muoversi fisicamente nell'ambiente virtuale e di controllare/manipolare gli oggetti (*fattore Sensoriale*) ricevendo da essi delle risposte coerenti con le proprie esperienze reali e con le proprie azioni (*fattore Controllo*) ha reso l'esperienza vissuta dai soggetti realistica e coerente con il mondo oggettivo (*fattore Realismo*) inducendo un elevato senso di presenza espresso in tutte le sue dimensioni. Tale relazione appare supportata anche dalle risposte fornite dai soggetti alla domanda aperta relativa agli elementi identificati come più coinvolgenti dell'esperienza in VK 2.0, che facevano appunto riferimento alla possibilità di manipolare oggetti e ricevere da essi risposte coerenti (56% dei soggetti) e al realismo offerto dall'esperienza (33%).

Interessante risulta invece la correlazione negativa individuata tra la percezione di chiarezza e utilità del tutorial e la consapevolezza delle interfacce utilizzate (*fattore Distrazione*). I soggetti che hanno valutato il tutorial come più utile e chiaro sono quelli che hanno percepito il visore ed i *controller* come meno distraenti. Il *fattore Distrazione* così come teorizzato da Witmer e Singer (1998) oltre a misurare il grado di isolamento dal mondo reale offerto dai dispositivi e la loro consapevolezza durante la prestazione in VR, misura anche la capacità dei soggetti di ignorare le distrazioni esterne e concentrarsi su una serie precisa di stimoli (attenzione focalizzata) provenienti dall'ambiente virtuale aumentando l'esperienza di presenza. Molti studi hanno evidenziato come l'attenzione focalizzata possa indurre un

miglioramento delle capacità di apprendimento e di memoria (Cherry, 1953; Triesman e Riley 1969) pertanto, sarebbero necessari ulteriori approfondimenti tesi alla verifica della relazione e all'identificazione di quali elementi dei tutorial abbiano indotto i soggetti a farsi distrarre meno dall'uso dei dispositivi. Verificare l'esistenza di una relazione tra modalità di tutorial (come vengono date le istruzioni) e il livello di distrazione dato dall'uso dei dispositivi necessari per l'esperienza in VR sarebbe prezioso, dal momento che permetterebbe di guadagnare importanti elementi di design che potrebbero confluire in un insieme di linee guida per una progettazione più efficace dei sistemi di tutorial per gli ambienti virtuali di dedicati all'apprendimento e al training industriale.

I risultati del nostro studio, per quanto esplorativo e limitato ad un piccolo gruppo di soggetti, hanno messo in luce l'esigenza di ulteriori approfondimenti relativi all'uso di tutorial "visivamente aumentati" e hanno ancora una volta confermato l'importanza di una più attenta progettazione delle esperienze in VR deputate all'apprendimento, sia per ciò che riguarda gli aspetti legati all'interattività che agli elementi caratterizzanti i sistemi di istruzione (tutorial).

Una constatazione che può emergere a partire dai nostri risultati è che la possibilità di interagire in modo efficace con l'ambiente virtuale e gli oggetti in esso contenuti può rappresentare un'arma a doppio taglio. Sebbene da un lato una ricca interazione sia fondamentale per amplificare l'esperienza di presenza, immersione e gradimento, dall'altra, se mal progettata, può trasformarsi in un significativo elemento di frustrazione, che potrebbe avere effetti capaci di minare non solo l'esperienza virtuale in sé ma anche di ostacolare la comprensione e la memorizzazione dei materiali presentati, generando un carico cognitivo difficile da gestire.

Una progettazione più ergonomica dei sistemi di istruzione nei VLE, supportata dalla comprensione dei bisogni, delle capacità e dei comportamenti umani e realizzata attraverso una collaborazione multidisciplinare tra esperti di vari settori potrebbe invece permettere di creare sistemi di tutorial non solo più accessibili ed usabili ma anche capaci di sfruttare a pieno le capacità cognitive degli utenti finali.



## *Discussione generale e conclusioni*

Punto focale dell'intero lavoro di ricerca esposto in queste pagine è stata la necessità di comprendere e definire come creare spazi virtuali dedicati all'apprendimento capaci di sfruttare appieno le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie per la VR creando una sinergia tra competenze relative alla psicologia, pedagogia e alle scienze dell'educazione e competenze informatiche.

L'analisi dello stato dell'arte sulla ricerca prodotta negli ultimi 30 anni nell'ambito dei VLE ha messo in luce come tra i loro principali punti di forza vi siano la capacità di realizzare un apprendimento attivo e partecipativo, capace di aumentare coinvolgimento e motivazione non solo dando struttura e rappresentazione a idee e concetti anche astratti, ma anche permettendo di sovvertire regole fisiche e sociali, tutti elementi che possono indurre non solo alti livelli di presenza, immersività e *self-agency* ma anche di motivazione e coinvolgimento.

A partire da queste considerazioni abbiamo cominciato a delineare le caratteristiche che un buon software deve possedere. Successivamente, ponendo costantemente al centro dell'intero lavoro di progettazione e sviluppo l'individuo sottoposto al training di apprendimento procedurale, con le sue caratteristiche fisiche e psicologiche, è stato possibile guidare il team di sviluppo informatico nella creazione di *VirtuaLab* (*VLab*), un ambiente software interamente modulabile che è stato testato attraverso due diversi esperimenti grazie all'uso di due sue diverse versioni.

Nel primo esperimento, effettuato con la variante software denominata *Virtual Kitchen 1.0* abbiamo analizzato l'effetto di due istruzioni di erogazione di feedback implicito ed esplicito, sulla velocità e sul numero di errori compiuti nella preparazione di un dolce da eseguire seguendo delle istruzioni scritte. Sebbene i risultati non abbiano rilevato, contrariamente alle nostre previsioni, una maggiore efficacia del feedback esplicito (caratterizzato da marker visivi ed effetti sonori), si è

potuto rilevare come questa tipologia sia stata ritenuta dai soggetti come più chiara ed intuitiva. L'esperimento ha inoltre evidenziato in aspetti quali l'interattività offerta dall'ambiente e la sua capacità di generare presenza, elementi significativi nel determinare un maggiore gradimento dell'esperienza.

Nel secondo esperimento, effettuata con la versione denominata *Virtual Kitchen 2.0* abbiamo analizzato due tipi di tutorial, visuale e testuale, per comprendere come potessero influire su una prestazione di apprendimento procedurale in termini di tempi, errori e ricordo dei passaggi da eseguire. I risultati, che hanno solo in parte evidenziato differenze statisticamente significative tra i due tutorial, hanno aperto importanti riflessioni sulla progettazione ed il design dei sistemi di istruzione, mettendo in luce come sistemi di tutorial visivamente avanzati e capaci di veicolare informazioni in diverse modalità possano, se opportunamente progettati, avere importanti ricadute per l'apprendimento ed il training di procedure, dal momento che sembrano essere capaci di indurre un miglior ricordo di tipo procedurale senza incidere sull'esperienza di presenza.

Sebbene questi esperimenti necessitino di ulteriori approfondimenti, i dati fino ad oggi raccolti hanno permesso di rimarcare l'importanza della buona progettazione delle *affordance* degli oggetti e delle esperienze per ridurre la frustrazione percepita dai soggetti e garantire un maggiore coinvolgimento, elementi questi importanti per determinare negli studenti una migliore comprensione degli elementi pedagogici progettati.

Sfortunatamente, a causa dell'emergenza da Covid-19 che ha impedito la presenza in laboratorio di partecipanti umani, non è stato possibile terminare le raccolte dei dati coinvolgendo tutti i partecipanti che erano stati preventivati, né sfruttare appieno tutte le potenzialità offerte dal software, testando ad esempio diverse combinazioni di ricchezza dell'ambiente o diversi livelli di interattività offerti dagli oggetti attraverso i moduli di cui il software era già predisposto e che ci prefiggiamo di affrontare in successive attività di ricerca non appena la situazione sanitaria lo permetterà.

Nonostante queste difficoltà, è stato possibile portare a termine la progettazione e lo sviluppo di un ambiente software di realtà virtuale ad architettura modulare, composto da diversi elementi e moduli che, con la loro capacità di combinarsi insieme permettono di testare varie soluzioni di presentazione di compiti, di erogazione di informazioni, istruzioni e di feedback.

Un ambiente quello di *VirtuaLab* che, ponendo al centro dell'intero percorso di sviluppo l'individuo, con le sue caratteristiche fisiche e cognitive, e coinvolgendo la stretta collaborazione tra diverse professionalità legate sia al mondo dell'educazione che delle scienze cognitive e dall'informatica, potrebbe rappresentare un utile modello di sviluppo da seguire nell'ambito della progettazione di sempre più efficaci ambienti per l'apprendimento e il training in VR. Un ambiente che, confidiamo, possa essere utilizzato in futuro per lo studio del collegamento tra abilità percettive e cognitive e di apprendimento attraverso le più recenti tecnologie per la realtà virtuale immersiva.

## *Sviluppi futuri*

L'emergenza sanitaria ancora in corso ha sollevato interessanti riflessioni globali sulle reali prospettive di applicazione che un software come *VirtuaLab* potrebbe offrire. Nel corso dei primi mesi del 2021 infatti il mondo delle grandi aziende, dell'istruzione e della ricerca ha ripreso ad investire in tecnologie innovative come la VR, sperimentando ed introducendo diverse piattaforme per la formazione, le conferenze, la collaborazione a distanza e persino per connettere virtualmente le persone durante i lunghi periodi di lock-down imposti nelle varie nazioni.

*VirtuaLab* con la sua struttura modulare permettendo di rappresentare qualsiasi scenario reale o immaginario e di riprodurre qualsiasi tipo di attività potrebbe tradursi facilmente in un valido strumento per l'educazione e la formazione a distanza.

