

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea in Psicologia Cognitiva Applicata

Tesi di Laurea Magistrale

**REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA ED EMERGENZE:
TUTORIAL A CONFRONTO PER UN SERIOUS GAME IN
AMBITO ALLUVIONALE**

***IMMERSIVE VIRTUAL REALITY AND EMERGENCIES:
TUTORIALS FOR A SERIOUS GAME IN A FLOOD
CONTEXT IN COMPARISON***

Relatore:

Professor Luciano Gamberini

Laureanda:

Elena Zanella

Correlatrice:

Dott.ssa Alice Bettelli

Matricola:

1233568

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1: REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA ED EMERGENZE	5
1.1 Evoluzione tecnologica	5
1.2 Classificazione dei sistemi di realtà virtuale	8
1.3 Immersione e senso di presenza	9
1.4 Realtà virtuale immersiva per la persuasione e l'apprendimento	11
1.4.1 <i>Imparare attraverso il gioco nella realtà virtuale immersiva: i serious game</i>	14
1.5 Realtà virtuale immersiva a sostegno delle emergenze	16
1.5.1 <i>Realtà virtuale immersiva e alluvioni</i>	17
1.5.2 <i>Potenzialità e limiti</i>	18
CAPITOLO 2: ASPETTI INERENTI ALL'ESPERIENZA UTENTE DELLA REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA PER LE EMERGENZE	21
2.1 Carico cognitivo in IVR	21
2.2 Imparare ad interagire in IVR	25
2.3 IVR e apprendibilità	28
CAPITOLO 3: LO STUDIO	31
3.1 Obiettivo e domande di ricerca	31
3.2 Le ipotesi	31
3.3 Disegno sperimentale	35
3.4 Equipaggiamento e scenario	36
3.4.1 <i>I tutorial: diverse modalità per familiarizzare con i comandi</i>	37
3.4.2 <i>Il serious game in realtà virtuale immersiva per le alluvioni</i>	45
3.5 Le misure	50
3.6 I materiali	52
3.6.1 <i>Questionario di apprendibilità</i>	52
3.6.2 <i>Questionario di mantenimento comandi</i>	53
3.6.3 <i>Questionario di apprendimento</i>	54
3.6.4 <i>Questionario di carico cognitivo (Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments, MCLSVE)</i>	54
3.6.5 <i>Questionario di senso di presenza (Presence Questionnaire, PQ)</i>	56
3.6.6 <i>Dati di log</i>	57
3.7 Procedura	58

3.8 I partecipanti	60
CAPITOLO 4: ANALISI E RISULTATI	63
4.1 L'apprendibilità dei comandi	63
4.1.1 <i>Effetto del contesto di familiarizzazione sull'apprendibilità: familiarizzazione contestualizzata vs. familiarizzazione neutra</i>	63
4.1.2 <i>Effetto dell'interazione con l'ambiente virtuale sull'apprendibilità: familiarizzazione con interazione vs. familiarizzazione senza interazione</i>	66
4.2 L'apprendimento del sapere convogliato	70
4.2.1 <i>Confronto dell'apprendimento e del mantenimento del sapere convogliato</i>	70
4.3 Impatto sul carico cognitivo e sul senso di presenza	75
4.4 Variabili che correlano con la performance di apprendimento e di gioco	79
5. DISCUSSIONE	83
5.1 Limiti e sviluppi futuri	86
CONCLUSIONI	89
BIBLIOGRAFIA	91
APPENDICE A	101
APPENDICE B	108
APPENDICE C	112

Introduzione

“What is “real”? How do you define “real”? If you are thinking about what you can feel, what you can smell, what you can taste and see, then real is simply electrical signals interpreted by your brain” (Morpheus, MATRIX, 1999).

Con questa frase Michael Abrash, direttore scientifico di Oculus, apre il suo intervento avvenuto nella conferenza annuale rivolta agli sviluppatori Facebook nel 2015¹. Il personaggio del film di fantascienza definisce la realtà come qualcosa di costruito dal nostro cervello sulla base dei segnali che i nostri sensi registrano. L'intervento del ricercatore è particolarmente rilevante per il presente elaborato in quanto mette in luce un aspetto molto importante del rapporto tra mondo reale e virtuale: la realtà che esperiamo non è perfettamente sovrapponibile al mondo reale, essa viene ricostruita dal cervello sulla base del nostro modello di mondo e dei dati che raccogliamo attraverso i nostri sensi. Come evidenzia anche Jerome Lanier (2017) “la realtà, da un punto di vista cognitivo, consiste nell'aspettativa che il cervello ha nei confronti dell'istante seguente. Nella realtà virtuale, il cervello è stato convinto ad aspettarsi per qualche tempo roba virtuale anziché roba reale” (p. 74).

La realtà virtuale (VR) riguarda dunque lo sperimentare un mondo virtuale il più similmente possibile a come si sperimenta quello reale. Ne conseguono le sue grandi potenzialità in diversi ambiti di applicazione, a partire dalla ricerca scientifica, all'ambito terapeutico ma anche alla pratica di attività (Feng et al., 2018).

¹ Presentazione: F8 2015 perché la realtà virtuale avrà importanza, 2015 (<https://www.oculus.com/research/>)

Freina & Ott (2015) evidenziano come la realtà virtuale permetta di sperimentare tutte quelle situazioni alle quali non si può avere accesso fisicamente a causa di:

- Problemi di tempo, ad esempio non è fisicamente possibile sperimentare periodi storici differenti dal nostro;
- Inaccessibilità fisica, ad esempio non è fisicamente possibile esplorare il sistema solare;
- Pericolosità della situazione, ad esempio non è fisicamente possibile sperimentare un incendio senza ferirsi;
- Problematiche di tipo etico, ad esempio non è possibile condurre un intervento chirurgico da inesperto senza rischi per il paziente.

Risulta dunque evidente come un ambito di applicazione particolarmente proficuo sia quello di esperienze di realtà virtuale a sostegno delle emergenze, che permettono la sperimentazione di situazioni di pericolo finalizzate all'apprendimento dei concetti e delle pratiche comportamentali fondamentali per la gestione del rischio.

Purtroppo, nonostante questo approccio si sia rivelato promettente in molti casi, i risultati riscontrati non sempre sono stati positivi in termini di apprendimento. In riferimento a ciò, è stata avanzata l'ipotesi che in alcuni casi i risultati negativi possano essere dovuti alla poca esperienza con i comandi dei dispositivi che permettono la fruizione di esperienze di realtà virtuale immersiva (Checa & Bustillo, 2020a).

Un'ulteriore ipotesi riguarda il fatto che la realtà virtuale immersiva (IVR) potrebbe aumentare la motivazione causando però sovraccarico cognitivo e distraendo l'utente (Makransky et al., 2019b).

Il presente lavoro di tesi si propone di approfondire la relazione tra design del tutorial, l'apprendibilità dei comandi, presenza, carico cognitivo e apprendimento per quanto

riguarda un'esperienza di realtà virtuale immersiva volta all'insegnamento di concetti e comportamenti a supporto delle emergenze fluviali; in particolare, sono stati manipolati il contesto virtuale nel quale il tutorial viene eseguito (neutro vs. situato) e la possibilità di interagire nell'ambiente virtuale durante la fase di familiarizzazione con i comandi (familiarizzazione interna all'ambiente virtuale vs. esterna). L'esperienza di IVR riproduce uno scenario fluviale in aperta campagna e simula la rottura di un argine lungo un tratto di fiume ed è stata costruita grazie al contributo di esperti in ambito idrogeologico.

CAPITOLO 1: Realtà virtuale immersiva ed emergenze

Da un punto di vista terminologico esistono diverse “realtà virtuali”, ad esempio Kant ne parlava facendo riferimento a ciò che esiste solo nella nostra mente (LaValle, 2019), più recentemente Lanier ne parla quale “il mezzo per creare una completa illusione di trovarsi in un posto diverso (...), e al tempo stesso è lo strumento più avanzato per comprendere ciò che un essere umano è in termini di conoscenza e percezione” (Lanier, 2017, p. 13).

Da un punto di vista più pragmatico, si può considerare come la combinazione di dispositivi hardware e software in grado di creare nell’utente l’illusione di essere fisicamente situato in uno spazio tridimensionale e di poter interagire con gli oggetti e gli agenti che in esso sono collocati attraverso che generano una combinazione di stimoli visivi, uditivi e tattili sincronizzata (Riva, Wiederhold & Mantovani, 2019).

Secondo un punto di vista ideale perché la realtà virtuale sia considerata “immersiva” la stimolazione sensoriale dovrebbe essere totale; tuttavia, i sistemi di realtà virtuale oggi più diffusi si limitano alla stimolazione dei canali visivo, uditivo e tattile (Riva & Gaggioli, 2019).

1.1 Evoluzione tecnologica

L’immersione in un ambiente simulato non è prerogativa del nostro secolo, era stata infatti oggetto di studi anche in passato. Sono ad esempio considerati dei progenitori della realtà virtuale il Cinerama brevettato da Fred Waller (1946) (Fig. 1A), uno schermo curvo che offriva un campo visivo di maggiore ampiezza rispetto a display tradizionali e il Sensorama di Heilig (1962) (Fig. 1B), un dispositivo simile a un cabinato da sala giochi,

atto a generare delle esperienze multi-sensoriali per rendere più realistica la visione di alcuni filmati, che però aveva un livello interattività molto limitato (LaValle, 2019; Riva & Gaggioli, 2019).

L'idea di base del Cinerama è un predecessore di una delle più importanti famiglie di sistemi VR: i CAVE (Cruz-Neira et al., 1992). Questi sistemi permettono l'immersione attraverso la proiezione di video sulle pareti di una stanza e se vengono fruiti attraverso delle speciali lenti polarizzate permettono anche la visione stereoscopica (LaValle, 2019).

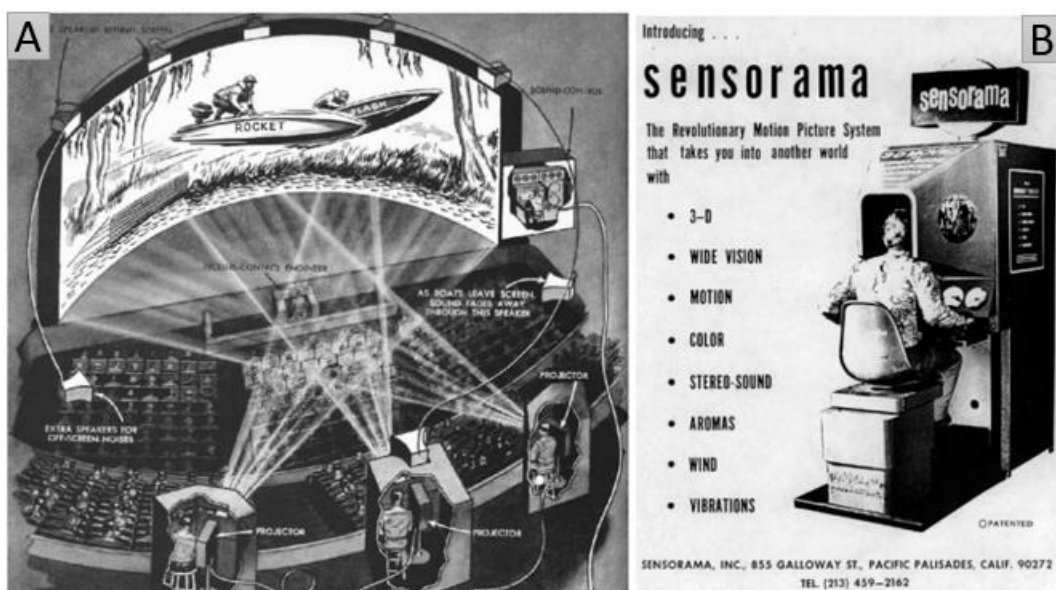


Fig. 1: a sinistra il Cinerama (A) e a destra il Sensorama (B). Figure tratte da LaValle (2019).

Una tappa importante per l'evoluzione dei sistemi di realtà virtuale è stata l'introduzione della "Spada di Damocle" di Ivan Sutherland (1968), quello che viene considerato il primo visore di realtà virtuale. Purtroppo, nonostante la sua portata innovativa, era troppo pesante e ingombrante e doveva essere collegato e sostenuto dal soffitto per essere utilizzato (Riva & Gaggioli, 2019).

Nel 1981 Tom Zimmerman inventa il primo guanto virtuale e successivamente inizia a collaborare con Jaron Lanier, colui che aveva fondato la società VPL Research e che ad oggi viene anche considerato l'inventore del termine realtà virtuale quale "ambiente

tridimensionale, interattivo, generato dal computer, in cui l'utente è immerso" (Lanier, 2017).

Negli anni '90 i videogiochi basati sulla VR hanno iniziato ad apparire nelle sale giochi e nelle case. Tuttavia, tali esperienze non sono state ritenute abbastanza avvincenti e comodamente fruibili da raggiungere l'interesse della massa. Film come *Matrix* (1999) contribuirono all'ingresso della realtà virtuale nella cultura popolare e ad accrescerne la popolarità, ma purtroppo all'inizio del XXI secolo i costi elevati dei dispositivi, la scarsa disponibilità di contenuti e la bassa qualità percettiva smorzò l'entusiasmo nei confronti di questa tecnologia (LaValle, 2019; Riva & Gaggioli, 2019). Infatti, il primo decennio del secolo corrente è stato chiamato "l'inverno della realtà virtuale" (Jerald, 2015), caratterizzato da scarso interesse e pochi finanziamenti.

Successivamente è avvenuto il "ritorno della realtà virtuale" (Riva & Gaggioli, 2019) grazie all'invenzione dell'Oculus Rift da parte di Palmer Luckey nel 2012 (Pallavicini, 2020). Poco tempo dopo Luckey fondò la società Oculus che nel 2014 venne acquistata da Facebook (oggi Meta).

La società guidata da Mark Zuckerberg a partire dal 2018 lancia sul mercato una serie di visori di realtà virtuale appartenenti ad una nuova generazione che sfrutta la disponibilità di alta risoluzione di schermi e sensori (grazie all'industria degli smartphone), per offrire prodotti leggeri, a basso costo e ad ampio campo visivo (LaValle, 2019). Il visore utilizzato nel presente esperimento, ovvero l'Oculus Quest 2 (Fig. 2), appartiene a quest'ultima categoria; è uscito in commercio nel 2020 e ha contribuito al rendere disponibili le esperienze di realtà virtuale immersiva al pubblico più ampio grazie al suo costo contenuto a partire da 450€.



Fig. 2: Oculus Quest 2 di Facebook.

Questo visore non richiede la connessione con dispositivi esterni per funzionare (*stand-alone*), inoltre, permette di svolgere attività nell'intera stanza e non solo da fermo (*room-scale*; Pallavicini, 2020).

1.2 Classificazione dei sistemi di realtà virtuale

Generalmente i sistemi di realtà virtuale vengono classificati sulla base del grado di immersione che li caratterizza (Pallavicini, 2020). Come anticipato, l'immersione viene definita come il livello oggettivo di fedeltà sensoriale di un sistema di realtà virtuale (Slater et al., 1996).

In particolare, si può far riferimento alle 3 seguenti categorie (Morganti & Riva, 2006):

- Realtà Virtuale Immersiva (*Immersive Virtual Reality, IVR*), ovvero che isola i canali percettivi dell'utente ~~oggetto~~ "immergendolo" sensorialmente nel mondo tridimensionale generato dal computer. L'immersione viene resa possibile da un dispositivo di visualizzazione e di diffusione sonora che isola l'utente dal mondo esterno e che gli permette di visualizzare quanto prodotto dal computer in 2 o in 3 dimensioni, da sensori di posizione che rilevano la posizione e i movimenti

dell'utente e li trasmettono al computer. In questo modo è possibile adattare l'ambiente al punto di vista dell'utente.

- Realtà virtuale non-immersiva, ovvero fruita attraverso monitor o comunque dei sistemi che creano nell'utente l'impressione di vedere il mondo creato dal computer attraverso una finestra.
- Realtà virtuale semi-immersiva (*CAVE*), ovvero dei sistemi basati su schermi di proiezione con diverse forme e gradi di convessità sviluppati appositamente per limitare l'"effetto finestra" delle tradizionali interfacce bidimensionali e creare un'esperienza più immersiva per l'utente. L'utilizzo di questi schermi consente di creare un'esperienza di visualizzazione più coinvolgente e realistica, in grado di aumentare l'immersione dell'utente nell'ambiente virtuale o nella scena riprodotta. Inoltre, grazie ad un maggiore isolamento dell'utente rispetto ai sistemi non-immersivi, è possibile riprodurre indici adeguati di profondità dell'immagine, che contribuiscono a creare una percezione più realistica della scena.

1.3 Immersione e senso di presenza

Caratteristiche fondamentali dei sistemi di realtà virtuale sono il grado di immersione e il senso di presenza, concetti distinti nonostante siano spesso utilizzati come sinonimi (Pallavicini, 2020). L'immersione è una caratteristica quantificabile dei sistemi di realtà virtuale e corrisponde al suo livello oggettivo di fedeltà sensoriale, mentre il senso di presenza è la risposta psicologica dell'utente all'interno di un sistema di realtà virtuale (Slater et al., 1996; Slater, 2003).

Il grado di immersione di un sistema VR dipende dunque dalle caratteristiche del software di rendering e dal dispositivo utilizzato per la fruizione dell'esperienza, in particolare per quanto riguarda l'output sensoriale (Bowman & McMahan, 2007).

Il termine "presenza" è entrato nel dibattito scientifico nel 1992 quando Sheridan ne ha parlato come l'effetto suscitato dall'utilizzo di una tecnologia, in particolare quando si controllano oggetti del mondo reale da remoto (*telepresence*) ma anche l'effetto che le persone sentono quando interagiscono e si immergono in un ambiente virtuale (*virtual presence*).

Le situazioni in cui un teleoperatore veniva controllato a distanza da un essere umano per svolgere compiti in contesti critici e la volontà di spiegare la percezione provata dall'operatore esperto di essere nell'ambiente remoto in cui si trova il teleoperatore ha portato numerosi autori al tentativo di definire la presenza (Riva & Gaggioli, 2019). Sono state proposte numerose definizioni e teorie, come riportato da Schuemie e colleghi (2001), e ciò ha generato confusione nell'utilizzo del termine presenza; secondo Slater (2003) questa deve essere considerata come la risposta a un determinato livello di immersione.

In generale, Felton e Jackson (2022) hanno messo in luce come ci siano diverse motivazioni alla base del dibattito sulla definizione di presenza, ovvero:

- Molte delle definizioni formulate in passato sono ambigue
- Molte definizioni descrivono la presenza in termini processuali, scambiando *come occorre* la presenza con *cosa sia* la presenza
- Molte definizioni confinanano la presenza alle esperienze virtuali e mediate dalla tecnologia

- Molte definizioni passate si sono focalizzate sulle componenti spaziali della presenza

Ad esempio, Lombard e Ditton (1997) parlano di presenza come dell'illusione percettiva di non mediazione, illusione che risulterebbe determinata dal realismo e dalla fedeltà dell'interfaccia. Tuttavia, questa definizione non tiene conto di una caratteristica fondamentale degli ambienti virtuali: la possibilità di interagire.

Riva & Gaggioli (2019) definiscono l'interazione come "la possibilità di adattare dinamicamente la stimolazione sensoriale alle azioni effettuate dall'utente" (p. 11) e constatano come la ricerca evidenzi che per ottenere un elevato livello di presenza questa caratteristica sia più importante rispetto al realismo (Riva, Waterworth e Murray, 2014; Waterworth e Riva, 2014).

Recentemente, è stata proposta una definizione unificata che vede la presenza come "la misura in cui qualcosa (ambiente, persona, oggetto, o qualsiasi altro stimolo) sembra esistere nello stesso mondo fisico dell'osservatore" (p.1). Attraverso questa definizione, gli autori vogliono mettere in evidenza come la presenza sia qualcosa che esiste nell'utente da un punto di vista psicologico e non nella tecnologia utilizzata (Felton & Jackson, 2022).

1.4 Realtà virtuale immersiva per la persuasione e l'apprendimento

La realtà virtuale ad oggi viene utilizzata con successo in diversi contesti applicativi sia in ambito terapeutico sia in ambito formativo. I principali vantaggi dell'utilizzo di questo tipo di tecnologia sono legati al senso di presenza e alla possibilità di interagire (Riva & Gaggioli, 2019).

Considerando la persuasione come “qualsiasi tentativo atto a modificare atteggiamenti e/o comportamenti”, la realtà virtuale può essere vista come un *medium* persuasivo in quanto può consentire di esplorare relazioni di causa ed effetto, può fornire esperienze sostitutive che possono dare motivazioni e possono aiutare le persone ad esercitarsi in un determinato comportamento (Fogg, 2002).

Dunque, secondo Fogg, la possibilità di fornire esperienze simulate di grande realismo, può avere un potente impatto persuasivo sugli atteggiamenti e i comportamenti delle persone, in particolare attraverso i seguenti principi (Fogg, 2002):

- Principio di causa ed effetto: le simulazioni possono persuadere le persone a modificare i loro atteggiamenti o comportamenti in quanto consentono di osservare immediatamente il collegamento tra causa ed effetto.
- Principio di esercizio virtuale: un ambiente simulato motivante in cui provare un comportamento permette alle persone di modificare atteggiamenti o comportamenti anche nel mondo reale.
- Principio della ricompensa virtuale: le simulazioni al computer che premiano un dato comportamento nel mondo virtuale possono influenzare le persone a mettere in atto più spesso e con maggiore efficacia quello stesso comportamento nel mondo reale.
- Principio della simulazione in contesti reali: le tecnologie di simulazione progettate per essere usate nella vita di tutti i giorni evidenziano l’impatto di certi comportamenti e stimolano a un cambiamento nel comportamento o nell’atteggiamento.

Per quanto riguarda le potenzialità della VR nell'ambito dell'apprendimento, alcuni autori hanno evidenziato che esperienze di IVR educative hanno prevalentemente due tipologie di scopo: comportamentale (ovvero che implicano l'apprendimento di un comportamento o di nuove abilità) o pedagogico (ovvero volte al trasferimento di mera conoscenza; Feng, 2018; Checa & Bustillo, 2020a).

Nel primo caso si fa per lo più riferimento ad addestramento (*training*) e sono implicate abilità pratiche e di *decision-making*, mentre nel secondo caso si parlerebbe di educazione (*education*) dove si fa riferimento alla combinazione di teoria e capacità di *problem solving* (Checa & Bustillo, 2020a).

Morélot e colleghi (2021), distinguono l'apprendimento pratico e l'acquisizione di capacità ("how to act") da un lato, e l'apprendimento di concetti dall'altro. Quest'ultima tipologia sarebbe l'area predominante nella ricerca.

Le tipologie di apprendimento evidenziate da questi ultimi autori risultano sovrapponibili a quelle precedentemente identificate, anche se evidenziano una distinzione tra quello che è l'apprendimento sensomotorio di un comportamento e l'apprendimento "how to act", quest'ultimo permetterebbe in una data categoria di situazioni di identificare il "*task problem*" e risolverlo.

Per fare un esempio, un training dedicato all'apprendimento di pratiche chirurgiche permetterebbe di insegnare comportamenti e abilità attraverso la messa in atto effettiva delle pratiche insegnate. Un training invece dedicato alla gestione delle emergenze (ad esempio incendi, terremoti oppure alluvioni) per permettere alla persona di fuggire verso un luogo sicuro dovrebbe permetterle di correre all'interno di uno spazio piuttosto vasto. Per risolvere questo problema attraverso un espediente inerente alla navigazione, viene insegnato "come comportarsi" nel caso in cui ci fosse quel tipo di emergenza.

Secondo Mikropoulos e Natsis (2011) tra i fattori chiave per incentivare l'apprendimento vi sono l'immersione e la presenza.

Anche Li e colleghi (2017) hanno enfatizzato i vantaggi degli approcci IVR rispetto a quelli tradizionali d'insegnamento, in particolare perché questi sono realistici, caratteristica che permetterebbe di colmare il *gap* tra teoria e pratica, permettono di coinvolgere l'utente grazie all'immersione che permette di isolare da possibili distrazioni e all'interazione che permette una ricezione non passiva del materiale da apprendere.

1.4.1 *Imparare attraverso il gioco nella realtà virtuale immersiva: i serious game*

Per stimolare l'apprendimento in vari ambiti è possibile utilizzare *serious game* (SG) in ambienti di realtà virtuale immersiva. Per SG si intende un "videogioco che come finalità principale ha l'educazione, l'addestramento, la simulazione, la socializzazione, l'esplorazione, l'analisi e l'avvertimento piuttosto che il mero intrattenimento" (Michael e Chen, 2006, p. 17), ma anche come "l'applicazione della tecnologia, del processo e del design dei giochi alla soluzione di problemi incontrati nel business e da altre organizzazioni. Essi permettono il trasferimento e lo sviluppo delle conoscenze e delle tecniche legate allo sviluppo dei giochi in settori tradizionalmente non legati al gioco, come ad esempio i training, il design di prodotti, il marketing, etc." (Susi, Johannesson & Backlund, 2007, p. 7).

Gli obiettivi dei SGs possono essere di diverso tipo e riguardare dall'acquisizione di conoscenze astratte (come, ad esempio, la matematica) all'analisi del comportamento, nonché la sua modifica (ad esempio come comportarsi e come non comportarsi in caso di incendio; Feng et al., 2018).

L'implicazione dei giochi in ambito di apprendimento è stata promossa da alcune caratteristiche rilevanti degli stessi:

- Coinvolgimento, divertimento, *feedback* immediati (Smith & Ericson, 2009)
- Motivazione (Baboo et al. 2022)
- Alti livelli di interazione (Checa & Bustillo, 2020b)

In un editoriale del 2022, de Carvalho e Coelho hanno riportato numerosi esempi inerenti all'efficacia del *Game-Based Learning*, della *Gamification* e dei *Serious Games* in ambito educativo evidenziando come promuovendo il coinvolgimento e il senso di sfida portino ad una maggiore immersione e dunque ad una maggiore motivazione ad apprendere.

Chittaro e Butussi (2015) hanno evidenziato come l'attivazione emotiva in contesto di IVR sia legata ad una maggiore *knowledge retention* rispetto alla modalità analogica di presentazione di un training emergenziale. In particolare, i partecipanti nella condizione sperimentale in cui dovevano svolgere il training in IVR riferivano maggiore *arousal* e mostravano un maggiore mantenimento delle informazioni. L'attivazione emozionale e coinvolgimento, come anticipato, sono elementi tipici del gioco d'intrattenimento e proprio per questo gli autori si sono ispirati proprio a questa tipologia di giochi estrapolando alcune principali tecniche, come la presenza di eventi sorprendenti e le conseguenze vivide alla messa in atto dei comportamenti sbagliati per potenziare l'efficacia dell'esperienza. Non sempre però le emozioni hanno un impatto positivo, è stato infatti evidenziato che nonostante alimentino la percezione di realismo e la *knowledge retention*, possono comportare un peggioramento nella performance (Li et al., 2017).

