



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Corso di Laurea Magistrale in
Psicologia Clinica**

Tesi di Laurea Magistrale

**Approfondimento sui comportamenti di guida in contesti di
realtà virtuale immersiva: studio pilota sulla relazione fra
Presence, Workload e Simulation Sickness**

*Driving behaviours in immersive Virtual Environments: a pilot study
about the relations between Presence, Workload and Simulation Sickness*

Relatore:

Professor Andrea Spoto

Correlatore:

Dottor Giovanni Bruno

Laureando: Paolo Lorenzini

Matricola: 2023117

Anno Accademico 2022

INDICE

CAPITOLO PRIMO

La Realtà Virtuale nello studio dei Comportamenti di Guida	1
Presence	5
Misurazione del costrutto	9
Questionari	12
Simulation Sickness	14
Misurazione del costrutto	17
Determinanti per la Simulation Sickness	19
Workload Cognitivo	22
Misurazione del costrutto	25
Obiettivo della ricerca e risultati attesi	26

CAPITOLO SECONDO

Partecipanti	30
Materiale Sperimentale	32
Procedura sperimentale	37
Analisi dei dati	42

CAPITOLO TERZO

Risultati preliminari	43
Discussione	54

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	60
--	-----------

APPENDICE	75
------------------------	-----------

La Realtà Virtuale nello studio dei Comportamenti di Guida

Lo studio di comportamenti complessi, come la guida di autovetture, pone spesso lo sperimentatore di fronte ad una serie di difficoltà pratiche e teoriche. In tal senso, la validità ecologica e la generalizzabilità dei risultati sono due importanti temi da considerare nello sviluppo di uno studio sperimentale. La simulazione dei comportamenti in ambiente controllato (e.g., guida di autovetture) è una metodologia di ricerca capace di ridurre questi rischi offrendo la possibilità di osservare e misurare - tramite strumenti più o meno invasivi- i comportamenti umani nel loro sviluppo e nella loro attuazione, riproponendo eventi e situazioni più o meno critiche in contesti controllati e protetti (Calhoun e Pearlson, 2012). La crescente diffusione e commercializzazione di queste apparecchiature permette inoltre di tagliare costi, personale e di ridurre le esigenze di spazi appositi, necessari invece nei test su strada.

Nello specifico, la simulazione di guida è uno strumento largamente utilizzato nell'industria automobilistica per il design e il testing dei prodotti (Bruck et al., 2021), nelle scuole guida per valutare l'efficacia dei programmi di training dei giovani guidatori e per le fasi di training stesse specificatamente a situazioni di rischio moderato o alto (Pollatsek et al., 2011). È considerato un utile strumento anche nella formazione in alcuni ambiti professionali di emergenza come l'aviazione (Crowley, 1987) o i vigili del fuoco (Bliss et al., 1997), nella terapia occupazionale come strumento di assesment o riabilitativo per popolazioni a rischio o con deficit di tipo fisico o cognitivo (Classen e Brooks, 2014), o anche per più specifici obiettivi di ricerca. Alcuni esempi di ambiti di studio che possono trarre evidenti benefici dall'uso di simulatori possono essere individuati negli studi volti ad indagare le reazioni dei guidatori a fronte di situazioni impreviste (Paxion et al., 2015), nell'indagine delle strutture neurali implicate in questa attività, mediante anche l'utilizzo di strumenti di visualizzazione cerebrale (Megías et al., 2015), nella ricerca sull'influenza delle distrazioni alla guida, come l'uso dei telefoni (Caird et al., 2008) o nell'analisi delle relazioni fra abilità cognitive e performance di guida (Bélanger et al., 2010).

Una distinzione necessaria, seppur non semplice, è quella fra simulatore di guida e realtà virtuale (VR). Formalmente un simulatore di guida è un apparato in grado di creare nell'utilizzatore la sensazione illusoria del moto sperimentato durante la guida reale

(Slob, 2008). Il moto può essere percepito attraverso la stimolazione inerziale data dalla gravità e dalle forze che agiscono sul corpo, codificata tramite il sistema vestibolare e i feedback tattili, e tramite il movimento dell'ambiente rispetto al corpo, codificato principalmente attraverso la vista e secondariamente tramite l'udito. È possibile distinguere diversi gradi di fedeltà di un simulatore a seconda delle componenti utilizzate nella sua realizzazione. Il simulatore più semplice da immaginare è composto da un sedile per auto, con pedali e volante, posto di fronte ad uno o più schermi (e.g., Logitech g29). In questo caso la percezione illusoria del movimento, chiamata vezione, giunge grazie al canale visivo e può essere integrata tramite il canale uditivo. La complessità del simulatore aumenta introducendo a questa semplice configurazione nuovi elementi, come ad esempio una base mobile, per la stimolazione del sistema vestibolare, un volante capace di opporre resistenza alla forza impressa dal guidatore, un sistema acustico surround e schermi sempre più grandi, fino ad arrivare a vere e proprie cupole che avvolgono l'utente (Slob, 2008).

Una semplice definizione di realtà virtuale, invece, è quella proposta da Jayaram e colleghi (1997) che la definiscono come "un ambiente virtuale, generato da un computer e relativo hardware, capace di fornire all'utente l'illusione di essere fisicamente presente al suo interno". I dispositivi VR più popolari al momento sono gli head-mounted displays (HMDs) composti da un visore da applicare direttamente sulla testa, dotato di un sensore di movimento capace di rilevare i movimenti del capo e adattare di conseguenza le immagini proiettate in relazione alla direzione dello sguardo, e uno o più controller per facilitare l'interazione con l'ambiente virtuale (VE). Un altro tipo di dispositivo VR, utilizzato principalmente nella ricerca a causa dell'elevato costo, è il Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), un ambiente virtuale posto generalmente all'interno una stanza a base quadrata sulle cui pareti viene proiettato l'ambiente virtuale. L'utente, in questo caso, è immerso nella simulazione ma, al contrario degli HMDs, mantiene la visibilità del proprio corpo e non necessita quindi di un rendering virtuale per garantire la consapevolezza dei movimenti e un certo realismo dell'esperienza. Altri vantaggi rispetto agli HMDs sono il maggiore angolo di visione, la possibilità di una proiezione 3D tramite appositi occhiali con distorsioni minime dell'immagine, l'assenza della latenza di movimento presente a seguito della rotazione del capo e un'incidenza minore di nausea (Cruz-Neira et al., 1993). L'introduzione di una cabina di guida all'interno del CAVE permette poi di svolgere simulazioni di guida, similmente al risultato ottenuto dalla casa

automobilistica Renault (George et al., 2013). In uno studio condotto da Weidner e colleghi (2017) viene proposto un confronto fra la guida simulata tramite HMDs e CAVE dal quale non emergono differenze significative riguardo agli indici fisiologici misurati e agli indici di performance mentre viene invece confermata la maggior incidenza di sintomi avversi nell'utilizzo degli HMDs.

Nausea, sudorazione, letargia e pallore sono alcuni dei segni e sintomi spesso riferiti a seguito dell'esposizione a VR e simulatori. Questa sintomatologia è conosciuta come Simulation Sickness (SS), una sindrome molto simile alla Motion Sickness, che costituisce il principale effetto collaterale nell'utilizzo di queste apparecchiature (Classen et al., 2011). L'alta frequenza di soggetti predisposti a manifestare questo disturbo rappresenta un serio rischio per la corretta interpretazione dei dati ponendo forti limitazioni sulla qualità della performance di guida e aumentando drammaticamente i tassi di abbandono dello studio (Brooks et al., 2010). La relazione fra SS e fedeltà del simulatore, o VR, non è sempre chiara ma in alcuni casi sembrerebbe che un apparato tecnologico di alta qualità possa aggravare la sintomatologia (De Winkel et al., 2022), ponendo gli sperimentatori di fronte a scelte che possono ridurre il senso di realismo o minare la validità dello studio, definita come l'abilità del simulatore di rappresentare accuratamente la guida reale (Wynne et al., 2019).

Sia che si tratti di una scelta o, più semplicemente, di un'imposizione data da contingenze economiche od organizzative, limitare la fedeltà del simulatore comporta quindi delle ricadute in termini di realismo percepito. L'illusione di trovarsi alla guida di un'automobile, nonostante la consapevolezza di fondo di essere invece in un laboratorio, è chiamata presence (Draper e Blair, 1996; Witmer e Singer, 1998). Sperimentare un forte senso di presence durante una simulazione di guida aumenta la probabilità che il comportamento nell'ambiente virtuale rispecchi fedelmente quello che si avrebbe nella corrispondente situazione reale (Slater et al., 2009). L'importanza di erogare una performance del tutto simile a quella che si otterrebbe all'esterno di un simulatore è primaria nella stragrande maggioranza degli studi di guida simulata dal momento che da questo dipende la possibilità di generalizzare o meno le scoperte. Molte ricerche sono state volte ad indagare la validità dei risultati riscontrati nei simulatori di guida rispetto alla controparte reale. Molto spesso, fortunatamente, questi studi attestano la validità relativa delle misure sotto indagine, definita come la presenza di pattern comuni o di una

direzione dell'effetto analoga a quella trovata nella realtà (Wynne et al., 2019). Alcuni esempi possono essere ritrovati nella tendenza a commettere errori durante il cambio di corsia o nel mantenimento della marcia entro la corsia in cui ci si trova (Shechtman et al., 2009), nella velocità di guida (Bella, 2008), nei tempi di reazione (Zhang et al., 2020) e nei livelli di workload (Galante, 2018).