La possibilità di creare classi virtuali realistiche in cui essere letteralmente immersi attraverso la propria rappresentazione virtuale, capace di muoversi, interagire e condividere contenuti in diversi formati permetterebbe agli studenti di superare l'isolamento sociale e agli insegnanti di ricreare il clima di "classe" che tanto viene penalizzato dalla formazione a distanza realizzata attraverso piattaforme di tipo desktop come *Teams*, *Zoom* o *Meets*. Adoperato per la costruzione di simulazioni e laboratori didattici permetterebbe di visualizzare e manipolare in soggettiva contenuti di difficile comprensione come quelli appartenenti al mondo micro o macroscopico della biologia e della fisica, o prestarsi a rappresentazioni fisiche di concetti astratti come quelli della matematica e dell'informatica, apportando un importante contributo nella didattica delle materie appartenenti al gruppo *STEM*. Arricchendo gli scenari di apprendimento con elementi tipici del mondo del gaming (ludicizzazione dei contenuti) come l'introduzione di sistemi di punteggi, livelli o classifiche permetterebbe di aumentare coinvolgimento e attenzione da parte degli studenti e di

visualizzare i progressi di apprendimento indirizzando gli insegnanti rispetto a quali contenuti potrebbero necessitare di ulteriori approfondimenti.

La possibilità di ricreare scenari domestici o connessi ad attività di autonomia permetterebbe ad un software come il nostro di essere utilizzato come valido strumento per la riabilitazione di abilità adattive in soggetti con *impairments* cognitivi integrandosi facilmente in interventi di terapia occupazionale. Lo stesso *Virtual Kitchen 2.0*, con la sua attuale configurazione che rappresenta una cucina domestica, attraverso poche variazioni sulla procedura proposta potrebbe essere facilmente utilizzato per addestrare le attività cognitive ed i processi motori finalizzati ad un obiettivo, come appunto la preparazione di un semplice pasto, in soggetti affetti da disturbi fisici e cognitivi, come per esempio deficit di memoria. L'ambiente virtuale permetterebbe infatti di mantenere uno stretto controllo rispetto all'erogazione degli stimoli, riducendo i rischi legati alle attività proposte o ad eventuali sensazioni di disagio o paura in caso di errore, che appaiono come normalmente connesse a tali attività allorquando vengono praticate in ambienti naturali. O ancora aggiungendo il contributo di un *computer-avatar*, che esegue per primo i movimenti da effettuare o che accanto al soggetto ne spiega o ricorda passo dopo passo la procedura, permetterebbe ai soggetti non solo di vivere un'esperienza più realistica ed immersiva, ma anche di assimilare strategie per la pianificazione e l'organizzazione delle azioni da intraprendere per il conseguimento efficace dei propri obiettivi.

Tra i possibili sviluppi futuri previsti per il software *VirtuaLab* vi è l'obiettivo di aggiungere ulteriori funzionalità, quali la possibilità di supportare l'interazione multiutente attraverso *computer-avatar* o *human-avatar* personalizzabili per testare diversi aspetti di tecniche di didattica come ad esempio il cooperative learning in ambienti di realtà virtuale immersiva, e lo sviluppo di ulteriori moduli pensati per estendere le potenzialità di ricerca.

L'aggiunta di un modulo deputato al tracciamento spaziale permetterebbe ad esempio di aumentare la mole dei dati comportamentali raccolti sui soggetti,

registrando posizione, velocità ed orientamento di corpo e mani dei soggetti, grazie al tracciamento dei sensori integrati nel visore e nei *controller* o altri sensori esterni posti sul corpo. I dati raccolti con queste modifiche software, analizzati attraverso algoritmi specifici, fornirebbero una fonte sorprendentemente potente di informazioni permettendo, ad esempio, di fare associazioni tra diversi tipi di movimenti di esplorazione dello spazio e manipolazione di oggetti e fenomeni cognitivi come la creatività o l'apprendimento. Potrebbero permettere di studiare condizioni mediche particolari come forme di autismo o di demenza e addirittura permettere di individuare differenze specifiche nelle modalità manipolative ed esplorative legate all'età o al sesso dei soggetti analizzati. Dati dettagliati sulle azioni compiute nello svolgimento di diversi compiti, inoltre, contribuirebbero ad un design più efficace degli ambienti e delle esperienze virtuali, come quelle legate al training industriale. Informazioni sulla postura e i movimenti dei lavoratori, sulle forze di azione del corpo e delle mani e su come i soggetti gestiscono e trasportano materiali, permetterebbero infatti agli ingegneri di anticipare eventuali problemi ergonomici in diverse situazioni prima che si sviluppino.

Ancora, un modulo di elaborazione dei dati psico-fisiologici permetterebbe di integrare i dati di tracciamento spaziale con dati provenienti da altri dispositivi siano essi integrati di default nel visore, come i sensori per il tracciamento dei movimenti oculari, o provenienti da altri dispositivi distribuiti sul corpo dei soggetti per misurare correlati fisiologici del comportamento (frequenza cardiaca o respiratoria, conduttanza cutanea). Dati di questo tipo, e specialmente quelli legati ai movimenti oculari, permetterebbero di studiare più nel dettaglio fenomeni legati alla distribuzione dell'attenzione, ma anche di includere nella sperimentazione tutta una serie di soggetti mai inclusi prima come persone con ridotte capacità motorie e cognitive così da ampliare l'analisi degli ambienti virtuali deputati all'apprendimento e al training.

O ancora si potrebbe dotare il software di un modulo per la creazione e personalizzazione dell'avatar così da testare come diversi elementi o caratteristiche applicate al proprio alter ego digitale possano influenzare aspetti legati all'attenzione,

al problem solving o al pensiero astratto (verificando così alcune delle previsioni delle teorie sulla *embodied cognition* e sulla *encloded cognition*) durante situazioni di apprendimento o di training.

Infine, ulteriori contenuti e miglioramenti strutturali sarebbero possibili grazie al coinvolgimento di una porzione più ampia della comunità scientifica attraverso la distribuzione open source del software *VirtuaLab*, così da facilitare collaborazioni di ricerca nazionali ed internazionali che potrebbero avere importanti ricadute soprattutto per la ricerca applicata alle scienze cognitive.

## *Bibliografia*

Akçayır, M., e Akçayır, G. (2017, February). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11.

Alaraj, A., Lemole, M., Finkle, J., Yudkowsky, R., Wallace, A., Luciano, C., Banerjee, P., Rizzi, S. e Charbel, F. (2011). Virtual reality training in neurosurgery: Review of current status and future applications. *Surgical neurology international*, 2.

Aldrich, C. (2009). *Learning online with games, simulations and virtual worlds: strategies for online instructions*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., e Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *Journal of the Learning Sciences*, 4, 167–207.

Anderson-Hanley, C., Snyder, A., Nimon, J., e Arciero, P. (2011). Social facilitation in virtual reality-enhanced exercise: Competitiveness moderates exercise effort of older adults. *Clinical interventions in aging*, 6, 275-80.

Bailenson, J.N., Patel, K., Nielsen, A., Bajscy, R., Jung S.H. e Kurillo, G. (2008). The Effect of Interactivity on Learning Physical Actions in Virtual Reality. *Media Psychology*, 11(3), 354-376.

Bailenson, J.N., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A., Lundblad, N. e Jin, M. (2008). The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context. *Journal of the Learning Sciences*, 17(1), 102-141.

Baker, P.G. (1994). Designing Interactive Learning. In T. Jong e L. Sarti, *Design and Production of Multimedia and Simulation-based Training*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Banakou, D., Groten, R. e Slater, M. (2013). Illusory Ownership of a Virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.

Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C. C., Kulik, J. A., e Morgan, M. T. (1991). The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, 61, 213–238.

Baños, R., Escobar, P., Cebolla, Au., Guixeres, J., Alvarez Pitti, J., Lison, JF. e Botella, C. (2016). Using Virtual Reality to Distract Overweight Children from Bodily Sensations During Exercise. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 19.

Besnard, J., Richard, P., Banville, F., Nolin, P., Aubin, G., Gall, D., Richard, I. e Allain, P. (2015). Virtual reality and neuropsychological assessment: The reliability of a virtual kitchen to assess daily-life activities in victims of traumatic brain injury. *Applied neuropsychology Adult*, 23.

Black, P. e Wiliam, D. (2018). Classroom assessment and pedagogy. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 25, 1-25.

Blascovich, J., Beall, A., Swinth, K., Hoyt, C. e Bailenson, J. (2002). Immersive Virtual Environment Technology as a Methodological Tool for Social Psychology. *Psychological Inquiry*, 13.

Bombardi, D., Mast, M. S., Canadas, E., e Bachmann, M. (2015). Studying social interactions through immersive virtual environment technology: Virtues, pitfalls, and future challenges. *Frontiers in Psychology*, 6(869).

Bordia, P., Hobman, E., Jones, E., Gallois, C., e Callan, V. J. (2004). Uncertainty during organizational change: Types, consequences, and management strategies. *Journal of Business and Psychology*, 18, 507–532.

Borghi A.M. e Iachini T. (2002). *Scienze della mente*. Bologna: Il Mulino, para. 8.

Botvinick, M., e Cohen, J. (1998). Rubber hands "feel" touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.

Brosvic, G. M., e Cohen, B. D. (1988). The horizontal vertical illusion and knowledge of results. *Perceptual and Motor Skills*, 67(2), 463–469.

Bruno, F., Caruso, F., Li, K., Milite, A. e Muzzupappa, M. (2009). Dynamic simulation of virtual prototypes in immersive environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43.

Bryson, S. (1995). Approaches to the successful design and implementation of vr applications. In R. Earnshaw, J. Vince, and H. Jones, eds., *Virtual Reality Applications*. San Diego, CA: Academic Press, 3–15, 13A.

Bryson, S. (2013). *Virtual Reality: A Definition History - A Personal Essay*.

Carlin A.S., Hoffman H.G. e Weghorst S. (1997). Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: a case report. *Behaviour Research and Therapy*, 35(2),153-8.

Chang, H.Y., Hsu, Y.S. e Wu, H.K. (2015). A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio scientific issue. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1148-1161.

Checa, D. e Bustillo, A. (2020). A Review of Immersive Virtual Reality Serious Games to enhance Learning and Training. *Multimedia Tools and Applications*, 79.