Recentemente, stanno iniziando a diffondersi IVR SG sviluppati sostegno delle emergenze, in particolare, per quanto riguarda gli incendi (Gamberini et al., 2003; Diez et al., 2016; Çakiroğlu & Gökoğlu, 2019) e i terremoti (Li et al., 2017; Lorveglia et al., 2018; Liang et al., 2018; Feng et al., 2018).

1.5 Realtà virtuale immersiva a sostegno delle emergenze

La *Protection Motivation Theory* (PMT; Rogers, 1975) sottolinea come sia importante far percepire in modo efficace la pericolosità degli eventi che si verificano durante le emergenze. Secondo questa teoria, quando l'utente percepisce una minaccia compie due valutazioni, una legata alla pericolosità dell'evento e una legata alle risorse che ha a disposizione per fronteggiarla. Se l'individuo considera la minaccia come non abbastanza grave, come eccessiva, oppure non percepisca di disporre delle risorse adeguate a fronteggiarla, è probabile che questo metta in atto delle strategie di *coping* negativo/disfunzionale, quali la negazione del rischio, l'evitamento oppure reazioni di tipo difensivo. Ecco perché è molto importante veicolare informazioni che permettano di concretizzare una percezione adeguata del pericolo.

Come anticipato, la realtà virtuale è una tecnologia adatta per consentire all'utente di sperimentare situazioni pericolose in un ambiente protetto. Infatti, sono stati realizzati numerosi training emergenziali in IVR per insegnare all'utente come gestire emergenze quali incendi (Gamberini et al., 2003; Çakiroğlu & Gökoglu, 2019), terremoti (Li et al., 2017; Feng et al., 2018) ma anche per quanto riguarda le emergenze nell'ambito dell'aviazione (Chittaro & Buttussi, 2015).

L'obiettivo è quello di insegnare i comportamenti corretti da mettere in atto, come ad esempio mettersi in salvo dopo un'esonazione, un terremoto o un incendio, ma anche a

trasmettere conoscenze come, ad esempio, quali sono gli indicatori che ci presagiscono una futura esondazione oppure un incendio. In questo modo è possibile fornire all'utente delle risorse che in condizioni di rischio potrebbero essere fondamentali per mettere in atto strategie di *coping* funzionali.

Per raggiungere questo duplice obiettivo, gli approcci tradizionali (ad esempio le spiegazioni accompagnate da slides) non risultano particolarmente efficaci in quanto non danno *feedback* individuali inerenti al comportamento della persona e non coinvolgono emotivamente l'utente, comportando un minore impatto sull'atteggiamento e dunque una minore influenza sul cambiamento di comportamenti (Feng, 2018).

1.5.1 *Realtà virtuale immersiva e alluvioni*

La realtà virtuale immersiva può essere considerata come uno strumento accessibile e conveniente per educare sulle alluvioni coloro che vivono in zone a rischio (Gamberini et al., 2021). Sono già state proposte in letteratura alcune esperienze incentrate sulla formazione sulla sicurezza in caso di alluvione (D'Amico et al., 2022). Ad esempio, Fujimi e Fujimura (2020) hanno proposto un'applicazione VR finalizzata alla promozione di decisioni di evacuazione efficaci durante le emergenze alluvionali. Tuttavia, questa ricerca si concentra solo sulla promozione dell'evacuazione, mentre Mol e colleghi (2022) hanno utilizzato la realtà virtuale per aumentare la percezione del rischio, la valutazione del *coping*, le emozioni negative e il comportamento di riduzione dei danni attraverso un'esperienza di inondazione simulata. Dunque, studi preliminari sembrano sostenere le potenzialità dell'utilizzo della realtà virtuale per la sicurezza in ambito alluvionale.

1.5.2 Potenzialità e limiti

La realtà virtuale permette di sperimentare, fare pratica e scoprire attraverso la simulazione. Secondo la teoria dell'apprendimento esperienziale, risulta possibile apprendere attraverso l'esperienza, infatti l'apprendimento risulterebbe ciclico e caratterizzato da 4 fasi principali: esperienza concreta, osservazione riflessiva, concettualizzazione astratta e sperimentazione attiva (Kolb, 1984). La realtà virtuale può offrire diversi vantaggi per migliorare l'efficacia del processo di apprendimento. In particolare, potrebbe aumentare il senso di *empowerment* e l'autoefficacia dell'utente, permettere un apprendimento graduale e coinvolgente dal punto di vista emotivo, utilizzare modelli analogici e consentire l'apprendimento sensomotorio.

Inoltre, la realtà virtuale può fornire un ambiente di apprendimento sicuro dove gli risulta possibile mettere in pratica comportamenti e abilità senza rischiare conseguenze negative, migliorando così la loro preparazione per situazioni reali (Riva & Gaggioli, 2019).

Çakıroğlu e Gökoglu (2019) hanno evidenziato come attraverso un VR-BST (*virtual reality-based safety training*) si possano potenziare le abilità delle persone nella messa in atto di comportamenti adeguati nel caso in cui si fronteggi un incendio. I BST (*behavioral skills training*) sono molto utilizzati per l'insegnamento di diverse tipologie di comportamento, e si prestano molto all'insegnamento dei comportamenti corretti da mettere in atto in situazioni di emergenza; durante questa tipologia di training le persone interagiscono attivamente in un contesto simulato con il pericolo. I ricercatori hanno anche evidenziato come le abilità acquisite attraverso i VR-BST possano essere trasferite con un'alta accuratezza al contesto reale, in particolare il senso di presenza sembra essere fondamentale per un corretto trasferimento delle conoscenze apprese da contesto virtuale ad un contesto reale (Çakıroğlu & Gökoglu, 2019).

Altri ricercatori hanno evidenziato come l'IVR possa aiutare il recupero delle informazioni in memoria in maniera più efficace rispetto ad ambienti non immersivi (Krokos, Plaisant & Varshney, 2018), confermando che il ricordo tende ad essere migliore nel contesto in cui l'apprendimento ha avuto luogo (Godden & Baddeley, 1975); in questo senso l'utilizzo di ambienti immersivi permette di avvicinare il contesto di apprendimento che viene ricordato a quello nel quale l'utente si può trovare nel mondo reale attraverso il realismo dell'ambiente costruito.

L'efficacia di un ambiente virtuale immersivo per il recupero delle informazioni in memoria è stata evidenziata anche in ambito emergenziale, in particolare nell'*aviation safety* in cui un IVR SG è risultato più efficace rispetto alle tradizionali *safety card*. Inoltre, l'utilizzo di IVR sembrerebbe portare anche ad una maggiore attivazione fisiologica (Chittaro & Butussi, 2015).

Feng e colleghi in una review del 2018 hanno evidenziato come la simulazione dei pericoli possa influenzare l'esperienza dell'utente sulla base del loro essere statici o dinamici. Gli stimoli dinamici interagiscono con i partecipanti portandoli a sperimentare maggiormente gli effetti negativi dell'esperienza, a ciò conseguirebbe un maggiore senso di realismo, presenza e una maggiore influenza sul comportamento.

Sebbene negli ultimi anni sia incrementato l'utilizzo di approcci di apprendimento basati sul gioco, ancora oggi poca ricerca è stata condotta per testarne l'efficacia. Come anticipato, l'idea di base è che il gioco, oltre ad essere fonte di divertimento e coinvolgimento, porti anche ad una maggiore motivazione, quest'ultima positivamente correlata all'apprendimento (Baboo et al. 2022).

Inoltre, anche se l'approccio IVR si è dimostrato promettente in molti casi, i risultati riscontrati non sempre sono stati positivi in termini di apprendimento come hanno

evidenziato Checa e Bustillo (2020a). Nonostante ciò, questi hanno anche evidenziato come la soddisfazione degli utenti sia maggiore con SG in realtà virtuale rispetto ai metodi tradizionali, risultato promettente in quanto questa è correlata a maggiore impegno e motivazione.

In particolare, sembrerebbe che l'86% dei SG in realtà virtuale nell'ambito educativo e il 75% in contesti di addestramento abbiano dato risultati positivi.

Gli autori hanno avanzato l'ipotesi che in alcuni dei casi in cui non siano stati raggiunti risultati positivi la causa possa essere la poca esperienza con i comandi utilizzati per interagire con l'ambiente di realtà virtuale (Checa & Bustillo, 2020a).

Altri autori hanno evidenziato come la IVR nonostante alimenti la motivazione, possa incrementare anche il carico cognitivo e distrarre l'utente (Makransky et al., 2019).

Anche Morélot e colleghi (2021) hanno evidenziato come nonostante nell'ambito della sicurezza siano ormai molto diffuse le esperienze immersive, ancora non sono state raggiunte conclusioni unanime per quanto riguarda l'efficacia nell'apprendimento, e per spiegare i risultati negativi da loro ottenuti gli autori hanno fatto principalmente riferimento alle stesse teorie di Makransky e colleghi (2019), ovvero la *Cognitive theory of multimedia learning* (Mayer, 1997) e la *Cognitive load theory* (CLT) (Sweller, 1988).

CAPITOLO 2: Aspetti inerenti all'esperienza utente della realtà virtuale immersiva per le emergenze

Come anticipato, l'obiettivo di esperienze di realtà virtuale immersiva a sostegno delle emergenze è prevalentemente quello di insegnare all'utente concetti e comportamenti che gli permettano di salvaguardare la propria sicurezza in caso di emergenza. Questo obiettivo non sempre è stato raggiunto, ciò potrebbe essere una conseguenza del sovraccarico cognitivo (Makransky et al., 2019; Morelot et al., 2021) che potrebbe essere causato dal design della simulazione ma anche dalla difficoltà ad interagire con l'ambiente virtuale conseguente al *novelty effect* (Huang, 2003).

2.1 Carico cognitivo in IVR

La *Cognitive Load Theory* (CLT) stabilisce che tutte le nuove informazioni siano primariamente processate dalla memoria di lavoro che possiede una capacità limitata, e solamente in un momento successivo le informazioni vengono organizzate nella memoria a lungo termine per un utilizzo futuro (Sweller e colleghi, 2011). Quando questa teoria viene applicata alla realtà virtuale immersiva si evidenzia come una serie di informazioni completamente nuove vengano fornite all'utente alimentando il carico cognitivo e impattando negativamente sulla sua esperienza (Han et al., 2021).

La *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) è una teoria dell'apprendimento che si concentra sulla presentazione di informazioni attraverso diverse modalità, come testo, immagini e suono. Secondo questa teoria, l'apprendimento avviene quando le

informazioni sono presentate in modo coerente, cioè quando il materiale multimediale utilizzato è ben integrato e coordinato (Mayer, 1997; Mayer & Moreno, 1998). Questa teoria si basa su tre principi cognitivi fondamentali: il principio dei canali duali, il principio della capacità limitata e il principio di elaborazione. Il principio dei canali duali suggerisce che il cervello elabori le informazioni visive e sonore attraverso canali separati. Il principio della capacità limitata suggerisce che c'è un limite alla quantità di informazioni che possono essere elaborate contemporaneamente attraverso ciascuno dei canali visivi e sonori. Questo limite è noto come carico cognitivo e può essere influenzato da fattori come la complessità del materiale di apprendimento, la durata dell'attività di apprendimento e le abilità individuali degli studenti. Il principio di elaborazione sostiene che l'apprendimento coinvolge un processo di filtraggio, selezione, organizzazione e integrazione delle informazioni sulla base delle conoscenze esistenti degli studenti. In altre parole, la comprensione del materiale di apprendimento viene costruita attraverso l'elaborazione attiva delle informazioni e la loro integrazione con le conoscenze precedenti. In sintesi, questi principi sottolineano che l'apprendimento non è un processo passivo in cui gli studenti ricevono informazioni, ma piuttosto un processo attivo in cui gli studenti elaborano e integrano le informazioni sulla base delle loro conoscenze esistenti e delle capacità cognitive limitate. La CTML sostiene dunque che vi siano dei principi di progettazione multimediale che possono aiutare a migliorare l'apprendimento, riducendo il carico cognitivo. Ad esempio, il principio di ridondanza, prevede che la ripetizione della stessa informazione attraverso più modalità può interferire con l'apprendimento. Questo principio è stato esplorato in contesti VR (Moreno & Mayer, 2007). In generale, la ridondanza avviene quando informazioni identiche vengono presentate in due o più modalità diverse in modo simultaneo, o quando il materiale

ridondante in generale viene presentato e selezionato per l'elaborazione (Kalyuga & Sweller, 2014). Il principio di coerenza, prevede che il materiale multimediale debba essere coordinato e coerente; mentre il principio di contiguità afferma che i materiali correlati dovrebbero essere presentati vicini l'uno all'altro per facilitare l'apprendimento. Fondamentali sono inoltre il principio di segmentazione che suggerisce di suddividere lunghi segmenti di materiale in parti più piccole e il principio di pre-formazione che raccomanda di fornire all'utente conoscenze preliminari adeguate e di assicurarsi che questo sappia utilizzare lo strumento. Un altro principio, quello di segnalazione, prevede che l'utilizzo di segnali visivi possa essere utilizzato per indirizzare aiutare a focalizzare l'attenzione sulle informazioni rilevanti presentate, ciò può essere fatto attraverso frecce, evidenziazioni, e in realtà virtuale immersiva anche attraverso i *tooltips* (Kao et al., 2021). Per quanto riguarda interfacce non immersive, sulla base dei principi della CTML sono stati identificati alcuni principi per il design delle istruzioni nell'ambito dell'apprendimento multimediale (Mayer & Moreno, 1998):

- Combinazione di testo e immagini, piuttosto che solo testo
- Collocazione ravvicinata delle immagini e dei loro riferimenti
- Coerenza: il materiale in eccesso limita l'apprendimento
- Utilizzo di stimoli visivi per la segnalazione

Come hanno evidenziato Makransky e colleghi (2019) risulta però importante interrogarsi sulla validità dei principi della CTML in contesti dove entra in gioco l'immersione. Gli autori evidenziano come ad oggi, siano state svolte poche ricerche che esaminano i principi di apprendimento nelle simulazioni, e siano ridotte le linee guida per lo sviluppo di contenuti di apprendimento in ambienti altamente immersivi.

In uno studio del 2019, Huang e colleghi hanno evidenziato come quantità di memoria di lavoro utilizzata e il senso di presenza impattino sull'apprendimento in ambienti di IVR con finalità educative con effetti contrastanti e come sia importante nelle esperienze di realtà virtuale immersiva per l'apprendimento approfondirne le varie dimensioni per valutarne l'effetto.

Il senso di presenza, come verrà meglio descritto in seguito, alimenterebbe il carico cognitivo in quanto richiede attenzione e ciò potrebbe impattare negativamente sull'apprendimento (Makransky et al., 2019).

Nonostante ciò, è possibile arginare gli effetti negativi del carico cognitivo e ottenere un effetto positivo della presenza sull'apprendimento attraverso un design adeguato dell'esperienza (Schrader & Bastiens, 2012).

Infatti, Han e colleghi (2021) hanno constatato come all'interno di un'esperienza IVR ci sarebbero principalmente 4 fattori che impattano sul carico cognitivo. Di questi, 2 non risulterebbero manipolabili attraverso il design dell'esperienza, ovvero le differenze individuali e l'esperienza pregressa dell'utente, mentre gli altri 2, ovvero la formulazione dei compiti e il design dell'ambiente, possono essere modificati. I fattori di design di un ambiente di realtà virtuale immersiva che hanno un impatto sul carico cognitivo riguardano il numero di componenti visive, il realismo e la fedeltà ambientale, le metodologie di apprendimento e di presentazione delle informazioni, ma anche il design delle istruzioni.

Gli autori sostengono che la correlazione tra carico cognitivo e risultati non sia necessariamente negativa per quanto riguarda la IVR, e proprio per questo sostengono sia il caso di riadattare la CTML per quanto riguarda le esperienze immersive; gli autori pensano che studi futuri debbano riconsiderare la relazione tra carico cognitivo e risultati,

tenendo in considerazione diversi fattori quali le differenze individuali, l'esperienza pregressa, il design del compito e il design dell'esperienza.

La realtà virtuale immersiva è ancora relativamente poco conosciuta al grande pubblico, e risulta importante rendere fruibile ogni esperienza con finalità educativa anche per i nuovi utilizzatori. La mancanza di familiarità associata all'uso di dispositivi di HMD e la novità dell'utilizzo di interfacce di realtà virtuale innaturali potrebbero essere una fonte di carico cognitivo estraneo (Wu et al., 2013). Questo carico cognitivo extra può portare a una minore soddisfazione e tassi di apprendimento più bassi nel caso di esperienze educative in IVR. La familiarizzazione lenta e progressiva, le indicazioni visive e le indicazioni incorporate nelle esperienze educative IVR possono essere utilizzate per aiutare l'utente a superare questi limiti. Risulta dunque importante un design adeguato della fase di familiarizzazione con le interazioni di gioco: il tutorial.

2.2 Imparare ad interagire in IVR

Risulta comune precedere le esperienze di realtà virtuale immersiva con dei tutorial per insegnare le interazioni e i comandi inerenti all'esperienza, anche se poca ricerca è stata condotta sulle diverse modalità di somministrazione dello stesso. Formalmente, il tutorial può essere definito come “una specifica sessione di addestramento all'inizio del gioco (prima) oppure un primo «livello» nel quale l'obiettivo è imparare a giocare (durante) oppure un tutorial selezionabile dal menu iniziale (esterno/opzionale)” (Kao et al., 2021, p. 7).

I tutorial in IVR permettono uno spazio dove imparare ed esplorare le interazioni, questo secondo aspetto risulterebbe particolarmente importante in quanto i giocatori necessitano di abituarsi al dispositivo e ai comandi richiesti, soprattutto con dispositivi relativamente

nuovi e non massivamente utilizzati come gli HMD (Frommel, 2017; Kao et al., 2021). Adams (2014) ha evidenziato come meno le modalità di interazione siano familiari, maggiore sia la necessità di un tutorial, mentre Andersen e colleghi (2012) hanno evidenziato come questa necessità dipenda dalla difficoltà del gioco. Morin e colleghi (2016) evidenziano che la complessità del gioco dipende dalla percezione e dall'esperienza dell'utente.

In un'esperienza come quella progettata per lo studio qui presentato, ovvero un IVR SG, la persona non può procedere per prove ed errori per comprendere come muoversi nello spazio e come interagire con gli stimoli, in quanto è necessario che impari i comandi nel modo più rapido ed efficace possibile per poi potersi concentrare sui compiti dell'esperienza educativa.

Le stesse modalità di somministrazione di un tutorial sono piuttosto diversificate. Una caratteristica peculiare della IVR riguarda i *tooltip*, ovvero un metodo di segnalazione caratteristico della VR che permette di visualizzare i controller e la localizzazione dei comandi. In particolare, il controller fisico del giocatore appare nella realtà virtuale e le spiegazioni dei comandi vengono ancorate alla visualizzazione del controller. I *tooltip* sfruttano l'interazione fisica e la presenza virtuale del giocatore all'interno del mondo di gioco, dove il proprio sé virtuale (cioè i controller virtuali) costituisce una forma di impalcatura visiva per apprendere le interazioni di gioco (Kao et al., 2021). I *tooltip* costituiscono una forma di aiuto *context-sensitive* in quanto forniscono delle spiegazioni senza interrompere l'utente e tenendo in considerazione la fase dell'esperienza in cui questo si trova (Frommel et al., 2017). Andersen e colleghi (2012) hanno evidenziato come questa forma di aiuto abbia un impatto positivo sul coinvolgimento, ma solo nelle forme di gioco più complesse. Le sfide che riguardano i tutorial in ambienti di realtà

virtuale immersiva a volte hanno a che fare con questioni tipiche dei videogiochi, altre volte fanno invece riferimento a problematiche del tutto nuove che dipendono dalla nuova tecnologia impiegata (Checa & Bustillo, 2020b). Secondo alcuni autori, il tutorial può risultare lo strumento ideale per affrontare il *novelty effect* generato dall'impiego di questa nuova tecnologia (Miguel-Alonso et al., 2023). In generale, la novità fa riferimento all'esperienza e/o alle informazioni che gli individui percepiscono come inaspettate, sorprendenti e nuove (Huang, 2003). Questo effetto può avere conseguenze positive, come l'aumento della motivazione e dell'usabilità percepita (Koch et al., 2018), ma allo stesso tempo può generare disorientamento e alimentare il carico cognitivo estraneo (Miguel-Alonso et al., 2023).

La familiarizzazione con i comandi per IVR è stata studiata sia mentre l'utente fa esperienza dell'ambiente simulato, sia prima dell'esperienza stessa. Alcuni ricercatori hanno evidenziato come la possibilità di imparare le interazioni nel mondo reale e non virtuale possa avere effetti positivi quando queste sono semplici (Ho, 2017). Dall'altro lato però in letteratura alcuni autori hanno evidenziato come l'IVR possa supportare l'apprendimento situato, facendo riferimento all'apprendimento che avviene in contesti simili a quelli in cui viene successivamente applicato quanto appreso (Liu, Dede, Huang e Richards, 2017). Pertanto, un approccio di apprendimento situato è ideale per colmare il divario tra l'acquisizione della conoscenza e la sua applicazione promuovendo a sua volta il trasferimento dell'apprendimento. Dunque, il contesto virtuale (essendo quello dove poi vengono messe in atto le interazioni) potrebbe risultare più efficace (Di Natale et al., 2020).

2.3 IVR e apprendibilità

L'apprendibilità può essere considerata come uno degli attributi fondamentali di usabilità di un sistema (Nielsen, 1993). Nello standard ISO 9241-11:1998², l'usabilità è definita attraverso i tre attributi di efficienza, efficacia e soddisfazione.

La norma ISO/IEC DIS 25066:2015 fornisce una visione più ampia spiegando che la valutazione dell'usabilità può essere basata sull'ispezione per identificare potenziali problemi di usabilità, oltre all'osservazione del comportamento dell'utente e alla raccolta di dati riportati dallo stesso. Bevan e colleghi (2015) hanno sottolineato come sia importante che l'ISO renda chiaro che l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione rappresentano gli esiti desiderati dell'interazione, ma che la loro misurazione non rappresenta l'unico modo per valutare l'usabilità, inoltre ci sono aspetti più specifici dell'usabilità che devono essere tenuti in considerazione, come l'apprendibilità nell'uso iniziale, la memorabilità dopo un periodo di non uso e gli errori effettuati durante l'uso possano essere corretti e non portino a conseguenze indesiderate (Nielsen, 1993).

Nella versione aggiornata ISO 9241-11:2018 vengono fornite indicazioni sull'apprendibilità quale componente dell'usabilità. La norma suggerisce che la progettazione di prodotti interattivi dovrebbe favorire l'apprendibilità, ad esempio fornendo una guida per gli utenti, utilizzando feedback appropriati e consentendo la modifica delle impostazioni da parte dell'utente. Inoltre, la norma consiglia di considerare l'apprendibilità fin dalle prime fasi del processo di progettazione e di valutazione dell'usabilità.

² Gli standard ISO sono delle norme condivise su un piano internazionale tra gli esperti. Vengono revisionati periodicamente e possono essere trovati al seguente sito: <https://www.iso.org/standards.html>.

L'apprendibilità risulterebbe determinata da quanto velocemente e comodamente un nuovo utente può iniziare un'interazione efficiente e senza errori con un sistema, in particolare durante le prime interazioni con lo stesso (Linja-aho, 2006).

Numerose sono anche le caratteristiche identificate in letteratura quali impattanti sull'apprendibilità di un'interfaccia (Linja-aho, 2006). Ad esempio, Green e Eklundh (2003) hanno messo in luce l'importanza della naturalezza nell'interazione. Elliott e colleghi (2002) hanno indicato la trasparenza delle operazioni e degli obiettivi, e l'importanza di andare incontro all'utente e di ricercare il suo senso di realizzazione. L'apprendibilità risulta inoltre importante per l'accettabilità di un'interfaccia (Butler, 1985).

Kao e colleghi hanno evidenziato come la modalità di somministrazione del tutorial per esperienze di gioco complesse impatti sull'apprendibilità, risulta dunque importante che la fase di familiarizzazione sia costruita efficacemente (Kao et al., 2021).

Se facciamo riferimento agli ambienti di realtà virtuale con finalità educative e di addestramento (non di gioco), alcuni ricercatori hanno evidenziato come l'apprendibilità risulti un importante parametro per la valutazione di efficacia dello stesso (Jia, Bhatti & Nahavandi, 2008).

CAPITOLO 3: Lo studio

3.1 Obiettivo e domande di ricerca

Il presente studio si pone l'obiettivo di approfondire la relazione tra design di tutorial in IVR, apprendibilità dei comandi, e apprendimento del sapere trasmesso da un *serious game* in ambito alluvionale. In particolare, è stato indagato l'effetto della manipolazione del livello di interazione con l'ambiente virtuale e il contesto di familiarizzazione.

Più nel dettaglio, sono state elaborate le seguenti domande di ricerca:

- D1. Qual è l'impatto della possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante il tutorial e del contesto di familiarizzazione sull'apprendibilità dei comandi?
- D2. Qual è l'impatto del design del tutorial di un IVR SG sull'apprendimento convogliato dall'esperienza inerente alle emergenze fluviali?
- D3: Qual è l'impatto del design del tutorial di un IVR SG sul carico cognitivo e sul senso di presenza percepiti dall'utente?
- D4. Qual è l'impatto del tutorial, del carico cognitivo estraneo, dell'apprendibilità e del senso di presenza sull'apprendimento del sapere convogliato e sulla performance?

3.2 Le ipotesi

Da un lato le informazioni di contesto potrebbero risultare distraenti secondo il principio di coerenza della *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer & Moreno, 1998), dunque potrebbe essere auspicabile mantenere un contesto di familiarizzazione neutro come nel tutorial strutturato da Miguel-Alonso e colleghi (2023). Dall'altro lato, la teoria

dell'apprendimento situato (Lave & Wenger, 1991) suggerisce l'effetto positivo di un tutorial di tipo contestualizzato. Come anticipato, l'IVR sembra già in generale supportare un apprendimento di tipo situato (Liu, Dede, Huang e Richards, 2017), volto a colmare il divario tra l'acquisizione della conoscenza e la sua applicazione promuovendo a sua volta il trasferimento dell'apprendimento (Di Natale et al., 2020). In questo caso l'apprendimento riguarda, non solo conoscenze nell'ambito delle alluvioni, ma anche i comandi che servono per interagire con l'ambiente virtuale. Il luogo virtuale dove l'utente apprende le interazioni è un elemento che permette di anticipare dove verranno messe in atto le interazioni permettendo di segmentare le informazioni rilevanti fornite al partecipante (principio di segmentazione, CTML) (Mayer & Moreno, 1998). Riassumendo, l'idea è che la conoscenza venga acquisita in modo situato e poi trasmessa a situazioni simili dovrebbe valere anche nel passaggio da un contesto virtuale all'altro; inoltre, fornire le informazioni contestuali prima dell'inizio dell'esperienza permetterebbe la segmentazione dei contenuti per migliorando l'apprendibilità dei comandi.