Il workload è un costrutto che si riferisce al costo di un'attività inteso in termini di equilibrio fra risorse, fisiche e mentali, disponibili e richieste del compito (Galante, 2018). La sua importanza in relazione alla guida è legata all'osservazione delle cause frequenti di incidenti stradali, che spesso trovano radici nella distrazione o, al contrario, nell'incapacità di far fronte a situazioni troppo complesse. L'analisi della percezione soggettiva del carico di lavoro imposto da un compito di guida può, in questo senso, far luce sulle criticità di questa complessa attività, che talvolta rischia di sovraccaricare pericolosamente l'organismo mentre altre di abbassare la soglia dell'attenzione tanto da limitare la responsività necessaria a garantire una conduzione sicura del veicolo (Brookhuis e De Waard, 2010).

Durante questa trattazione verranno affrontati e confrontati i concetti di presence, simulation sickness e workload in relazione agli studi sui comportamenti di guida. L'analisi delle problematiche e delle difficoltà riscontrabili nell'ambito della misurazione di questi costrutti saranno approfondite in uno studio pilota di simulazione di guida in ambiente CAVE. L'interazione fra senso di presence e workload sarà poi valutata in funzione e in relazione agli effetti dovuti all'eventuale presenza della simulation sickness.

Presence

Nonostante il crescente interesse della comunità scientifica, un consenso sulla concettualizzazione e operazionalizzazione di questo costrutto non è ancora stato raggiunto. Una grande parte di studiosi si trova tuttavia concorde nel definire la presence come “il senso di essere lì”, all’interno della simulazione. Il termine nasce nell’ambito della Human-Computer Interaction (HCI) per descrivere la peculiare esperienza dei teleoperatori di sentirsi parte dell’azione pur trovandosi in un luogo remoto, annullando quindi la distanza fisica esistente fra la macchina e la cabina di comando (Johnson e Corliss, 1971). Il concetto è stato in seguito ripreso da Minsky (1980) che conia il termine “Telepresence”, utilizzato tutt’oggi come sinonimo di presence, suggerendo alla comunità scientifica l’importanza del raggiungimento di un completo senso di presence come obiettivo ultimo nell’ambito delle teleoperazioni.

Con l’inizio delle sperimentazioni in ambienti virtuali (VE) e la nascita del giornale “Presence: Teleoperators and Virtual Environments” del MIT nel 1992, il costrutto inizia ad essere discusso in maniera diffusa negli ambienti accademici. Già cinque anni più tardi, Lombard e Ditton (1997), raccolgono in una review le numerose posizioni create nel tentativo di definire la presence, sottolineando tuttavia la presenza di un concetto comune, che sintetizzano in “l’illusione percettiva di non mediazione” inteso come la tendenza dei soggetti ad un comportamento, all’interno di un medium virtuale, che non risente della presenza del medium stesso.

I due autori, inoltre, identificano due macrocategorie entro cui racchiudere le diverse concettualizzazioni, presence sociale, riferendosi ai paradigmi che prevedono un qualche tipo di interazione sociale e nei quali la presence è intesa come illusione di vicinanza e senso di essere “assieme”, e presence fisica, intesa invece come illusione di trovarsi fisicamente in luogo. I paradigmi di guida simulata rientrano quindi nella seconda categoria, presupponendo che l’utente, pur trovandosi entro le mura di un laboratorio, sperimenti l’illusione di essere alla guida di un’automobile.

Uno degli approcci più condivisi all’interno della comunità scientifica è quello adottato, fra gli altri, dai creatori del Presence Questionnaire (Witmer e Singer, 1998), che vede il senso di presence come il grado in cui l’utente perde consapevolezza dell’ambiente reale

in favore dell'ambiente virtuale (Draper e Blair, 1996; Witmer e Singer, 1998). Il costrutto è quindi considerato come un continuum, in funzione della quantità di risorse attentive che il soggetto è in grado di dedicare all'ambiente simulato rispetto a quello reale (Draper et al., 1998). Witmer e Singer (1998), inoltre, sottolineano l'importanza del senso di coinvolgimento (involvement), necessario per creare immersività (immersion), definita come uno stato psicologico relativo al sentirsi inclusi e circondati dall'ambiente virtuale. Attenzione, coinvolgimento e senso di immersione nel medium sono ritenute determinanti fondamentali nel generare un adeguato senso di presence. È necessario notare però come il termine "immersività" sia utilizzato da Witmer e Singer con un'accezione differente da altri autori come Draper (Draper et al., 1998) o Slater (2003). Draper e Blair (1996) propongono inoltre un modello attenzionale che condivide la visione di Gibson (1966) di un sistema di allarme deputato all'analisi degli inevitabili stimoli distraenti. Le incongruenze nell'ambiente virtuale e gli stimoli intrusivi di natura psicologica hanno il potere di degradare il senso di presence solamente quando questi siano recepiti, dal sistema di allarme dell'utente, come particolarmente salienti e necessitino quindi di una parte delle risorse attentive dedicate all'ambiente virtuale.

Una teorizzazione differente è invece quella di Slater, Usoh e Steed, anch'essi sviluppatori di uno dei questionari più utilizzati (Usoh et al., 1999), che definiscono la presence come "la propensione dei soggetti a rispondere agli stimoli generati virtualmente come se fossero reali" (Slater et al., 2009). Secondo quest'ottica sperimentare il senso di presence aumenterebbe quindi le probabilità che il comportamento nell'ambiente virtuale rispecchi, a parità di condizioni, ciò che avverrebbe nel mondo reale (Draper et al., 1999). Il costrutto, secondo questo modello, è considerato come binario (Slater e Steed, 2000) ed in funzione dell'immersività del sistema, definita come grado in cui gli input sensoriali sono controllati dal simulatore (Draper et al., 1998). Per la comprensione del concetto di immersività nell'accezione utilizzata da Slater (2003) si consideri, ad esempio, la sterzata in un simulatore di guida operata attraverso l'uso di un volante in un caso e tramite le frecce della tastiera in un altro. La sterzata compiuta col il volante è incrementale, continua, mentre quella con la tastiera è discreta, binaria. Sarebbe facilmente possibile simulare la sterzata della tastiera sul volante ma sarebbe impossibile il contrario dato che la natura stessa dei tasti del computer non prevede una sensibilità ma viene codificata semplicemente come "premuta" o "non premuta" (si/no). Slater (2009) definisce "set of valid actions"

quell'insieme di azioni che l'utente può compiere e che risultano in un cambiamento del VE percepibile da lui stesso. La sterzata incrementale è un'azione valida sul volante ma non supportata, invece, sulla tastiera. Il confronto fra VE diversi può avvenire tramite il confronto fra i set di azioni valide e quello più immersivo fra i due sarà quello che può contenere le "valid actions" dell'altro (Slater, 2009). A parità di tutte le altre componenti, un simulatore che utilizzi il volante, potrebbe quindi essere considerato più immersivo di uno che, invece, preveda solamente l'uso della tastiera. L'immersività, in questa cornice teorica, si configura come una proprietà del sistema relativa all'insieme delle azioni valide supportate al suo interno. La presence è invece intesa come reazione soggettiva al livello di immersività del VE ma, sebbene questi due costrutti siano intimamente relati, rimangono logicamente separabili dal momento che, da un lato, lo stesso grado di immersività può generare livelli di presence differenti in diversi soggetti e, dall'altro, due sistemi con immersività differenti possono evocare lo stesso livello di presence (Slater, 2003).

È necessario sottolineare che, sebbene una valutazione globale del livello di presence esperito durante la simulazione sia possibile, Slater (Slater e Steed, 2000) tende a considerare lo stato di presence come un costrutto binario. Secondo lo studioso, infatti, un soggetto impegnato in un compito riceve stimoli, oltre che dall'ambiente virtuale, dall'ambiente reale in cui si trova e altri di natura propriocettiva o mentale. Se fosse possibile osservare il comportamento del soggetto in un dato istante, si potrebbe notare come l'attenzione di quest'ultimo sia fundamentalmente rivolta all'analisi di un solo genere di stimoli, ignorando completamente gli altri. Stimoli distrattivi, errori di computazione dell'ambiente virtuale o percezioni interne causano repentini spostamenti dell'attenzione che comportano cadute del senso di presence, o Breaks In Presence (BIP). Queste transizioni dall'ambiente simulato all'ambiente reale possono, similmente a ciò che accade per la pratica meditativa, essere colte ed eventualmente riferite dal soggetto. Al contrario invece, un recupero del senso di presence non può essere riferito ad alta voce dal momento che presupporrebbe un certo grado di autoanalisi e, quindi, una nuova transizione dell'attenzione all'infuori dell'ambiente simulato.

Nell'analisi dei fattori che influenzano il senso di presence, gran parte degli studiosi sono concordi nel ritenere che gli aspetti legati al realismo del VE, come l'accuratezza nella presentazione degli stimoli sensoriali, la naturalezza dell'interazione utente-ambiente e

la qualità del contenuto presentato, giochino un ruolo primario (Ijsselsteijn et al., 2000). La relazione fra presence e realismo può essere esaminata considerando due aspetti percettivi complementari, il modo in cui il mondo appare all'interno della rappresentazione dipinta dal VE e la plausibilità degli eventi che accadono (Lombard e Ditton, 1997). Il grado di verosimiglianza dell'ambiente rappresentato, denominato da Slater (2009) "Place Illusion", riporta alla definizione classica di presence intesa come "senso di essere lì" ed è limitato, secondo lo studioso, dal set delle azioni supportate dal VE. Ogni qual volta l'utente metta in atto comportamenti non previsti in fase di progettazione, si scontrerà inevitabilmente con i limiti del sistema tornando così cosciente di trovarsi all'interno di un VE. Questo tipo di interruzione del senso di presence è piuttosto comune e può facilmente essere ritrovata senza particolari pericoli per l'esito della sperimentazione. Al contrario, ai fini della simulazione, la percezione da parte dell'utente della credibilità degli eventi che gli sopravvengono, denominata "Plausibility Illusion" (Slater, 2009), è di fondamentale importanza dal momento che una rottura del senso di presence indotta in questo modo può avere ricadute importanti sulla propensione del soggetto a rispondere agli stimoli virtuali con una condotta simile a quella che avrebbe in circostanze reali.