Cherry, E.C. (1953). *Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears*. J. Acoust. Soc.Amer., 25, 975-979.

Christianson, S. A. e HübINETTE, B. (1993). Hands up! A study of witnesses' emotional reactions and memories associated with bank robberies. *Applied Cognitive Psychology*, 7, 365-379.

Christofi, M. e Michael-Grigoriou, D. (2017). Virtual reality for inducing empathy and reducing prejudice towards stigmatized groups: A survey. *International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 1-8.

Clark, R.C., Nguyen, F. e Sweller, J. (2006). *Efficiency in Learning: Evidence Based Guidelines to Manage Cognitive Load*. Pfeiffer.

Corbett, A. T., e Anderson, J. R. (2001). Locus of feedback control in computer-based tutoring: Impact on learning rate, achievement and attitudes. In *Proceedings of ACM CHI 2001 Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: Association for Computing Machinery Press, 245-252.

Cruz-Neira, C., Sandin, D., Defant, T., Kenyon, R. e Hart, J. (1992). The cave-audio visual experience virtual environment. *Communications of The ACM - CACM*.

Cushman L.A., Stein K. e Duffy C.J. (2008, September) Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, 71(12), 888-95.

Dalgarno, B. e Lee, M. (2010). What are the learning affordances of 3-D Virtual environments?. *British Journal of Educational Technology*, 41.

Davis, E., Scott, K., Pair, J., Hodges, L. e Oliverio, J. (1999). Can Audio Enhance Visual Perception And Performance In A Virtual Environment?. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 43.

de Freitas, S. e Jarvis, S. (2006). A Framework for developing serious games to meet learner needs. In the *Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference*.

de Jong, J., Keizer, A., Engel, M. e Dijkerman, C. (2017). Does affective touch influence the virtual reality full body illusion?. *Experimental Brain Research*, 235(6), 1781–1791.

de la Peña, N. et al. (2010). Immersive Journalism: Immersive Virtual Reality for the First-Person Experience of News. *Presence*, 19(4), 291-301.

Desai, P., Ajmera, K., e Mehta, K. (2014). A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 13(4), 175-179.

Dewey, J. (1966). Experience and Education. In Garforth, F.W. John Dewey: *Selected Educational Writings*. London: Heinemann.

Difede, J. e Hoffman, H. (2003). Virtual Reality Exposure Therapy for World Trade Center Post-traumatic Stress Disorder: a case report. *Cyberpsychology Behaviour*, 5(6), 529-35.

Dihoff, R. E., Brosvic, G. M., Epstein, M. L., e Cook, M. J. (2003). The role of feedback during academic testing: The delay retention test revisited. *The Psychological Record*, 53, 533–548.

Dillenbourg, P., Schneider, D. e Synteta, P. (2002). Virtual Learning Environments. *Proceedings of the 3rd Hellenic Conference Information & Communication Technologies in Education*, 3-18.

Dinh, H., Walker, N., Hodges, L., Song, C. e Kobayashi, A. (1999). Evaluating the Importance of Multi-sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments. *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*, 222-228.

Dongen, K. et al. (2011). European consensus on a competency-based virtual reality training program for basic endoscopic surgical psychomotor skills. *Surgical endoscopy*, 25, 166-71.

Drache, A., Mirza-Babaei, P. e Nacke, L.E. (2018). *Game user research*. Oxford: Oxford University Press.

Dummer, T., Picot-Annand, A., Neal, T. e Moore, C. (2009). Movement and the rubber hand illusion. *Perception*, 38, 271-280.

Feldman, R.S., Amoretti, G. e Ciceri, M.R. (2017). *Psicologia generale*. New York: McGraw-Hill, para. 5.

Gaitatzes, A., Christopoulos, D. e Roussou, M. (2002). Reviving the Past: Cultural Heritage Meets Virtual Reality. In *Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, Archeology, and Cultural Heritage*. Athens, Greece: ACM Press, 103-110.

Gallagher, S. (2000). Philosophical Conceptions of the Self: Implications for Cognitive Science. *Trends in cognitive sciences*, 4.

Gallese, V. (2001). The 'shared manifold' hypothesis. From mirror neurons to empathy. *Journal of Consciousness Studies*, 8, 33-50.

Gallese, V. (2003). The Roots of Empathy: The Shared Manifold Hypothesis and the Neural Basis of Intersubjectivity. *Psychopathology*, 36(4), 171-80.

Garris, R., Ahlers, R. e Driskell, J. (2002). Games, motivation and learning: a research and practice model. *Simulation and Gaming*, 33, 441-467.

Giovagnoli, A. R., Del Pesce, M., Mascheroni, S., Simoncelli, M., Laiacona, M., e Capitani, E. (1996). Trail Making test: Normative values from 287 Italian normal adult controls. *The Italian journal of neurological sciences*, 17(4), 305-309.

Gordon, A., van Lent, M., van Velsen, M., Carpenter, P. e Jhala, A. (2004). Branching storylines in virtual reality environments for leadership development. *Innovative Applications of Artificial Intelligence '04*, 844–851.

Gordon, C., Shea, T., Noelle, D. e Balasubramaniam, R. (2019). Affordance Compatibility Effect for Word Learning in Virtual Reality. *Cognitive Science*, 43(6).

Gould N.F. et al. (2007). Performance on a virtual reality spatial memory navigation task in depressed patients. *The American Journal of Psychiatry*, 164(3), 516-519.

Grabarczyk, P. e Pokropski, M. (2016). Perception of Affordances and Experience of Presence in Virtual Reality. AVANT. *The Journal of the Philosophical-Interdisciplinary Vanguard*, 7(2), 25-44.

Guixeres, J. et al. (2013). Effects of Virtual Reality during Exercise in Children. *Journal of Universal Computer Science*, 19, 1334-1349.

Gutmann, A. e Ben-Porath, S. (2014) Democratic Education. In the *Encyclopedia of Political Thought*. Hoboken, NJ: Wiley, 863–875.

Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E. e Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental Design. *Journal of Computers in Education*, 8, 1–32.

Hattie, J. e Timperley H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77, 81-112.

Heilig, M. L. (1962). *Sensorama simulator* (United States Patent n. 3050870). USA.

Hershfield, H.E. et al. (2011). Increasing saving behavior through age-progressed renderings of the future self. *Journal of Marketing Research*, 48, S23-37.

Hoffman, H., Hollander, A., Schroder, K., Rousseau, S. e Furness, T. (1998). Physically touching and tasting virtual objects enhances the realism of virtual experiences. *Virtual Reality*, 3, 226-234.

Huang, J., Lucash, M.S., Simpson, M.B., Helgeson, C. e Klippel, A. (2019). Visualizing natural environments from data in virtual reality: combining realism and uncertainty. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 1485-1488.

Iverson, J. M., e Thelen, E. (1999). Hand, mouth and brain: The dynamic emergence of speech and gesture. *Journal of Consciousness Studies*, 6, 19-40.

Jensen, L. e Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23, 1515–1529.

Kamińska, D. et al. (2019). Virtual Reality and Its Applications in Education: survey. *Information*, 10, 318.

Kanfer, R., e Ackerman, P. L. (1989). Motivation and cognitive abilities: An integrative/aptitude-treatment interaction approach to skill acquisition. *Journal of Applied Psychology*, 74, 657–690.

Keyesers, C. e Gazzola, V. (2009). Expanding the mirror: Vicarious activity for actions, emotions, and sensations. *Current opinion in neurobiology*, 19(6), 666-671.

Kokkinara, E., Slater, M. e Lopez-Moliner, J. (2015). The Effects of Visuomotor Calibration to the Perceived Space and Body, through Embodiment in Immersive Virtual Reality. *ACM Transactions on Applied Perception*, 13(1), 3.

Langbehn, E., Lubos, P. e Steinicke, F. (2018). Evaluation of locomotion techniques for room-scale VR: joystick, teleportation, and redirected walking. *Proceedings of the Virtual Reality International Conference*, 4, 1–9.

Lau, K.W. e Lee, P.Y. (2015). The use of virtual reality for creating unusual environmental stimulation to motivate students to explore creative ideas. *Interactive Learning Environments*, 23(1), 3-18.

Lee, J. (1999). Effectiveness of computer-based instructional simulation: A meta-analysis. *International Journal of Instructional Medi.*, 26, 71–86.

Lele, A. (2011). Virtual reality and its military utility. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 4, 17-26.

Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S. e Johnson, E. (2016). Enhancing Learning and Engagement through Embodied Interaction within a Mixed Reality Simulation. *Computers & Education*, 95, 174-187.

Locke, E. A., e Latham, G. P. (1990). *A theory of goal setting & task performance*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Lorenzo, G., Lledó, A., Arráez-Vera, G. e Lorenzo-Lledó, A. (2018). The application of immersive virtual reality for students with ASD: A review between 1990–2017. *Education and Information Technologies*, 24(1), 127-151.

Ma, K. e Hommel, B. (2015). The role of agency for perceived ownership in the virtual hand illusion. *Consciousness and cognition*, 36, 277-288.

Maister, L., Sebanz, N., Knoblich, G. e Tsakiris, M. (2013). Experiencing ownership over a dark-skinned body reduces implicit racial bias. *Cognition*, 128(2), 170-178.

Mason, B. J., e Bruning, R. (2001). *Providing feedback in computer-based instruction: What the research tells us*. Retrieved from <http://dwb4.unl.edu/dwb/Research/MB/MasonBruning.html>

Matthews, B., See, Z.S. e Day, J., (2020). Crisis and extended realities: remote presence in the time of COVID-19. *Media International Australia*, 1–12.

Mayer R.E (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., e Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40.

Mikropoulos, T. A. e Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56(3), 769–780.

Milgram, P. e Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. on Information Systems*, 77(12), 1321-1329.

Minocha, S., Tudor, A.D. e Tilling, S. (2017). *Affordances of Mobile Virtual Reality and their Role in Learning and Teaching*. EVA'17, 1-10.