Anche l'interazione sembra avere un ruolo particolarmente rilevante negli ambienti virtuali (Riva & Gaggioli, 2019). Nonostante ciò, Ho (2017) ha individuato come per compiti relativamente semplici, provare le interazioni nel mondo reale o virtuale sarebbe ugualmente efficace. Dall'altro lato, la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante il tutorial può essere considerata un mezzo per affrontare il *novelty effect* prodotto dall'utilizzo di una nuova tecnologia quale gli HMD (Miguel-Alonso, 2023). Nel nostro caso i partecipanti selezionati per lo studio erano nuovi utilizzatori oppure utilizzatori sporadici.

Dunque, si ipotizza che:

- H1: La familiarizzazione in IVR nel contesto fluviale e la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante il tutorial dovrebbero avere un impatto positivo per quanto riguarda l'apprendibilità dei comandi, in particolare dovrebbe il tutorial con queste caratteristiche dovrebbe risultare migliore rispetto alla familiarizzazione con interazione in un contesto IVR neutro e scollegato dall'esperienza, ma anche all'utilizzo di un video contestualizzato che permette di praticare le interazioni nel mondo reale senza poter interagire con il mondo virtuale.

Passando alle ipotesi inerenti all'apprendimento, sempre sulla base dei principi estrapolati dalla *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer & Moreno, 1998) si può ipotizzare che il mantenimento di uno stesso contesto nel tutorial e nell'esperienza IVR a tema alluvionale dovrebbe impattare riducendo il carico cognitivo sulla base del principio di pre-formazione che afferma come sia importante fornire preliminarmente rispetto all'introduzione del primo compito informazioni importanti per l'interpretazione del contesto di apprendimento. Anche il principio di segmentazione comporterebbe maggiori risorse cognitive per dedicarsi ai compiti dell'esperienza. L'aver familiarizzato con il contesto dell'esperienza IVR prima dell'introduzione dei compiti dovrebbe dunque ridurre la quantità di memoria di lavoro dedicata all'interpretazione dello stesso, liberando risorse da dedicare ai compiti assegnati durante l'esperienza. La possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante la familiarizzazione permette di segmentare le informazioni rilevanti fornite, alleggerendo il carico della memoria di lavoro nel momento in cui vengono forniti i compiti dell'esperienza riducendo inoltre il *novelty effect* (Miguel-Alonso, 2023).

Dunque, è stato ipotizzato che:

- H2: Il tutorial con interazione nell'ambiente virtuale nel contesto dell'argine comporta maggiore apprendimento e mantenimento del sapere convogliato rispetto alle condizioni di familiarizzazione esterna e in ambiente VR neutro e asettico.

Quando la CLT viene applicata alla realtà virtuale immersiva si evidenzia come una serie di informazioni completamente nuove vengano fornite all'utente in modo da incrementare il CL e impattare negativamente sull'esperienza dell'utente (Han et al., 2021). In uno studio del 2019, Huang e colleghi hanno evidenziato come infatti il carico cognitivo e il senso di presenza abbiano un impatto sull'apprendimento in ambienti di IVR con finalità educative.

Il senso di presenza richiede attenzione e quindi alimenterebbe il carico cognitivo secondo alcuni studi (Makransky et al., 2019) però secondo Schrader e Bastiens (2012) agire adeguatamente per quanto riguarda il design dell'esperienza di realtà virtuale può alimentare la presenza, diminuire il carico cognitivo con un impatto positivo sull'apprendimento.

Sulla base di quanto appena riportato e sulla base dei principi della CTML è stato ipotizzato che:

- H3: Il tutorial con interazione nell'ambiente virtuale nel contesto dell'argine comporta minore carico estraneo e maggiore senso di presenza a confronto con le condizioni di familiarizzazione esterna e in ambiente VR neutro e asettico.

Infine, trattandosi di un SG, risulta importante tenere in considerazione non solo la performance in termini di apprendimento, ma anche la performance di gioco. Queste due variabili non coincidono, ma l'esperienza di gioco di un SG per definizione è volta

all'insegnamento; dunque, con l'obiettivo di indagare le relazioni tra queste due tipologie di performance e le variabili fino ad ora descritte è stato ipotizzato che:

- H4: Il tutorial impiegato, l'apprendibilità dei comandi, il carico cognitivo estraneo, il senso di presenza risultano delle variabili relate all'apprendimento del sapere convogliato dall'esperienza e alla performance.

3.3 Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale prevede la manipolazione di 2 fattori relativi alla modalità di presentazione del tutorial, ovvero la fase di apprendimento dei comandi di gioco, che consistono nella possibilità o meno di interagire con l'ambiente virtuale (video vs. VR), e nella contestualizzazione o meno dell'apprendimento dei comandi (ambiente neutro vs. argine). Dalla combinazione, dei fattori citati sopra si ottengono le condizioni sperimentali illustrate nella figura di seguito riportata (Fig. 3).

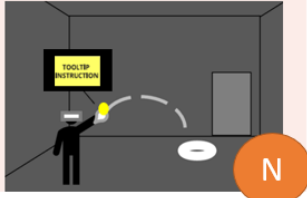
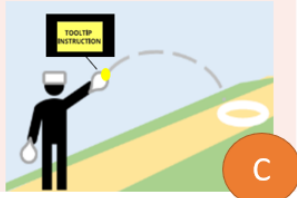

VARIABILI INDIPENDENTI	CONDIZIONE VR NEUTRA (N)	CONDIZIONE VR CONTESTUALIZZATA (C)	CONDIZIONE FAMILIARIZZAZIONE ESTERNA (E)
INTERAZIONE	VR	VR	Video
CONTESTO	Ambiente neutro	Argine	Argine
			
	N	C	E

Fig. 3: variabili indipendenti e condizioni sperimentali (between).

Nello specifico, la condizione “VR neutra” (N) permetteva la familiarizzazione con i comandi attraverso l'interazione all'interno di un ambiente di realtà virtuale immersiva neutro (N), la condizione di “VR contestualizzata” (C) permetteva di familiarizzare con i

comandi attraverso l'interazione all'interno di un ambiente di realtà virtuale immersiva nel contesto dell'argine. In queste due condizioni sperimentali è stato dunque manipolato il contesto di esecuzione del tutorial mentre è stata mantenuta stabile la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante questa fase di familiarizzazione. Infine, la condizione di "familiarizzazione esterna" (E) prevedeva la visione di un video che presentava i comandi di gioco nel contesto dell'argine con la possibilità di verificare sui controller fisici la localizzazione degli stessi. Dunque, nel confronto tra le condizioni C ed E è stata manipolata la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale, mentre è stato mantenuto stabile il contesto di familiarizzazione, ovvero l'argine.

Questo disegno sperimentale ha consentito di indagare il livello di apprendibilità dei comandi tra le diverse condizioni. Inoltre, ha permesso di effettuare dei confronti tra partecipanti rispetto al livello di conoscenza prima di sottoporsi all'esperienza, subito dopo l'esperienza e a distanza di 15 giorni.

3.4 Equipaggiamento e scenario

L'esperienza di realtà virtuale è stata progettata per permetterne la fruizione attraverso il visore Oculus Quest 2. Questo dispositivo è stato utilizzato per la visione di un video informativo iniziale (il materiale informativo è stato riportato in Appendice B) che forniva all'utente le conoscenze sulle alluvioni necessarie per svolgere, sempre attraverso il medesimo dispositivo, il *serious game* sulle alluvioni.

Per la compilazione dei questionari nelle diverse fasi dell'esperimento e per la presentazione del tutorial nella condizione E è stato utilizzato un computer (27 pollici, 2560x1440).

Il *serious game* impiegato prevedeva una fase iniziale di familiarizzazione con i comandi (tutorial) e successivamente due ulteriori fasi focalizzate sui concetti e i comportamenti da apprendere in caso di alluvione. Di seguito verranno descritte nel dettaglio le diverse fasi dell'esperienza.

3.4.1 I tutorial: diverse modalità per familiarizzare con i comandi

Il tutorial, come anticipato, ha l'obiettivo di insegnare all'utente i comandi di gioco e dunque aiutarlo ad imparare ad interagire con l'ambiente virtuale. Nel presente esperimento il tutorial è stato manipolato nelle diverse condizioni sperimentali per poter indagare le ipotesi precedentemente introdotte. Le interazioni che venivano insegnate durante i diversi tutorial sono state implementate attraverso tre comandi (Fig. 4):

- Levetta destra, che se spinta in avanti e rilasciata permetteva il teletrasporto in un punto indicato attraverso un cerchio bianco. Questa modalità di movimento minimizza il rischio di *motion sickness* (Bozgeyikli et al., 2016). Questo comando permetteva sia lo spostamento orizzontale, sia quello verticale, come ad esempio salire su un albero.
- Grilletto destro per selezionare gli oggetti che venivano indicati attraverso un puntatore laser virtuale.
- Pulsante A, per visualizzare la “mappa dei comandi”, ovvero un *tooltip* che segnalava la localizzazione dei comandi da utilizzare nel caso in cui il partecipante non si ricordasse come effettuare alcune specifiche azioni.

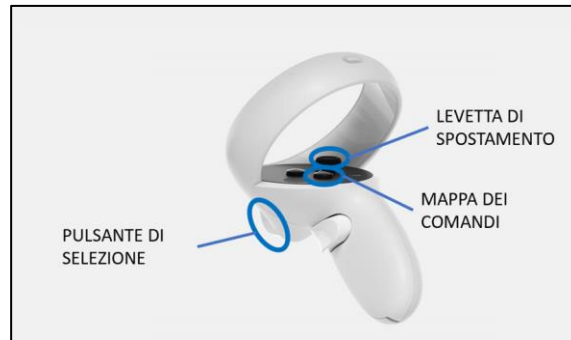


Fig. 4: rappresentazione del controller e della localizzazione dei comandi.

Sono stato realizzati tre tutorial differenti per consentire ai partecipanti di apprendere i comandi da utilizzare nell'ambiente immersivo.

Nella condizione sperimentale N, il tutorial era diviso in quattro sezioni costituite da stanze grigie e neutre caratterizzate dalla presenza di elementi geometrici, prive di elementi naturali che potessero riferirsi al contesto alluvionale; in ciascuna stanza veniva insegnato al partecipante un comando diverso tramite *tooltip*; dunque, il comando veniva evidenziato sul controller virtuale e vi venivano ancorate le istruzioni inerenti al comando della specifica sezione. Inizialmente il partecipante veniva informato tramite audio della possibilità di guardarsi attorno a 360° e delle funzioni dei controller; inoltre, gli veniva impartito il compito di attraversare le diverse sezioni del tutorial per familiarizzare con i comandi di gioco seguendo le istruzioni ancorate al controller destro.

Al termine messaggio audio, il partecipante poteva iniziare a familiarizzare con il comando proposto nella prima sezione, ovvero quello di spostamento orizzontale attraverso la levetta del controller destro che nella rappresentazione virtuale del controller appariva evidenziata e alla quale era ancorata la seguente istruzione: “Spingi in avanti questa levetta e rilasciala per spostarti nella posizione del cerchio bianco”. In questa sezione sono stati inseriti dei blocchi geometrici blu che complicavano il raggiungimento

della sezione successiva in modo che il partecipante comprendesse come aggirare gli ostacoli (Fig. 5).

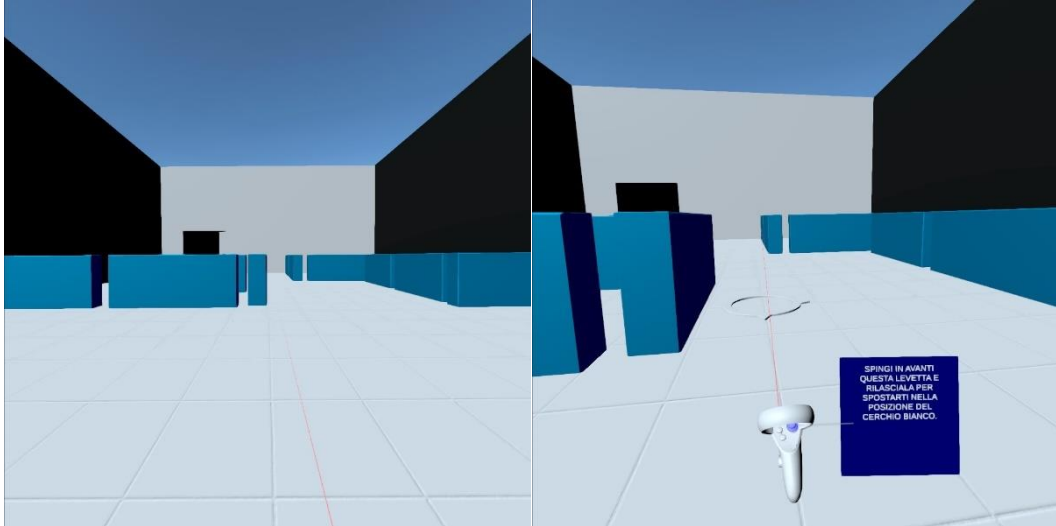


Fig. 5: sezione del tutorial sullo spostamento orizzontale nella condizione N.

Ogni volta che il partecipante passava da una sezione a quella successiva, una voce registrata ricordava di guardare il controller in quanto le istruzioni fornite tramite *tooltip* erano cambiate e fornivano un nuovo comando da apprendere.

La seconda sezione era dedicata allo spostamento verticale e veniva dunque chiesto al partecipante di salire su alcuni oggetti presenti nella stanza; anche in questo caso gli oggetti erano delle forme geometriche blu (Fig. 6). Le istruzioni erano ancorate alla levetta destra in questa sezione erano: “Puoi salire su alcuni oggetti puntando verso l’alto il controller per spostarti”.

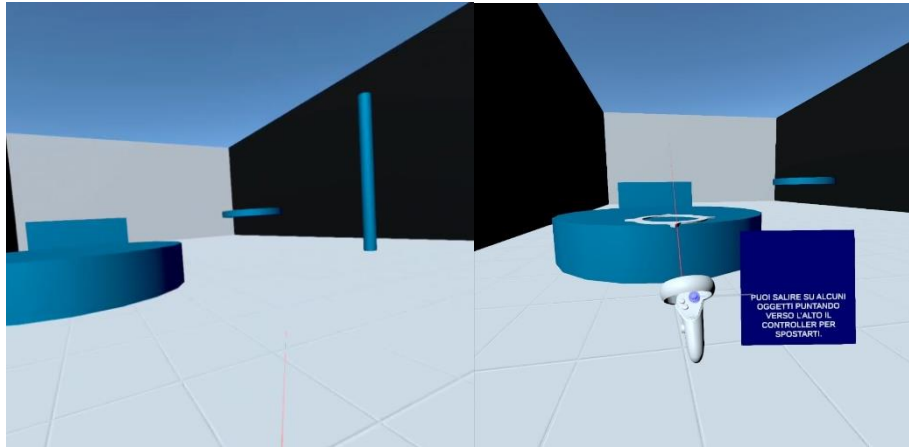


Fig. 6: sezione del tutorial sullo spostamento verticale nella condizione N.

Nella terza sezione il partecipante imparava a selezionare alcuni elementi presenti nell'ambiente che in questo caso erano dei cubi verdi fluttuanti; per ogni selezione effettuata il partecipante riceveva un riscontro uditivo e nel tablet virtuale ancorato alla sua mano sinistra veniva segnalata l'individuazione di ciascun elemento (Fig. 7). Le istruzioni ancorate al grilletto del controller destro erano le seguenti: "Indica gli oggetti e premi questo pulsante (grilletto destro) per selezionarli".

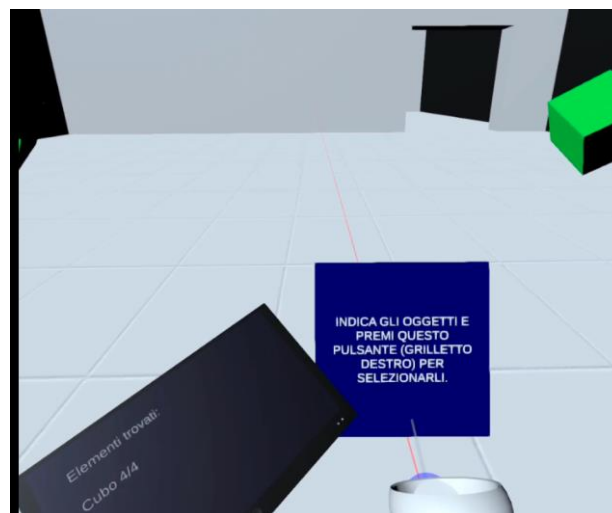


Fig. 7: sezione del tutorial sulla selezione nella condizione N.

Infine, nell'ultima sezione, veniva insegnata la funzione "mappa dei comandi" che permetteva di visualizzare contemporaneamente tutti i *tooltip* dei comandi appresi in caso

di necessità (Fig. 8). Il *tooltip* ancorato al pulsante di questa funzione era: “Premi questo pulsante (tasto A) per vedere dove sono situati i comandi sul controller”.

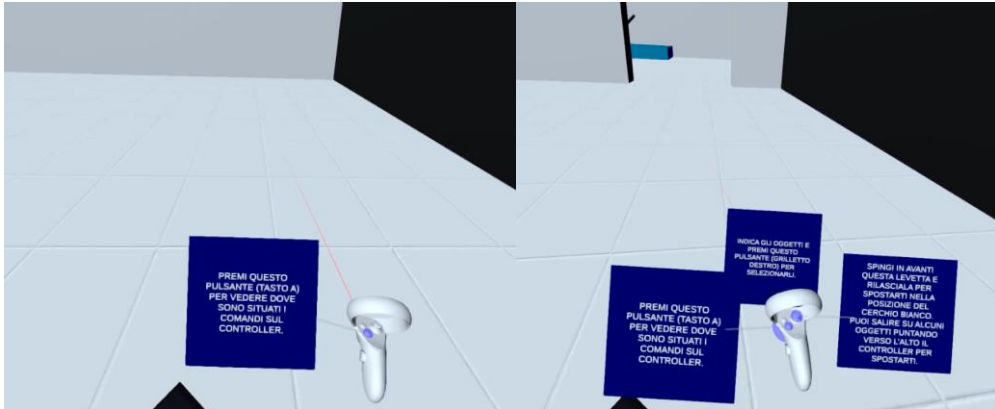


Fig. 8: sezione del tutorial sulla “mappa dei comandi” nella condizione N.

Una volta terminata l’ultima sezione, il partecipante saliva su un parallelepipedo e veniva proiettato nell’ambiente fluviale dove iniziava l’esperienza vera e propria (Fig. 9).

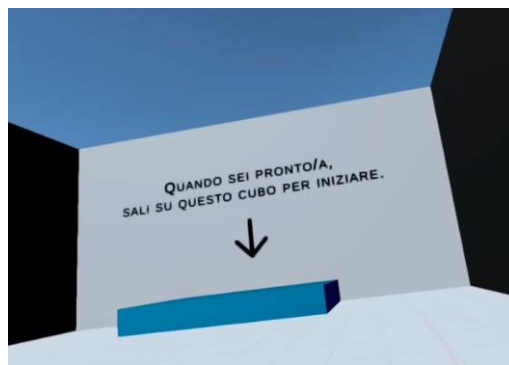


Fig. 9: conclusione del tutorial nella condizione N.

Anche nella condizione sperimentale C il tutorial era diviso in quattro sezioni, ma a differenza della condizione N, queste sezioni erano situate in un contesto fluviale ed erano caratterizzate da elementi naturali e realistici. In ciascuna stanza veniva insegnato al partecipante un comando diverso tramite *tooltip*; dunque, il comando veniva evidenziato sul controller virtuale e vi venivano ancorate le istruzioni inerenti al comando della specifica sezione. Inizialmente il partecipante veniva informato tramite audio della

possibilità di guardarsi attorno a 360° e delle funzioni dei controller; inoltre, gli veniva fornito il compito di attraversare le diverse sezioni del tutorial per familiarizzare con i comandi di gioco seguendo le istruzioni ancorate al controller destro.

Al termine del messaggio audio, il partecipante poteva iniziare a familiarizzare con il comando proposto nella prima sezione, ovvero quello di spostamento orizzontale attraverso la levetta del controller destro che nella rappresentazione virtuale del controller appariva evidenziata e alla quale era ancorata la seguente istruzione: “Spingi in avanti questa levetta e rilasciala per spostarti nella posizione del cerchio bianco”. In questa sezione sono stati inseriti dei blocchi di cemento e delle sbarre che complicavano il raggiungimento della sezione successiva in modo che il partecipante comprendesse come aggirare gli ostacoli (Fig. 10).

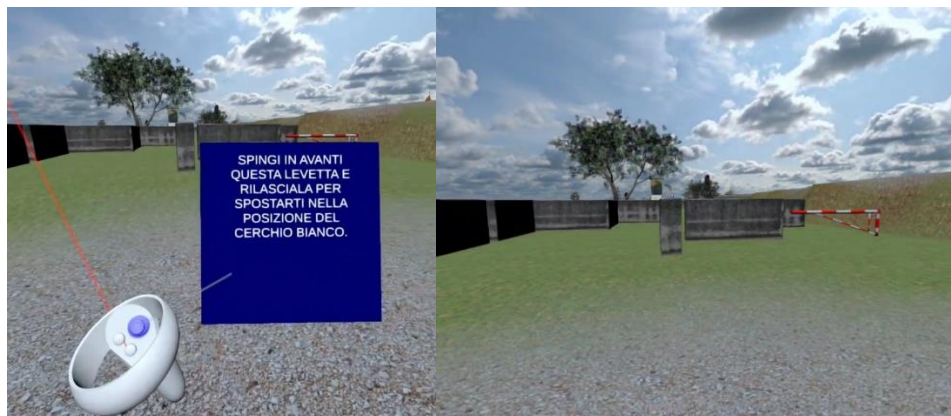


Fig. 10: sezione del tutorial sullo spostamento orizzontale nella condizione C.

Ogni volta che il partecipante passava da una sezione a quella successiva, una voce registrata ricordava di guardare il controller in quanto le istruzioni fornite tramite *tooltip* erano cambiate e fornivano un nuovo comando da apprendere.

La seconda sezione era dedicata allo spostamento verticale e veniva dunque chiesto al partecipante di salire su alcuni oggetti presenti nella sezione. In questo caso gli elementi presentati erano degli elementi realistici, ad esempio un albero e una scala (Fig. 11). Le

istruzioni erano ancorate alla levetta destra in questa sezione erano: “Puoi salire su alcuni oggetti puntando verso l’alto il controller per spostarti”.

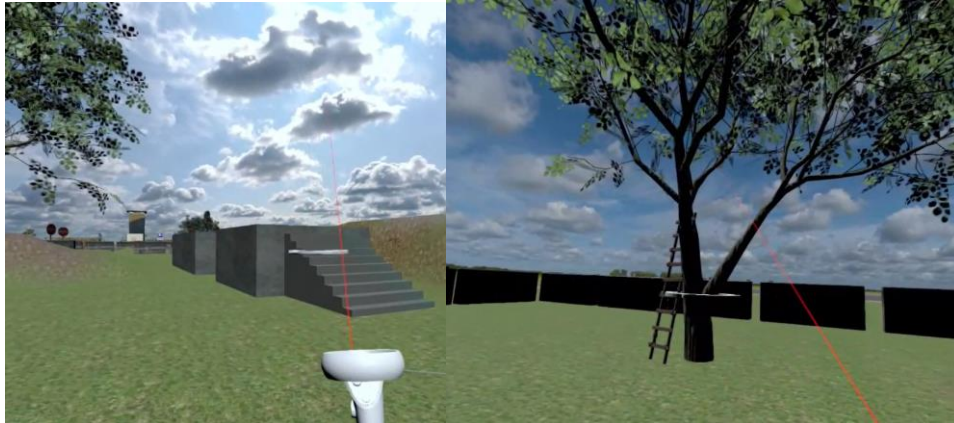


Fig. 11: sezione del tutorial sullo spostamento verticale nella condizione C.

Nella terza sezione il partecipante imparava a selezionare alcuni elementi presenti nell’ambiente che in questo caso erano dei cartelli stradali. Per ogni selezione effettuata il partecipante riceveva un riscontro uditivo e nel tablet virtuale ancorato alla sua mano sinistra veniva segnalata l’individuazione di ciascun elemento (Fig. 12). Le istruzioni ancorate al grilletto del controller destro erano le seguenti: “Indica gli oggetti e premi questo pulsante (grilletto destro) per selezionarli”.



Fig. 12: sezione del tutorial sulla selezione nella condizione C.

Infine, nell'ultima sezione, veniva insegnata la funzione "mappa dei comandi" che permetteva di visualizzare contemporaneamente tutti i *tooltip* dei comandi appresi nel caso di necessità (Fig. 13). Il *tooltip* ancorato al pulsante di questa funzione era: "Premi questo pulsante (tasto A) per vedere dove sono situati i comandi sul controller".

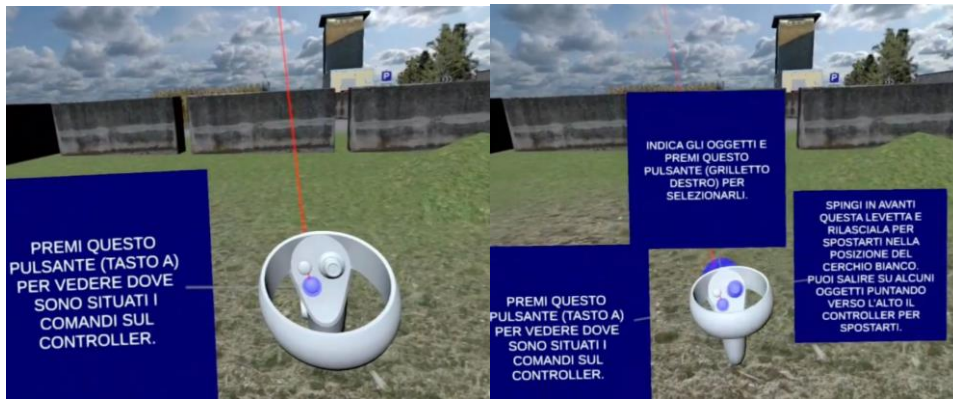


Fig. 13: sezione del tutorial sulla "mappa dei comandi" nella condizione C.

Una volta terminata l'ultima sezione, il partecipante arrivava davanti ad una sbarra bianca e rossa, punto dal quale successivamente avrebbe iniziato l'esperienza vera e propria (Fig. 14).



Fig. 14: conclusione del tutorial nella condizione C.

Nella condizione E il partecipante visionava una registrazione video dell'esecuzione corretta delle diverse sezioni che componevano il tutorial nella condizione C della durata di 2 minuti e 20 secondi sullo schermo di un computer. L'utente aveva a disposizione i controller fisici per verificare dove fossero situati i comandi durante la visione del video, ma non aveva la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale (Fig. 15).



Fig. 15: partecipante intento a svolgere il tutorial nella condizione E.

3.4.2 Il serious game in realtà virtuale immersiva per le alluvioni

Lo scenario rappresenta un tratto di fiume attraversato da un ponte e affiancato da una cittadina, nel quale l'esperienza vissuta dall'utente attraversa due domini temporali: uno precedente la rottura dell'argine e l'altro successivo. Durante l'esperienza, l'utente impersona un membro della Protezione Civile che è stato chiamato per compiere un sopralluogo e capire se sia necessario dichiarare lo stato di emergenza.