La teorizzazione proposta da Slater e colleghi si configura come un tentativo di affrontare il problema della validità ecologica nei VE (Deniaud et al., 2015). Una criticità inerente i paradigmi di guida simulata riguarda infatti il grado in cui i risultati ottenuti possano essere considerati rappresentativi per la popolazione generale dei guidatori di autovetture. In letteratura, la proposta di utilizzare le misure di presence per la validazione dei simulatori di guida è attualmente modesta ma presente (Johnson et al., 2011; Pallamin e Bossard, 2016; Deniaud et al., 2015b). Questi primi tentativi si prefiggono perlopiù l'obiettivo di collaudare una metodologia di misurazione in grado di mettere in luce le eventuali relazioni fra indici fisiologici, report soggettivi e altri indici di performance di guida. Nonostante alcuni risultati promettenti, sembrerebbe che l'operazionalizzazione del costrutto di presence ponga ancora importanti limiti nella ricerca.

Misurazione del costrutto

L'assenza di un paradigma condiviso nello studio di questo costrutto si riflette inevitabilmente anche sul processo di misurazione. Allo stesso tempo, i molteplici tentativi e modalità di quantificare il grado di presenza esperito durante le simulazioni, rendono complessa la comparazione fra risultati dei diversi studi (Mai, 2018). Data la natura psicologica e soggettiva della presenza, il metodo più intuitivo e diretto per misurarla è costituito dai questionari post-test. Questi, essendo economici, veloci da somministrare e non richiedendo procedure e preparazioni particolari, sono di gran lunga gli strumenti più utilizzati nella ricerca (Grassini e Laumann, 2020; Mai, 2018). A causa della loro instabilità ed eterogeneità, vi sono stati tuttavia vari tentativi di sviluppo di metodologie alternative o corroborative.

Nella categoria delle misure soggettive, di cui anche i questionari fanno parte, si trovano le interviste, le misurazioni continue, le misurazioni psicofisiche e il metodo delle Breaks In Presence (BIP). Le più utilizzate fra queste, dopo i questionari, sono le interviste semi-strutturate (Mai, 2018). La loro scarsa diffusione rende difficoltosa l'analisi e la loro categorizzazione ma sembrerebbe che nella maggioranza dei casi riportino domande che seguono in linea generale gli items dei tipici questionari (Mai, 2018). Le misurazioni continue prevedono un controller, spesso analogico, con cui il soggetto regola il grado di presenza percepito in tempo reale. Da un lato, questo metodo permette di cogliere le fluttuazioni che inevitabilmente si presenteranno ma, dall'altro, può essere impiegato solamente in disegni sperimentali che non richiedano un elevato grado di interazione da parte dell'utente (Ijsselsteijn et al., 2000). Ai fini di questa trattazione risulta rilevante anche il metodo delle BIP ideato da Slater e Steed (2000) in cui il grado di presenza è stimato tramite un processo markoviano costruito sulla base delle dichiarazioni ad alta voce da parte dei soggetti ogni qual volta sperimentino una transizione dall'ambiente virtuale a quello reale. Queste misure possono tuttavia risentire di bias di ancoraggio, dell'esperienza pregressa e, in certi casi, richiedere un livello di auto-analisi che rischia di inficiare il senso stesso di presenza (Ijsselsteijn et al., 2000).

Un modo di ovviare a queste problematiche è quello di ricorrere a misurazioni oggettive ed indirette. Fra queste, le più utilizzate, soprattutto in associazione ai questionari, sono le misure psicofisiologiche (Grassini e Laumann, 2020). I dati sono raccolti in modo

continuo e con la possibilità di visualizzare le fluttuazioni associate temporalmente a determinati stimoli presentati nel VE. EEG, fMRI e fNIRS permettono un grado di visualizzazione dell'attività neurale che potrebbe portare ad una concettualizzazione della presenza da un punto di vista neuroscientifico e quindi ovviare alle problematiche riportate riguardanti le misurazioni soggettive. Nonostante quest'ambito soffra la presenza di difficoltà di replicazione degli studi (Terkildsen e Makransky, 2019), alcuni risultati promettenti vedono l'attivazione della corteccia prefrontale dorso-laterale negativamente correlata al senso di presenza. L'utilizzo di queste misure in paradigmi sperimentali di guida simulata sembra invece essere limitato a poche eccezioni riguardanti l'analisi del tracciato EEG (Figalová et al., 2022).

Misure cardiache e conduttanza cutanea sono indici fortemente associati ad arousal ed attivazione emotiva e, per questo, sono più difficilmente utilizzabili come indicatori puri di presenza, pur prestandosi bene ad un uso come misura corroborativa o secondaria (Grassini e Laumann, 2020). I risultati raccolti da questo tipo di misurazioni presentano talvolta difficoltà nella riproducibilità, sempre a causa della mancanza di paradigmi sperimentali condivisi e di un'elevata sensibilità al movimento delle apparecchiature (Ijsselsteijn et al., 2000). Al netto di queste considerazioni, il loro utilizzo in studi di guida simulata, sebbene limitato, ha prodotto alcuni risultati preliminari che indicano un'alta correlazione tra heart-rate variability, conduttanza cutanea e punteggi ad un questionario (IPQ) per l'assessment della presenza (Deniaud et al., 2015). Slater e colleghi (2009) suggeriscono che un utilizzo di queste misure potrebbe trovare spazio in quei disegni sperimentali nei quali, tramite la realtà virtuale, si cerchi di riprodurre situazioni per le quali siano presenti in letteratura solidi risultati che impiegano queste misurazioni. Qualora le reazioni fisiologiche all'interno della simulazione dovessero combaciare con quelle attese nella situazione reale, si otterrebbe una ragionevole prova del raggiungimento del senso di presenza. Un contributo di questo tipo nell'ambito della guida simulata proviene da Johnson e colleghi (2011) che, analizzando indici cardiaci e respiratori durante situazioni pericolose all'interno della simulazione e confrontandoli con i risultati ottenuti in situazioni reali simili, hanno ottenuto livelli di correlazione tali da poter dimostrare un adeguato raggiungimento del senso di presenza dei partecipanti e riconoscere al loro simulatore una validità relativa ed assoluta per tali misure fisiologiche.

Questo approccio, chiamato Behavioural Realism (Ijsselstein et al., 2000), comprende altri indici di misura oggettivi che seguono il medesimo razionale. Esempi ricorrenti sono l'analisi delle oscillazioni posturali e l'induzione di riflessi automatici, come l'evitamento istintivo di oggetti simulati che rischiano di colpire il soggetto. Allo stesso modo, in simulazioni che prevedono interazioni sociali, possono essere ricercati ed analizzati come indicatori i comportamenti relati alle norme sociali, al linguaggio non verbale e alla prossemica. Tuttavia, questi tipi di tecniche necessitano di disegni sperimentali ad hoc e l'eterogeneità dei risultati che ne derivano li rende difficilmente comparabili fra loro.

Questionari

La difficoltà nella comparazione dei risultati tra diversi studi non è tuttavia esclusiva delle metodologie fisiologiche e comportamentali. I questionari self-report utilizzabili per indagare il livello di presence sono innumerevoli e si basano su un corpus di teorie piuttosto variegato. Questo si traduce spesso nel fatto che, sebbene una correlazione fra i punteggi restituiti dai diversi questionari sia spesso dimostrabile (Grassini e Laumann, 2020), i fattori analizzati e le subscale presenti siano spesso differenti nei contenuti rendendo complessa l'aggregazione di dati provenienti da progetti di ricerca diversi (Mai, 2018).

Il questionario di gran lunga più utilizzato (Grassini e Laumann, 2020; Mai, 2018) è il Presence Questionnaire o PQ (Witmer e Singer, 1998), seguito dall'Igroup Presence Questionnaire o IPQ (Schubert et al., 2001) e dallo Slater Usoh Steed (SUS) (Slater et al., 1998; Usoh et al., 1999). Il PQ presenta 19 items suddivisi in quattro subscale relative controllo, fattori sensoriali, distrazioni e realismo della simulazione. L'IPQ è costituito da 14 items, parte di tre subscale inerenti il "senso di essere lì", il coinvolgimento e il realismo percepito. Sebbene condividano tutti e tre la stessa modalità di risposta, una scala Likert a sette punti, il SUS è invece molto diverso dagli altri due. Nella sua critica al questionario di Witmer e Singer (Slater, 1999), l'autore sottolinea come, il questionario dei due colleghi, nonostante si proponga di misurare la presence, ossia una percezione soggettiva, includa nelle domande aspetti legati all'apparato tecnologico utilizzato, rendendo così impossibile separare nettamente queste due componenti. Schubert e colleghi (2001) hanno poi confermato quantitativamente l'ipotesi di Slater tramite un'analisi fattoriale, concludendo che gli items utilizzati nel PQ possano essere distinti in tre fattori: esperienza soggettiva di presence, valutazione della tecnologia immersiva e valutazione dell'interazione con il VE.