Monaco, M., Costa, A., Caltagirone, C., e Carlesimo, G. A. (2013). Forward and backward span for verbal and visuo-spatial data: standardization and normative data from an Italian adult population. *Neurological Sciences*, 34(5), 749-754.

Mondini, S., Mapelli, D., Vestri, A., Arcara, G., e Bisiacchi, P. S. (2011). *L'Esame Neuropsicologico Breve-2* (Brief Neuropsychological Examination-2). Milano, Italy: Raffaello Cortina Editore.

Mütterlein, J. (2018). The three pillars of virtual reality? investigating the roles of immersion, presence, and interactivity. *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, Hawaii*, 3-6.

Nahab, F. et al. (2011). The neural processes underlying self-agency. *Cerebral cortex*, 21(1), 48-55.

Niehorster, D., Li, L. e Lappe, M. (2017). The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research. *Iperception*, 8(3).

Nim, H. et al. (2016). Communicating the Effect of Human Behaviour on the Great Barrier Reef via Mixed Reality Visualisation. *BDVA*, 1-6.

Norman, D.A. (2019). *La caffettiera del masochista. Il design degli oggetti quotidiani*. Milano: Giunti Psychometrics, para. 3 e 4.

Novelli, G., Papagno, C., Capitani, E., e Laiacona, M. (1986). *Tre test clinici di memoria verbale a lungo termine: Taratura su soggetti normali*. *Archivio di psicologia, neurologia e psichiatria*, 47(2), 278-296.

Paas, F., Renkl, A., e Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist*, 38, 1-4.

Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, 45, 255-287.

Passig, D. (2015). Revisiting the Flynn Effect through 3D Immersive Virtual Reality (IVR). *Computers & Education*, 88, 327-342.

Passig, D., Klein, P. e Noyman, T. (2001). Awareness of toddlers' initial cognitive experiences with virtual reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17, 332-344.

Peregoy, S. F., e Boyle, O. F. (2005). *Reading, writing, and learning in ESL: A resource book for K-12 teachers*. New York: Pearson Education.

Pertaub, D.P., Slater, M. e Barker, C. (2002). An Experiment on Public Speaking Anxiety in Response to Three Different Types of Virtual Audience. *Presence*, 11, 68-78.

Petkova, V. e Ehrsson, H.H. (2008). If I Were You: Perceptual Illusion of Body Swapping. *PLoS One*, 3(12).

Petridis, P. et al. (2012). Game engines selection framework for high-fidelity serious applications. *International Journal of Interactive Worlds*.

Piaget, J. (2013). *La rappresentazione del mondo nel fanciullo*. Torino: Bollati Boringhieri.

Popova, L. (2010). *Perceived Reality of Media Messages*. Santa Barbara, CA: University of California.

Radiani, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., e Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147.

Regia Corte, T., Marchal, M., Cirio, G. e Lécuyer, A. (2012). Perceiving affordances in virtual reality: Influence of person and environmental properties in perception of standing on virtual grounds. *Virtual Reality*, 17, 17-28.

Regia-Corte, T., Marchal, M. e Lécuyer, A. (2010). Can you stand on virtual grounds? A study on postural affordances in virtual reality. *IEEE Virtual Reality Conference*, 207-210.

Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual and motor skills*, 8(3), 271-276.

Rieber, L. P. (1995). A historical review of visualization in human cognition. *Educational Technology Research & Development*, 43(1), 45-56.

Rogers, C. (1951). *Client-centered Therapy: Its Current Practice, Implications and Theory*. London: Constable.

Rosenberg R.S., Baughman S.L. e Bailenson J.N. (2013). Virtual Superheroes: using superpowers in Virtual Reality to encourage prosocial behavior. *PLoS ONE*, 8(1).

Rothbaum, B., Hodges, L., Ready, D., Graap, K. e Alarcón, R. (2001). Virtual reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder. *The Journal of clinical psychiatry*, 62, 617-22.

Roussou, M. (2004). Learning by doing and learning through play: An exploration of interactivity in virtual environments for children. *Computers in Entertainment*, 2.

Sammartino, D. (2016). Integrated virtual reality game interaction: the Archery Game. Retrieved from <https://uhra.herts.ac.uk/handle/2299/17121>

Sanchez-Vives, M. e Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 332-339.

Sandstrom, N. J., Kaufman, J., e Huettel, S. A. (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. *Cognitive Brain Research*, 6(4), 351–360.

Schunk, D. H. (1991). *Learning theories: An educational perspective*. NY: Macmillan, para. 6.

Schwaber K. e Sutherland, J. (2017). *The Scrum Guide*. Scrum.Org and ScrumInc.

Seinfeld, S. et al. (2018). Offenders become the victim in virtual reality: impact of changing perspective in domestic violence. *Scientific Reports*, 8.

Self, T., Scudder, R.R., Weheba,G. e Crumrine, D. (2007, July-September). A virtual approach to teaching safety skills to children with autism spectrum disorder. *Topics in Language Disorders*, 27 (3), 242-253.

Shamsuzzoha, A., Toshev, R., Tuan, V.V., Kankaanpaa, T., e Helo, P.T. (2019). Digital factory – virtual reality environments for industrial training and maintenance. *Interactive Learning Environments*, 1-24.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of educational research*, 78(1), 153-189.

Singh R.P., Javaid M., Kataria R., Tyagi M., Haleem A. e Suman R. (2020, Jul-Aug). Significant applications of virtual reality for COVID-19 pandemic. *Diabetes Metabolic Syndrome*, 14(4),661-664.

Slater, M. e Sanchez-Vives, M. (2014). Transcending the self in immersive virtual reality. *Computer*, 47, 24-30.

Slater, M. e Sanchez-Vives, M. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3(74).

Slater, M. e Steed, A. (2000). A Virtual Presence Counter. *Presence*, 9, 413-434.

Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical transactions of the Royal Society of London B, Biological sciences*, 364(1535), 3549-3557.

Smiciklas, M. (2012). *The power of infographics: using pictures to communicate and connect with your audiences*. Indianapolis: Que Pub.

Song, S. H., e Keller, J. M. (2001). Effectiveness of motivationally adaptive computer assisted instruction on the dynamic aspects of motivation. *Educational Technology Research and Development*, 49(2), 5–22.

Steffen, J., Gaskin, J., Meservy, T., Jenkins, J. e Wolman, I. (2019). Framework of affordances for virtual reality and augmented reality. *Journal of Management Information Systems*, 36, 683-729.

Sutherland, I. (1968). A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the American Federation of Information Processing Societies '68* (Fall, part I), 757-764.

Sweller, J., Van Merriënboer, J. e Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251–296.

Tieri, G., Tidoni, E., Pavone, E. F., e Aglioti, S. M. (2015). Body visual discontinuity affects feeling of ownership and skin conductance responses. *Scientific reports*, 5(1).

Tovar, D. F., Jonker, V. e Hürst, W. (2020). *Virtual Reality and Augmented Reality in Education: a review*. Universiteit Utrecht.

Treisman, A.M. e Riley, J.G. (1969). Is selective attention selective perception or selective response? A further test. *Journal of Experimental Psychology*, 79(1), 27-34.

Tzanavari, A., Charalambous, N., Herakleous, K., e Poullis, C. (2015). Effectiveness of and immersive virtual environments (CAVE) for teaching pedestrian crossing to children with PDD-NOS. In *Proceedings of 15th international conference on advanced learning technologies*, 423–427.

Van der Straaten, P. (2000). *Interaction affecting the sense of presence in virtual reality*. Delft University of Technology, 67.

Vanichvasin, P. (2013). Enhancing the quality of learning through the use of infographics as visual communication tool and learning tool. In *Proceedings International Conference on QA Culture: Cooperation or competition*, 135-143.

Waltemate, T., Gall, D., Roth, D., Botsch, M. e Latoschik, M. (2018). the impact of avatar personalization and immersion on virtual body ownership, presence, and emotional response. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1.

Witmer, B. G., e Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.

Won, A. S., Bailey, J. O. e Yi, S. (2020). Work-in-Progress—Learning about virtual worlds in virtual worlds: how remote learning in a pandemic can inform future teaching. *Immersive Learning Research Network*, 377-380.

Yee, N. e Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33, 271–290.

Yoshimura, A. e Borst, C. W., (2020). Remote instruction in virtual reality: a study of students attending class remotely from home with vr headsets. In Hansen, C.,

Nürnbergger, A. e Preim, B. (Hrsg.), *Mensch und Computer 2020 - Workshopband*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.

Yuille, J. C. e Cutshall, J. L. (1986). A case study of eyewitness memory of a crime. *Journal of Applied Psychology*, 71(2), 291–301.

## Sitografia

Akoljar, K. (2020, August 7). *Virtuality genesis: evolution of virtual and augmented realities*. ACIID. <https://aciid.com/virtuality-genesis-evolution-of-virtual-and-augmented-realities>.