Nella prima fase dell'esperienza, il compito viene introdotto attraverso una telefonata che l'utente riceve nell'ambiente, attraverso la quale un collega lo esorta a guardarsi attorno e a segnalare la presenza di eventuali indicatori di pericolo nei pressi dell'argine (Fig. 16) dicendo: *“Ciao, sei arrivato sull'argine per il sopralluogo? Io non riesco ad arrivare ma*

ho già avvisato i nostri colleghi della protezione civile che il sopralluogo lo farai tu. Dovrai individuare eventuali indicatori di pericolo senza di me. Ricordati che il tempo è importante e hai massimo 5 minuti per capire se è necessario dichiarare lo stato di allerta. Hai a disposizione il tuo tablet per segnalarci eventuali indicatori di pericolo. Buon lavoro, ci sentiamo tra 5 minuti”.

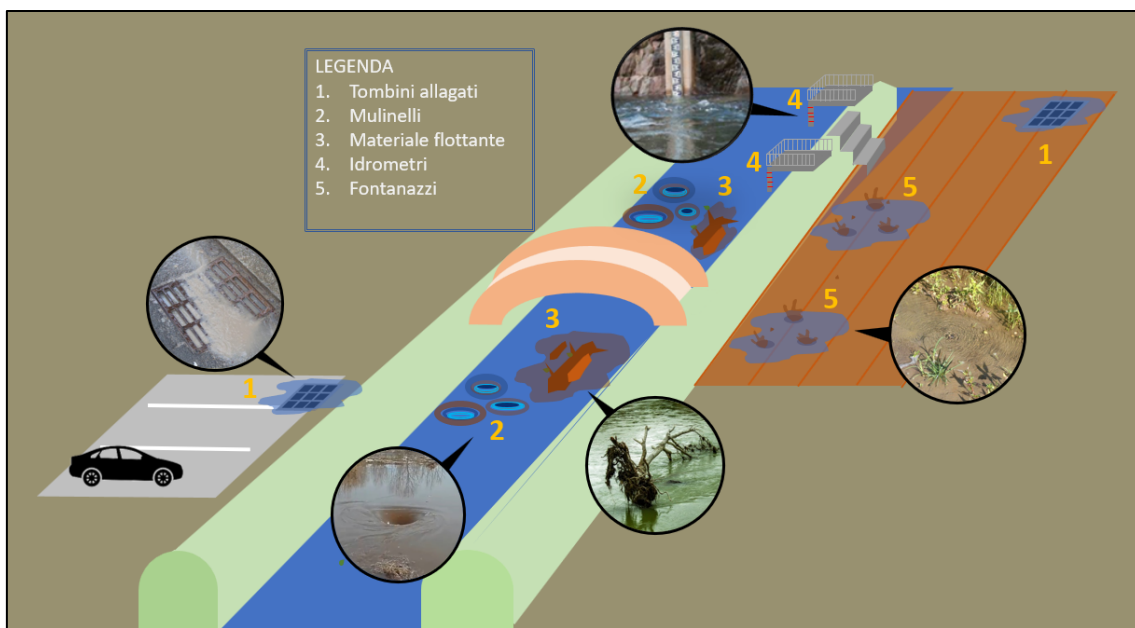


Fig. 16: disposizione degli indicatori di pericolo in prossimità dell'argine durante la fase esplorativa dell'esperienza.

L'utente ha a disposizione un tablet virtuale sul quale è presente una lista di 5 categorie che all'inizio dell'esperienza risultavano nascoste da un"???". Il nome di ciascuna categoria veniva svelato man mano che il partecipante individuava gli indicatori di allerta alluvionale situati nei pressi dell'argine. Il tablet virtuale non solo permetteva di visualizzare la categoria e il numero di indicatori mancanti man mano che l'utente individuava gli indicatori delle diverse categorie, ma anche un timer che gli mostrava il tempo a disposizione per terminare il sopralluogo (Fig. 17).

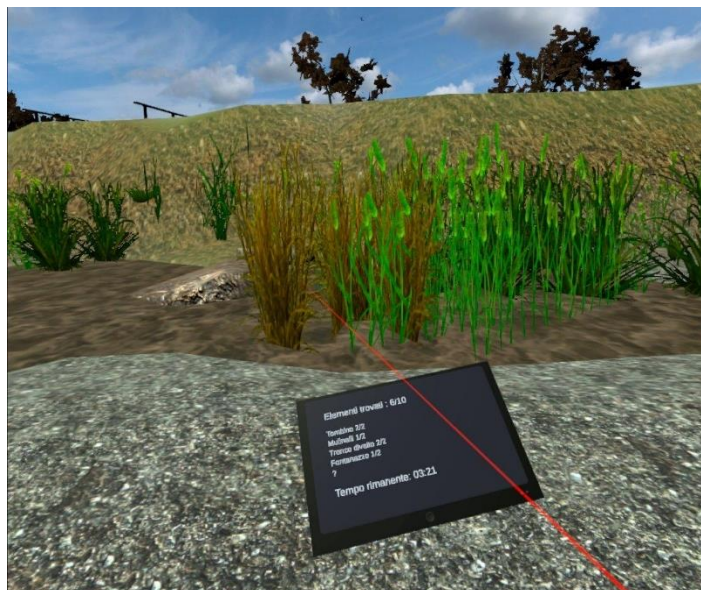


Fig. 17: rappresentazione del tablet virtuale durante la fase di individuazione degli indicatori.

Questa fase esplorativa termina quando l'utente ha individuato tutti gli indicatori di pericolo o allo scadere dei 5 minuti allocati a questa fase. Nel primo caso l'utente riceve la telefonata: *“Complimenti, sei stato velocissimo! Dalle informazioni che ho ricevuto dal tuo tablet la situazione è preoccupante. I nostri colleghi stanno arrivando in aiuto per mettere in sicurezza la zona. Ti ho mandato la posizione in cui incontrarvi sul tablet”*, nel secondo caso riceve la telefonata: *“Ehi, alcuni colleghi mi hanno detto che la situazione è preoccupante e non abbiamo più tempo! Raggiungi i nostri colleghi che stanno arrivando in aiuto per mettere in sicurezza la zona. Ti ho mandato la posizione in cui incontrarvi sul tablet”*.

Il collega in entrambi i casi introduce un nuovo compito, ovvero raggiungere una posizione indicata sul tablet virtuale dove arriveranno altri colleghi della Protezione Civile (Fig. 18).



Fig. 18: rappresentazione della mappa che compare sul tablet virtuale al termine della fase esplorativa.

Il punto indicato sulla mappa si trova in prossimità del fiume, e una volta raggiunto avviene la rottura dell'argine, introducendo l'utente nella fase finale dell'esperienza: la fuga in un luogo sicuro. Questa volta il compito viene introdotto da grida in lontananza che esortano a mettersi in salvo (“Si è rotto l'argine!”, “Scappiamo!”, “Aiuto!”). L'utente ha diverse possibilità di successo e di fallimento (Fig. 19).

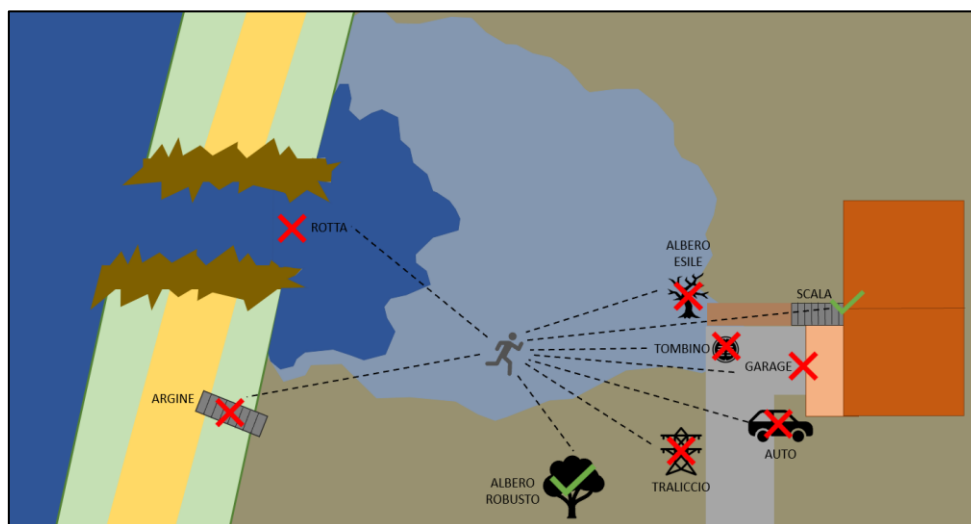


Fig. 19: possibilità di successo e fallimento dopo la rottura dell'argine. I comportamenti fallimentari sono contrassegnati da una croce rossa, mentre i comportamenti corretti sono indicati da una spunta verde.

L'esecuzione di comportamenti di fuga non corretti è caratterizzato da messaggi di feedback che permettono all'utente di apprendere gli errori evitare in caso di rottura di un argine, guidandolo verso le scelte corrette (Fig. 20).

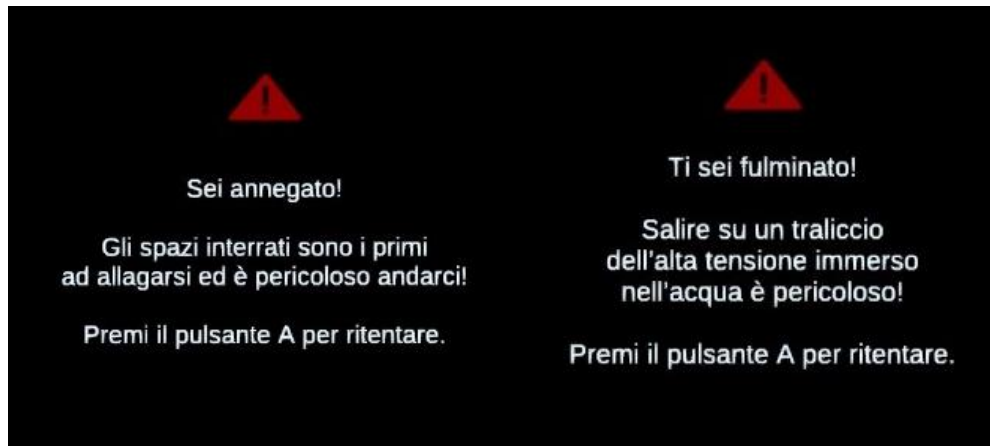


Fig. 20: feedback negativi conseguenti alla messa in atto di comportamenti fallimentari, in particolare a sinistra l'utente è entrato all'interno di un garage interrato, mentre a destra è salito su un traliccio.

In seguito al raggiungimento di un luogo sicuro, sul tablet virtuale compaiono delle opzioni di chiamata. In particolare, l'utente può scegliere se contattare i familiari oppure i soccorsi. L'esperienza termina nel momento in cui viene selezionato il contatto corretto, ovvero i soccorsi, in quanto opzione che si rivela inappropriata in quanto concorre all'intasamento delle linee telefoniche (Fig. 21).

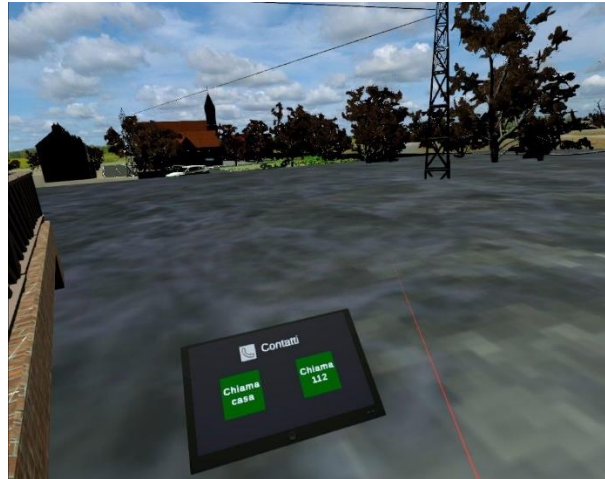


Fig. 21: tablet virtuale dove l'utente deve scegliere se chiamare i soccorsi oppure i familiari.

La schermata finale restituisce all'utente i risultati conseguiti durante l'esperienza registrati automaticamente dal sistema, ovvero il numero di indicatori di pericolo individuati, il numero di scelte errate effettuate nella fase di fuga e il tempo complessivo impiegato.

3.5 Le misure

I costrutti di interesse fanno riferimento a diverse fasi dell'esperienza sopra descritta e sono stati misurati in diversi momenti. Come anticipato, sono stati impiegati diversi questionari ma sono stati raccolti anche i dati comportamentali inerenti alla performance dell'utente attraverso i dati di log registrati dal visore. Di seguito sono state descritte nello specifico le misure raccolte dei costrutti di interesse.

Apprendibilità: costituisce una delle dimensioni di usabilità secondo Nielsen (1996) e può essere considerata come ciò che determina se un sistema permette al nuovo utilizzatore di fruire dello stesso efficientemente in breve tempo.

Apprendimento: costrutto che fa riferimento alle conoscenze trasmesse sia da un punto di vista concettuale (in particolare, quali siano gli indicatori di allerta alluvionale e le zone

maggiormente a rischio) sia pratico (in particolare, quali siano i comportamenti corretti e scorretti da mettere in atto durante un'alluvione all'aperto o al chiuso; Mòrelot et al., 2021). Per ottenere una misura dell'apprendimento effettivo le conoscenze del partecipante sono state misurate in 3 momenti: prima, subito dopo e a 15 giorni dall'esperienza.

Performance: la performance dell'utente è stata misurata sulla base delle 2 fasi in cui è stata divisa l'esperienza, nella prima fase la performance dell'utente è stata identificata dal numero di indicatori individuati, mentre nella seconda fase dal numero di tentativi effettuati prima di raggiungere un luogo sicuro e chiamare i soccorsi. Inoltre, sono stati registrati i tempi di esecuzione e il numero di errori effettuati durante il test dei comandi che ci hanno permesso di evidenziare l'efficacia delle diverse tipologie di tutorial in termini di apprendibilità.

Senso di presenza (P): la presenza, come anticipato, può essere considerata come il risultato soggettivo dell'immersione. Questo costrutto è caratterizzato da 4 dimensioni: coinvolgimento, fedeltà sensoriale, adattamento/immersione e qualità dell'interfaccia. Il coinvolgimento consegue alla focalizzazione della propria energia mentale e attenzione su un insieme coerente di stimoli o attività/eventi significativamente correlati. La fedeltà sensoriale è il grado in cui, dal punto di vista dell'utente, un ambiente di realtà virtuale permette di esaminare gli oggetti sia attraverso la vista che attraverso il tatto. Questo fattore riguarda anche gli aspetti sonori/uditivi. L'adattamento/immersione in questo caso è stato considerato come la percezione di sentirsi avvolto/a e incluso/a in un ambiente che fornisce un flusso continuo di stimoli ed esperienze con i quali interagire. Infine, la qualità dell'interfaccia è il grado in cui i dispositivi di controllo o di visualizzazione

interferiscono o distraggono dalle prestazioni dell'attività, ma anche la misura in cui i partecipanti si sono sentiti in grado di concentrarsi sui compiti (Witmer & Singer, 2005).

Carico cognitivo (*Cognitive Load*, CL): può essere inteso come la quantità di memoria di lavoro impiegata nello svolgimento di una determinata attività e si può suddividere in intrinseco, estraneo e germano. Il carico intrinseco dipende dalla difficoltà e dalla complessità del materiale da imparare, quello estraneo deriva da processi estranei che non contribuiscono direttamente all'apprendimento, spesso alimentato da un design inadeguato delle istruzioni e dalla presenza di distrazioni e infine il carico germano è quello pertinente al materiale da apprendere (Sweller, 2011, Albus et al., 2021).

3.6 I materiali

Di seguito verranno descritti gli strumenti che sono stati impiegati nel presente esperimento. Gli strumenti completi sono stati riportati in Appendice C.

3.6.1 Questionario di apprendibilità

Come in Kao et al. (2021), l'apprendibilità dei comandi è stata misurata attraverso la sottoscala dei comandi della *Player Experience of Need Satisfaction* (PENS; Ryan, Rigby & Przybylski, 2006) composta da 3 item ai quali i partecipanti dovevano rispondere riportando il loro grado di accordo su una scala Likert a 7 punti dove 1 indicava "Completamente in disaccordo" e 7 indicava "Completamente in accordo".

Uno degli item proposti è riportato di seguito:

"Imparare i comandi da utilizzare nell'esperienza è stato facile."

Sono stati inoltre integrati 2 ulteriori item creati ad hoc per esaminare anche la percezione dell'utente in merito alla velocità d'apprendimento dei comandi, in quanto minore è il

tempo impiegato ad imparare i comandi, maggiore è l'apprendibilità, e alla sua necessità di chiedere aiuto per capire come funzionavano i comandi, in quanto la necessità di chiedere aiuto esterno risulterebbe indice di un'interfaccia che non assiste in maniera efficace l'utente (Linja-aho, 2006).

3.6.2 Questionario di mantenimento comandi

È stato creato un questionario ad hoc per misurare quanto i partecipanti ricordassero la localizzazione dei comandi utilizzati durante l'esperienza 15 giorni dopo averla svolta a risposta multipla dove veniva loro chiesto loro di associare il comando alla corrispettiva funzione come nell'esempio di seguito riportato (Fig. 22).

Q12. A cosa serviva il pulsante cerchiato in rosso durante l'esperienza?


	Spostarsi	Selezionare gli oggetti	Saltare	Vedere dove erano situati i comandi	Nessuna delle precedenti
	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fig. 22: esempio di item inerente al questionario di retention. Nell'immagine è cerchiato l'item utilizzato per spostarsi, dunque la risposta attribuita (evidenziata dal pallino blu) risulta corretta.

Per evitare l'effetto di facilitazione dovuto dal fatto che le interazioni da ricordare fossero solo 3 (spostamento, selezione, "mappa dei comandi") sono stati inseriti nel questionario anche item inerenti comandi non utilizzati durante l'esperienza ai quali doveva essere attribuita la risposta "Nessuna delle precedenti" ed è stata inserita un'interazione non presente durante l'esperienza, ovvero la possibilità di saltare. Lo scoring scelto per l'attribuzione dei punteggi è stato di 1 punto per ogni risposta corretta e 0 punti per ogni risposta sbagliata.

3.6.3 *Questionario di apprendimento*

Per misurare l'apprendimento concettuale e pratico è stato creato ad hoc un questionario con domande aperte che permettesse di verificare le conoscenze dell'utente.

In particolare, 2 domande presentate al partecipante facevano riferimento ad un apprendimento di tipo concettuale (ad esempio: “quali sono i principali indicatori dello stato di allerta alluvionale?”) e le altre 5 facevano invece riferimento ad un apprendimento di tipo pratico (ad esempio: “quali sono i comportamenti corretti da mettere in atto durante un alluvione al chiuso?”).

Sulla base delle conoscenze riportate è stato creato uno schema per l'attribuzione dei punteggi (riportato in Appendice B). Risulta importante evidenziare come i quesiti proposti riguardano informazioni veicolate sia dal video informativo che dall'esperienza (ovvero quelli inerenti all'affrontare una situazione di emergenza fluviale all'aperto) ma anche contenuti presentati unicamente dal video (ovvero quelli inerenti l'affrontare una situazione di emergenza fluviale al chiuso). Ciò permette ha permesso di mettere in luce l'efficacia dell'esperienza di realtà virtuale immersiva nel rafforzare l'apprendimento di concetti e comportamenti a sostegno di questo tipo di emergenze rispetto alla sola visione di un video informativo.

3.6.4 *Questionario di carico cognitivo (Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments , MCLSVE)*

Il carico cognitivo (CL) è stato misurato attraverso una versione riadattata della *Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments* (MCLSVE) di Andersen, M. S., & Makransky, G. (2021). La scala validata dagli autori si propone di

misurare il CL attraverso le distinzioni evidenziate da Sweller nella *Cognitive Load Theory* (Sweller, 2011), che sono le stesse di Albus, Vogt & Seufert (2021).

Lo strumento utilizzato è stato adattato sulla base della simulazione di realtà virtuale immersiva a tema emergenziale fruita dall'utente. La scala di risposta utilizzata era in forma Likert da 1 a 7 punti dove 1 indicava "completamente in disaccordo" e 7 indicava "completamente in accordo".

Il carico intrinseco è stato misurato attraverso la valutazione della complessità sia in generale, sia delle componenti più specifiche (come formule, concetti e definizioni) dell'attività di apprendimento.

Il carico estraneo in principio era stato misurato in maniera unidimensionale, ma per adattarsi alla natura del carico estraneo negli ambienti virtuali, la scala unidimensionale è stata ampliata in tre scale separate relative alle sue sottodimensioni. Queste sono state evidenziate da precedenti ricerche sulla realtà virtuale come potenziali cause di CL estraneo, che potrebbe ostacolare l'apprendimento (Makransky, Terkildsen e Mayer, 2019). Gli autori hanno mantenuto la sottodimensione del carico cognitivo estraneo relativa alle istruzioni e spiegazioni di Leppink e colleghi (2013, 2014). Sono state incluse due nuove sottoscale del carico cognitivo estraneo: una relativa all'interazione in un ambiente virtuale per l'apprendimento e l'altra relativa alla complessità dell'ambiente virtuale 3D per l'apprendimento. Queste nuove sottoscale sono state proposte sulla base di una serie di studi, che hanno identificato potenziali fonti di CL durante l'apprendimento in ambienti VR (ad esempio, Makransky, Terkildsen e Mayer, 2019b).

Dunque, le sottodimensioni così estratte per poter esaminare in ambienti di realtà virtuale immersiva per l'apprendimento riguardano i seguenti elementi:

- Istruzioni

- Interazioni
- Ambiente

Il carico germano è stato misurato attraverso una valutazione di quanto l'attività abbia migliorato la comprensione di fattori come argomento, concetti e definizioni nell'attività di apprendimento.

Un esempio degli item utilizzati per la misurazione del carico cognitivo germano è riportato di seguito:

*“L'esperienza di realtà virtuale immersiva a tema alluvionale ha migliorato...
... la mia comprensione degli argomenti presentati.”*

3.6.5 Questionario di senso di presenza (Presence Questionnaire, PQ)

Per misurare il senso di presenza è stato utilizzato un adattamento del *Presence Questionnaire* (PQ) (Witmer & Singer, 2005), della scala originale di 32 item del 1998. In questa revisione sono stati rimossi gli item che abbassavano l'affidabilità (item 26, 27, 28). Nella versione da noi utilizzata sono stati inoltre rimossi anche gli item inerenti feedback di tipo aptico (item 13, 17) in quanto questa modalità sensoriale non era rilevante per l'esperienza IVR. Di seguito è riportato un esempio degli item della dimensione inerente alla qualità dell'interfaccia e la relativa scala di risposta:

“Quanto credi che i controller abbiano interferito con lo svolgimento dei compiti assegnati o di altre attività?”

Non hanno interferito per nulla	Hanno interferito moderatamente	Hanno interferito completamente

3.6.6 *Dati di log*

Da un punto di vista quantitativo, le azioni degli utenti durante l'esperienza sono state registrate attraverso uno script di tracking inserito all'interno del programma costitutivo dell'esperienza. Sono stati salvati la posizione dell'utente all'interno dell'ambiente virtuale attraverso le coordinate nei tre assi principali (x, y, z), e la direzione in cui era rivolta la visuale, attraverso la rotazione su questi tre assi. Lo script ha previsto un intervallo di 0.1 secondo per ogni aggiornamento della posizione (ovvero una frequenza di 10 aggiornamenti al secondo, con possibili lievi fluttuazioni dovute alla capacità di calcolo del visore). Il codice del programma ha previsto una suddivisione in 6 (5 nella condizione E) fasi dell'esperienza: tutorial (se presente), test dei comandi, ricerca degli indicatori di pericolo (che termina con il ritrovamento di tutti gli indicatori, o allo scadere dei 5 minuti di tempo), spostamento verso la zona di rottura dell'argine, rottura dell'argine e fuga, fase finale (comprendente il momento della chiamata -a casa o ai soccorsi- e la conclusione dell'esperienza). Lo script di tracking tracciava il momento esatto in cui iniziava ciascuna fase e ne ha registrato i relativi eventi principali, il momento in cui sono avvenuti (in base ai secondi trascorsi dall'inizio dell'esperienza) e la posizione dell'utente in quel momento. Nello specifico, durante il test dei comandi è stato raccolto il tempo impiegato e il numero di errori effettuato al fine di evidenziare l'efficacia delle diverse tipologie di tutorial in termini di apprendibilità. Nella fase di ricerca degli indicatori è stato registrato il ritrovamento di ogni singolo indicatore (ovvero quando viene

selezionato) e il tempo impiegato. Infine, durante la fase di rottura dell'argine e fuga in un luogo sicuro, viene registrato il tipo di target scelto dall'utente per mettersi in salvo, nel momento in cui quest'ultimo lo raggiunge. Nel caso venga scelto un target sbagliato e si prosegua con un nuovo tentativo, viene registrato il momento in cui la simulazione riparte dalla rottura dell'argine; nel caso di target corretto, viene invece registrato il momento in cui l'utente chiama casa, o i soccorsi.

3.7 Procedura

Il giorno dell'esperimento a ciascun partecipante sono stati consegnati una nota informativa e un consenso informato (Appendice A) che dovevano essere letti, compresi e firmati prima di procedere con la sessione sperimentale. Quest'ultima prevedeva la compilazione di alcuni questionari e la visione di un video prima del *serious game* in ambito alluvionale (Fig. 23). Dopo aver firmato il consenso informato, l'utente doveva compilare un questionario sociodemografico e un questionario a domande aperte per la valutazione delle conoscenze di base nell'ambito delle alluvioni. Una volta terminata questa prima fase di compilazione, al partecipante veniva mostrato un video tramite il visore che presentava il materiale inerente alle emergenze fluviali necessario per svolgere l'esperienza IVR.

In seguito, sulla base della condizione sperimentale, al partecipante veniva somministrata una diversa tipologia di tutorial finalizzato all'insegnamento dei comandi che poi sarebbero stati utilizzati per interagire nell'IVR SG in ambito emergenziale.

In tutte le condizioni, dopo aver completato la fase di familiarizzazione con i comandi, il partecipante svolgeva un breve test in IVR dove gli veniva chiesto di eseguire le

interazioni appena apprese (“test dei comandi”) prima di sperimentare l’esperienza di realtà virtuale immersiva a tema alluvionale vera e propria.

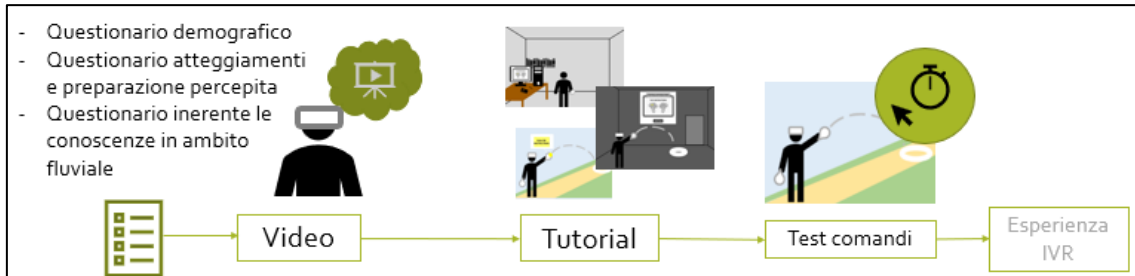


Fig. 23: fasi della procedura sperimentale precedenti il serious game in realtà virtuale immersiva.