Il SUS, pur essendo correlato positivamente al PQ ($r=0.51$) (Salanitri et al., 2016), è costruito dagli autori rispettando la concettualizzazione proposta da Slater, separando quindi l'esperienza soggettiva dal substrato tecnologico che costituisce l'ambiente virtuale. Il questionario viene sviluppato dai tre autori nel 1995 (Slater et al., 1995) e subisce diverse modifiche fino al 1998/1999 in cui appare per le prime volte nella forma corrente (Slater et al., 1998; Usoh et al., 1999), composto da 6 items. L'anno successivo

sarà poi utilizzato dagli studiosi per validare, con successo, il loro metodo dei BIP (Slater e Steed, 2000). In un recente studio di guida simulata (Himmels et al., 2020), il SUS è stato messo a confronto con l'IPQ in due diverse condizioni sperimentali, una prova di guida in un simulatore a bassa fedeltà ed un'altra in uno più performante. Entrambi i questionari hanno dimostrato una soddisfacente capacità di discriminazione fra i due simulatori, con punteggi di presenza significativamente maggiori per il simulatore ad alte prestazioni. Inoltre, il confronto fra i punteggi dei due questionari ha restituito correlazioni pari a $r=.68$ e $r=.85$ con $p<.001$.

È però bene ricordare, che, nonostante il questionario di Slater e colleghi sia costruito, a detta degli autori, in modo da poter valutare effettivamente il costrutto che si propone di misurare, sia comunque necessario procedere con cautela durante l'analisi dei risultati. Una critica mossa a questo genere di questionari è di essere suscettibili al "response bias", di indurre quindi, tramite le domande, una risposta che altrimenti non sarebbe stata elaborata individualmente dal rispondente. Un'estremizzazione di questa problematica è stata evidenziata in uno studio di Usoh e colleghi (2000) nel quale la presenza è stata misurata in due gruppi di partecipanti, uno dei quali svolgeva una prova di ricerca di oggetti in un ufficio mentre l'altro ha eseguito la prova in una ricostruzione virtuale dello stesso. Il risultato, inatteso quanto sorprendente, è stato che nessuno dei due questionari utilizzati, PQ e SUS, fosse riuscito a discriminare nettamente la realtà dall'ambiente virtuale, sebbene il SUS mostrasse una piccola, seppur significativa, differenza.

Simulation Sickness

La predisposizione di alcune persone a soffrire gli spostamenti, più o meno lunghi, viaggiando su mezzi di trasporto come automobili o navi è un fenomeno noto fin dall'antichità (Kennedy et al., 2010). Questa condizione è conosciuta come motion sickness (MS) e si riferisce alla tendenza di alcuni individui a sperimentare una costellazione di sintomi come nausea, vertigini e sonnolenza, ed esibire segni quali vomito, pallore e sudorazione (Kennedy & Frank, 1986). Il termine stesso nausea, sintomo patognomico della sindrome, deriva dal termine greco usato per indicare il mar di mare e, assieme agli altri sintomi più frequenti, sembrerebbe risultato dell'implicazione del complesso vagale, componente del sistema nervoso autonomo (Kennedy & Frank, 1986).

Problematiche con sintomatologie simili a quelle della motion sickness sono poi emerse con la popolarizzazione dei simulatori e della realtà virtuale. In questi contesti, i sintomi venivano riferiti dai soggetti come conseguenza del senso di vezione, l'illusione di movimento indotta tramite sequenze di immagini. Per descrivere queste nuove sintomatologie è stato coniato il termine ad ombrello "Visually Induced Motion Sickness", abbreviato in VIMS (De Winkel et al., 2022), che include le varie sottocategorie in relazione al medium utilizzato, come cybersickness, usato per riferirsi al malessere provocato dai VR, e simulator sickness, dai simulatori (Keshavarz et al., 2015). Le prime avvisaglie di VIMS si presentano sottoforma di pallore, agitazione e sudori freddi (Brooks et al., 2010) e possono progredire includendo alcuni sintomi fra fatica, mal di testa, sudorazione, nausea, malessere generalizzato, affaticamento della vista, aumento della salivazione, cerchio alla testa, vertigini, capogiro, difficoltà a concentrarsi, visione offuscata, aumento di enterocezione gastrointestinale ed eruttazioni (Kennedy et al., 1992).

In questa trattazione, sebbene alcuni autori preferiscano utilizzare termini quali VIMS o cybersickness, verrà utilizzato il termine Simulation Sickness (SS) per riferirsi alla sintomatologia in analisi.

Nei paradigmi sperimentali che utilizzano simulatori e ambienti virtuali la SS è un costrutto d'importanza primaria. Il ruolo che ricopre, in quanto effetto collaterale

principale di questo tipo di strumentazione, ha importanti ripercussioni sui tassi di drop-out (Matas et al., 2015), sulla buona riuscita della simulazione (Hettinger et al., 1990) e, quando non efficacemente riconosciuta, sui risultati delle analisi statistiche (Cobb et al., 1999).

I tassi di incidenza di questa condizione sono materia di dibattito e, quando riportati, variano notevolmente a seconda del tipo di studio condotto e dal metodo di misurazione utilizzato. In uno studio del 1993 sull'utilizzo di simulatori di volo, Kennedy rileva che il 50% dei 3691 partecipanti riferisce un qualche grado di SS (Kennedy et al., 1993). Matas et al. (2015) riportano un tasso di drop-out del 59% mentre Trick e Caird (2011) rilevano un range che va dal 35% al 75%.

Nel corso degli anni sono state proposte diverse teorie eziopatogenetiche per spiegare il fenomeno della MS e della SS. La relazione fra queste due patologie, che verrà approfondita successivamente, è testimoniata anche dal fatto che parte delle seguenti teorie, pur essendo originariamente tese alla spiegazione della MS, sono poi state considerate plausibili dalla comunità scientifica anche per quanto riguarda la VIMS.

La teoria Evolutiva di Treisman (1977) si concentra, a differenza delle successive, sul motivo di questa suscettibilità anziché sui meccanismi fisiologici responsabili (Brooks et al., 2010). Secondo questa teoria, la nausea e gli altri sintomi andrebbero concepiti come una reazione avversa dell'organismo ad eventi ai quali l'uomo non si è ancora evolutivamente adattato. Similmente a ciò che succede a seguito dell'ingestione di tossine, nausea e vomito sono quindi interpretabili come il meccanismo protettivo che il sistema mette in atto a seguito di input, propriocettivi o sensoriali, a cui non è ancora evolutivamente adattato

Reason e Brand propongono invece una spiegazione più strettamente fisiologica che, ad oggi, rimane anche la più menzionata nell'ambito di studio della SS. La teoria del Conflitto Sensoriale (Reason e Brand, 1975) vede la MS e la SS come conseguenza di una discordanza rilevata fra i canali sensoriali propriocettivi vestibolari e quelli non propriocettivi; un conflitto, quindi, tra il movimento percepito tramite la vista ed il movimento effettivo sperimentato attraverso il senso di propriocezione. Questa visione è supportata dal fatto che i soggetti con deficit labirintini bilaterali, pur sperimentando il senso di vezione, sembrerebbero immuni a queste patologie (Cheung et al., 1991; Kennedy et al., 1968). Successivamente, Reason (1978) rielabora questa teoria

proponendo il Neural Mismatch Model, secondo cui MS e SS si presentano quando gli input sensoriali e propriocettivi sperimentati non sono conformi alle aspettative ed ai modelli derivanti dall'esperienza passata. Questa teoria potrebbe spiegare il grosso divario registrato nell'incidenza di SS fra una popolazione giovane, e quindi meno esperta nella guida, ed una più anziana, con pattern comportamentali ed abitudini di guida reale più consolidate (Matas et al., 2015; Park et al., 2006), oltre che fornire un sostegno teorico alle evidenze di un possibile progressivo adattamento alla SS a seguito di ripetute esposizioni ai simulatori di guida (Dużmańska et al., 2018).

Riccio e Stoffregen (1991) criticano le teorie di Reason e Brand, affermando che i conflitti percettivi e le aspettative disattese siano avvenimenti piuttosto comuni nella vita di tutti i giorni e, perciò, non siano sufficienti, da sole, a spiegare i sintomi. Introducono così la teoria della Stabilità Posturale, secondo la quale, MS e SS sarebbero la conseguenza dell'esposizione prolungata ad ambienti con caratteristiche non familiari, nei quali il soggetto riscontra difficoltà a adeguare la postura corporea. Con l'esposizione ripetuta a suddetti ambienti, l'individuo avrà poi la possibilità di apprendere il modo di regolare la propria postura e mantenere l'equilibrio.

Un'ultima teoria, che considera il coinvolgimento del complesso vagale riscontrato anche da Kennedy (Kennedy & Frank, 1986), è quella dei Movimenti Oculari postulata da Ebenholtz (1992, 2001). Lo studioso individua due tipologie di movimenti oculari, optokinetic nystagmus e risposta oculare vestibolare, implicati nella fissazione di oggetti nella fovea durante il movimento e la rotazione del capo. SS e MS sono conseguenze dell'attivazione collaterale del nervo vago che si verifica a seguito dell'eccessiva tensione dei muscoli oculari implicati in questi movimenti non familiari.

Misurazione del costrutto

Il metodo di misurazione più utilizzato per l'assessment di MS e SS consiste nella somministrazione di questionari self-report (Brooks et al., 2010). La presenza di numerosi sintomi con caratteristiche somatiche ha però comportato numerosi tentativi di ricerca di indici fisiologici utilizzabili come predittori. Correlazioni positive significative sono state riscontrate, ad esempio, nella frequenza cardiaca, nella tachiaritmia gastrica, nella frequenza respiratoria, nei livelli di cortisolo salivari e urinari, nella frequenza di ammiccamento e in quella respiratoria (Kim et al., 2005; Cobb et al., 1999). Tuttavia, nessuno dei parametri indagati si è rivelato abbastanza sensibile da poter essere usato come unico indice di riferimento (Shupak e Avi, 2007; Dużmańska et al., 2018) pur mantenendo un buon potenziale di utilizzo come misure corroborative (Brooks et al., 2010).