Alsop, T. (2021, March 16). *Consumer virtual reality (VR) hardware and software market revenue worldwide from 2016 to 2023*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/528779/virtual-reality-market-size-worldwide/>

Bailey, H e Community. *Open Broadcaster Software Download*. Ultimo accesso 10 dicembre 2020. <https://obsproject.com/download>

Chen, A. (2020, April 20). *Is virtual travel here to stay, even after the pandemic subsides?* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/travel/article/can-virtual-reality-replace-real-tourism-during-pandemic-and-beyond>

Hoff, J. (2018). *Google, LG build world's most pixel-dense OLED displays for VR headsets*. Android Community. <https://androidcommunity.com/google-lg-build-worlds-most-pixel-dense-oled-displays-for-vr-headsets-20180523/>

Unity Documentation. (n.d). *Input for OpenVR controllers*. <https://docs.unity3d.com/2017.2/Documentation/Manual/OpenVRControllers.html>

Jose (2020). *What is the best vr headset for gaming for 2020*. Gears For Winning. <https://gearsforwinning.com/what-is-the-best-vr-headset-for-gaming/>

Nafarrete, J. (2016, January 28). *Weekend Downloads: New Content for Samsung Gear VR*. VR Scout. <https://vrscout.com/news/weekend-downloads-new-content-samsung-gear-vr/>

Santoro, L. (2017, August 22). *Il ciclo di vita delle tecnologie emergenti del 2017*. Data Media Hub. <http://www.datamediahub.it/2017/08/22/ciclo-vita-delle-tecnologie-emergenti-del-2017/#axzz6xs0hOtGV>

Wikipedia (n.d). *Tiramisù*. Ultimo accesso 17 Ottobre 2019. <https://it.wikipedia.org/wiki/Tiramisù>

# Appendice A

## Questionario preliminare (usato in VK 1.0)

Data \_\_\_\_\_

Nome \_\_\_\_\_ Cognome \_\_\_\_\_

ID Partecipante \_\_\_\_\_

Telefono \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Data di nascita \_\_\_\_\_ Sesso \_\_\_\_\_

Manualità:  MANCINO  DESTROSO  SCRIVE CON LA DESTRA MA USA SPESSO LA MANO SX

Disturbi attuali o pregressi da segnalare (disturbi di lettura o scrittura, DSA...):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ha già avuto precedenti esperienze di realtà virtuale  SI  NO

Indicare la tipologia:

Simulazioni professionali (militari, mediche, architettura...)	Video 360° (documentari, films...)
Videogiochi	Simulazioni didattiche (museali, storiche, artistiche...)
Simulazioni sportive (corsa, mountainbike, sport estremi...)	Altro (shopping, terapia, gender switch...)

Tipo di dispositivo utilizzato:  PC  HMD  CARDBOARD

Hai usato dei controller (spiegare brevemente cosa sia un controller)?  SI  NO

In media a settimana, nel mese o nell'ultimo anno quanto tempo hai utilizzato dispositivi di VR?

(Riuscire ad avere informazione sull'ammontare di esperienza in VR immersiva del soggetto. Una volta sola al museo? Una volta a settimana sul suo PC? Occasionalmente dal cugino? Ecc.)

---

---

---

---

USARE LA RISPOSTA A QUESTA DOMANDA PER INSERIRE IL SOGGETTO IN UNA DELLE CATEGORIE SOTTOSTANTI

\*\*\*\*\*

Utilizzatore NOVIZIO (mai fatto)

Utilizzatore OCCASIONALE (sotto le due in tutta vita)

Utilizzatore SALTUARIO (tre nello scorso anno)

Utilizzatore FREQUENTE (più di tre nello scorso anno)

\*\*\*\*\*

Gioca a videogiochi anche in 2D:  SI  NO

Indicare la tipologia:

AZIONE/AVVENTURA	GESTIONALE
STRATEGIA/WARGAME	SPORT
GIOCO DI RUOLO	CORSA/GUIDA
PUZZLE	

Su che tipo di dispositivo:

PC	SMARTPHONE	TABLET	GAMING CONSOLE
----	------------	--------	----------------

Quanto gioca in media

a settimana:

<1 h	1-2 h	2-4 h	4-7 h	7-12 h	>12 h
------	-------	-------	-------	--------	-------

## Appendice B

### Memoria di prosa (usato in VK 1.0)

Ora le leggerò un raccontino; lei mi dovrà ascoltare attentamente perché alla fine dovrà ripetermi tutto quello che ricorda.

	Imm.	Diff.		Imm.	Diff.		Imm.	Diff.
Anna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	dei carabinieri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	che non mangiavano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pesenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	che la sera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	da due	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
di Bergamo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	precedente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	giorni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
che lavora	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mentre rincasava	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	e doveva pagare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
come donna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	era stata aggredita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	l'affitto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
delle pulizie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	e derubata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	I militari	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
in una ditta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	di 150 euro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	commossi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
di costruzioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	La poveretta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	fecero una colletta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
riferì	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aveva quattro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
al maresciallo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bambini piccoli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

**Memoria immediata - Punti ..... /28**    **Memoria differita - Punti ..... /28**

Report

---

---

---

Ora le rileggerò questo stesso raccontino. Lei cerchi di tenerlo a mente perché più avanti le chiederò di ripeterlo.

### Memoria di prosa differita

Ricorda il raccontino che le ho letto prima? Mi dica tutto quello che si ricorda

Report

---

---

---

## Trial Making Test (TMT) (usato in VK 1.0)

**TMT A prova:** su questo foglio (si indica) sono distribuiti dei numeri. Lei dovrà partire dal numero 1, INIZIO, e tracciare una linea per raggiungere il 2, poi andare al 3, poi al 4 e così via fino a dove c'è scritto FINE. Dovrà cercare di non staccare la matita dal foglio. Vede, parte dal numero 1, poi 2,3, 4...fino a qui (si mostra al soggetto come collegare con la linea senza tracciare il segno sul foglio). Ecco, provi lei, non si preoccupi se le linee non sono dritte, non importa, cerchi solo di essere il più possibile accurato nella ricerca.

Se il paziente ha compreso il compito, si utilizza il secondo foglio e si dice:

**TMT A esecuzione:** Bene, ora ne facciamo uno dello stesso tipo. Vede, su questo foglio (si indica) ci sono più numeri, ma il suo compito è il medesimo. Ora dovrà essere anche veloce oltre che accurato perché calcolerò quanto tempo impiegherà. Pronto?

Solo se è riuscito a svolgere il TMT A si passa alla prova successiva, TMT B.

TMT A	Tempo	Errori
Esecuzione		

Osservazioni \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

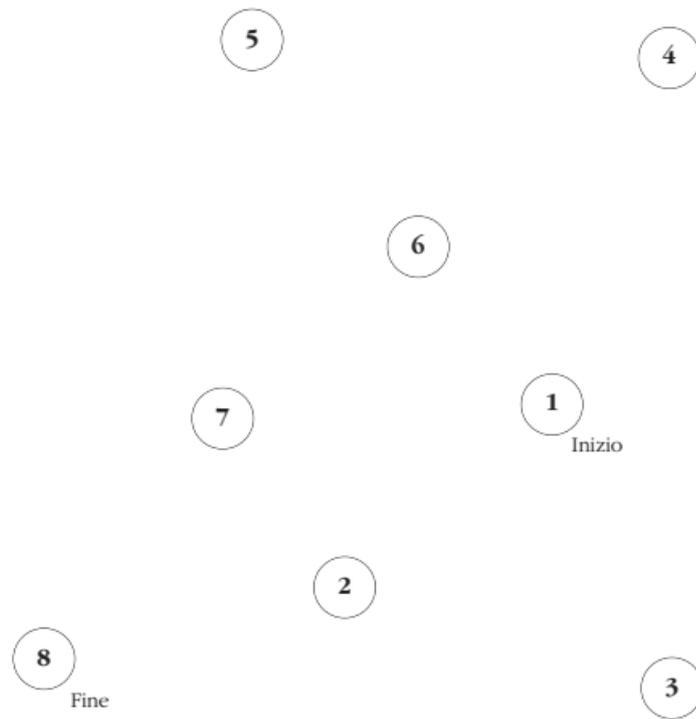
**TMT B prova:** su questo foglio (si indica) sono distribuiti sia numeri sia lettere dell'alfabeto. Lei dovrà congiungere con una linea, come prima, i numeri e le lettere in ordine crescente e in modo alternato a partire dal numero 1, INIZIO, e dovrà alternare sempre un numero e una lettera. Dal numero 1 deve tracciare una linea per raggiungere la prima lettera A, poi da qui il secondo numero 2, da qui la seconda lettera B, poi il numero 3, poi la lettera C, poi 4, poi la lettera D, dove c'è scritto FINE. (mostrare sul foglio senza tracciare la linea). Ecco, provi lei cercando di farlo velocemente e di non staccare la matita dal foglio. Non si preoccupi se le linee non sono dritte, cerchi solo di essere il più possibile veloce e accurato nella ricerca.

**TMT B esecuzione:** su questo foglio (si indica) ci sono più numeri e più lettere, ma il suo compito è il medesimo. Dovrà essere veloce e accurato perché ora calcolerò quanto tempo impiegherà. Pronto?