Dopo l’esecuzione del “test dei comandi”, il partecipante poteva iniziare il *serious game* in ambito emergenziale che consisteva di due fasi. Nella prima fase doveva cercare nella zona dell’argine gli indicatori di pericolo che presagiscono una possibile alluvione (per un totale di 10). Nella seconda fase, che seguiva la rottura dell’argine, il partecipante doveva raggiungere un luogo sicuro nel minor tempo possibile e contattare i soccorsi. Terminata l’esperienza di realtà virtuale immersiva, il partecipante procedeva nella compilazione di una serie di questionari che andavano a valutare l’apprendibilità dei comandi, le conoscenze apprese, il carico cognitivo e il senso di presenza e le conoscenze apprese.

I passaggi appena descritti sono riassunti nel diagramma di seguito riportato (Fig. 24).

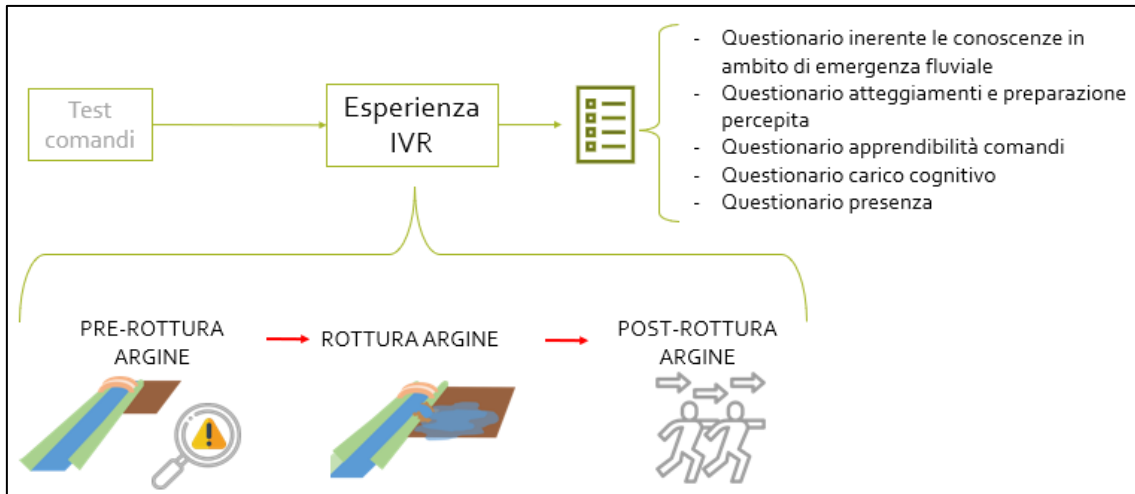


Fig. 24: fasi della procedura sperimentale successive al test dei comandi.

3.8 I partecipanti

Il campione sperimentale è composto da 93 partecipanti, di cui 44 femmine ($M = 24.03$; $DS = 2.91$) e 49 maschi ($M = 24.78$; $DS = 3.73$) che hanno preso volontariamente parte alla ricerca. I criteri di selezione utilizzati durante il reclutamento richiedevano agli utenti di essere destrimani e di età compresa tra i 18 e i 30 anni. Inoltre, i partecipanti non dovevano aver vissuto emergenze alluvionali, non dovevano aver collaborato con la Protezione Civile o con i Vigili del Fuoco, e non dovevano aver preso parte ad eventi formativi sulle emergenze fluviali. Si è optato per un campione di destrimani in quanto il controller utilizzato per le interazioni con l'ambiente virtuale è quello destro. Il campione è stato selezionato all'interno di una fascia d'età specifica tra i 18 e i 30 anni (adulthood emergente, fascia d'età delimitata da Arnett nel 2000) per limitare l'effetto della coorte di appartenenza sui dati raccolti. Inoltre, i partecipanti non dovevano essere utilizzatori abituali di visori di realtà virtuale, in quanto risulta importante che l'esperienza sia fruibile ed efficace anche al primo utilizzo e un frequente utilizzo non avrebbe permesso di valutare l'apprendibilità dei comandi dell'esperienza.

Infine, i dati sono stati raccolti in modo da controbilanciare le diverse condizioni sperimentali e da ottenere il bilanciamento di genere. Inoltre, è stata verificata l'omogeneità nei tre campioni di soggetti per quanto riguarda le conoscenze pregresse sulle alluvioni e la frequenza nell'utilizzo dei videogiochi.

CAPITOLO 4: Analisi e risultati

Di seguito vengono riportate le analisi effettuate e i risultati ottenuti sulla base delle ipotesi di ricerca precedentemente introdotte.

4.1 L'apprendibilità dei comandi

Per verificare l'impatto della manipolazione delle due variabili indipendenti (interazione e contesto) sull'apprendibilità dei comandi sono stati effettuati dei confronti per quanto riguarda la performance dell'utente al test dei comandi, al questionario di apprendibilità percepita e al questionario di mantenimento (compilato 15 giorni dopo l'esperienza).

Preliminarmente, sono stati effettuati una serie di test di Shapiro-Wilk che hanno evidenziato che i dati non seguivano una distribuzione normale per quanto riguarda i tempi di esecuzione del test dei comandi, il numero di errori effettuati durante il suo svolgimento, l'apprendibilità percepita dai partecipanti in merito ai comandi dell'esperienza e i punteggi ottenuti nel test di mantenimento ($p < 0.05$). Dunque, sono stati utilizzati dei test di tipo non parametrico per lo svolgimento delle seguenti analisi.

4.1.1 Effetto del contesto di familiarizzazione

sull'apprendibilità: familiarizzazione contestualizzata

vs. familiarizzazione neutra

È stato effettuato un confronto tra le performance inerenti al test dei comandi tra la condizione di familiarizzazione contestualizzata (C) e in ambiente neutro (N) attraverso dei test di Wilcoxon con correzione Benjamini-Hochberg (BH), confrontando i tempi impiegati per lo svolgimento dei 3 task previsti dal test e il relativo numero di errori.

Inoltre, sono stati confrontati l'apprendibilità percepita dall'utente e il punteggio ottenuto nel test di mantenimento tra le due condizioni. Per quanto riguarda il tempo di completamento del test non sono emerse differenze significative legate al contesto di familiarizzazione contrariamente a quanto ipotizzato (Tab. 1)

	<i>W</i>	<i>p</i> (BH)	Mdn (sec)		M (sec)		SD (sec)	
			C	N	C	N	C	N
TEMPO TOTALE TEST	599	0.844	3.17	3.60	4.83	5.60	4.08	5.69
Task 1 (selezione)	557.5	0.508	1.79	2.25	2.89	2.76	3.75	1.85
Task 2 (spostamento)	440	0.508	0.82	0.69	1.09	1.07	1.01	1.46
Task 3 (mappa comandi)	534	0.887	0.26	0.29	0.85	1.77	1.66	4.80

Tab. 1: risultati del test di Wilcoxon che mette a confronto i tempi di completamento tra le due condizioni di familiarizzazione contestualizzata e neutra, mediane, medie e deviazioni standard dei tempi impiegati a completare le diverse fasi del test dei comandi C e N.

Entrambe le tipologie di tutorial sembrano risultare efficaci, infatti il numero di errori mediano è <1 per entrambe (MC=0.52; MdnC=0; MN=0.19; MdnN=0). Se considerate singolarmente non vi sono differenze significative nel numero di errori compiuti dai partecipanti nelle diverse parti del test. Tuttavia, se si considerano gli errori commessi nel test complessivamente emerge una differenza significativa ($W=353.5$, $p=0.028$) a favore della condizione con tutorial con interazione nell'ambiente neutro (MN=0.19, MdnN=0) rispetto alla condizione di familiarizzazione contestualizzata (MC=0.52, MdnC=0). I risultati dettagliati sono riportati nella tabella di seguito (Tab. 2).

	<i>W</i>	<i>p</i> (BH)	Mdn		M		SD	
			C	N	C	N	C	N
ERRORI TOTALI TEST	353.5	0.028*	0	0	0.52	0.19	0.68	0.40
Errori Task 1 (selezione)	416.5	0.192	0	0	0.32	0.13	0.65	0.34
Errori Task 2 (spostamento)	465	0.333	0	0	0.03	0	0.18	0
Errori Task 3 (mappa comandi)	434	0.238	0	0	0.16	0.06	0.37	0.25

Tab. 2: risultati del test di Wilcoxon, che mette a confronto il numero di errori effettuati tra le due condizioni di familiarizzazione contestualizzata e neutra mediane, medie e deviazioni standard degli errori effettuati nelle diverse fasi del test dei comandi C e N ($p < 0.05$).*

Per quanto riguarda l'apprendibilità percepita dai partecipanti non sono state evidenziate differenze significative dovute al contesto di familiarizzazione (Tab. 3).

COSTRUTTO e item	<i>W</i>	<i>p</i> (BH)	Mdn		M		SD	
			C	N	C	N	C	N
APPRENDIBILITA'	599	0.096	5.57	6.14	5.47	5.79	0.816	1.05
L1. Facilità comandi.	557.5	0.422	6	6	5.71	6.10	1.35	0.98
L2. Intuitività comandi.	564	0.422	6	6	5.84	6.06	0.90	0.99
L3. Memorabilità comandi.	528.5	0.549	6	6	5.97	6.10	1.11	1.16
L4. Tempo apprendimento comandi.	485	0.952	6	6	6.06	6.00	1.03	1.32
L5. Necessità aiuto.	553	0.422	5	6	4.45	4.94	1.93	1.86
L6. Necessità info.	571.5	0.422	6	6	5.26	5.65	1.29	1.28
L7. Necessità pratica.	623.5	0.270	5	6	5.00	5.68	1.44	1.49

Tab. 3: risultati del test di Wilcoxon che mette a confronto l'apprendibilità percepita tra le due condizioni di familiarizzazione contestualizzata e neutra, mediane, medie e deviazioni standard del questionario self-report inerente all'apprendibilità dei comandi C e N.

Infine, non sono state evidenziate delle differenze significative neanche per quanto riguarda il mantenimento della localizzazione dei comandi (Fig. 25) verificato attraverso il questionario somministrato 15 giorni dopo l'esperienza.

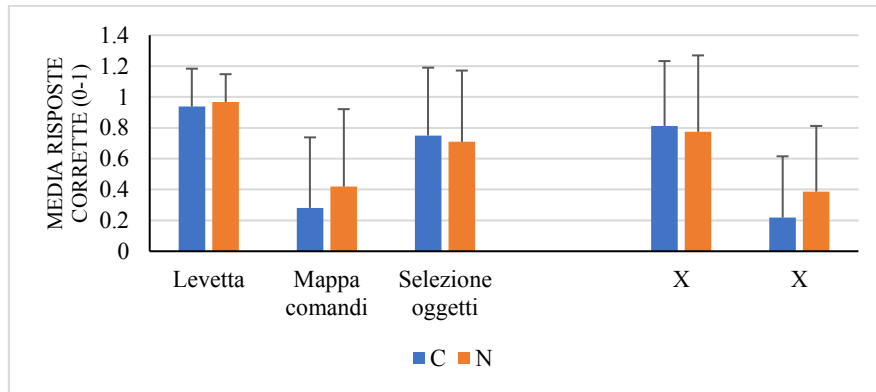


Fig. 25: grafico che rappresenta le medie e le deviazioni standard del questionario di mantenimento sulla localizzazione dei comandi dell'esperienza C e N. Le barre contrassegnate dalla X indicano comandi non presenti nell'esperienza che quindi non avevano una funzione specifica.

4.1.2 Effetto dell'interazione con l'ambiente virtuale

sull'apprendibilità: familiarizzazione con interazione

vs. familiarizzazione senza interazione

È stato effettuato un confronto tra le performance inerenti al test dei comandi nella condizione di familiarizzazione con (C) e senza (E) interazione con l'ambiente attraverso dei test di Mann Whitney con correzione Benjamini-Hochberg (BH). In particolare, sono stati confrontati, i tempi impiegati per lo svolgimento dei 3 task previsti dal test e il numero di errori. Inoltre, è stato effettuato un confronto inerente all'apprendibilità percepita dall'utente e al punteggio ottenuto nel test di mantenimento.

Per quanto riguarda le performance nel test sono state evidenziate delle differenze dovute alla presenza o all'assenza di interazione con l'ambiente virtuale durante il tutorial, come rappresentato in Tab. 4.

	<i>W</i>	<i>p</i> (BH)	Mdn (sec)		M (sec)		SD (sec)	
			C	E	C	E	C	E
TEMPO TOTALE TEST	747	<0.001 *	3.17	5.61	4.83	5.18	4.08	4.48
Task 1 (selezione)	755	<0.001 *	1.79	3.17	2.89	5.33	3.75	4.48
Task 2 (spostamento)	678	0.007 *	0.82	1.19	1.09	3.03	1.01	4.31
Task 3 (mappa comandi)	598	0.10	0.26	0.42	1.74	1.74	1.66	4.00

Tab. 4: risultati del test di Wilcoxon che mette a confronto i tempi di completamento tra le due condizioni di familiarizzazione con e senza interazione, mediane, medie e deviazioni standard dei tempi impiegati a completare le diverse fasi del test dei comandi C e E ($p < 0.05$).*

In particolare, è emerso che nella condizione E (ME=5.18 secondi; MdnE=5.61) impiegavano più tempo rispetto alla condizione C (MC=4.83 secondi; MdnC=3.17) per eseguire il test ($W=747$, $p < 0.001$). Nello specifico, la differenza riguarda la parte del test sulla selezione (ME=5.33 secondi; MdnE=3.17, MC=2.89 secondi, MdnC=1.79, $W=755$, $p < 0.001$) e sullo spostamento (ME=3.03 secondi; MdnE=1.19, MC=1.09 secondi; MdnC=0.82, $W=678$, $p=0.007$).

Anche se in generale il numero di errori commessi è prossimo allo zero, e due tipologie di tutorial non sembrano ugualmente efficaci nel prevenire gli errori durante il test ($W=648$, $p=0.012$). Infatti, il numero di errori mediano < 1 per quanto riguarda la condizione C (MC=0.52; MdnC=0), mentre nella condizione E è =1 (MdnC=0; MdnE=1).

In particolare, i partecipanti della condizione E avrebbero mostrato maggiori difficoltà nell'individuazione del comando utilizzato per muoversi nell'ambiente rispetto alla condizione C (ME=0.68; MdnE=0; MC=0.03; MdnC=0; MdnC= $W=591$, $p=0.034$) (Tab.

5).

	W	p (BH)	Mdn		M		SD	
			C	E	C	E	C	E
ERRORI TOTALI TEST	648	0.012*	0	1	0.52	1.74	0.68	2.31
Errori Task 1 (selezione)	596.5	0.083	0	0	0.32	0.84	0.65	1.10
Errori Task 2 (spostamento)	591	0.034*	0	0	0.03	0.68	0.18	1.58
Errori Task 3 (mappa comandi)	485.5	0.921	0	0	0.16	0.23	0.37	0.56

Tab. 5: risultati del test di Wilcoxon che mette a confronto gli errori effettuati tra le due condizioni di familiarizzazione con e senza interazione, mediane, medie e deviazioni standard degli errori effettuati nelle diverse fasi del test dei comandi C ed E ($p < 0.05$).*

Anche per quanto il punteggio complessivo di apprendibilità percepita emerge una differenza significativa a favore della condizione di apprendimento contestualizzato rispetto a quella esterna (ME=4.89, MdnE=4.86, MC= 5.47, MdnC=5.57, $W=327.5$, $p=0.032$). In particolare, l'apprendimento dei comandi è stato percepito come meno facile ($W=335.5$, $p=0.035$) ed è stata inoltre percepita come maggiore la necessità di fare pratica per familiarizzare con i comandi ($W=287$, $p=0.006$) nella condizione E rispetto alla condizione C (Tab. 6).

	W	p (BH)	Mdn		M		SD	
DIMENSIONI e item			C	E	C	E	C	E
APPRENDIBILITA'	327.5	0.032 *	5.57	4.86	5.47	4.89	0.816	1.19
L1. Facilità comandi.	335.5	0.035 *	6	5	5.71	5.13	1.35	1.28
L2. Intuitività comandi.	565.5	0.090	6	5	5.84	5.23	0.90	1.43
L3. Memorabilità comandi.	578.5	0.133	6	6	5.97	5.48	1.11	1.36
L4. Tempo apprendimento comandi.	365	0.091	6	6	6.06	5.45	1.03	1.43
L5. Necessità aiuto.	503	0.752	5	5	4.45	4.61	1.93	1.99
L6. Necessità info.	349.5	0.057	6	4	5.26	4.45	1.29	1.67
L7. Necessità pratica.	287	0.006 *	5	3	5	3.84	1.44	1.81

Tab. 6: risultati del test di Wilcoxon che mette a confronto l'apprendibilità percepita tra le due condizioni di familiarizzazione con e senza interazione, mediane, medie e deviazioni standard del questionario self-report inerente all'apprendibilità dei comandi C ed E (* $p < 0.05$).

Infine, non sono state evidenziate delle differenze significative per quanto riguarda il mantenimento della localizzazione dei comandi (Fig. 26) misurato attraverso il questionario somministrato 15 giorni dopo l'esperienza.

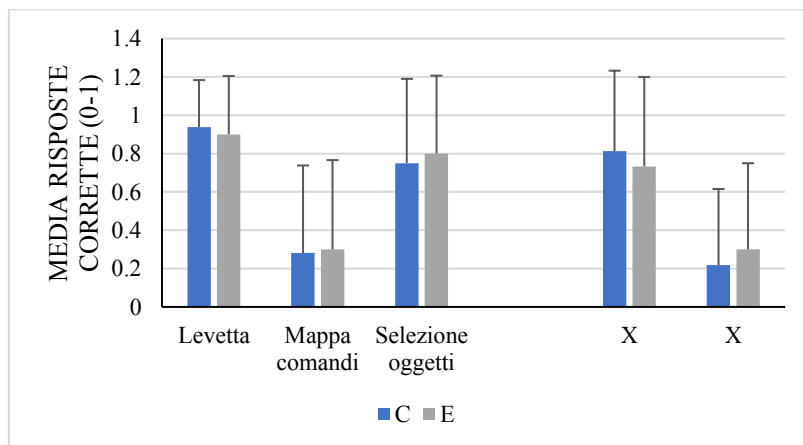


Fig. 26: Grafico che rappresenta le medie e le deviazioni standard della parte del questionario di mantenimento sulla localizzazione dei comandi dell'esperienza C ed E. Le barre contrassegnate dalla X indicano comandi non presenti nell'esperienza che quindi non avevano una funzione specifica.

4.2 L'apprendimento del sapere convogliato

Come descritto in dettaglio nel paragrafo 3.6.3, per la misurazione dell'apprendimento inerente alle alluvioni è stato elaborato un metodo di scoring che permettesse l'attribuzione di un punteggio alle risposte fornite dai partecipanti. In particolare, è stato fornito un punteggio inerente all'apprendimento concettuale (che comprendeva gli indicatori di pericolo e le zone a rischio durante le alluvioni) di massimo 9 punti e all'apprendimento pratico (che riguardava i comportamenti corretti e scorretti da mettere in atto durante un'alluvione all'aperto o al chiuso, e le azioni da mettere in atto una volta raggiunto un luogo sicuro) di massimo 21 punti. I partecipanti potevano dunque totalizzare un punteggio al massimo di 30.

I punteggi sono stati attribuiti sulla base dello schema di scoring riportato in Appendice C. I punti sono stati assegnati sulla base della correttezza del significato fornito piuttosto che dalla reminiscenza del termine specifico (ad esempio, nel caso in cui fosse fornita la risposta "vortici d'acqua" alla domanda "Quali sono i principali indicatori dello stato di allerta alluvionale?" è stato attribuito 1 punto nonostante il termine esatto fosse "mulinelli"). Questa scelta metodologica è stata effettuata in quanto durante un reale allerta alluvionale risulta importante che la persona posseda queste conoscenze indipendentemente dal fatto che si ricordi o meno il termine corretto.

4.2.1 Confronto dell'apprendimento e del mantenimento del sapere convogliato

Per valutare l'efficacia dell'esperienza è stato confrontato l'apprendimento del sapere convogliato nelle diverse condizioni sperimentali per valutare l'impatto delle diverse tipologie di tutorial sulle conoscenze trasferite.

Come anticipato, l'apprendimento è stato misurato prima (T1), dopo (T2) e a 15 giorni dall'esperienza (T3). Anche in questo caso sono stati effettuati una serie di test di Shapiro-Wilk preliminari che hanno evidenziato la non normalità della distribuzione dei dati per quanto riguarda le conoscenze pregresse (T1) e le conoscenze mantenute (T3) dai partecipanti ($p < 0.05$). Per quanto riguarda le conoscenze acquisite, il test ha evidenziato invece una distribuzione normale ($p = 0.455$). Siccome non tutte le distribuzioni dei dati di apprendimento hanno mostrato una distribuzione normale, sono stati effettuati dei test non parametrici.

Il grafico di seguito riportato rappresenta le medie dei punteggi al test di apprendimento nelle 3 condizioni sperimentali (Fig. 27). In generale, si evidenzia come l'esperienza abbia un impatto positivo sulle conoscenze inerenti alle alluvioni possedute dai partecipanti prima di partecipare all'esperimento in tutte le condizioni, anche se dopo un periodo di 15 giorni il punteggio medio mostra un lieve declino.

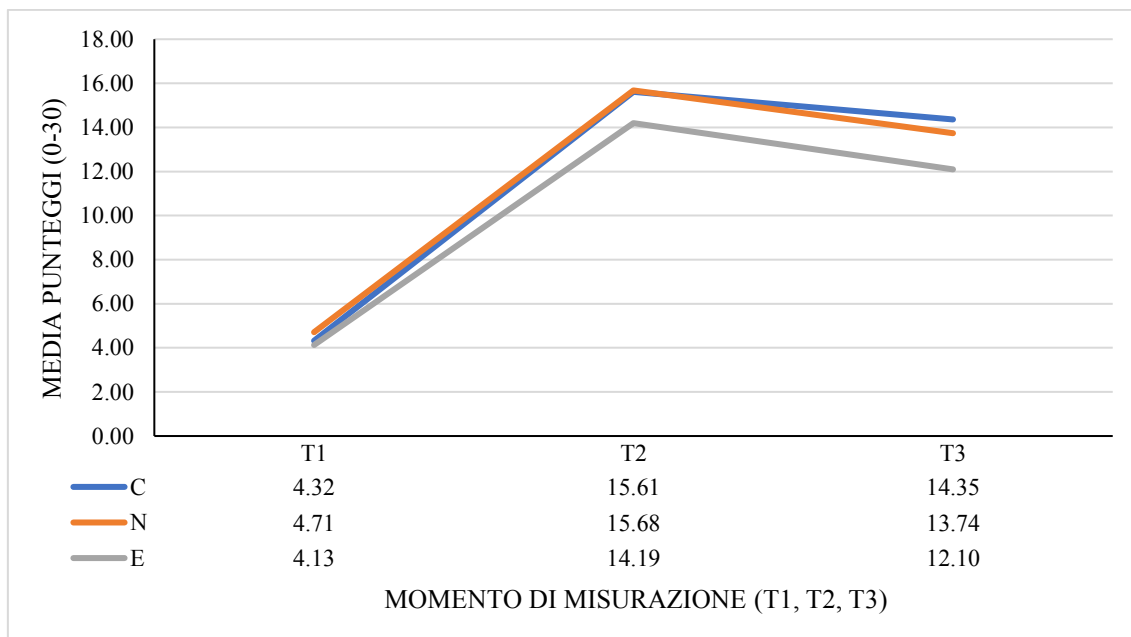


Fig. 27: grafico che rappresenta le medie dei punteggi delle conoscenze pregresse (T1), delle conoscenze apprese (T2) e delle conoscenze mantenute (T3) nelle condizioni sperimentali di familiarizzazione in VR contestualizzata (C), in VR neutra (N) e di familiarizzazione esterna (E).

Per valutare l’impatto dell’esperienza e del tempo trascorso, sulle conoscenze relative all’emergenza fluviale sono stati calcolati i delta tra i punteggi ottenuti tra T2 e T1, tra T3 e T2 e tra T3 e T1.

Sono stati dunque effettuati dei test non parametrici di Kruskal-Wallis (con correzione BH) volti a confrontare le differenze di apprendimento T2-T1, T3-T2 e T3-T1 tra le 3 condizioni sperimentali.

Per quanto riguarda l’incremento delle conoscenze tra la misurazione effettuata prima e immediatamente dopo l’esperienza (T2-T1), i risultati delle analisi non hanno evidenziato differenze significative tra le tre condizioni sperimentali (Tab. 7). Un risultato analogo si ottiene anche confrontando il livello delle conoscenze subito dopo l’esperienza e a distanza di 15 giorni tra le 3 condizioni sperimentali (Tab. 8).

	χ^2	p (BH)	Mdn			M			SD		
TOTALE, dimensioni e item			N	C	E	N	C	E	N	C	E
APPRENDIMENTO (T1T2)	1.664	0.435	11	11	11	10.97	11.29	10.06	3.34	3.94	3.71
<i>Apprendimento concettuale</i>	3.217	0.200	4	5	4	4.35	4.55	3.81	1.42	1.39	1.82
EF1. Indicatori di pericolo	5.696	0.058	4	4	3	3.48	3.77	3.06	1.06	1.09	1.36
EF2. Zone a rischio	0.245	0.885	1	1	1	0.87	0.77	0.77	1.02	0.84	1.06
<i>Apprendimento pratico</i>	0.710	0.701	7	7	6	6.61	6.74	6.26	2.79	3.17	2.73
EF3. Corretti aperto	0.326	0.850	1	1	1	1.13	1.03	1.00	1.02	1.20	1.10
EF4. Corretti chiuso	4.625	0.850	1	1	1	0.77	1.32	1.06	0.80	0.98	1.15
EF5. Errati aperto	0.531	0.248	2	2	2	1.84	1.87	1.71	1.21	1.20	1.13
EF6. Errati chiuso	4.625	0.850	2	1	1	1.35	1.26	1.32	1.05	1.03	1.14
EF7. Luogo sicuro	8.423	0.074	2	1	1	1.77	1.32	1.23	0.80	0.83	0.72

Tab. 7: risultati dei test di Kruskal-Wallis effettuati sull'apprendimento (T2-T1)

	χ^2	p (BH)	Mdn			M			SD		
TOTALE, dimensioni e item			N	C	E	N	C	E	N	C	E
APPRENDIMENTO (T2T3)	0.744	0.702	-2	-2	-2	-1.94	-1.26	-2.10	2.16	2.56	3.20
<i>Apprendimento concettuale</i>	0.706	0.200	0	0	0	-0.29	-0.32	-1.48	2.16	1.08	1.61
EF1. Indicatori di pericolo	0.675	0.714	0	0	-1	-0.45	-0.35	-0.61	0.81	0.88	1.02
EF2. Zone a rischio	1.599	0.450	0	0	0	0.16	0.03	0.00	0.64	0.60	1.13
<i>Apprendimento pratico</i>	1.566	0.457	-2	-1	-1	6.61	6.74	6.26	1.89	2.11	2.43
EF3. Corretti aperto	3.704	0.157	0	0	0	0.10	0.39	-0.03	0.94	1.02	0.84
EF4. Corretti chiuso	1.792	0.408	0	0	0	-0.10	-0.48	-0.06	1.08	1.23	1.39
EF5. Errati aperto	0.183	0.913	-1	-1	-1	-0.84	-0.71	-0.77	1.24	1.35	1.12
EF6. Errati chiuso	4.086	0.130	0	0	0	-0.39	0.06	-0.48	1.15	1.09	1.10
EF7. Luogo sicuro	2.664	0.264	0	0	0	-0.42	-0.19	-0.13	0.80	0.83	0.72

Tab. 8: risultati dei test di Kruskal-Wallis effettuati sull'apprendimento (T3-T2).