I due questionari più prominenti usati per misurare la SS sono il Motion Sickness Assessment Questionnaire (MSAQ), sviluppato da Gianaros et al. (2001) e il Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), di Kennedy et al. (1993). In entrambi i casi, si tratta di scale costituite da 16 item che rispecchiano i sintomi più comuni di SS e a cui, i partecipanti, possono rispondere esplicitando il grado in cui sperimentano ciascuno dei suddetti sintomi. Il secondo, il SSQ, è di gran lunga il più utilizzato ed è, da alcuni studiosi, considerato il "gold standard" (Johnson, 2005) nella misurazione della SS.

Kennedy e colleghi costruirono il SSQ partendo da un questionario utilizzato per l'assessment della MS, il Pensacola Motion Sickness Questionnaire (MSQ) (Kennedy e Graybiel, 1965; Kellogg et al., 1964). L'analisi svolta sui 33 item del MSQ aiutò gli studiosi ad individuare i 16 sintomi caratteristici della SS, escludendo quelli che, a seguito di precedenti studi di simulazione in cui il MSQ era stato utilizzato per la misurazione, venivano riportati dai soggetti con una frequenza inferiore all'1%. Ai soggetti sottoposti al test viene chiesto di esprimere, su una scala Likert a quattro punti, la severità percepita dei sintomi. Generalmente è buona prassi somministrare il questionario prima e dopo la condizione sperimentale per monitorare la fluttuazione dei sintomi e per accertare che l'effetto misurato sia effettivamente imputabile al simulatore e non a condizioni pregresse dei soggetti (Bimberg et al., 2020). Grazie ad un'analisi fattoriale (Lane and Kennedy, 1988) gli studiosi hanno poi individuato tre cluster di sintomi:

Nausea (N), per i sintomi gastro-intestinali, Oculomotori (O), per i sintomi relativi all'affaticamento oculare e Disorientamento (D), per quelli relativi ai problemi vestibolari. Queste macrocategorie, sebbene non esplicitato dagli autori nel paper originale, sono utilizzate per lo scoring (Bimberg et al., 2020). Il punteggio di ogni sub-scala è ottenuto moltiplicando i punteggi degli items che ne fanno parte per un fattore scalare specifico, rendendo così possibile il confronto tra cluster di sintomi. La distribuzione dei punteggi delle sub-scale è stata poi utilizzata per tracciare dei profili di SS specifici per l'ambiente utilizzato per le simulazioni (Kennedy et al., 2010). In questo frangente, il risultato più considerevole ottenuto è quello dell'analisi svolta da Drexler (2006) su oltre quattromila soggetti. Innanzitutto, l'analisi conferma l'ipotesi che, rispetto alla MS, la VIMS presenti una preponderanza di sintomi oculomotori (O) rispetto alla sub-scala della nausea (N). Oltre a questo, Drexler (2006) conclude che i simulatori di guida, composti da più schermi posti frontalmente alla postazione di guida, danno origine ad un profilo sintomatologico leggermente diverso da quello ottenuto attraverso sperimentazioni che utilizzano i CAVE. In particolare, entrambi i profili seguono l'andamento O>D>N ma nel CAVE, rispetto al simulatore, si registrano punteggi molto contenuti nella sub-scala della nausea e, al contrario, decisamente marcati per quel che riguarda i sintomi oculomotori. Il profilo ottenuto per i simulatori ricorda quello registrato utilizzando gli HMDs, con i punteggi delle tre scale distribuiti in modo abbastanza omogeneo.

Determinanti per la Simulation Sickness

I fattori ritenuti responsabili per i sintomi della SS sono numerosi ed eterogenei. In una review di ricerche nell'ambito della simulazione di guida, Classen et al. (2011), individuano tre macrocategorie di determinanti ritenute implicate in questa sindrome: fattori legati al contesto e all'ambiente virtuale, fattori legati al disegno sperimentale e fattori individuali dei partecipanti.

Nella prima categoria rientrano tutti gli aspetti legati al simulatore e all'ambiente virtuale entro cui la simulazione viene svolta. Hardware e caratteristiche tecniche possono essere intuitivamente riconosciuti come elementi importanti nell'induzione della sintomatologia in esame ma, tuttavia, fra gli studiosi non vi è consenso riguardo alla direzione dell'effetto e, talvolta, diverse review mettono in luce risultati in netto contrasto fra loro (si veda ad esempio Chang et al., 2020; De Winkel et al., 2022; Classen et al., 2011). Field of View (FoV), frame rate, flickering, latenza e pixel-per-degree, sono ad esempio alcune di queste caratteristiche che, fra le altre, vengono considerate da De Winkel e colleghi (2022) come determinanti del grado di fedeltà di un simulatore. La fedeltà, nella review degli studiosi, è correlata negativamente alla SS solo nei casi di simulatori con base dinamica, che ricreano quindi fisicamente il senso di movimento che, in simulatori con base statica, è veicolato solo tramite gli schermi. Coerentemente alla teoria del Conflitto Sensoriale, quindi, sembrerebbe che il realismo di un simulatore, quando quest'ultimo non si affidi a più canali sensoriali, potrebbe non essere significativamente relato ad una diminuzione di SS e, talvolta anzi, favorirla. Coerentemente, Classen e colleghi (2011) individuano diverse caratteristiche dell'ambiente virtuale, come scenari ad alta complessità e sfondi ricchi di dettagli, che potrebbero favorire la SS se non corretti o mascherati.

Tra le caratteristiche del disegno sperimentale è di notevole importanza il fattore temporale. La SS, infatti, sembrerebbe spesso seguire un incremento lineare in base al tempo di esposizione alla simulazione per poi raggiungere un plateau attorno ai 10-20 minuti e, talvolta, diminuire in determinati disegni sperimentali (Dużmańska et al., 2018). Sembrerebbe anche esistere un effetto di adattamento al simulatore, come dimostrato da Domeyer e Cassavaugh (Domeyer et al., 2013; Cassavaugh et al., 2011) che misurano una diminuzione dei sintomi dopo una prova nell'ambiente virtuale svolta

due giorni prima della vera e propria sperimentazione. Un altro fattore che sembrerebbe moderare la gravità dei sintomi è la velocità raggiunta durante la prova di guida. Il grado di vezione sperimentata è risultato in più occasioni positivamente correlato ai punteggi di SS (Mourant et al., 2000; Chang et al., 2020). Altri accorgimenti che potrebbero aiutare nell'intento di evitare la SS riguardano l'ordine di presentazione degli scenari in quei disegni che prevedono più prove di guida. Iniziare la simulazione presentando per primi gli scenari con poche curve, con minore complessità di dettagli e con durata minore potrebbe impattare positivamente la riuscita della simulazione (Classen et al., 2011).

I fattori legati alle differenze individuali sembrano ricoprire un ruolo di particolare importanza rispetto all'insorgenza dei sintomi legati alla SS. L'età dei partecipanti si è rivelata un buon predittore di SS e drop-out (Cassavaugh et al., 2011; Classen et al., 2011). Sebbene una stima precisa dei tassi di abbandono non sia semplice da operare, diversi studi testimoniano come i guidatori più anziani esibiscano più frequentemente una sintomatologia tale da non permettere la continuazione dello studio (Matas et al., 2015; Park et al., 2006; Bélanger et al., 2010; Brooks et al., 2010). Nonostante il grande numero di evidenze a favore di questa relazione, la review di Chang e colleghi (2020) non sembrerebbe rilevare una differenza statisticamente significativa. È poi bene notare, inoltre, che in molti studi i tassi di drop-out non sono esplicitati. Una spiegazione di questo fenomeno legato all'età dei partecipanti, in accordo con la teoria del Neural Mismatch Model (Reason, 1978), potrebbe derivare dal fatto che i guidatori più anziani tendono ad avere un grado di esperienza maggiore nella guida di veicoli reali rispetto ai guidatori più inesperti. Similmente un grosso numero di ricerche mostra come i piloti di elicotteri con più ore all'attivo mostrino punteggi di SS maggiori (Drexler, 2006). Anche l'appartenenza al genere femminile sembrerebbe essere relata alla maggior tendenza ad esperire sintomi di SS (Park et al., 2006; Classen et al., 2011; Johnson, 2007) anche se, pure in questo caso, esistono anche evidenze della non significatività di questo effetto (Chang et al., 2020). Diverse review hanno poi sottolineato come altre variabili come stati febbrili, deprivazione del sonno e uso di sostanze siano talvolta relate alla sintomatologia (Johnson, 2007; Drexler, 2006). Nella review di Johnson (2007), inoltre, viene mostrato come episodi passati di MS possano essere predittori significativi di futura suscettibilità alla SS. Ad esempio, nello studio di Matas e colleghi (2015), questo

fenomeno risulta particolarmente rilevante dal momento che, su ventitré soggetti con esperienza passata di MS, venti sono stati costretti ad abbandonare lo studio.

Questi risultati sottolineano l'importanza, o per meglio dire la necessità, di implementare procedure di screening per minimizzare il rischio di drop-out. I soggetti costretti ad abbandonare lo studio a seguito di sintomi di SS, quando testati su abilità cognitive e capacità nell'ambito di guida, non sembrano mostrare competenze significativamente differenti da quelle dei non drop-out (Mullen et al., 2010; Bélanger et al., 2010). Tuttavia, non sarebbe opportuno escludere anziani e persone di sesso femminile data l'incertezza dei risultati che indicano la maggiore suscettibilità di queste categorie contro la certezza di inserimento di bias di campionamento se questi venissero effettivamente esclusi. Tentativi di procedure di screening sono state implementate con successo per mezzo di questionari progettati su misura (Jones, 2011) o tramite la somministrazione del Motion Sickness History Questionnaire (Kennedy, Fowlkes, Berbaum e Lilienthal 1992; Reed et al., 2007).