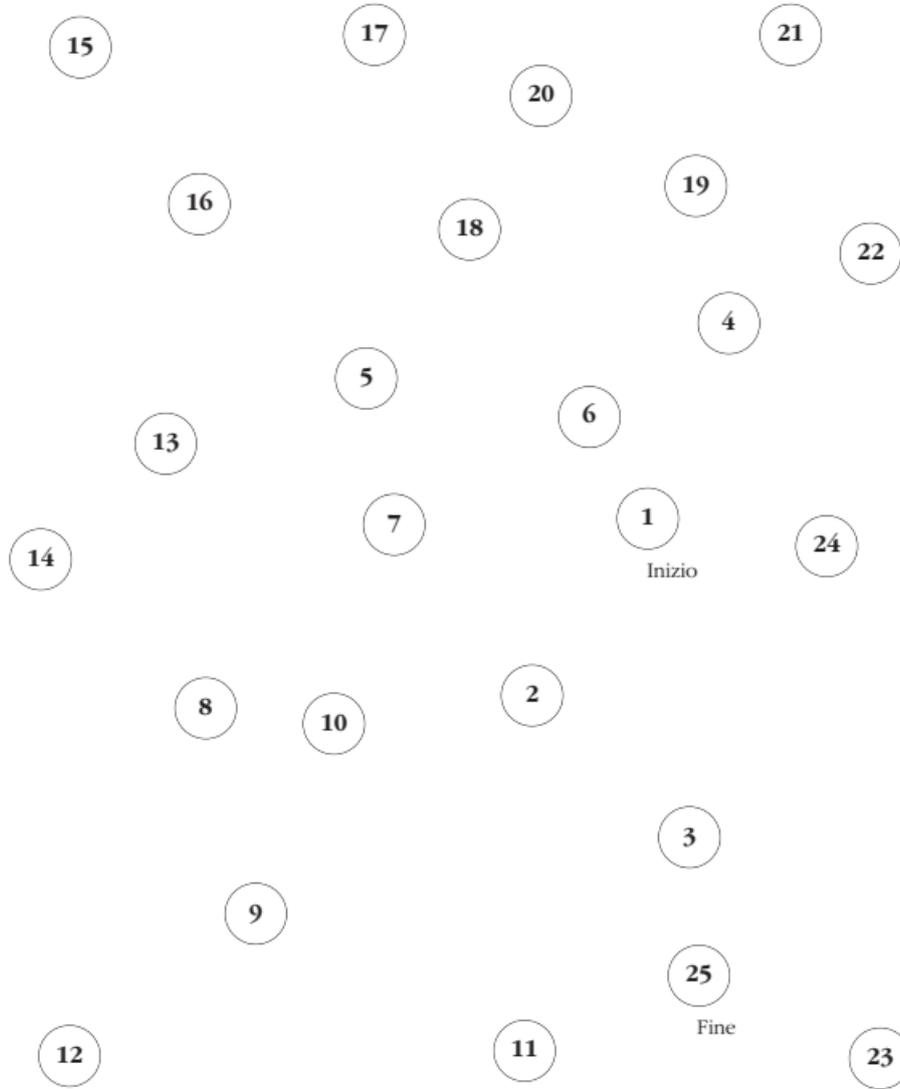
TMT B	Tempo	Errori
Esecuzione		

Osservazioni \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

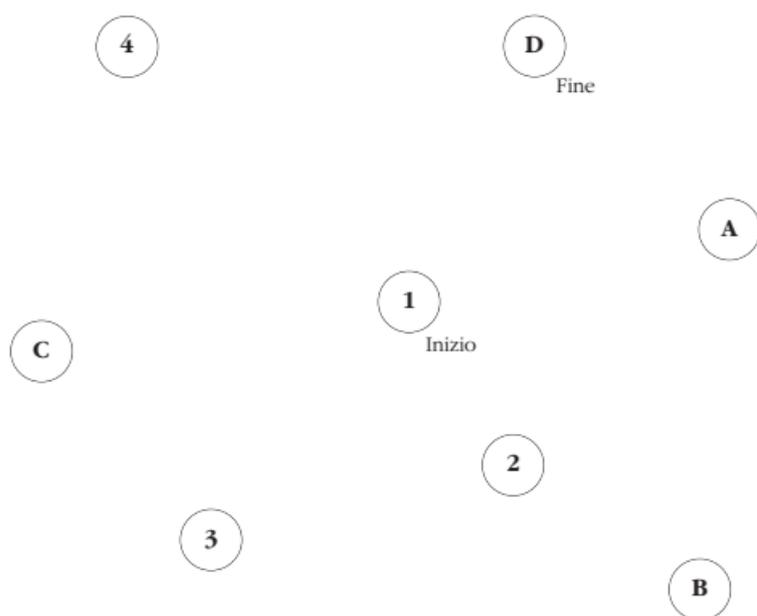
## TMT A (prova)



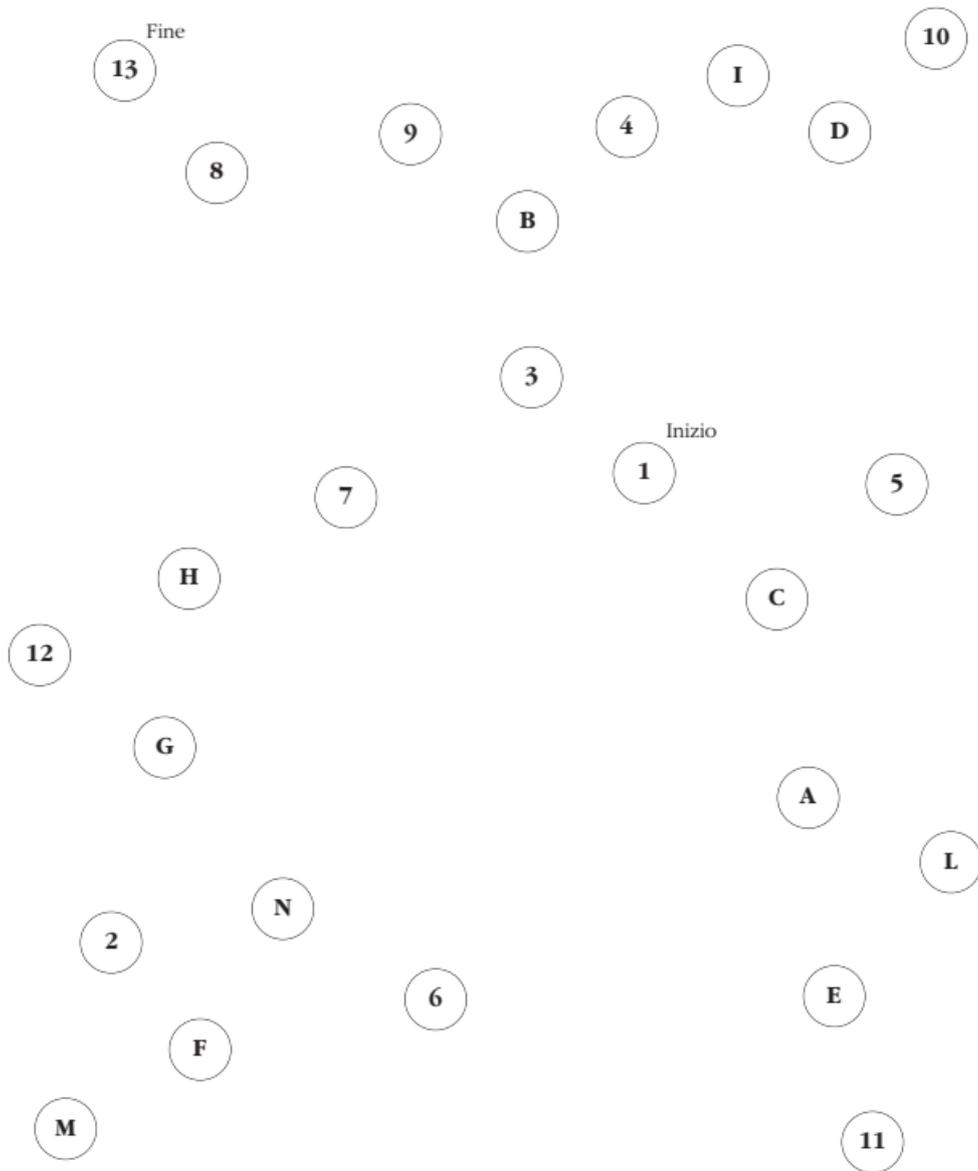
# TMT A



## TMT B (prova)



## TMT B



## Digit Span (usato in VK 1.0)

“Ora le leggerò una serie di numeri e lei dovrà semplicemente ripeterli all’inverso, cioè all’indietro. Non appena avrò finito le farò un cenno con la mano e lei inizierà a ripetere. Non cominci prima che io abbia finito. Inizierò con pochi numeri e poi aumenterò fino a quando lei riuscirà a ripeterli tutti.

Per esempio se io dico: 7, 1, 9 lei ripete: ...”

“Allora, cominciamo.”

Se ha compreso, e ripete correttamente si prosegue con la prova vera e propria leggendo la prima serie dell’item 2. Se sbaglia o mostra di non aver capito gli si suggerisce la risposta corretta e gli si propone un secondo esempio (3,4,8). Se il soggetto ripete correttamente si passa all’item 2, diversamente si inizia la prova vera e propria dall’item 1 e la si sospende subito dopo le due serie dell’item stesso. La cadenza vocale e l’inflessione devono essere quanto più neutre.

Ci si ferma dopo 2 errori consecutivi.

SERIE	Punt.	NOTE
2-4	2	
5-8	2	
6-2-9	3	
4-1-5	3	
3-2-7-9	4	
4-9-6-8	4	
1-5-2-8-6	5	
6-1-8-4-3	5	
5-3-9-4-1-8	6	
7-2-4-8-5-6	6	
8-1-2-9-3-6-5	7	
4-7-3-9-1-2-8	7	
9-4-3-7-6-2-5-8	8	
7-2-8-1-9-6-5-3	8	

Punti ...../8

Come ha fatto per ricordare la serie di cifre all’indietro?

---

---

---

---

---

Osservazioni

---

---

---

---

## Appendice C

### Questionario post-esperienza (usato in VK 1.0)

<p>Ha problemi di vista?</p> <p style="text-align: center;">SI      NO</p>	<p>Tipologia di problema:</p> <p>Effettua la prova con occhiali      SI      NO</p> <p>Effettua la prova con lenti      SI      NO</p>					
<p>Ha problemi legati all'equilibrio che le causano vertigine, giramenti di testa, difficoltà a camminare, nausea o tachicardia?</p>						
<p>Ha mai sofferto di mal d'auto o mal di mare?</p> <p style="text-align: center;">SI      NO</p>	<p>Indicare frequenza e intensità</p>					
<p>Ha pratica nella preparazione di pasti?</p> <p style="text-align: center;">SI      NO</p>	<p>Come valuterebbe la sua capacità di cucinare?</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Molto bassa</td> <td>Bassa</td> <td>Media</td> <td>Alta</td> <td>Molto Alta</td> </tr> </table>	Molto bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
Molto bassa	Bassa	Media	Alta	Molto Alta		
<p>Aveva mai utilizzato una macchina da caffè per caffè americano?</p>						
<p>Ha mai preparato un tiramisù?</p> <p>Conosceva la ricetta del tiramisù anche se non lo hai mai preparato?</p>						

**INDICARE IL GRADO DI ACCORDO O DISACCORDO RISPETTO ALLE  
SEGUENTI AFFERMAZIONI**

1) Ho scordato di trovarmi all'interno di una simulazione virtuale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

2) Ho avuto la sensazione che il mio corpo potesse realmente colpire gli ostacoli presenti nell'ambiente virtuale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

3) I controller ed il visore mi hanno distratto nell'esecuzione del compito e/o nell'interazione con l'ambiente

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

4) Ripenso all'esperienza appena vissuta come un luogo che ho realmente visitato

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

5) Ero consapevole dell'ambiente reale che mi circondava

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

6) L'aspetto visivo dell'ambiente mi ha aiutato a sentirmi coinvolto

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

7) I suoni ed i rumori presenti nell'ambiente mi hanno aiutato a sentirmi coinvolto