Per quanto riguarda la differenza tra le conoscenze misurate prima dell'esperienza e a distanza di 15 giorni (T3-T1) invece, i risultati delle analisi hanno evidenziato differenze significative tra le condizioni 3 condizioni ($\chi^2=6.532$, $p=0.038$) come riportato da Tab. 9. In particolare, l'apprendimento concettuale ($\chi^2=6.153$, $p=0.046$) effettivamente acquisito

è diverso nei 3 campioni considerati, nello specifico per quanto riguarda la conoscenza degli indicatori di pericolo ($\chi^2=11.16, p=0.008$).

	χ^2	p (BH)	Mdn			M			SD		
TOTALE, dimensioni e item			N	C	E	N	C	E	N	C	E
APPRENDIMENTO (T1T3)	6.532	0.038*	8	10	8	9.03	10.03	7.97	3.27	3.31	3.57
<i>Apprendimento concettuale</i>	6.153	0.046*	4	4	3	4.06	4.23	3.19	1.41	1.23	1.88
EF1. Indicatori di pericolo	11.16	0.008*	3	3	2	3.03	3.42	2.45	1.06	1.09	1.36
EF2. Zone a rischio	0.667	0.716	1	1	1	1.03	0.81	0.74	1.02	0.84	1.06
<i>Apprendimento pratico</i>	3.982	0.137	5	6	5	4.97	5.81	4.77	2.69	2.63	2.38
EF3. Corretti aperto	3.232	0.402	1	2	1	1.13	1.42	0.94	1.20	1.15	1.09
EF4. Corretti chiuso	2.588	0.402	0	1	1	0.55	0.77	1.00	1.23	1.15	0.97
EF5. Errati aperto	0.660	0.719	1	1	1	0.97	1.16	0.90	0.95	1.13	1.25
EF6. Errati chiuso	3.203	0.402	1	1	1	0.97	1.32	0.84	1.02	0.98	1.09
EF7. Luogo sicuro	2.271	0.402	2	1	1	1.35	1.13	1.10	0.91	0.96	0.60

Tab. 9: risultati dei test di Kruskal-Wallis effettuati sull'apprendimento effettivo (T3-T1).

Una serie di test di Wilcoxon per campioni appaiati (con correzione BH) sono stati condotti per approfondire le analisi. Questi hanno evidenziato che i partecipanti che hanno svolto il tutorial contestualizzato (MC=10.03, MdnC=10) hanno conseguito un migliore apprendimento effettivo rispetto a coloro che avevano eseguito la familiarizzazione esterna (ME=7.97, MdnE=8; $\chi^2=6.532, p=0.048$) (Fig. 28). In particolare, la differenza riguarderebbe la conoscenza concettuale, nello specifico quali sarebbero gli indicatori di pericolo che presagiscono una possibile alluvione (MC=3.42, MdnC=3, ME=2.45, MdnE=2, $\chi^2=11.16, p=0.003$).

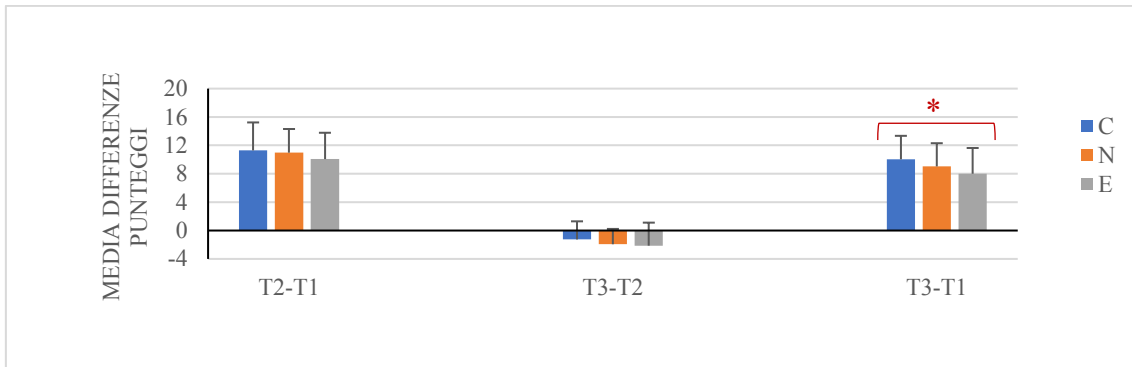


Fig. 28: medie delle differenze nei punteggi di apprendimento T2-T1, T3-T2 e T3-T1 nelle diverse condizioni sperimentali (* $p < 0.05$). Tab. 7: risultati dei test di Kruskal-Wallis effettuati sull'apprendimento (T2-T1)

4.3 Impatto sul carico cognitivo e sul senso di presenza

È stato indagato l'impatto della condizione sperimentale sul carico cognitivo riportato dai partecipanti nelle diverse condizioni sperimentali attraverso dei test non parametrici di Kruskal-Wallis (con correzione BH). Come evidenziato dalla tabella di seguito riportata non sono state identificate differenze nelle diverse dimensioni del carico cognitivo esaminate tra le 3 condizioni (Tab. 10).

CARICO COGNITIVO	χ^2	p (BH)	Mdn			M			SD		
DIMENSIONI, SOTTODIMENSIONI e item			N	C	E	N	C	E	N	C	E
CARICO INTRINSECO (CI)	0.390	0.823	3	3	3	2.88	3.05	2.99	1.02	1.17	1.16
CL1. Complessità argomento	3.540	0.510	4	5	4	3.35	4.10	3.74	1.47	1.90	1.67
CL2. Complessità procedure	0.042	0.979	3	2	3	2.97	3.03	3.00	1.97	1.56	1.34
CL3. Complessità concetti	0.425	0.979	2	2	2	2.23	2.03	2.32	1.19	0.80	1.23
CARICO ESTRANEO (CE)	0.929	0.823	1.94	1.83	1.94	1.83	1.80	2.07	0.56	0.66	0.91
<i>ISTRUZIONI (CE)</i>	1.231	0.823	2.00	1.67	2.00	1.67	1.70	2.01	0.59	0.69	1.10
CL4. Chiarezza modalità (audio)	3.570	0.503	2	2	2	1.77	1.81	2.32	0.99	0.79	1.40
CL5. Ostacolo comprensione	1.795	0.612	2	2	2	1.58	1.68	1.84	0.56	0.83	0.78
CL6. Contenuto non chiaro	0.258	0.879	2	2	1	1.65	1.61	1.87	0.61	0.72	1.45
<i>INTERAZIONI (CE)</i>	3.652	0.483	2.00	2.00	2.25	1.85	1.85	2.31	0.63	0.69	1.11
CL7. Chiarezza	5.080	0.244	2	2	2	1.71	1.87	2.32	0.59	0.99	1.17
CL8. Ostacolo comprensione	2.072	0.473	2	2	2	1.71	1.74	2.10	0.64	0.93	1.27
CL9. Ostacolo apprendimento	0.267	0.875	2	2	2	1.84	1.74	2.06	0.78	0.77	1.46
CL10. Difficoltà padroneggiare	4.209	0.244	2	2	2	2.13	2.06	2.74	1.23	0.89	1.48
<i>AMBIENTE (CE)</i>	0.905	0.823	2.00	1.50	2.00	1.99	1.84	1.90	0.80	0.85	0.78
CL11. Chiarezza materiale	0.800	0.767	2	2	2	1.97	1.97	1.81	0.87	1.17	0.91
CL12. Ostacolo comprensione	0.530	0.767	2	2	2	1.81	1.61	1.77	0.95	0.67	0.80
CL13. Contenuto irrilevante	0.536	0.767	2	2	2	2.03	1.94	2.00	0.91	1.00	0.86
CL14. Difficoltà identificazione info. apprendimento	1.910	0.767	2	2	2	2.16	1.84	2.03	1.24	1.10	1.02
CARICO GERMANO (CG)	6.324	0.126	6.00	6.25	6.00	6.00	6.35	6.10	0.60	0.83	0.54
CL15. Conoscenza argomenti presentati	3.571	0.260	6	6	6	6.00	6.32	6.06	0.65	0.77	0.68
CL16. Conoscenza emergenze alluvionali	2.694	0.260	6	6	6	6.10	6.35	6.16	0.71	0.94	0.58
CL17. Conoscenza procedure alluvioni	7.634	0.088	6	7	6	5.84	6.42	6.23	0.67	1.00	0.62
CL18. Concetti/definizioni alluvioni	3.568	0.260	6	6	6	6.06	6.29	5.97	0.82	0.93	0.84

Tab. 10: risultati dei test di Kruskal-Wallis sul carico cognitivo.

Il test di Kruskal-Wallis non evidenzia una differenza significativa tra le 3 condizioni. Sono stati inoltre condotti una serie di test di Wilcoxon per campioni appaiati (con correzione BH). In questo modo, è emerso che le condizioni C ed E (MC=6.35, MdnC=6.25, ME=6.10, MdnE=6.00, $p=0.047$) e N ed C (MC=6.36, MdnC=6.25, MN=6.00, MdnN=6.00, $p=0.047$) abbiano ottenuto delle valutazioni differenti per quanto riguarda il carico germano. In particolare, i partecipanti nella condizione C si sono sentiti maggiormente in possesso delle conoscenze inerenti alle procedure da mettere in atto in caso di alluvione rispetto ai partecipanti nella condizione N (MN=5.84, MdnN=6, MC=6.42, MdnC=7, $p=0.024$).

Un'analisi analoga è stata condotta per indagare differenze relative al senso di presenza tra le diverse condizioni sperimentali. Come riportato dalla tabella di seguito, non sono state evidenziate differenze dal test di Kruskal-Wallis (Tab. 11),

SENSO DI PRESENZA	χ^2	p (BH)	Mdn			M			SD		
			N	C	E	N	C	E	N	C	E
DIMENSIONI e item											
COINVOLGIMENTO	0.025	0.988	4.64	4.64	4.73	4.67	4.74	4.70	0.96	0.83	0.82
P1. Controllo eventi.	2.720	0.891	5	5	4	5.16	4.77	4.65	1.44	1.18	1.28
P2. Reattività ambientale.	0.208	0.891	5	5	5	4.94	4.84	4.87	1.21	1.13	1.45
P3. Naturalezza interazioni.	0.425	0.891	4	4	4	4.00	4.06	4.23	1.41	1.21	1.33
P4. Coinvolgimento aspetti visivi.	0.593	0.891	5	5	6	5.10	5.10	5.35	1.47	1.35	1.14
P5. Naturalezza sistema di movimento.	0.039	0.891	4	3	4	3.35	3.32	3.29	1.47	1.38	1.62
P6. Movimento elementi nello spazio.	1.971	0.891	4	4	4	4.26	4.74	4.29	1.32	1.15	1.24
P7. Coerenza virtuale-reale.	0.176	0.891	4	4	5	4.35	4.45	4.48	1.33	1.34	1.57
P8. Ispezione visiva.	0.785	0.891	5	6	5	5.29	5.45	5.16	1.30	1.26	1.34
P13. Movimento convincente.	0.934	0.891	5	5	5	4.58	5.03	4.94	1.78	1.30	1.46
P16. Coinvolgimento esperienza.	1.661	0.891	6	6	6	5.68	5.87	6.06	1.11	1.02	0.77
P24. Identificazione oggetti.	0.186	0.891	5	5	4	4.68	4.48	4.42	1.33	1.48	1.91
ADATTAMENTO/ IMMERSIONE	2.258	0.647	5.75	5.38	5.25	5.52	5.46	5.24	0.88	0.76	0.88
P9. Previsione conseguenze azioni.	5.613	0.184	5	5	4	5.10	5.03	4.35	1.22	0.95	1.47
P18. Tempo adattamento.	0.927	0.788	6	5	6	5.61	5.39	5.74	1.43	1.31	1.39
P19. Padronanza acquisita interazioni.	0.299	0.861	6	6	6	5.61	5.48	5.74	1.38	1.46	1.21
P22. Concentrazione.	6.219	0.184	6	5	4	5.58	5.19	4.74	1.29	1.28	1.34
P23. Coinvolgimento sensi.	1.797	0.651	5	5	6	5.42	5.45	5.74	1.12	0.93	1.06
P25. <i>Flow</i> .	2.113	0.651	5	6	6	5.45	5.65	5.45	1.03	1.40	1.12
P26. Adattamento controller.	5.344	0.184	6	6	5	5.58	5.48	4.74	1.52	1.29	1.55
P27. Coerenza sensoriale.	0.743	0.788	6	6	6	5.77	5.97	5.71	1.28	0.87	1.10
FEDELTA' SENSORIALE	4.940	0.338	5.6	5.8	5.4	5.19	5.36	5.60	0.94	0.92	0.80
P5. Coinvolgimento suoni.	0.529	0.842	6	6	6	5.39	5.61	5.39	1.11	1.23	1.33
P11. Accuratezza identificazione suoni.	0.344	0.842	6	6	6	5.58	5.65	5.61	1.43	1.31	0.99
P12. Accuratezza localizzazione suoni.	2.670	0.439	5	6	5	4.94	5.42	4.90	1.34	1.23	1.45
P14. Esame. da vicino.	3.718	0.390	6	6	5	5.35	5.68	5.10	1.38	1.17	1.16
P15. Esame: diversi punti di vista.	5.003	0.390	5	6	5	5.29	5.68	4.94	1.32	1.22	1.34
QUALITA' INTERFACCIA	1.124	0.760	5.33	5.67	5.33	5.24	5.39	5.15	0.85	1.04	0.94
P17. Ritardo azioni-risposta.	0.900	0.638	6	6	6	5.35	5.65	5.32	1.47	1.08	1.30
P20. Interferenza grafica.	1.310	0.638	5	6	5	4.81	5.23	5.10	1.64	1.65	1.27
P21. Interferenza controller.	2.191	0.638	6	6	5	5.55	5.29	5.03	1.34	1.64	1.43

Tab. 11: risultati dei test di Kruskal-Wallis sul senso di presenza.

Anche in questo caso sono stati condotti una serie di test di Wilcoxon per campioni appaiati (con correzione BH), in questo caso però non sono state evidenziate differenze significative tra la condizione C ed E e C ed N. Tuttavia, per quanto riguarda la dimensione di adattamento/immersione, i partecipanti nella condizione N ($M=5.58$, $MdnN=6$) hanno affermato di riuscire a concentrarsi nei compiti dell'esperienza piuttosto che sui meccanismi da mettere in atto per compiere le diverse attività maggiormente rispetto alla condizione E ($ME=4.74$, $MdnE=4$; $p=0.048$).

4.4 Variabili che correlano con la performance di apprendimento e di gioco

Per indagare se il carico cognitivo estraneo (CE), il senso di presenza (P) e l'apprendibilità (sia percepita sia in termini di performance al test dei comandi) oltre che alle condizioni sperimentali, abbiano avuto un ruolo sulla performance dell'utente sia in termini di apprendimento (T2) sia in termini di performance all'IVR SG è stata condotta un'analisi delle correlazioni.

Per queste analisi la condizione sperimentale è stata considerata nelle variabili dicotomiche caratterizzate dalla presenza o dall'assenza del contesto dell'argine (presente in C ed E) e dell'interazione (presente in C e N).

La performance di apprendimento era un punteggio attribuito attraverso la tabella di scoring in Appendice C che andava da un minimo di 0 ad un massimo di 30 punti; come anticipato l'apprendimento riguardava sia conoscenze teoriche (CT, 9 punti) che pratiche (CP, 21 punti). Queste 2 dimensioni di apprendimento sono state considerate separatamente.

La performance dell'utente in merito all'IVR SG riguardava sia il numero di indicatori individuati nella prima fase dell'esperienza (0-10) (IND), ma anche il numero di tentativi

effettuati prima di raggiungere un luogo sicuro nella seconda fase (non è stato imposto un limite massimo di tentativi) (BAD). In questo senso, anche la performance dell'utente nell'IVR SG aveva a che fare con le conoscenze teoriche e pratiche testate dal questionario post esperienza. Le 2 tipologie di performance sono state dunque prese in considerazione separatamente.

Preliminarmente sono state verificate le correlazioni tra le performance di apprendimento e nell'IVR SG attraverso l'indice non parametrico per ranghi di Spearman (ρ) tra i costrutti di interesse. Una correlazione di media entità ($\rho = 0.43$) è stata individuata tra il punteggio inerente alle conoscenze teoriche (CT) e alla performance nella fase di ricerca di indicatori nell'IVR SG (IND) ($S=77022, p<0.001$). Sono state calcolate le correlazioni con le performance diverse tipologie di performance con il senso di presenza, il carico estraneo, la condizione sperimentale e l'apprendibilità dei comandi (Tab. 12).

<i>Indici di Spearman (ρ)</i>	CT	CP	IND	BAD
COINVOLGIMENTO (P)	0.03	0.04	0.19	0.01
FEDELTA' SENSORIALE (P)	0.13	0.29*	0.18	-0.06
QUALITA' INTERFACCIA (P)	0.19	0.10	0.36*	-0.10
ADATTAMENTO/IMMERSIONE (P)	0.14	0.10	0.37*	-0.05
INTERAZIONE	0.14	0.17	0.11	0.07
CONTESTO	-0.03	-0.09	0.07	-0.02
CARICO ISTRUZIONI (CE)	-0.01	-0.12	-0.07	-0.01
CARICO INTERAZIONI(CE)	-0.01	-0.17	-0.22*	0.08
CARICO AMBIENTE (CE)	-0.01	-0.09	-0.13	0.06
APPRENDIBILITA' PERCEPITA	0.23*	0.11	0.39*	-0.05
TEST COMANDI (TEMPO)	0.01	-0.01	-0.15	0.04
TEST COMANDI (ERRORI)	-0.06	-0.04	-0.01	0.03

Tab. 12: correlazioni delle variabili indipendenti con le variabili dipendenti. La correlazione risulta presente quando

$\rho > 0.20$.

I test di correlazione hanno evidenziato alcune correlazioni di bassa entità ($0.20 < \rho < 0.29$), in particolare, tra CT con l'apprendibilità percepita ($S=102662, p=0.024$) e CC con la fedeltà sensoriale ($S=94623, p=0.004$). Correlazioni di modesta entità sono state evidenziate per quanto riguarda la performance durante la fase di ricerca degli indicatori dell'esperienza con la qualità dell'interfaccia ($S=85156, p<0.001$), l'adattamento/immersione ($S=83902, p<0.001$) e l'apprendibilità percepita ($S=80618, p<0.001$); il carico estraneo relativo alle interazioni sembra invece avere una bassa correlazione negativa con la performance nella prima fase dell'esperienza ($S=164142, p=0.030$). Per quanto riguarda la fase di fuga in un luogo sicuro non sembrano esserci correlazioni con i costrutti di interesse. In sintesi, sono state trovate diverse correlazioni tra i fattori analizzati, con valori di intensità variabile; la correlazione indica il grado di associazione tra i costrutti, non implica un nesso causale.

5. Discussione

Nel presente elaborato è stato riportato uno studio volto ad approfondire la relazione tra design del tutorial, l'apprendibilità dei comandi, il carico cognitivo, il senso di presenza e l'apprendimento per quanto riguarda un'esperienza di realtà virtuale immersiva per l'insegnamento di concetti e comportamenti a supporto delle emergenze fluviali. In particolare, sono stati manipolati il contesto virtuale nel quale il tutorial viene eseguito (contestualizzato vs. neutro) e la possibilità di interagire nell'ambiente virtuale durante la fase di familiarizzazione con i comandi (familiarizzazione con interazione nell'ambiente virtuale vs. esterna).

La prima ipotesi suggerisce un effetto positivo sull'apprendibilità dei comandi di un tutorial di tipo contestualizzato e interattivo, rispetto ad un tutorial interattivo non contestualizzato e ad un tutorial contestualizzato non interattivo. I risultati hanno fornito parziale sostegno a questa ipotesi. Infatti, per quanto riguarda l'effetto del contesto, la familiarizzazione in ambiente virtuale neutro o contestualizzato non ha portato a differenze significative dal punto di vista dell'apprendibilità percepita. Tuttavia, per quanto riguarda la performance nel test dei comandi, i partecipanti nella condizione con tutorial contestualizzato hanno compiuto più errori rispetto alla condizione con tutorial neutro, contrariamente a quanto ipotizzato. Questo risultato potrebbe essere legato al fatto che le informazioni contestuali, abbiano avuto un effetto distraente piuttosto che di preformazione e segmentazione, peggiorando quindi la performance al test (Mayer & Moreno, 1998).

Per quanto riguarda la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante il tutorial, questa ha un effetto positivo sull'apprendibilità dei comandi. Infatti, i partecipanti che

sottoposti al tutorial interattivo contestualizzato hanno ottenuto performance migliori sia nel test dei comandi sia per l'apprendibilità percepita, rispetto a coloro sottoposti al tutorial contestualizzato non interattivo.

Questi risultati evidenziano che la ricchezza del tutorial contestualizzato potrebbe risultare distraente per l'apprendibilità dei comandi. Tuttavia, è preferibile che l'utente possa familiarizzare con un tutorial interattivo. L'interazione nell'ambiente virtuale sembra dunque avere un impatto positivo per quanto riguarda l'apprendibilità, in contrasto con quanto riportato da Ho (2017).

La seconda ipotesi sosteneva che l'interazione nell'ambiente virtuale contestualizzato durante la fase di tutorial comporti un livello di apprendimento e mantenimento del sapere convogliato maggiore rispetto alle condizioni di familiarizzazione non interattiva e in ambiente VR interattivo neutro. Anche in questo caso l'ipotesi è stata parzialmente confermata. Infatti, il livello di apprendimento misurato 15 giorni dopo l'esperienza è maggiore quando i partecipanti sono stati sottoposti a tutorial contestualizzato interattivo rispetto a coloro che sono stati sottoposti a tutorial contestualizzato non interattivo in VR. Tuttavia, ma non vi sarebbero differenze tra il tutorial interattivo neutro e il tutorial interattivo contestualizzato. Sebbene il supporto a questa ipotesi non sia totale ma parziale, ci permette di evidenziare come il design del tutorial sia un elemento che può avere un impatto significativo sull'apprendimento del sapere convogliato. Alcuni autori hanno messo in luce come nei lavori di ricerca che si occupano di IVR educative i tutorial spesso non vengano inclusi, nonostante siano uno strumento che permetterebbe di affrontare il *novelty effect* dovuto all'impiego dell'HMD e di colmare il *gap* responsabile dei risultati negativi talvolta ottenuti in termini di apprendimento (Miguel-Alonso et al., 2023).

La terza ipotesi riguardava l'effetto della condizione sperimentale sul carico cognitivo e il senso di presenza. Nonostante non sia stato evidenziato un impatto significativo sul carico cognitivo estraneo inerente alle istruzioni, all'ambiente e alle interazioni, i risultati mostrano come l'utilizzo di un tutorial contestualizzato possa alimentare il carico germano, quello pertinente al materiale da apprendere che risulta importante sostenere per ottenere alti livelli di apprendimento (Sweller, 2011; Albus et al., 2021).

Per quanto riguarda il senso di presenza, i dati hanno evidenziato come la possibilità di interagire in un contesto neutro abbia permesso ai partecipanti di concentrarsi maggiormente; questo risultato è in linea con quanto ipotizzato per gli errori nel test di apprendibilità.

L'ultima ipotesi riguardava le variabili correlate con la performance di apprendimento post esperienza e con la performance di gioco nell'IVR. Le correlazioni individuate sostengono l'impatto dell'apprendibilità percepita sulle conoscenze teoriche acquisite in ambito alluvionale; mentre la fedeltà sensoriale dell'esperienza avrebbe una relazione con le conoscenze pratiche acquisite. La performance nella fase di ricerca degli indicatori correla con altre 2 dimensioni di presenza: l'adattamento/immersione e la qualità dell'interfaccia. Inoltre, vi sarebbe anche collinearità con alcuni aspetti inerenti all'interazione con l'ambiente virtuale, da un lato negativa con il carico estraneo dovuto alle interazioni, dall'altro positiva legata all'apprendibilità dei comandi di gioco. Le variabili che presentano una relazione con la performance d'apprendimento e di gioco dovrebbero essere tenute in considerazione per il design di un'esperienza efficace in termini di trasmissione della conoscenza. I risultati supportano l'ipotesi di alcuni autori che vede il senso di presenza e il carico estraneo quali variabili impattanti sull'apprendimento in esperienze IVR con finalità educative (Huang et al., 2019).

5.1 Limiti e sviluppi futuri

Le ipotesi dello studio sono state indagate attraverso la manipolazione di 2 elementi del tutorial per la familiarizzazione con i comandi di un'esperienza di realtà virtuale immersiva con finalità educative: l'interazione e il contesto. I risultati hanno evidenziato l'importanza dell'interazione con l'ambiente virtuale, ma non hanno evidenziato differenze significative nella direzione attesa per quanto riguarda il contesto virtuale neutro vs. situato; risulta importante tenere in considerazione che i comandi dell'esperienza erano in numero ridotto e relativamente semplici; dunque, è possibile che risultati differenti vengano riscontrati per esperienze con interazioni più complesse.

Sono stati impiegati criteri d'esclusione restrittivi per testare le ipotesi dello studio; dunque, la popolazione di riferimento dei risultati è specifica; in futuro potrebbe risultare interessante andare a testare l'efficacia di queste tipologie di esperienza su un campione più inclusivo in virtù del fatto che le alluvioni non guardano i criteri di inclusività, questa tipologia di esperienza dovrebbe dunque risultare accessibile a tutti. Inoltre, la simulazione era focalizzata sulla casistica in cui l'utente si trovava all'aperto durante l'alluvione, potrebbe risultare interessante ampliare l'esperienza alle circostanze in cui la persona durante l'alluvione si trovi al chiuso.

Per quanto riguarda l'apprendimento, in futuro una possibilità è quella di prendere in considerazione altre variabili che potrebbero avere un impatto sullo stesso, come ad esempio gli stili di apprendimento; si potrebbe inoltre approfondire l'impatto di variabili socio-demografiche, quale l'esperienza con i videogiochi sull'apprendimento del sapere convogliato.