Workload Cognitivo

I processi attentivi e le risorse cognitive sono elementi fondamentali implicati nella sicurezza stradale (Kantowitz, 2000). Distrazione e affaticamento sono perciò considerati fattori di crescente importanza nell'individuazione delle cause di incidenti (Nabi et al., 2007; Rolison et al., 2018).

Un costrutto centrale nello studio di queste tematiche, utilizzato principalmente nell'ambito dell'ergonomia e della Human-Machine Interaction, è quello del Workload. Fra le numerose teorizzazioni proposte negli anni, Young e colleghi (2014) individuano come concetto cardine l'equilibrio che si viene a creare fra le richieste del compito e le risorse, fisiche o mentali, a disposizione dell'individuo per soddisfarle. Nell'ambito della guida, data la natura di questa attività, è presente in letteratura una forte tendenza a considerare preponderanti gli sforzi cognitivi piuttosto che quelli fisici (Galante et al., 2018; Young et al., 2014). Quando le richieste eccedono la capacità di farvi fronte il guidatore sperimenta un overload, durante il quale le risorse cognitive disponibili potrebbero non essere sufficienti per un'analisi corretta della situazione. Al contrario, la monotonia degli stimoli potrebbe indurre un abbassamento della soglia attenzionale, chiamata underload, e compromettere così la reattività del guidatore (Brookhuis e De Waard, 2010). Una performance adeguata richiede quindi un livello di workload né eccessivamente alto né tantomeno troppo basso.

La teoria del Cognitive Load (Sweller, 1988; Sweller et al., 1998) propone un modello di workload cognitivo che distingue fra le richieste intrinseche del compito, quelle contestuali date dai numerosi fattori esterni che concorrono e le risorse necessarie a mettere in atto strategie metacognitive. Il carico intrinseco, nella guida di autovetture, corrisponde al workload sperimentato nella particolare situazione stradale in cui ci si trova. La complessità di tale situazione costituisce la determinante principale del livello di workload esperito (Verwey, 2000), con un alto livello in corrispondenza di strade urbane con incroci, corsie di immissione e alta densità del traffico (Fastenmeier and Gstalter, 2007). Le richieste contestuali, chiamate da Sweller "extraneous cognitive load", sono individuate in quei fattori che, pur non facendo parte della natura intrinseca del compito, contribuiscono ad agevolare o limitare il livello di performance, come lo stato del veicolo, le contingenze temporali e il meteo. L'ultima categoria, invece, è chiamata

“germane load” e corrisponde al carico cognitivo necessario ad implementare le strategie metacognitive utili ad affrontare situazioni non familiari. Ognuna di queste categorie, seppur con peso diverso, è responsabile del carico cognitivo complessivo imposto al guidatore. I giovani guidatori, non potendo fare affidamento su schemi di guida consolidati, mostrano un basso livello di automatismo delle procedure di guida (Patten et al., 2006) e sperimentano così un carico cognitivo intrinseco maggiore. Le risorse cognitive aggiuntive, necessarie a mantenere un livello di performance adeguato, sono però sottratte all’assessment delle situazioni e alle strategie compensatorie che i guidatori più esperti mostrano di saper affrontare in maniera più funzionale (De Craen et al., 2008). E’ quindi ragionevole supporre che i risultati degli studi epidemiologici, che vedono i giovani guidatori come 2-4 volte più inclini ad essere coinvolti in incidenti stradali (Triggs, 2004;), possano essere spiegati da una difficoltà di questi ultimi ad astrarre ed implementare strategie metacognitive adeguate (Galy et al., 2018; Vessey 1994)

Lo studio di queste casistiche, anche a causa di limiti etici e di sicurezza, si presta all’analisi per mezzo di simulatori di guida (Matthews et al., 2011). Sebbene diversi studiosi abbiano rilevato valori di workload stabilmente superiori nel simulatore rispetto alla guida su strada (Galante et al., 2018), presumibilmente a causa della limitata familiarità con questa tecnologia (Wynne et al., 2019), alcuni risultati suggeriscono come il workload possa essere un indice di validità relativa dei simulatori rispetto alla controparte reale (Reimer e Mehler, 2011; Lobjois et al., 2021). È necessario notare però come queste evidenze siano limitate e, sebbene siano presenti correlazioni positive significative fra misure ottenute nel simulatore e nella guida reale, esistano differenze non ignorabili complesse da indagare anche a causa degli effetti confondenti della simulation sickness (Galante et al., 2018).

L’assessment del workload nella simulazione di guida può avvenire in tre diversi modi: tramite l’analisi della performance, per mezzo di indici fisiologici o affidandosi a misure soggettive come i questionari self-report. Gli indici di performance, chiamati anche misure comportamentali, possono essere suddivisi in misure dirette, come l’analisi degli errori, la deviazione standard della distanza dalla linea laterale e il tempo di reazione, e misure indirette, che solitamente affiancano alla guida un secondo compito, spesso uditivo, la cui performance sarà tanto minore quanto più impegnativa sarà la situazione

di guida (De Waard e Brookhuis, 1997). Il vantaggio principali dell'utilizzo di misure fisiologiche rispetto a paradigmi di doppio compito è quello di non interferire con la performance di guida (Kramer, 1991). I risultati ottenuti con queste metodologie hanno un'alta sensibilità temporale e forniscono dati continui e oggettivi. Gli indici più spesso utilizzati sono quelli cardiaci, ottenuti per mezzo di elettrocardiogramma, come Heart Rate ed Heart Rate Variability. Sono inoltre diffuse le analisi dei movimenti oculari e della dilatazione pupillare, elettroencefalogramma, attività elettrodermica, frequenza respiratoria e pressione sanguigna (Pereira da Silva, 2014). Queste metodologie, tuttavia, presentano diversi limiti fra cui la necessità di tecnici esperti, per l'applicazione degli strumenti e l'interpretazione dei dati, e la sensibilità di questi apparecchi al movimento o alle condizioni ambientali, che limitano il loro utilizzo (Kramer, 1991).

Misurazione del costrutto

L'assessment del workload cognitivo può inoltre essere effettuato alla fine della prova di guida tramite questionari unidimensionali o multidimensionali. I primi consistono in una o più domande sottese all'indagine di un unico fattore, in questo caso le risorse mentali spese durante il compito. Alcuni esempi, fra scale più utilizzate, sono la Rating Scale Mental Effort o RSME (Zijlstra, 1993), formata da un'unica domanda a cui il partecipante risponde marcando su una linea verticale il livello di sforzo percepito, e la Modified Cooper harper Scale o MCHS (Cooper e Harper, 1969) invece composta da dieci items. Fra le scale multidimensionali, le più utilizzate nell'ambito della guida (Paxion et al., 2014) sono la Subjective Workload Assesment Technique o SWAT (Reid e Nygren, 1988), che valuta le dimensioni relative allo stress fisico, mentale e temporale, e la NASA Task Load Index (Hart e Staveland, 1988), composta da sei fattori: richieste fisiche, richieste mentali, pressione temporale, percezione dell'accuratezza della propria performance, frustrazione percepita e, infine, livello di impegno profuso per il completamento della prova. Ad ognuna di queste domande è richiesta inizialmente una risposta su una scala a venti punti e, successivamente, di scegliere tramite confronti fra coppie le dimensioni più rilevanti per l'utente, in modo da stabilire il peso relativo di ogni dimensione e calcolare così il punteggio globale. Tuttavia, Galy e colleghi (2018) suggeriscono l'importanza negli studi di guida simulata di analizzare ogni dimensione, oltre al punteggio globale. I risultati dello studio sottolineano come la dimensione "effort" non sia considerabile sullo stesso piano delle dimensioni delle richieste fisiche, mentali e temporali ma risulta anzi subordinata ad esse: lo sforzo percepito, infatti, sembrerebbe aumentare in presenza di una disparità fra risorse a disposizione e richieste del compito. Inoltre, è stata riscontrata una tendenza dei giovani guidatori a stimare erroneamente la qualità della propria performance. Nonostante queste considerazioni il NASA-TLX, rispetto agli altri questionari, è considerato un benchmark contro cui confrontare le altre metodologie per l'assessment del workload (Hart, 2006) data la sua particolare sensibilità (Hill et al., 1992). È anche possibile utilizzare i risultati del NASA-TLX senza procedere al confronto fra coppie, una variante chiamata Raw Task Load Index o RTLX (Byers et al., 1989) che restituisce medie e deviazioni standard comparabili e una correlazione superiore a $r=0.95$.

Obiettivo della ricerca e risultati attesi

Questo studio pilota si propone di mettere in luce in maniera preliminare le relazioni presenti tra il senso di presence, il workload e la simulation sickness in un contesto di guida simulata all'interno di un ambiente di tipo CAVE approfondendo una serie di determinate caratteristiche del campione come, ad esempio, stile di guida o esperienze pregresse con ambienti virtuali.