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

8) Sono stato sempre in grado di prevedere gli esiti delle mie azioni

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

9) Poter toccare e manipolare gli oggetti presenti nell'ambiente mi ha aiutato a sentirmi coinvolto

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

10) L'interazione con gli oggetti presenti nell'ambiente mi è sembrata naturale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

11) Il movimento all'interno dell'ambiente mi è sembrato naturale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

12) Le risposte fisiche degli oggetti mi sono sembrate coerenti con le mie esperienze nel mondo reale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

13) Nel primo ambiente di familiarizzazione con i dispositivi le istruzioni per muoversi nello spazio riportate sui cartelli erano chiare

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

14) Nel primo ambiente di familiarizzazione con i dispositivi le istruzioni per interagire con gli oggetti riportate sui cartelli erano chiare

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

15) Aver fatto pratica nell'interazione con gli oggetti e nel movimento mi è servito per agire nella cucina virtuale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

16) Le istruzioni per completare la ricetta riportate sul libro erano chiare

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

17) Il feedback ricevuto quando non ho svolto correttamente il compito mi è stato di aiuto

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

18) Il feedback ricevuto quando ho svolto correttamente il compito mi è stato di aiuto

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

19) Sarei in grado di riprodurre la ricetta appena realizzata nell'ambiente virtuale in una cucina reale

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

20) Ho trovato l'esperienza coinvolgente

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

21) Ho provato frustrazione durante l'interazione con gli oggetti presenti nell'ambiente

Molto d'accordo	D'accordo	Indeciso	In disaccordo	Per niente d'accordo
-----------------	-----------	----------	---------------	----------------------

# *Appendice D*

## **Memoria dell'esperienza VK 1.0**

Data \_\_\_\_\_

ID Partecipante \_\_\_\_\_

Nella sessione precedente qui nel laboratorio ti abbiamo fornito delle istruzioni scritte e tu le hai seguite per arrivare a preparare un tiramisù nella cucina virtuale.

Come spiegheresti a qualcuno che si trovasse nella cucina virtuale, ma senza istruzioni, quali sono le cose che deve fare per preparare il tiramisù?

Prova, insomma, a scrivere cosa ricordi della procedura che hai dovuto fare per arrivare alla fine del compito.

La prima istruzione che ho ricevuto era...

## *Appendice E*

### **Istruzioni dell’Ambiente di familiarizzazione ai dispositivi (usato in VK 1.0)**

1. Afferrare oggetti  
*“Cammina verso la palla rossa e una volta raggiunta punta il controller su di essa, quando vedrai comparire un alone luminoso premi il tasto che si trova sotto l’indice della tua mano”*
2. Rilasciare oggetti  
*“Continua a tenere il pulsante premuto, cammina verso la scatola posta sotto il cartello 1 e lascia cadere la palla al suo interno rilasciando il tasto!”*
3. Trascinare oggetti  
*“Afferra il cubo giallo e trascinalo verso di te lungo il ripiano bianco”*
4. Ruotare oggetti  
*“Afferra il disco bianco sul bordo e ruotalo prima in senso orario e poi in senso antiorario”*

## *Appendice F*

### **Questionario preliminare (usato in VK 2.0)**

Email address \_\_\_\_\_

ID Participant \_\_\_\_\_

Date of Birth \_\_\_\_\_

1. Gender

Female

Male

2. Lateralization

left-handed

right-handed

write with thr right but use the left hand often

3. Are you American native speaker?

Yes

No

4. Do you have problems with balance that cause you dizziness, lightheadness, difficulty walking, nausea or tachycardia?

Yes

No

5. Do you have current or previous disturbances to report (specific learning disorders such as dyslexia, dysgraphia, dyscalculia, dysorthography and dyspraxia OR attention deficit hyperactivity disorder...)?

---

---

---

6. Have you ever suffered from car sickness or sea sickness?

- Yes  
 No

7. Do you have vision problems?

- Astigmatism  
 Myopia  
 Colorblindness

Other:

8. How do you want to have the VR experience

- with lenses  
 without lenses  
 with glasses  
 without glasses

9. Do you have practice in preparing meals?

- Yes  
 No

10. How would you rate your cooking skills?

Very Low

Very High

--	--	--	--	--

11. Did you know what a “Tiramisù” is?

Yes

No

12. Did you know the Tiramisu recipe even if you hadn't prepared it before?

Yes

No

13. Have you ever prepared a Tiramisù before?

Yes

No

14. According to Wikipedia, Tiramisu is a coffee-flavoured Italian dessert. It is made of ladyfingers (a kind of cookies) dipped in coffee, layered with a whipped mixture of eggs, sugar, and mascarpone cheese, flavoured with cocoa.



15. Have you already had previous experience of passive virtual reality like 360° Videos, Learning or sportive simulations?

Yes

No

16. Describe briefly the experience and the device used for it

---

---

17. Have you already had previous experiences of immersive virtual reality?

Yes

No

18. Describe briefly the experience and the device used for it

---

---

19. Do you play videogames?

Yes

No

20. Indicate which type of videogames do you play (you can choose more than an answer):

action/adventure

strategy/simulation

sports/race

role playing

puzzle

21. Which device do you usually play on? (you can choose more than one answer)

PC

Smartphone

Tablet

Gaming console

22. How much do you play per week on average?

less than 1 hr

2 hrs

2-4 hrs

4-7 hrs

more than 7 hrs

# Appendice G

## Questionario post-esperienza (usato in VK 2.0)

Email address \_\_\_\_\_

ID Partecipant \_\_\_\_\_

Date of VR experience \_\_\_\_\_

1. How much were you able to control events?

NOT ABLE	1	2	3	4	5	6	7	VERY ABLE
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

2. How responsive was the environment to actions that you initiated (or performed)?

NOT RESPONSIVE	1	2	3	4	5	6	7	VERY RESPONSIVE
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

3. How natural did your interactions with the environment seem?

NOT NATURAL	1	2	3	4	5	6	7	VERY NATURAL
-------------	---	---	---	---	---	---	---	--------------

4. How completely were all of your senses engaged?

NOT COMPLETELY	1	2	3	4	5	6	7	VERY COMPLETELY
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

5. How much did the visual aspects of the environment involve you?

NOT COMPLETELY	1	2	3	4	5	6	7	VERY COMPLETELY
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

6. How much did the auditory aspects of the environment involve you?

NOT COMPLETELY	1	2	3	4	5	6	7	VERY COMPLETELY
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

7. How natural was the mechanism which controlled movement through the environment?

NOT NATURAL	1	2	3	4	5	6	7	VERY NATURAL
-------------	---	---	---	---	---	---	---	--------------

8. How aware were you of events occurring in the real world around you?

NOT AWARE	1	2	3	4	5	6	7	VERY AWARE
-----------	---	---	---	---	---	---	---	------------

9. How aware were you of your head mounted display and control devices?

NOT AWARE	1	2	3	4	5	6	7	VERY AWARE
-----------	---	---	---	---	---	---	---	------------

10. How compelling was your sense of objects moving through space?

NOT COMPELLING	1	2	3	4	5	6	7	VERY COMPELLING
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

11. How inconsistent or disconnected was the information coming from your various senses?

NOT DISCONNECTED	1	2	3	4	5	6	7	VERY DISCONNECTED
------------------	---	---	---	---	---	---	---	-------------------

12. How much did your experiences in the virtual environment seem consistent with your real-world experiences?

NOT CONSISTENT	1	2	3	4	5	6	7	VERY CONSISTENT
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

13. Were you able to anticipate what would happen next in response to the actions that you performed?

NOT ABLE	1	2	3	4	5	6	7	VERY ABLE
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

14. How completely were you able to actively survey or search the environment using vision?

NOT COMPLETELY	1	2	3	4	5	6	7	VERY COMPLETELY
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

15. How well could you identify sounds?

NOT WELL	1	2	3	4	5	6	7	VERY WELL
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

16. How well could you localize sounds?

NOT WELL	1	2	3	4	5	6	7	VERY WELL
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

17. How well could you actively survey or search the virtual environment using touch?

NOT WELL	1	2	3	4	5	6	7	VERY WELL
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

18. How compelling was your sense of moving around inside the virtual environment?

NOT COMPELLING	1	2	3	4	5	6	7	VERY COMPELLING
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

19. How closely were you able to examine objects?

NOT CLOSELY	1	2	3	4	5	6	7	VERY CLOSELY
-------------	---	---	---	---	---	---	---	--------------

20. How well could you examine objects from multiple viewpoints?

NOT WELL	1	2	3	4	5	6	7	VERY WELL
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

21. How well could you move or manipulate objects in the virtual environment?

NOT WELL	1	2	3	4	5	6	7	VERY WELL
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

22. To what degree did you feel confused or disoriented at the end of the experimental session?

NOT CONFUSED/DISORIENTED	1	2	3	4	5	6	7	VERY CONFUSED/DISORIENTED
--------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------------------

23. How involved were you in the virtual environment experience?

NOT INVOLVED	1	2	3	4	5	6	7	VERY INVOLVED
--------------	---	---	---	---	---	---	---	---------------

24. How distracting was the control mechanism?

NOT DISTRACTING	1	2	3	4	5	6	7	VERY DISTRACTING
-----------------	---	---	---	---	---	---	---	------------------

25. How much delay did you experience between your actions and expected outcomes?

NOT MUCH	1	2	3	4	5	6	7	VERY MUCH
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

26. How quickly did you adjust to the virtual environment experience?

NOT QUICKLY	1	2	3	4	5	6	7	VERY QUICKLY
-------------	---	---	---	---	---	---	---	--------------

27. How proficient in moving and interacting with the virtual environment did you feel at the end of the experience?

NOT PROFICIENT	1	2	3	4	5	6	7	VERY PROFICIENT
----------------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------

28. How much did the visual display quality interfere or distract you from performing assigned tasks or required activities?