Da un punto di vista delle misure, potrebbe risultare interessante implementare l'utilizzo di misure di tipo fisiologico, come ad esempio *l'eye tracking* per la misura del carico

cognitivo estraneo per ottenere una misura oggettiva e non solo *self-report* dello stesso. Allo stato attuale lo studio ha permesso di evidenziare delle correlazioni tra variabili che possiedono una relazione con le performance di apprendimento e di gioco; è importante sottolineare che la correlazione non implica necessariamente una relazione causale tra i fattori, ma indica solo un'associazione statistica tra di essi; dunque, un possibile sviluppo dello studio potrebbe analizzare queste relazioni attraverso delle analisi di regressione.

Conclusioni

Le esperienze di realtà virtuale immersiva a sostegno delle emergenze permettono la sperimentazione di situazioni di pericolo senza mettere a rischio l'incolumità dell'utente permettendo una gestione del rischio efficace.

Il presente lavoro di tesi si è proposto di approfondire la relazione tra design del tutorial, l'apprendibilità dei comandi, carico cognitivo, senso di presenza e apprendimento per quanto riguarda un'esperienza di realtà virtuale immersiva volta all'insegnamento di concetti e comportamenti a supporto delle emergenze fluviali; in particolare, sono stati manipolati il contesto virtuale nel quale il tutorial viene eseguito (neutro vs. situato) e la possibilità di interagire nell'ambiente virtuale durante la fase di familiarizzazione con i comandi (familiarizzazione interna all'ambiente virtuale vs. esterna).

I risultati riscontrati evidenziano il ruolo del tutorial per permettere ai nuovi utilizzatori di apprendere rapidamente i comandi d'interazione per quanto riguarda, in particolare per quanto riguarda la possibilità di interagire con l'ambiente virtuale durante la fase di familiarizzazione con i comandi dell'IVR SG.

In termini di apprendimento, il tutorial sembra importante per conoscenze che dopo l'esperienza effettivamente vengono mantenute in memoria dall'utente, ciò è supportato anche dal carico germano riportato dall'utente; dunque, bisognerebbe tenerne conto per quanto riguarda le esperienze di realtà virtuale immersiva dedicate all'apprendimento in quanto può avere degli effetti sulle conoscenze effettivamente tramandate. Inoltre, è stato evidenziato un impatto della possibilità di effettuare un tutorial neutro e asettico sulla concentrazione del partecipante rispetto ad un tutorial contestualizzato ma privo di interazione nell'ambiente virtuale.

Infine, risulta importante al fine di creare esperienze educative efficaci tenere in considerazione come vi sia una relazione tra performance e conoscenze acquisite, e che proprio per questo nel design di queste tipologie di esperienze sia importante tenere in considerazione la correlazione con il carico cognitivo legato alle interazioni e l'apprendibilità dei comandi, ma anche con il senso di presenza.

Bibliografia

Adams, E. (2014). *Fundamentals of game design*. Pearson Education.

Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, 166, 104154.

Andersen, E., O'Rourke, E., Liu, Y. E., Snider, R., Lowdermilk, J., Truong, D., ... & Popovic, Z. (2012, May). The impact of tutorials on games of varying complexity. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 59-68).

Andersen, M. S., & Makransky, G. (2021). The validation and further development of a multidimensional cognitive load scale for virtual environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 183-196.

Arnett, J. J. (2000). Emerging adulthood: A theory of development from the late teens through the twenties. *American psychologist*, 55(5), 469.

Baboo, S., Kanna, Y., & Bennett, C. N. (2022). A Systematic Review on the Neuro-Cognitive Correlates of Game-Based Learning in Higher Education Learning Environments. *Handbook of Research on Acquiring 21st Century Literacy Skills Through Game-Based Learning*, 58-77.

Bevan, N., Carter, J., & Harker, S. (2015). ISO 9241-11 revised: What have we learnt about usability since 1998?. In *Human-Computer Interaction: Design and Evaluation: 17th International Conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015, Proceedings, Part I 17* (pp. 143-151). Springer International Publishing.

Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature reviews neuroscience*, 12(12), 752-762.

Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough?. *Computer*, 40(7), 36-43.

Bozgeyikli, E., Raij, A., Katkooori, S., & Dubey, R. (2016, October). Point & teleport locomotion technique for virtual reality. In *Proceedings of the 2016 annual symposium on computer-human interaction in play* (pp. 205-216).

Butler, K. A. (1985). Connecting theory and practice: a case study of achieving usability goals. *ACM SIGCHI Bulletin*, 16(4), 85-88.

Çakıroğlu, Ü., & Gökoglu, S. (2019). Development of fire safety behavioral skills via virtual reality. *Comput. Educ.*, 133, 56-68.

Checa, D., & Bustillo, A. (2020a). A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9), 5501-5527.

Checa, D., & Bustillo, A. (2020b). Advantages and limits of virtual reality in learning processes: Briviesca in the fifteenth century. *Virtual Reality*, 24(1), 151-161.

Chittaro, L., & Buttussi, F. (2015). Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. a Traditional Education Method in Aviation Safety. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 21(4), 529–538.

Chittaro, L., & Sioni, R. (2015). Serious games for emergency preparedness: Evaluation of an interactive vs. a non-interactive simulation of a terror attack. *Computers in Human Behavior*, 50, 508-519.

D'Amico, A., Bernardini, G., Lovreglio, R., & Quagliarini, E. (2022). A Non-Immersive Virtual Reality Serious Game Application for Flood Safety Training. *Available at SSRN 4110990*.

de Carvalho, C. V., & Coelho, A. (2022). Game-Based Learning, Gamification in Education and Serious Games. *Computers*, 11(3), 36.

Di Natale, A. F., Repetto, C., Riva, G., & Villani, D. (2020). Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A 10-year systematic review of empirical research. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2006-2033.

- Diez, H. V., García, S., Mujika, A., Moreno, A., & Oyarzun, D. (2016, July). Virtual training of fire wardens through immersive 3D environments. In *proceedings of the 21st international conference on Web3D technology* (pp. 43-50).
- Elliott, G. J., Jones, E., & Barker, P. (2002). A grounded theory approach to modelling learnability of hypermedia authoring tools. *Interacting with Computers*, 14(5), 547-574.
- Felton, W. M., & Jackson, R. E. (2022). Presence: A review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(1), 1-18.
- Feng, Z., González, V. A., Amor, R., Lovreglio, R., & Cabrera-Guerrero, G. (2018). Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review. *Computers & Education*, 127, 252-266.
- Fogg, B. J. (2002). *Persuasive technology: using computers to change what we think and do*. Ubiquity, 2002 (December), 2.
- Freina, L., & Ott, M. (2015, April). A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. In *The international scientific conference elearning and software for education* (Vol. 1, No. 133, pp. 10-1007).
- Frommel, J., Fahlbusch, K., Brich, J., & Weber, M. (2017, October). The effects of context-sensitive tutorials in virtual reality games. In *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (pp. 367-375).
- Fujimi, T., & Fujimura, K. (2020). Testing public interventions for flash flood evacuation through environmental and social cues: The merit of virtual reality experiments. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101690.
- Gamberini, L., Bettelli, A., Benvegnù, G., Orso, V., Spagnolli, A., & Ferri, M. (2021). Designing “Safer Water.” A Virtual Reality Tool for the Safety and the Psychological Well-Being of Citizens Exposed to the Risk of Natural Disasters. *Frontiers in psychology*, 12, 674171.

- Gamberini, L., Cottone, P., Spagnoli, A., Varotto, D., & Mantovani, G. (2003). Responding to a fire emergency in a virtual environment: different patterns of action for different situations. *Ergonomics*, 46(8), 842-858.
- Godden, D. R., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British Journal of psychology*, 66(3), 325-331.
- Green, A., & Eklundh, K. S. (2003). Designing for learnability in human-robot communication. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 50(4), 644-650.
- Han, J., Zheng, Q., & Ding, Y. (2021). Lost in virtual reality? Cognitive load in high immersive VR environments. *JAIT*, 12(4).
- Ho, J. C. (2017). Practice in reality for virtual reality games: making players familiar and confident with a game. In *Human-Computer Interaction-INTERACT 2017: 16th IFIP TC 13 International Conference, Mumbai, India, September 25-29, 2017, Proceedings, Part II 16* (pp. 147-162). Springer International Publishing.
- Huang, M.-H. Designing Website Attributes to Induce Experiential Encounters. *Comput. Hum. Behav.* 2003, 19, 425–442.
- International Organization for Standardization [ISO]. (1998a). Standard ISO 9241: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs), part 10: Dialogue principles. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization [ISO]. (1998b). Standard ISO 9241: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs), part 11: Guidance on usability. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2018). ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts.
- ISO/IEC DIS 25066: Systems and software engineering – software product quality requirements and evaluation (SQuaRE) – common industry format (CIF) for usability: Evaluation report (2015).

Jerald, J. (2015). The VR book: *Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

Jia, D., Bhatti, A., & Nahavandi, S. (2008). Computer-simulated environment for training: challenge of efficacy evaluation. In *The Simulation Industry Association of Australia's annual Conference 2008* (pp. 275-279).

Kalyuga, S., & Sweller, J. (2014). 10 The Redundancy Principle in Multimedia Learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 247.

Kao, D., Magana, A. J., & Mousas, C. (2021). Evaluating Tutorial-Based Instructions for Controllers in Virtual Reality Games. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CHI PLAY), 1-28.

Koch, M., von Luck, K., Schwarzer, J., & Draheim, S. (2018). The novelty effect in large display deployments—Experiences and lessons-learned for evaluating prototypes. In *Proceedings of 16th European conference on computer-supported cooperative work-exploratory papers*. European Society for Socially Embedded Technologies (EUSSET).

Kolb, D. A. (1984). The process of experiential learning. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*, 20-38.

Krokos, E., Plaisant, C. & Varshney, A. (2019) Virtual memory palaces: immersion aids recall. *Virtual Reality* 23, 1–15

Lanier, J. (2017) *Dawn of the New Everything: Encounters with Reality and Virtual Reality*. New York: Henry Holt and Company.

Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.

LaValle, S. M. (2017) *Virtual Reality*. Cambridge: Cambridge University Press.

Leder, J., Horlitz, T., Puschmann, P., Wittstock, V., & Schütz, A. (2019). Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: Impacts on risk perception, learning, and decision making. *Safety science*, 111, 271-286.

- Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1058– 1072.
- Li, C., Liang, W., Quigley, C., Zhao, Y., & Yu, L. (2017). Earthquake Safety Training through Virtual Drills. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(4), 1275-1284.
- Liang, H., Liang, F., Wu, F., Wang, C., & Chang, J. (2018, December). Development of a VR prototype for enhancing earthquake evacuee safety. In *Proceedings of the 16th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry* (pp. 1-8).
- Linja-aho, M. (2006). Creating a framework for improving the learnability of a complex system. *Human Technology*, 2(2), 202-224.
- Liu, D., Dede, C., Huang, R., & Richards, J. (Eds.). (2017). *Virtual, augmented, and mixed realities in education* (pp. 105-130). Singapore: Springer.
- Lombard, M., & Ditton, T. B. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13.
- Lovreglio, R., Gonzalez, V., Feng, Z., Amor, R., Spearpoint, M., Thomas, J., ... & Sacks, R. (2018). Prototyping virtual reality serious games for building earthquake preparedness: The Auckland City Hospital case study. *Advanced engineering informatics*, 38, 670-682.
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019a). Role of subjective and objective measures of cognitive processing during learning in explaining the spatial contiguity effect. *Learning and Instruction*, 61, 23-34.
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019b). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225– 236.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32, 1-19.

Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A cognitive theory of multimedia learning: Implications for design principles. *Journal of educational psychology*, 91(2), 358-368.

Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments: Special issue on interactive learning environments: Contemporary issues and trends. *Educational psychology review*, 19, 309-326.

Michael, D.; Chen, S. *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*; Thomson Course Technology: Boston, MA, USA, 2006.

Miguel-Alonso, I., Rodriguez-Garcia, B., Checa, D., & Bustillo, A. (2023). Countering the Novelty Effect: A Tutorial for Immersive Virtual Reality Learning Environments. *Applied Sciences*, 13(1), 593.

Miguel-Alonso, I., Rodriguez-Garcia, B., Checa, D., & De Paolis, L. T. (2022, August). Developing a Tutorial for Improving Usability and User Skills in an Immersive Virtual Reality Experience. In *Extended Reality: First International Conference, XR Salento 2022, Lecce, Italy, July 6–8, 2022, Proceedings, Part II* (pp. 63-78). Cham: Springer Nature Switzerland.

Mikropoulos TA, Natsis A (2011) Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). *Comput Educ* 56:769–780.

Mol, J. M., Botzen, W. W., & Blasch, J. E. (2022). After the virtual flood: Risk perceptions and flood preparedness after virtual reality risk communication. *Judgment and Decision Making*, 17(1), 189-214.

Morélot, S., Garrigou, A., Dedieu, J., & N'Kaoua, B. (2021). Virtual reality for fire safety training: Influence of immersion and sense of presence on conceptual and procedural acquisition. *Computers & Education*, 166, 104145.

Morganti, F., & Riva, G. (2006). *Conoscenza, comunicazione e tecnologia: aspetti cognitivi della realtà virtuale*. LED Edizioni Universitarie.

Morin, R., Léger, P. M., Senecal, S., Bastarache-Roberge, M. C., Lefèbrve, M., & Fredette, M. (2016, October). The Effect of Game Tutorial: A comparison between casual

and hardcore gamers. In *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play companion extended abstracts* (pp. 229-237).

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Nofal, A., Alfayyad, I., Khan, A., Al Aseri, Z., & Abu-Shaheen, A. (2018). Knowledge, attitudes, and practices of emergency department staff towards disaster and emergency preparedness at tertiary health care hospital in central Saudi Arabia. *Saudi medical journal*, 39(11), 1123.

Pallavicini, F. (2020) *Psicologia della realtà virtuale: Aspetti tecnologici, teorie e applicazioni per il benessere mentale*. Milano: Mondadori Education.

Riva, G., & Waterworth, J. A. (2014). Being present in a virtual world. *The Oxford handbook of virtuality*, 205-221.

Riva, G., & Gaggioli, A., (2019). *Realtà virtuali: gli aspetti psicologici delle tecnologie simulate e il loro impatto sull'esperienza umana*. Giunti Psychometrics S.r.l., Firenze, Italy.

Riva, G., Wiederhold, B. K., & Mantovani, F. (2019). Neuroscience of virtual reality: From virtual exposure to embodied medicine. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(1), 82–96.

Riva, G., Waterworth, J., & Murray, D. (Eds.). (2014). *Interacting with Presence: HCI and the Sense of Presence in Computer-mediated Environments*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Rogers, R. W. (1975). A protection motivation theory of fear appeals and attitude change. *The Journal of Psychology*, 91, 93– 114.

Ryan, R.M., Rigby, C.S. and Przybylski, A. (2006). The Motivational Pull of Video Games: A Self-Determination Theory Approach. *Motivation and Emotion*. 30, 4 (2006), 344–360.

- Schrader, C., & Bastiaens, T. J. (2012). Educational computer games and learning: The relationship between design, cognitive load, emotions and outcomes. *Journal of Interactive Learning Environments*, 23(3), 251–271.
- Schuemie, M. J., Van Der Straaten, P., Krijn, M., & Van Der Mast, C. A. (2001). Research on presence in virtual reality: A survey. *Cyberpsychology & behavior*, 4(2), 183-201.
- Sheridan TB (1992) Musing on telepresence and virtual presence. *Presence: Teleop Virt* 1:120–125
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence connect*, 3(3), 1-5.
- Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., & Kooper, R. (1996, July). Immersion, presence and performance in virtual environments: An experiment with tri-dimensional chess. In *Proceedings of the ACM symposium on virtual reality software and technology* (pp. 163-172).
- Smith, S., & Ericson, E. (2009). Using immersive game-based virtual reality to teach fire-safety skills to children. *Virtual reality*, 13(2), 87-99.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*, New York: Springer Science & Business Media.
- Susi, T., Johannesson, M., & Backlund, P. (2007). *Serious games: An overview*.
- Wisniewski, Rebekka; Dennik-Champion, Gina; Peltier, James W. (2004). Emergency Preparedness Competencies. *JONA: The Journal of Nursing Administration*, 34(10), 475–480.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.
- Witmer, B. G., Jerome, C. J., & Singer, M. J. (2005). The factor structure of the presence questionnaire. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 14(3), 298-312.

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, 62, 41-49.

Appendice A

Di seguito è riportato il consenso informato che veniva consegnato ai partecipanti prima di svolgere l'esperimento.

NOTA INFORMATIVA	
Titolo del Progetto	Design di un tutorial per un IVR SG a supporto delle emergenze fluviali
Obiettivo dello Studio	<p>La presente ricerca è condotta dal team dello Human Inspired Technology Research Centre (HIT; http://hit.psy.unipd.it/) ed è supervisionata dal Prof. Luciano Gamberini (luciano.gamberini@unipd.it).</p> <p>Lo studio si propone di approfondire aspetti relativi all'apprendimento durante un'esperienza di realtà virtuale immersiva a supporto delle alluvioni con il carico cognitivo, l'apprendibilità dei comandi e l'apprendimento del sapere inerente le emergenze fluviali convogliato dall'esperienza.</p> <p>Lo studio è a scopi di ricerca scientifica, senza fini commerciali o di lucro, viene svolta senza alcun compenso e nel suo totale anonimato.</p>
Procedura	<p>Lo studio durerà circa 60 minuti.</p> <p>Se accetta di partecipare, le verrà chiesto di compilare un questionario demografico richiedente informazioni quali genere, età, titolo di studio, occupazione, esperienze pregresse con i videogiochi e con visori di realtà virtuale immersiva. Successivamente le verrà chiesto di rispondere ad alcune domande aperte presentate in forma scritta per sondare le sue conoscenze pregresse in riferimento all'ambito delle emergenze fluviali.</p> <p>Le tempistiche di compilazione saranno di circa 15 minuti. Le verrà poi chiesto di indossare un visore di realtà virtuale (Oculus Quest 2) attraverso cui le verrà presentato materiale inerente il riconoscimento e la gestione delle emergenze fluviali attraverso un video della durata di 6 minuti. In seguito, sempre attraverso il visore, sperimenterà un'esperienza di realtà virtuale immersiva relativa alle emergenze fluviali dove le sarà richiesto di interagire con l'ambiente della durata di circa 10 minuti. Prima dell'esperienza, le sarà possibile familiarizzare con i comandi. Al termine, le verranno presentati una serie di questionari per valutare l'esperienza di realtà virtuale immersiva appena conclusa (es. carico cognitivo, apprendibilità dei comandi, presenza, coinvolgimento emotivo, UX) e l'apprendimento di informazioni relativa all'emergenza fluviale per una durata di circa 25 minuti per la compilazione. Infine, a 2 settimane dal presente esperimento sarà ricontattato/a per rispondere ad un breve questionario relativo alle le emergenze fluviali e i comandi appresi durante la presente esperienza che richiederà circa 15 minuti per la compilazione.</p>

Dichiarazione di conformità	Il presente progetto risponde alle attuali norme vigenti in materia di etica della ricerca e deontologia professionale, come La Convenzione Europea dei Diritti Umani (1950), La Convenzione di Oviedo (1997), L'Atto Costitutivo Europeo dei Diritti Fondamentali (2000), Il Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati (EU 2016/679 "GDPR").
Riscontri incidentali	Lo studio non prevede alcun riscontro incidentale.
Potenziati Rischi e disagi	<p>Lo studio non presenta potenziali rischi economici o legali per i partecipanti.</p> <p>In qualsiasi momento, se si sentisse a disagio, ha la possibilità di ritirare la sua partecipazione e i ricercatori procederanno all'eliminazione dei dati fino a quel momento raccolti.</p> <p>Se durante lo studio dovessero emergere riferimenti a terzi non presenti, questi verranno eliminati e non inclusi nei prodotti della ricerca. Nei dati raccolti sarà considerato solo il materiale inerente all'oggetto della ricerca e i ricercatori si impegnano a non divulgare a terzi non coinvolti nello studio quanto raccolto.</p> <p>Talvolta in associazione all'utilizzo di visori 3D per la realtà virtuale si manifestano dei sintomi come malessere generale, astenia, cefalea, difficoltà di concentrazione, affaticamento oculare, visione offuscata, nausea, fastidio allo stomaco, sudorazione e salivazione, vertigini e instabilità posturale.</p> <p>In rarissimi casi sono state riscontrate vertigini intense, perdita di coscienza e crisi epilettiche.</p> <p>Nel caso si verificasse un qualsiasi sintomo sgradevole, anche differente rispetto a quelli summenzionati può richiedere di sospendere immediatamente l'utilizzo del visore. Se si manifestassero tali sintomi, dovrà evitare di cimentarsi in attività che richiedono coordinazione e/o equilibrio, fino alla remissione di tali sintomi e si consiglia di consultare il proprio medico in caso un eventuale sintomo non si risolvesse spontaneamente nel giro di qualche ora.</p>
Potenziati benefici	Lo studio presenta il potenziale beneficio di fornire conoscenze e competenze per poter fronteggiare le emergenze fluviali.
Ricompensa	I partecipanti non riceveranno alcuna ricompensa per la loro partecipazione al presente studio.
Diritto di Recesso e Domande	La sua partecipazione allo studio è completamente volontaria. Può decidere di non partecipare affatto. Se sceglie di partecipare, la informiamo che potrà ritirarsi dallo studio in qualunque momento della sessione, senza fornire spiegazioni, senza alcuna penalizzazione o conseguenza. In caso di rinuncia, i dati raccolti fino a quel momento non saranno elaborati per le analisi, anche se ha accettato il presente consenso informato.



	<p>Se ha qualsiasi domanda, dubbio, reclamo o se deve riportare qualsiasi problema legato alla ricerca, è pregato di contattare il responsabile scientifico, il Prof. Luciano Gamberini (e-mail: luciano.gamberini@unipd.it).</p>
Confidenzialità	<p>La composizione del gruppo di ricerca è stata comunicata al Comitato Etico HIT. Tutti i membri si impegnano a trattare i dati raccolti con riservatezza e hanno ricevuto adeguate istruzioni sulla specifica natura di questo impegno e del progetto approvato dal Comitato Etico HIT.</p> <p>La Sua privacy sarà protetta nella massima misura consentita dalla legge. Nessuna informazione di identificazione personale verrà riportata in qualsiasi prodotto di ricerca. Qualsiasi informazione che possa condurre alla sua identificazione o che esuli dagli obiettivi di questo studio, non verrà inclusa nei prodotti della ricerca. Il presente consenso informato verrà codificato e conservato in un'area riservata.</p> <p>Ai fini della ricerca le verrà chiesto un indirizzo e-mail per poterla ricontattare 2 settimane dopo il presente esperimento per lo svolgimento di un questionario online. Questo indirizzo verrà conservato separatamente rispetto al presente consenso informato e verrà cancellato subito dopo la compilazione del questionario online.</p> <p>Nessuna ulteriore informazione di identificazione personale le verrà richiesta durante la sessione e conseguentemente tutti i dati verranno conservati ed elaborati in forma completamente anonima, attraverso l'assegnazione di un codice fornito dal ricercatore. I dati derivanti, dai visori e dalle eventuali videoregistrazioni verranno immagazzinati in un'unità locale separata rispetto ai consensi informati. In caso decidesse di abbandonare lo studio prima del suo completamento, tutti i dati raccolti fino a quel momento verranno distrutti.</p> <p>I dati saranno conservati in unità locali protette da password. Tale password sarà custodita nell'ufficio dei ricercatori e solo i ricercatori coinvolti nella ricerca avranno accesso ai dati.</p> <p>I dati finali saranno conservati in formato elettronico per 5 anni dopo la fine dello studio, dopo verranno distrutti.</p> <p>I dati saranno elaborati e analizzati solo a scopo di divulgazione scientifica e per la pubblicazione dei risultati in forma anonimizzata (Reg. 2016/679; Dlgs. n. 196/2003).</p> <p>I ricercatori coinvolti si impegnano a non utilizzare in modo improprio i dati raccolti durante e dopo la conclusione della ricerca.</p> <p>Alcune fasi dell'esperimento relative l'esperienza di realtà virtuale immersiva potrebbero essere videoregistrate per scopi di ricerca (previo suo consenso), in tal caso, le registrazioni audio e video saranno conservate in hard disk protetti, custoditi in luoghi sicuri presso il Centro di Ricerca HIT. Solo i ricercatori direttamente coinvolti avranno accesso a tali dati. Le immagini e/o i clip video prodotti all'interno dello studio saranno pubblicati solo dopo aver reso anonima l'identità</p>



HUMAN INSPIRED TECHNOLOGY
Research Centre



	dei partecipanti previo consenso (ad esempio, sfocatura dell'effetto sul volto/ID del nome).
Consenso al procesamiento dei dati	Nessun dato verrà processato senza il suo consenso. Tale consenso le verrà richiesto prima della partecipazione allo studio tramite la sottoscrizione del modulo di dichiarazione sottostante. Per ottenere il non procesamiento dei dati è sufficiente interrompere la sessione.
Titolare del trattamento dei dati personali e Responsabile della privacy	Titolare del trattamento dei dati personali: Università degli studi di Padova Responsabile della privacy: Prof. Luciano Gamberini, e-mail: luciano.gamberini@unipd.it .
Autorizzati al trattamento	Sono autorizzati al trattamento dei dati le Dott.sse Alice Bettelli (alice.bettelli@phd.unipd.it), Elena Zanella (elena.zanella.9@studenti.unipd.it) e il Professor Luciano Gamberini (luciano.gamberini@unipd.it) dell'Università degli Studi di Padova.
Processor	I dati raccolti verranno conservati ed elaborati in modo aggregato dal centro di ricerca Human Inspired Technology (HIT) dell'Università di Padova in accordo con gli standard Europei per la protezione dei dati personali (D.Lgs 196/2003 e UE GDPR 679/2016), e saranno accessibili solo ai ricercatori direttamente coinvolti nel progetto. Ai risultati delle analisi dei dati potranno accedere solo i ricercatori autorizzati e verranno utilizzati solo per gli scopi della ricerca.
APPROVAZIONE DEL COMITATO	Questo studio è stato revisionato e approvato dal Comitato Etico HIT [2022_163 il giorno 23/12/22]

DICHIARAZIONI DI CONSENSO	
Consenso alla partecipazione	Accetto di partecipare al progetto di ricerca descritto nella nota informativa allegata, condotto dalla dott. ssa Alice Bettelli, dalla dott. ssa Elena Zanella e supervisionato dal Prof. Luciano Gamberini. Il sottoscritto dichiara: 1. Di aver ricevuto sufficienti informazioni su questo progetto di ricerca e che ogni chiarimento sulla ricerca è stato fornito esaurientemente. Lo scopo della partecipazione alla ricerca è stato spiegato ed è chiaro.