Presence e Workload

Un basso livello di presence riportato a seguito di un compito simulato potrebbe essere dovuto alla limitata fedeltà del simulatore. Coerentemente, difficoltà nello svolgimento della prova dovute a limitazioni relative all'hardware utilizzato dovrebbero in parte riflettersi nella percezione del carico di lavoro da parte dei partecipanti. Sebbene questa considerazione potrebbe suggerire la presenza di una relazione negativa fra misure di presence e di workload, lo studio di Lackey e colleghi (2016) non sembra confermare questa ipotesi riscontrando tuttavia come, nell'analisi delle sottoscale del NASA-TLX, un adeguato senso di presence si traducesse in minori punteggi nelle scale relative allo sforzo percepito e alla frustrazione in quei casi in cui la performance dei partecipanti non fosse stata particolarmente positiva. Lo studio riporta inoltre l'assenza di un impatto significativo sulle scale relative al carico mentale, fisico e temporale.

In riferimento a questo studio, è possibile ipotizzare che i partecipanti che esibiranno un senso di presence piuttosto basso avranno maggiori difficoltà di gestione del VE rispetto a coloro che si troveranno più a loro agio nel compito di guida. Trattandosi di una prova di breve durata ma di media intensità è quindi possibile che le risorse cognitive di questi soggetti vengano saturate dalla congiunzione delle difficoltà dovute allo scarso adattamento all'ambiente simulato e quelle dovute al carico mentale intrinseco del compito. Questo effetto additivo potrebbe quindi riflettersi in giudizi relativi al carico mentale più alti nei partecipanti che riporteranno i minori livelli di presence e, viceversa,

non verificarsi in coloro che presenteranno un migliore adattamento al VE e che riporteranno quindi minori livelli di workload cognitivo. Inoltre, in accordo con i risultati ottenuti da Lackey e colleghi (2016), è ragionevole supporre che punteggi medio-bassi relativi alla presence possano associarsi ad una tendenza dei partecipanti a riportare livelli di frustrazione e sforzo alti, soprattutto in caso di performance negativa. In conclusione, data la natura del compito proposto, è possibile ipotizzare la presenza di una correlazione negativa fra la misura di presence e quella del workload cognitivo.

Presence e Simulation Sickness

Come riportato in precedenza, sembrerebbe che la fedeltà di un simulatore influenzi negativamente il presentarsi dei sintomi di SS solamente in quei casi in cui l'apparato minimizzi il conflitto sensoriale attraverso l'utilizzo di un hardware capace di veicolare informazioni attraverso più canali sensoriali (De Winkel et al., 2022). Questo effetto è stato riscontrato in letteratura anche da Weelch e colleghi (2019), i quali, nell'analisi delle relazioni tra presence e SS, individuano diversi fattori responsabili della mediazione tra questi due costrutti. Sebbene, generalmente, presence e SS sembrino infatti negativamente relate, l'altissima incidenza di studi che testimoniano un effetto opposto suggerisce l'importanza della valutazione di alcuni aspetti che sono frequentemente ritenuti importanti nell'induzione del senso di presence ma, allo stesso tempo, accentuano il sensory mismatch convogliato dal VE. Alcuni di questi esempi possono essere individuati nell'aumento del Field-of-View (Tanaka e Takagi, 2004), nella stereoscopia (Keshavarz e Hecht, 2012) e nell'aumento di dettagli ambientali nella rappresentazione dell'ambiente (Classen et al., 2011).

Il CAVE si contraddistingue per l'ampiezza e l'immersività del suo schermo e questo potrebbe giocare un ruolo importante nel favorire il presentarsi dei sintomi oculo-motori caratteristici della SS. Al contempo, l'assenza di una base mobile riduce la diversificazione fra le modalità sensoriali nella presentazione degli stimoli. Sebbene queste due osservazioni lascino supporre un effetto simile a quello descritto da De Waard e Weelch, è necessario tenere a mente che il VE utilizzato per diversi aspetti non può essere

considerato un simulatore allo stato dell'arte. Alla luce di queste considerazioni, si potrebbe cautamente supporre, data la natura molto immersiva del medium utilizzato unita all'assenza di stimolazione sensoriale convogliata attraverso altri canali, una relazione positiva tra senso di presence e indici di SS. Inoltre, dal momento che la letteratura riconosce una preferenza nell'induzione di sintomi oculomotori da parte del CAVE, la relazione negativa supposta fra il senso di presence e la SS potrebbe essere più pronunciata su quella specifica sottoscala.

Workload e Simulation Sickness

La letteratura che prende in esame la relazione tra simulation sickness e workload è al momento molto scarsa. Un articolo, ormai datato, di Zaychik e Cardullo (2003) vede gli autori mettere in rassegna alcuni ritrovamenti nell'ambito della SS durante le simulazioni di guida, sottolineando come, fino a quel momento, la quasi totalità degli autori riconoscesse la presenza di una relazione positiva fra workload e sintomi di SS. Questa relazione è confermata, qualche anno più tardi dallo studio già citato di Conradi e Alexander (2008) nel quale workload e SS sono misurati a seguito dell'utilizzo di tre tipi di schermo differenti. La crescente immersività degli schermi utilizzati per la simulazione ha mostrato un coerente aumento dei livelli di workload e di gravità dei sintomi riportati. Questo andamento non è invece stato riscontrato da Milleville-Pennel e Charron (2015) nel cui studio non è stato osservato nessun impatto significativo del carico cognitivo sui sintomi di SS.

Nell'ambito del presente studio, un'assunzione ragionevole potrebbe vedere quei partecipanti colpiti in modo gravoso dalla simulation sickness sperimentare alti livelli di workload. La prova svolta richiede un significativo grado di vigilanza per poter essere portata a termine in maniera corretta e l'ulteriore deficit costituito dalla sintomatologia ha elevate probabilità di riflettersi sul carico fisico, mentale e, in maniera meno certa, sui livelli di sforzo e frustrazione. Un'altra verifica interessante potrebbe essere svolta mettendo in relazione i cluster di sintomi e le subscale di workload e, in particolare, cercare una corrispondenza tra sintomi legati alla nausea (N) con la subscale relativa al

carico fisico e sintomi oculomotori (O) o di disorientamento (D) con la scala relativa al carico mentale. In conclusione, si potrebbe quindi ipotizzare la presenza di una correlazione positiva fra le misure di workload e SS.

Ulteriori considerazioni

Altre ipotesi possibili sono quelle relative ai profili emersi dal Multidimensional Driving Style Inventory che possono essere considerate in funzione dei punteggi ottenuti nei questionari. È infatti ragionevole supporre, ad esempio, che uno stile di guida caratterizzato da un'alta frequenza di comportamenti prudenti possa comportare livelli più alti di workload o che uno stile di guida più "sensation-seeker" influenzerà positivamente le auto-attribuzioni di qualità della performance.

L'analisi della percezione di carico mentale, fisico e dello sforzo percepito potrebbero poi essere analizzati in funzione dell'esperienza di guida dei soggetti, supponendo che l'inesperienza favorisca livelli più alti di workload.

Partecipanti

A questo studio pilota hanno preso parte 13 partecipanti madrelingua italiani, 9 uomini (69%) e 4 donne (31%). L'età media era pari a 31.2 (SD= 2.5), mentre gli anni di scolarizzazione 19.5 (SD=2.5). Il reclutamento è avvenuto all'interno del contesto accademico.

Un prerequisito per la partecipazione era il possesso della licenza di guida, che in media è stata ottenuta 12.2 (SD=2.4) anni prima dello studio. Quattro partecipanti (31%) hanno riferito di aver fatto un uso modesto o nullo della propria vettura nell'anno precedente (meno di 5.000 km/anno), cinque (38%) di percorrere al massimo 10.000 km all'anno e i quattro rimanenti (31%) di non superare i 15.000 km. Nove persone (69%) hanno dichiarato di essere state coinvolte in incidenti stradali nel corso della loro vita, due delle quali nello scorso anno (15%). Otto soggetti (62%) hanno inoltre riferito di aver avuto esperienza nella guida con cambio automatico, sebbene uno solo (8%) ne dichiari un utilizzo frequente.

Sette soggetti hanno riferito di aver avuto qualche tipo di esperienza con interfacce VR e due di questi di aver sperimentato nausea come effetto collaterale dovuto all'esposizione. Sette hanno inoltre dichiarato di aver sofferto in passato di mal d'auto, due dei quali tutt'ora soffrono questa problematica. Due riferiscono di aver sofferto di altre forme di cinetosi (mal di mare, mal d'aereo, ecc.) in passato mentre altri due di soffrirne tutt'ora. È interessante notare come i due partecipanti che hanno riportato esperienze negative inerenti all'utilizzo di VR abbiano sofferto in passato sia di mal d'auto che di altre forme di cinetosi.

Quattro partecipanti hanno riferito di aver sofferto in passato o di soffrire tutt'ora di emicranie o cefalee, dieci partecipanti di avere problemi di vista (di cui due attualmente corretti) e un soggetto di aver sofferto di claustrofobia. Nessuno di loro ha riportato problemi uditivi o disturbi neurologici.

I partecipanti hanno inoltre compilato un questionario self-report (Multidimensional Driving Style Inventory) sullo stile e le abitudini di guida. I profili emersi (figura 1 e tabella 1) sono tendenzialmente orientati verso una guida sicura e paziente con livelli relativamente bassi di rabbia, comportamenti rischiosi e dissociazione dall'attività.

Questo studio pilota è stato presentato ed accettato dal comitato etico per la ricerca psicologica (area 17) dell'Università degli Studi di Padova (nr.4342).