NOT MUCH	1	2	3	4	5	6	7	VERY MUCH
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

29. How much did the control devices interfere with the performance of assigned tasks?

NOT MUCH	1	2	3	4	5	6	7	VERY MUCH
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

30. How well could you concentrate on the assigned tasks or required activities rather than on the mechanisms used to perform those tasks?

NOT WELL	1	2	3	4	5	6	7	VERY WELL
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

31. Did you learn new techniques that enabled you to improve your performance?

YES

No

32. Were you involved in the experimental task to the extent that you lost track of time?

YES

No

33. How much the possibility to reset your actions in case of error did remind you of being in a virtual simulation?

NOT MUCH	1	2	3	4	5	6	7	VERY MUCH
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

34. How much were the instructions/icons easy to understand for the execution of the task?

NOT MUCH	1	2	3	4	5	6	7	VERY MUCH
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

35. How much do you think that explicit feedback would have helped you to complete the tasks more correctly?

NOT MUCH	1	2	3	4	5	6	7	VERY MUCH
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

36. Describe briefly the main elements that made you feel involved in the experience

---

---

---

---

37. Describe briefly the main elements that caused you frustration during the experience

---

---

---

---

# Appendice H

## Questionario di valutazione del ricordo della procedura (usato in VK 2.0)

Email address \_\_\_\_\_

ID Participant \_\_\_\_\_

Date of assessment \_\_\_\_\_

For each statement, choose a single sentence that completes it correctly

### 1. Before starting to prepare Tiramisù you have to

- Wash each hand separately for 5 seconds
- Wash the hands together with soap
- Wash both hands together for 5 seconds
- Wash both hands together for 10 seconds

### 2. To fill the tank “C” of the coffee machine you have to use

- 3 teaspoon of ground coffee
- 3 tablespoon of ground coffee
- 5 tablespoon of ground coffee
- 5 teaspoon of ground coffee

### 3. After cracking the 1st egg in the green bowl you have to

- Crack a second egg
- Move the yellow of the egg in the red bowl using the egg separator
- Move the yellow of the egg in the blue bowl using the egg separator
- Wisk the egg

### 4. After separating the egg yellows you have to add

- 5 teaspoons of sugar (S jar) and 8 tablespoons of mascarpone cheese (MC Jar)
- 3 tablespoons of sugar (S jar) and 8 tablespoons of mascarpone cheese (MC jar)
- 8 teaspoons of sugar (S jar) and 5 tablespoons of mascarpone cheese (MC jar)
- 8 tablespoons of sugar (S jar) and 5 teaspoons of mascarpone cheese (MC jar)

4. Before mixing the white of the egg you have to

- Wash your hands under the water for 5 seconds
- Wash the blue bowl under the water for 5 seconds
- Put the whisk on the table
- Wash the whisk under the water for 5 seconds

5. After grabbing the red bowl from the drawer you have to

- Put it on the table
- Add the coffee in it
- Wash it
- Close the drawer

6. How many cookies do you need to fill the black backing tray

- 7 soaked cookies
- 8 dry cookies
- 10 dry cookies
- 8 soaked cookies

7. After filling the black backing tray with the cookies you need to

- Use the ladle to put 5 doses of cream on it
- Use the ladle to put 8 doses of cream on it
- Use the tablespoon to put 8 doses of cream on it
- Use the tablespoon to put 5 doses of cream on it

8. You need the cocoa powder to

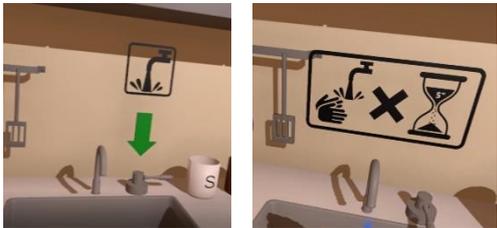
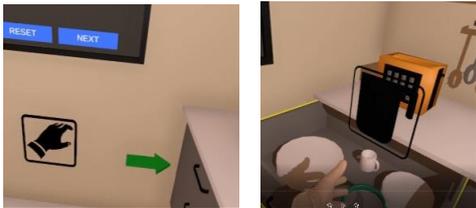
- Mix it with the coffee
- Mix it with the cream in the black baking tray
- Sprinkle the cream surface in the black baking tray
- Sprinkle the soaked cookies in the black baking tray

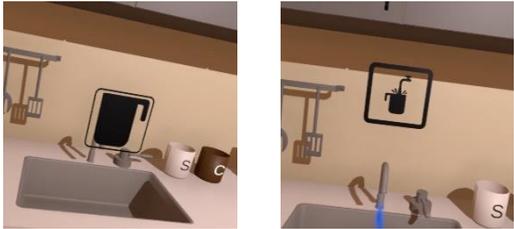
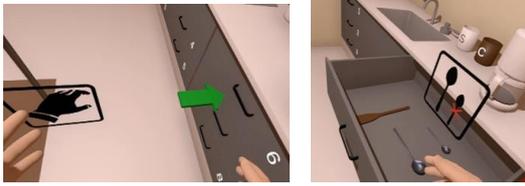
5. You have to fill the “W” tank of the coffee machine with

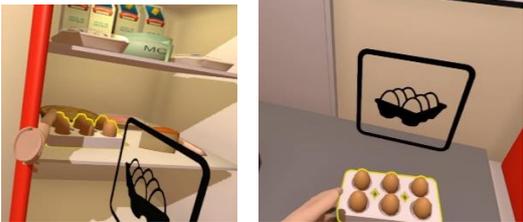
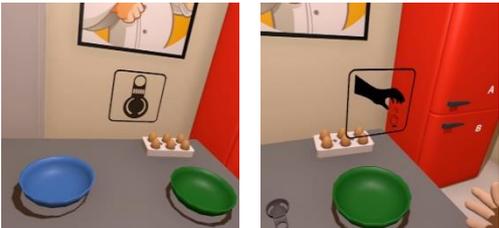
- The carafe in the drawer number 1
- The carafe in the cabinet number 2
- The coffee pod in the coffee machine
- The coffee pod in the drawer number 1

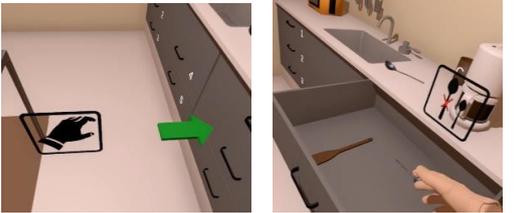
## Appendice I

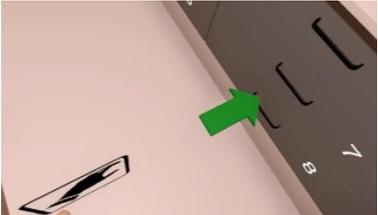
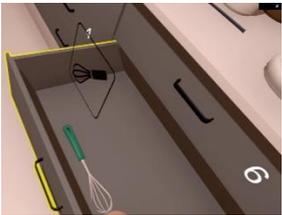
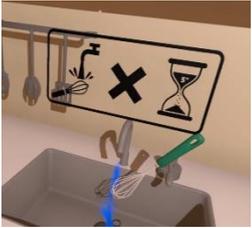
**Tabella riassuntiva dei compiti previsti nella procedura per il Gruppo B – Tutorial Testuale (usati in VK 2.0)**

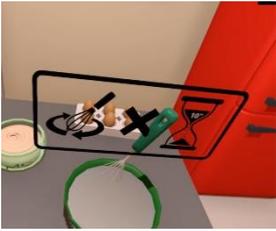
COMPITO	PASSAGGIO	ISTRUZIONE VISUALE
0. Istruzioni del tutorial	1	<p>Welcome to Virtual Kitchen. Let's make TIRAMISU'</p>  <p>Press NEXT to continue</p>
	2	<p>In the environment y you will find visual instructions for preparing TIRAMISU'</p> <p>Only by following them with precision and care you can reach your goal.</p> <p>Press NEXT to continue</p>
	3	<p>The recipe has a certain number of precise steps to follow.</p> <p>Only by correctly completing a step you will be able to view the next one.</p> <p>If you make a mistake you can always press the RESET button and start that step again.</p> <p>If you see a blue liquid after mixing ingredients, you made a mistake.</p> <p>Press NEXT to start</p>
1. Lavaggio mani	1, 2	
2. Riempimento scomparto acqua MDC	1,2	

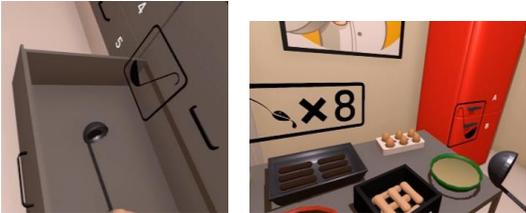
	<p>3,4</p> <p>5</p>	 
<p>3. Preparazione del caffè</p>	<p>1,2</p> <p>3,4</p> <p>5</p>	  
<p>4. Preparazione del tavolo n.1</p>	<p>1,2</p>	

	<p>3,4</p> <p>5,6</p> <p>7,8</p> <p>9</p>	   
<p>5. Separazione delle uova</p>	<p>1,2</p> <p>3,4</p>	 

	<p>5,6</p> <p>7</p>	 
<p>6. Preparazione dei rossi</p>	<p>1,2</p> <p>3,4</p> <p>5,6</p> <p>7,8</p>	    

	9,10	
7. Mescolare crema e mascarpone	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	  
8. Assemblaggio crema mascarpone	<p>1,2</p> <p>3,4</p>	   

	5	
9. Versamento caffè	<p>1,2</p> <p>3,4</p> <p>5</p>	    
10. Preparazione del tavolo n.2	<p>1,2</p> <p>3,4</p>	   

	5,6	
11. Assemblaggio del dolce	1,2  3,4  5,6	  
12. Decorazione del dolce	1,2  3	 

13. Uscita	1	
------------	---	--

La borsa di dottorato è stata cofinanziata con risorse del  
Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione 2014-2020 (CCI 2014IT16M2OP005),  
Fondo Sociale Europeo, Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione Industriale"



UNIONE EUROPEA  
Fondo Sociale Europeo