HUMAN INSPIRED TECHNOLOGY
Research Centre



	<p>2. Di sapere che la partecipazione è volontaria. Non vi è alcuna coercizione esplicita o implicita a partecipare.</p> <p>3. Di avere almeno 18 anni.</p>	
	<p>4. di aver preso visione delle eventuali e possibili conseguenze fisiche che potrebbero derivare dall'utilizzo di visori per la realtà virtuale.</p> <p>5. di sollevare da ogni responsabilità, civile e penale, l'Università degli Studi di Padova e lo Human Inspired Technology Research Centre – HIT Centre da quanto può accadere durante e dopo l'utilizzo del visore per la realtà virtuale.</p>	
	<p>6. Di avere diritto a non rispondere a qualsiasi domanda e di sapere di potersi ritirare dallo studio in qualunque momento, senza fornire spiegazioni, senza alcuna penalizzazione e ottenendo il non utilizzo dei dati.</p> <p>7. Di essere informato che i dati saranno raccolti in forma totalmente anonima e che la mia riservatezza come partecipante a questo studio rimarrà al sicuro. In tutti i casi, l'uso dei dati raccolti sarà soggetto alle politiche standard sull'uso dei dati nell'UE (Politica sulla protezione dei dati).</p> <p>8. Di essere stato informato che la presente ricerca è stata revisionata e approvata dal Comitato etico del Centro HIT.</p>	
Firma e Data	NOME DEL PARTECIPANTE	NOME DEL RICERCATORE
	FIRMA	FIRMA
	DATA	DATA
Consenso al trattamento dei dati	<p>Dichiaro:</p> <p>1. Di aver ricevuto spiegazioni rispetto all'obiettivo dello studio e di averlo compreso.</p> <p>2. Di acconsentire all'elaborazione dei dati personali raccolti durante la sessione in cui parteciperò per il progetto condotto da Alice Bettelli e Elena Zanella, sotto la supervisione del prof. Luciano Gamberini.</p> <p>3. Sono consapevole che ho il diritto di ritirare il consenso in qualunque momento. Sono inoltre consapevole che ho il diritto di richiedere l'accesso, la correzione o la cancellazione dei dati personali (Artt. 15, 16, 17 GDPR) entro 60 giorni dalla data della mia partecipazione.</p>	
Firma e Data	NOME DEL PARTECIPANTE	NOME DEL RICERCATORE
	FIRMA	FIRMA
	DATA	DATA



HUMAN INSPIRED TECHNOLOGY
Research Centre



<p>Consenso alla pubblicazione delle immagini (FACOLTATIVO)</p>	<p>Dichiaro:</p> <p>1. Di acconsentire che eventuali fotografie/videoclip prodotte durante la raccolta dati siano utilizzate in forma anonima per la presentazione dello studio e la pubblicazione dei risultati.</p> <p>2. Di essere a conoscenza di avere il diritto di ritirare il consenso in qualsiasi momento. Sono a conoscenza di avere il diritto di richiedere la correzione o la cancellazione dei dati personali (Artt. 15, 16, 17 GDPR).</p>	
<p>Firma e Data</p>	<p>NOME DEL PARTECIPANTE</p>	<p>NOME DEL RICERCATORE</p>
	<p>FIRMA</p>	<p>FIRMA</p>
	<p>DATA</p>	<p>DATA</p>



HUMAN INSPIRED TECHNOLOGY
Research Centre



Appendice B

Il materiale informativo è stato visionato attraverso il visore grazie all'applicazione SKYBOX VR che permette di visionare contenuti video su schermi virtuali

Per permettere ai partecipanti di acquisire le conoscenze adeguate nell'ambito delle emergenze alluvionali per svolgere i diversi compiti proposti dall'esperienza di IVR, il video informativo è stato costruito sulla base delle linee guida presenti nel Sito del Dipartimento della Protezione Civile (Presidenza del Consiglio dei ministri)³.

Con il termine alluvione si indica la condizione che si verifica quando l'acqua trabocca dai confini naturali e/o artificiali di un fiume o di un qualsiasi corpo idrico, ma anche quando dell'acqua si accumula per drenaggio su aree pianeggianti.

Le inondazioni e le esondazioni sono dei processi naturali che rientrano nel normale ciclo di vita di un corso d'acqua; tuttavia, il termine alluvione è correntemente utilizzato per individuare un evento meteorologico più o meno catastrofico che può causare dei danni in seguito all'allagamento di aree abitate che generalmente sono asciutte e non ricoperte di acqua. L'alluvione è quindi identificata, insieme ai fenomeni franosi, come uno dei fenomeni di dissesto idrogeologico più comune⁴.

È importante conoscere quali sono le alluvioni tipiche del proprio territorio, infatti, se ci sono state alluvioni in passato è probabile che ce ne siano anche in futuro e in alcuni casi è difficile stabilire con precisione dove e quando si verificheranno. Proprio per questo è possibile non essere allertati in tempo, in quanto l'acqua può salire improvvisamente, anche di uno o due metri in pochi minuti.

È importante sapere che alcuni luoghi si allagano prima di altri. In casa, le aree più pericolose sono le cantine, i piani seminterrati e i piani terra, mentre all'aperto, sono più a rischio i sottopassi, i tratti vicini agli argini e ai ponti, le strade con forte pendenza e in generale tutte le zone più basse rispetto al territorio circostante.

La forza dell'acqua può danneggiare anche gli edifici e le infrastrutture e quelli più vulnerabili potrebbero cedere o crollare improvvisamente

³ <https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/in-caso-di-alluvione>

⁴

[https://www.bgeo.it/glossario/alluvione/#:~:text=Con%20il%20termine%20alluvione%20si,su%20aree%20pianeggianti%20\(inondazione\)](https://www.bgeo.it/glossario/alluvione/#:~:text=Con%20il%20termine%20alluvione%20si,su%20aree%20pianeggianti%20(inondazione))

In prossimità del fiume ci sono diversi indizi che permettono di presagire una possibile alluvione, come i mulinelli (che sono dei vortici d'acqua) oppure del materiale flottante, ad esempio dei grossi rami galleggianti che vengono spinti dalla corrente del fiume; un ulteriore indizio può provenire dagli idrometri, degli strumenti che permettono di verificare il livello del fiume: l'acqua è alta e fangosa prima di un'alluvione.



Fig. 29: indizi che presagiscono un'alluvione situati nel fiume.

Se si osserva il lato esterno dell'argine rispetto al fiume ulteriori presagi possono consistere nell'allagamento dei tombini oppure nella presenza di fontanazzi, ovvero delle sorgenti che si formano per infiltrazione d'acqua sul lato esterno dell'argine rispetto al fiume.



Fig. 30: indizi che presagiscono un'alluvione situati sul lato esterno del fiume.

Durante lo stato di allerta, è importante tenersi informati sulle criticità previste sul territorio e sulle misure adottate dal proprio Comune.

È pericoloso dormire nei piani seminterrati e bisogna evitare di soggiornarvi, è possibile provare a proteggere con paratie o sacchetti di sabbia i locali che si trovano al piano strada

e risulta importante chiudere le porte di cantine, seminterrati o garage solo se non ci si espone a pericoli.

Se risulta necessario spostarsi, bisogna valutare prima il percorso ed evitare le zone allagabili; inoltre è importante valutare se mettere al sicuro l'automobile o altri beni in quanto può essere molto pericoloso.

Durante l'alluvione, se si è situati in un luogo chiuso, si deve evitare di scendere in cantine, seminterrati o garage per mettere al sicuro i beni: si rischia la vita. Non si deve uscire assolutamente per mettere al sicuro l'automobile e bisogna evitare l'ascensore in quanto si può bloccare. Bisogna chiudere il gas e disattivare l'impianto elettrico, fare attenzione a non toccare impianti e apparecchi elettrici con mani o piedi bagnati. Non bisogna assolutamente bere acqua dal rubinetto: potrebbe essere contaminata.

È importante limitare l'uso del cellulare: tenere libere le linee facilita i soccorsi e bisogna mantenersi informati su come evolve la situazione seguendo le indicazioni fornite dalle autorità.

Se ci si trova all'aperto, bisogna allontanarsi dalla zona allagata: per la velocità con cui scorre l'acqua, anche pochi centimetri potrebbero far cadere la persona, dunque risulta importante cercare di raggiungere rapidamente l'area vicina più elevata, ad esempio arrampicandosi su un albero robusto o raggiungendo il tetto di un edificio. Bisogna evitare di arrampicarsi su alberi esili che potrebbero essere spazzati via dalla corrente ma anche di dirigersi verso pendii o scarpate artificiali che potrebbero franare.

Bisogna fare attenzione a dove si cammina: potrebbero esserci voragini, buche, tombini aperti ecc., inoltre bisogna evitare di utilizzare l'automobile. Anche pochi centimetri d'acqua potrebbero far perdere il controllo del veicolo o causarne lo spegnimento: si rischia di rimanere intrappolati. Inoltre, bisogna evitare anche sottopassi, argini e ponti: sostare o transitare in questi luoghi può essere molto pericoloso.

Anche in questo caso, è importante limitare l'uso del cellulare: tenere libere le linee facilita i soccorsi e bisogna mantenersi informati su come evolve la situazione seguendo le indicazioni fornite dalle autorità.

Appendice C

Di seguito sono riportati i questionari utilizzati durante la raccolta dati in ordine di somministrazione.

B.1 Questionario sociodemografico

SD1. Genere:

- Maschile
- Femminile
- Non binario
- Preferisco non specificarlo

SD2. Et  (digita il numero):

SD3. Mano dominante:

- Destra
- Sinistra

SD4. Ultimo titolo conseguito:

- Licenza media
- Diploma professionale
- Diploma di scuola superiore
- Laurea triennale
- Laurea magistrale
- Dottorato/master

SD5. Professione:

- Studente/ssa
- Operaio/a
- Dipendente
- Insegnante/ricercatore/ricercatrice
- Libero/a professionista
- Disoccupato/a
- Altro (specificare):

SD6. Hai mai collaborato/lavorato con la protezione civile o con i vigili del fuoco?

- S 

- No

SD7. Hai mai partecipato ad un corso relativo alla gestione di situazioni alluvionali?

- Sì
- No

SD7. Quanto spesso giochi con i videogiochi?

- Mai
- Meno di una volta al mese
- Meno di una volta a settimana
- Una volta a settimana
- Qualche volta a settimana
- Quotidianamente

(domanda successiva condizionale che viene vista solo a coloro che rispondono più volte a settimana e quotidianamente)

SD7.1 Solitamente, quanto dura una tua sessione di gioco?

- Pochi minuti
- Mezz'ora
- Meno di un'ora
- Almeno un'ora

(domanda successiva solo a coloro che hanno risposto almeno un'ora)

SD7.2 Quanto tempo fa hai effettuato l'ultimo acquisto di un videogioco?

- Meno di 6 mesi fa
- Più di 6 mesi fa

SD8. Hai mai utilizzato un visore di realtà virtuale tipo quello rappresentato in figura?

- Sì
- No

(Se il partecipante risponde SI alla domanda precedente)

SD8.1 Quanto spesso utilizzi il visore di realtà virtuale?

- L'ho usato solo una volta
- Meno di una volta al mese
- Meno di una volta a settimana
- Una volta a settimana
- Qualche volta a settimana
- Quotidianamente

B.2 Questionario apprendibilità

L1. Imparare i comandi da utilizzare nell'esperienza è stato facile.

(Item originale: “*Learning the game controls was easy*”)

L2. I comandi impiegati durante l'esperienza erano intuitivi.

(Item originale: “*The game controls were intuitive*”)

L3. Quando ho dovuto fare qualcosa durante l'esperienza, è stato facile ricordare il comando corrispondente.

(Item originale: “*When I wanted to do something in the game, it was easy to remember the corresponding control*”)

B.3 Questionario conoscenze nell'ambito delle alluvioni

Di seguito sono stati riportati gli item inerenti il sapere convogliato da un punto di vista sia pratico (CP) che teorico (CT).

EF1. Quali sono i principali indicatori dello stato di allerta alluvionale? Se non ti ricordi il termine specifico, descrivi brevemente ciò a cui ti riferisci. (CT)

EF2. Quali sono le zone a rischio durante un'emergenza fluviale? (CT)

EF3. Quali sono i comportamenti corretti da mettere in atto durante un'emergenza fluviale all'aperto? (CP)

EF4. Quali sono i comportamenti corretti da mettere in atto durante un'alluvione al chiuso? (CP)

EF5. Quali sono i comportamenti errati da mettere in atto durante un'alluvione al chiuso? (CP)

EF6. Quali sono i comportamenti errati da mettere in atto durante un'emergenza fluviale all'aperto? (CP)

EF7. Una volta raggiunto un luogo sicuro, che cosa bisogna fare durante un'alluvione? (CP)

Di seguito viene riportata la tabella con lo scoring dei punteggi attribuiti sulla base delle risposte assegnate dai partecipanti, in **rosso** sono state riportate le domande inerenti i comportamenti corretti e scorretti da attuare al chiuso, in quanto questi venivano trattati solo nel video esplicativo iniziale e non venivano trattati dall'esperienza di realtà virtuale immersiva.

	APPRENDIMENTO CONCETTUALE	APPRENDIMENTO PRATICO/HOW TO ACT
<i>EF1. Quali sono i principali</i>	Scoring: 0-5	

<p>indicatori dello stato di allerta alluvionale? Se non ti ricordi il termine specifico, descrivi brevemente ciò a cui ti riferisci.</p>	<p>Risposta corretta: mulinelli (1), fontanazzi (1), tombini allagati (1), acqua alta e fangosa (1), materiale flottante (1)</p>	
<p>EF2. Quali sono le zone a rischio durante un'emergenza fluviale?</p>	<p>Scoring: 0-4</p> <p>Risposta corretta: piani interrati/sottopassi/garage/zone al di sotto del livello del terreno (1), piani terra (1), tratti vicino agli argini/ponti (1), strade con forte pendenza (1)</p>	
<p>EF3. Quali sono i comportamenti corretti da mettere in atto durante un'emergenza fluviale <u>all'aperto</u>?</p>		<p>Scoring: 0-4</p> <p>Risposta corretta: allontanarsi dalla zona allagata (1) facendo attenzione a dove si cammina (1) e raggiungere una zona sopraelevata (1) resistente/robusta (1),</p>
<p>EF4. Quali sono i comportamenti <u>corretti</u> da mettere in atto durante un'alluvione <u>al chiuso</u>?</p>		<p>Scoring: 0-3</p> <p>Risposta corretta: Chiudi il gas e disattiva l'impianto elettrico (1), barrica le porte con paratie o sacchi di sabbia al piano terra/chiudi accessi per evitare che entri acqua (1) dirigiti verso una zona sopraelevata (1).</p>
<p>EF5. Quali sono i comportamenti <u>errati</u> da mettere in atto durante un'alluvione <u>al chiuso</u>?</p>		<p>Scoring: 0-5</p> <p>Risposta corretta: Utilizzare l'ascensore (1), dirigersi verso piani interrati (1), bere l'acqua del rubinetto (1), toccare impianti elettrici con mani/piedi bagnati (1), attardarsi per mettere in salvo i beni (1).</p>
<p>EF6. Quali sono i comportamenti</p>		<p>Scoring: 0-6</p>

<i>errati da mettere in atto durante un'emergenza fluviale all'aperto?</i>		<i>Risposta corretta: Dirigersi verso argini/ponti (1) o sottopassi (1), raggiungere luoghi sopraelevati con poca robustezza (1) prendere l'auto (1), salire su tralicci dell'alta tensione (1) andare in strade con elevata pendenza (1)</i>
<i>EF7. Una volta raggiunto un luogo sicuro, che cosa bisogna fare durante un'alluvione?</i>		<i>Scoring: 0-3 Risposta corretta: Limitare l'utilizzo del cellulare /evitare di chiamare familiari/amici (1), chiamare i soccorsi una volta raggiunto un luogo sicuro (1) e tenersi informati (1).</i>
Max totale:	9	21 (13+8)

B.4 Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments (MCLSVE)

CL1-3. L'esperienza di realtà virtuale immersiva a tema alluvionale riguardava...

- CL1. ...un argomento che ritengo molto complesso.
(Item originale: "*The topic covered in the simulation was very complex*")
- CL2. ...procedure che ritengo complesse.
(Item originale: "*The simulation covered procedures that I perceived as very complex*")
- CL3. ...concetti che ho percepito come molto complessi.
(Item originale: "*The simulation covered concepts and definitions that I perceived as very complex*")

CL4-6. Le istruzioni che accompagnavano i vari compiti (ricerca di indicatori di pericolo e fuga in un luogo sicuro) dell'esperienza di realtà virtuale immersiva...

- CL4. ... sono state presentate attraverso una modalità, ovvero l'audio, che le ha rese poco chiare.

(Item originale: *“The instructions and/or explanations used in the simulation were very unclear”*)

- CL5. ...hanno ostacolato la comprensione del contenuto sulle emergenze fluviali.

(Item originale: *“The instructions and/or explanations used in the simulation were, in terms of learning, very ineffective”*)

- CL6. ...erano piene di contenuto non chiaro.

(Item originale; *“The instructions and/or explanations used in the simulation were full of unclear content”*)

CL7-10. Le tecniche utilizzate per interagire con l'ambiente (per spostarsi e per selezionare gli elementi) nell'esperienza di realtà virtuale immersiva...

- CL7. ... non erano per nulla chiare.

(Item originale: *“The interaction technique used in the simulation was very unclear”*)

- CL8. ...hanno reso difficile la comprensione del contenuto.

(Item originale: *“The interaction technique used in the simulation was, in terms of learning, very ineffective”*)

- CL9. ...hanno ostacolato l'apprendimento dei concetti e dei comportamenti presentati.

(Item originale: *“The interaction technique used in the simulation made it harder to learn”*)

- CL10. ...erano difficili da padroneggiare

(Item originale: *“The interaction technique used in the simulation was difficult to master”*)

CL11-14. L'ambiente virtuale dell'esperienza immersiva...

- CL11. ... era pieno di elementi che hanno reso il materiale da apprendere per nulla chiaro.

(Item originale: *“The elements in the environment made the learning very unclear”*)

- CL12. ... ha ostacolato la comprensione del contenuto presentato.

(Item originale: “*The virtual environment was, in terms of learning, very ineffective*”)

- CL13. ... era pieno di contenuti irrilevanti.

(Item originale: “*The virtual environment was full of irrelevant content*”)

- CL14. ... ha reso difficile l'identificazione delle informazioni da apprendere.

(Item originale: “*It was difficult to find the relevant learning information in the virtual environment*”)

CL15-18. L'esperienza di realtà virtuale immersiva a tema alluvionale ha migliorato...

- CL15. ... la mia comprensione degli argomenti presentati.

(Item originale: “*The simulation really enhanced my understanding of the topics covered.*”)

- CL16. ...la mia conoscenza delle emergenze alluvionali.

(Item originale: “*The simulation really enhanced my knowledge and understanding of lab safety.*”)

- CL17. ...la mia conoscenza inerente le procedure da mettere in atto durante i fenomeni alluvionali.

(Item originale: “*The simulation really enhanced my understanding of the procedures covered.*”)

- CL18. ... la mia conoscenza dei concetti che caratterizzano il rischio di un fenomeno alluvionale.

(Item originale: “*The simulation really enhanced my understanding of concepts and definitions.*”)

CL15-18. L'esperienza di realtà virtuale immersiva a tema alluvionale ha migliorato...

- CL15. ... la mia comprensione degli argomenti presentati.

(Item originale: “*The simulation really enhanced my understanding of the topics covered.*”)

- CL16. ...la mia conoscenza delle emergenze alluvionali.

(Item originale: “*The simulation really enhanced my knowledge and understanding of lab safety.*”)

- CL17. ...la mia conoscenza inerente le procedure da mettere in atto durante i fenomeni alluvionali.
(Item originale:” *The simulation really enhanced my understanding of the procedures covered.*”)
- CL18. ... la mia conoscenza dei concetti che caratterizzano il rischio di un fenomeno alluvionale.
(Item originale:” *The simulation really enhanced my understanding of concepts and definitions.*”)

B5. Presence Questionnaire (PQ)

Di seguito vengono riportati gli item utilizzati nel questionario che fanno riferimento al coinvolgimento dell’utente nella versione utilizzata e nella loro versione originale:

P1. Quanto ti sei sentito/a in grado di controllare gli effetti delle tue azioni durante l’esperienza di realtà virtuale immersiva?

(Item originale: How much were you able to control events?)

Per nulla in grado	Moderatamente in grado	Completamente in grado							

P2. Quanto è stato reattivo l’ambiente alle azioni da te eseguite all’interno dello stesso?

(Item originale: How responsive was the environment to actions that you initiated (or performed)?)

Per nulla reattivo	Moderatamente reattivo	Completamente reattivo							

P3. Quanto ti sono sembrate naturali le tue interazioni con l’ambiente?

(Item originale: How natural did your interactions with the environment seem?)

Estremamente artificiali	Moderatamente naturali	Completamente naturali							

P4. Quanto ti sei sentito coinvolto dagli aspetti visivi dell'ambiente?

(Item originale: How much did the visual aspects of the environment involve you?)

Per nulla coinvolto		Moderatamente coinvolto		Completamente coinvolto

P6. Quanto ti è sembrato naturale il sistema di movimento che ti ha permesso di spostarti nell'ambiente?

(Item originale: How natural was the mechanism which controlled movement through the environment?)

Estremamente artificiali		Moderatamente naturali		Completamente naturali

P7. Quanto è stata convincente la sensazione di movimento degli elementi nello spazio?

(Item originale: How compelling was your sense of objects moving through space?)

Per nulla convincente		Moderatamente convincente		Completamente convincente

P8. In che misura ti sembrava che le esperienze nell'ambiente virtuale fossero coerenti con le tue esperienze nel mondo reale?

(Item originale: How much did your experiences in the virtual environment seem consistent with your real world experiences?)

Per nulla coerente		Moderatamente coerente		Completamente coerente

P10. In che misura eri in grado di ispezionare attivamente o cercare qualcosa all'interno dell'ambiente utilizzando la vista?

(Item originale: How completely were you able to actively survey or search the environment using vision?)

Per nulla in grado			Moderatamente in grado			Completamente in grado

P13. Quanto era convincente la sensazione di poterti spostare all'interno dell'ambiente virtuale?

(Item originale: How compelling was your sense of moving around inside the virtual environment?)

Per nulla convincente			Moderatamente convincente			Completamente convincente

P16. Quanto ti sentivi coinvolto dall'esperienza nell'ambiente virtuale?

(Item originale: How involved were you in the virtual environment experience?)

Per nulla coinvolto			Moderatamente coinvolto			Completamente coinvolto

P24. Quanto è stato facile identificare gli oggetti attraverso un'interazione fisica come il toccare un oggetto, il camminare su una superficie, o l'urtare un muro o un oggetto?

(Item originale: How easy was it to identify objects through physical interaction, like touching an object, walking over a surface, or bumping into a wall or object?)

Per nulla facile			Moderatamente facile			Completamente facile

Di seguito vengono riportati gli item utilizzati nel questionario che fanno riferimento alla fedeltà sensoriale percepita dall'utente nella versione utilizzata e nella loro versione originale:

P5. Quanto sei stato coinvolto dagli aspetti sonori dell'ambiente?

(Item originale: How much did the auditory aspects of the environment involve you?)

Per nulla coinvolto			Moderatamente coinvolto			Completamente coinvolto

P11. Con che accuratezza eri in grado di identificare i suoni?

(Item originale: How well could you identify sounds?)

Per nulla in grado			Moderatamente in grado			Completamente in grado

P12. Con che accuratezza eri in grado di localizzare i suoni?

(Item originale: How well could you localize sounds?)

Per nulla in grado			Moderatamente in grado			Completamente in grado

P14. Quanto da vicino si riuscivano ad osservare gli oggetti?

(Item originale: How closely were you able to examine objects?)

Per nulla da vicino			Moderatamente da vicino			Completamente da vicino

P15. Eri in grado di osservare gli oggetti da diversi punti di vista?

(Item originale: How well could you examine objects from multiple viewpoints?)

Per nulla in grado			Moderatamente in grado			Completamente in grado

Di seguito vengono riportati gli item utilizzati nel questionario che fanno riferimento all'adattamento/immersione dell'utente nella versione utilizzata e nella loro versione originale:

P9. Eri in grado di prevedere cosa sarebbe successo in risposta alle azioni da te messe in atto?

(Item originale: Were you able to anticipate what would happen next in response to the actions that you performed?)

Per nulla in grado	Moderatamente in grado	Completamente in grado

P18. Dopo quanto tempo ti sei adattato all'ambiente virtuale?

(Item originale: How quickly did you adjust to the virtual environment experience?)

Non mi sono adattato	Lentamente	In meno di un minuto

P19. Alla fine dell'esperienza quanta padronanza sentivi di aver acquisito nel muoverti e nell'interagire con l'ambiente virtuale?

(Item originale: How proficient in moving and interacting with the virtual environment did you feel at the end of the experience?)

Nessuna padronanza	Moderata padronanza	Molta padronanza

P22. Quanto riuscivi a concentrarti sui compiti e sulle attività assegnati piuttosto che sui meccanismi messi in atto per compiere tali compiti o attività?

(Item originale: How well could you concentrate on the assigned tasks or required activities rather than on the mechanisms used to perform those tasks or activities?)

Per nulla concentrato	Moderatamente concentrato	Completamente concentrato

P23. Quanto erano coinvolti i tuoi sensi durante l'esperienza di realtà virtuale?

(Item originale: How completely were your senses engaged in this experience?)

Per nulla coinvolto		Moderatamente coinvolto		Completamente coinvolto

P25. C'erano momenti durante l'esperienza virtuale in cui ti sei sentito completamente concentrato sul compito o sull'ambiente?

(Item originale: Were there moments during the virtual environment experience when you felt completely focused on the task or environment?)

Nessun momento		Alcuni momenti		Tutti i momenti

P26. Quanto è stato facile per te adattarti ai controller utilizzati per interagire con l'ambiente virtuale?

(Item 31 originale: How easily did you adjust to the control devices used to interact with the virtual environment?)

Per nulla facile		Moderatamente facile		Completamente facile

P27. Le informazioni fornite dai diversi sensi (es. vista, udito, tatto) all'interno dell'ambiente virtuale erano tra loro coerenti?

(Item originale: Was the information provided through different senses in the virtual environment (e.g., vision, hearing, touch) consistent?)

Per nulla coerenti		Moderatamente coerenti		Completamente coerenti

Di seguito vengono riportati gli item utilizzati nel questionario che fanno riferimento alla qualità dell'interfaccia percepita dall'utente nella versione utilizzata e nella loro versione originale:

P17. Quanto ritardo c'era tra le tue azioni e la risposta attesa da parte dell'ambiente? (REV)

(Item originale: How much delay did you experience between your actions and expected outcomes?)

Nessun ritardo			Moderato ritardo			Molto ritardo

P20. Quanto credi che la qualità grafica del display abbia interferito o ti abbia distratto dallo svolgimento dei compiti e delle attività richiesti? (REV)

(Item originale: How much did the visual display quality interfere or distract you from performing assigned tasks or required activities?)

Per nulla distratto			Moderatamente distratto			Completamente distratto

P21. Quanto credi che i controller abbiano interferito con lo svolgimento dei compiti assegnati o di altre attività? (REV)

(Item originale: How much did the control devices interfere with the performance of assigned tasks or with other activities?)

Non hanno interferito per nulla			Hanno interferito moderatamente			Hanno interferito completamente