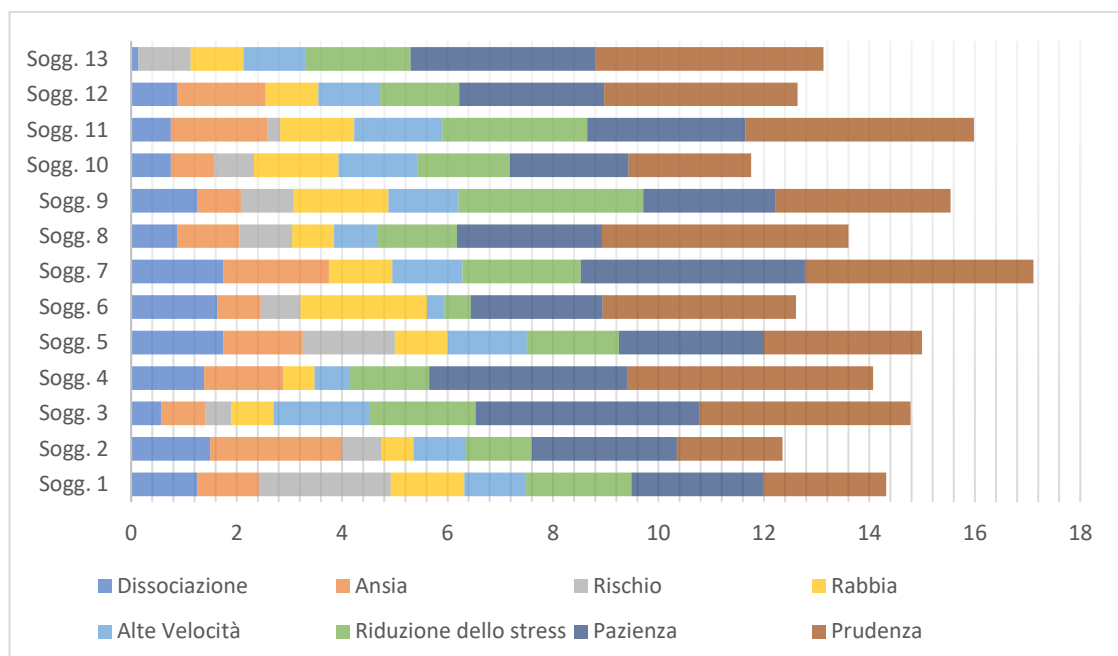


Fig.1 Profili MSDI di ogni partecipante in cui il colore indica la sottoscala relativa al profilo emerso

	Dissociazione	Ansia	Rischio	Rabbia	Alte Velocità	Riduzione dello stress	Pazienza	Prudenza
Sogg. 1	1,25	1,17	2,5	1,4	1,17	2	2,5	2,33
Sogg. 2	1,5	2,5	0,75	0,6	1	1,25	2,75	2
Sogg. 3	0,57	0,83	0,5	0,8	1,83	2	4,25	4
Sogg. 4	1,38	1,5	0	0,6	0,67	1,5	3,75	4,67
Sogg. 5	1,75	1,5	1,75	1	1,5	1,75	2,75	3
Sogg. 6	1,63	0,83	0,75	2,4	0,33	0,5	2,5	3,67
Sogg. 7	1,75	2	0	1,2	1,33	2,25	4,25	4,33
Sogg. 8	0,88	1,17	1	0,8	0,83	1,5	2,75	4,67
Sogg. 9	1,25	0,83	1	1,8	1,33	3,5	2,5	3,33
Sogg. 10	0,75	0,83	0,75	1,6	1,5	1,75	2,25	2,33
Sogg. 11	0,75	1,83	0,25	1,4	1,67	2,75	3	4,33
Sogg. 12	0,88	1,67	0	1	1,17	1,5	2,75	3,67
Sogg. 13	0,13	0	1	1	1,17	2	3,5	4,33

Tab. 1 Punteggi ottenuti dai partecipanti in riferimento ad ognuna delle sottoscale del MDSI, sono evidenziati in rosso i due punteggi più alti ottenuti da ogni soggetto.

Materiale sperimentale

Slater Usoh Steed – SUS (Appendice A)

È un questionario sviluppato da Slater e colleghi (1998) e Usoh e colleghi (1999) che mira all'assessment del senso di presenza sperimentato durante l'esposizione ad un ambiente virtuale. Richiede al partecipante di rispondere, successivamente all'esperienza immersiva virtuale, a 6 items su una scala Likert a 7 punti. Esempi di domande sono: *“Durante l'esperienza era più forte la sensazione di essere dentro l'ambiente virtuale o nel laboratorio?”* (1= totalmente nel laboratorio, 7= totalmente nell'ambiente virtuale), *“Durante la prova ha pensato spesso di essere veramente nell'ambiente virtuale?”* (1= praticamente mai, 7= molto spesso), *“Ripensando alla prova, i ricordi della realtà virtuale le appaiono più come immagini o, piuttosto, come un luogo che ha visitato?”* (1= nulla più che immagini, 7= come fosse un luogo), ecc.

Lo scoring del senso di presenza è solitamente effettuato contando il numero di volte in cui il partecipante ha dato una risposta di 6 o 7 ad una domanda, risultando quindi in un range del punteggio totale da 0 a 6 punti. Tuttavia, il metodo utilizzato in questo studio è quello della semplice somma dei punteggi relativi ad ogni item. Questa scelta è motivata dal fatto che in questo modo, considerando il numero ridotto dei partecipanti e il metodo conservativo di attribuzione dei punteggi proposto dagli autori, la distribuzione dei punteggi ha più probabilità di rispecchiare le differenze nella percezione del senso di presenza da parte dei partecipanti.

Non risulta ad oggi una versione italiana validata dal punto di vista psicométrico, per cui gli items sono stati tradotti per l'occasione dando priorità alla preservazione del significato dell'item piuttosto che alla sua traduzione letterale.

Simulator Sickness Questionnaire – SSQ (Appendice B)

È un questionario ideato da Kennedy e colleghi (1993) mirato all'assessment della gravità dei sintomi di SS percepiti a seguito di un compito di simulazione in ambiente virtuale. Consiste in 16 items corrispondenti ai 16 sintomi più frequentemente osservati, e al soggetto è richiesto, per ognuno di essi, di indicarne la severità percepita al momento della compilazione in una scala Likert a 4 punti (per niente, lieve, moderato, severo). I sintomi sono raggruppabili in tre cluster: Nausea (N; e.g. sudorazione, aumento della salivazione, nausea), Oculomotori (O; e.g. mal di testa, vista offuscata, affaticamento degli occhi) e Disorientamento (D; e.g. vertigini, difficoltà a mettere a fuoco la vista). Il punteggio totale è ottenuto sommando i punteggi relativi a tutti gli items e moltiplicandoli per il fattore scalare relativo alla SS totale (3.74) mentre i punteggi dei singoli cluster sono ottenuti dalla somma dei punteggi dei sintomi specifici moltiplicati per il fattore scalare del cluster (N=9.54, O=7.58, D=13.92).

Gli items sono stati tradotti dall'inglese all'italiano non essendo disponibili versioni validate su campioni di nazionalità italiana.

NASA Task Load Index – NASA-TLX (Appendice C)

Sviluppato da Hart e Staveland (1988) è un questionario composto da 6 items volti ad indagare rispettivamente il grado di sforzo mentale, sforzo fisico, fretta indotta dal compito, qualità della performance percepita soggettivamente, impegno profuso e frustrazione provata. Al partecipante è richiesto di esprimere, per ciascuno dei fattori, un giudizio sulla prova appena eseguita utilizzando una scala likert a 20 punti (da “*molto poco*” a “*molto*”, eccetto la dimensione della performance che è invertita e bassi punteggi corrispondono ad una valutazione positiva). Il metodo classico di scoring prevede un confronto fra le varie coppie possibili tra le sei dimensioni indagate in modo da stabilirne la salienza relativa ed assegnare così un peso ad ogni dimensione tramite cui calcolare l'indice di workload globale. Tuttavia, per questa ricerca è stato deciso di

utilizzare l'approccio "Raw Task Load Index" che prevede una media semplice fra i giudizi espressi riducendo i tempi di compilazione e restituendo quindi un punteggio globale fortemente correlato a quello altrimenti ottenuto con medie e deviazioni standard comparabili (Byers et al., 1989). Alcuni esempi di domande sono: *"Quanto è stato mentalmente faticoso per lei il compito di guida?"*, *"Quanto è stato fisicamente faticoso per lei svolgere il compito di guida?"*, *"Quanto si è dovuto impegnare per ottenere questo risultato durante la prova?"*.

Gli item sono stati tradotti dalla lingua inglese, caratterizzandoli quando necessario sulla particolare prova appena svolta ("task" è stato tradotto come "prova di guida"). L'utilizzo di questo questionario su una popolazione italiana è stato implementato con successo da Galante e colleghi (2018) utilizzando una versione precedentemente validata da Bracco e Chiorri (2006).

Multidimensional Driving Style Inventory – MDSI (Appendice D)

Originariamente sviluppato da Taubman e colleghi (2004), è stato validato con successo in lingua italiana da Freuli e colleghi (2020). Al partecipante è richiesto di rispondere a 40 items indicando, tramite una scala Likert a 6 punti (da *"per nulla"* a *"decisamente"*), un giudizio di frequenza rispetto a specifici comportamenti di guida o stati emotivi associati. Il questionario è costruito sull'idea che lo stile di guida sia un costrutto multidimensionale e sia quindi possibile individuare un profilo di guida caratterizzato dai punteggi ottenuti nelle otto dimensioni indagate dagli items (dissociativo, ansioso, riduzione dello stress, alte velocità, rabbia, rischio, paziente e prudente). Le domande presenti nel questionario sono volte ad indagare i vissuti interni durante la guida (e.g. *"di solito guidare mi fa sentire frustrato"*, *"provo un certo piacere nel contravvenire al codice della strada"*, *"mi sento a mio agio mentre guido"*), gli atteggiamenti verso l'attività (e.g. *"tendo a guidare in modo cauto"*, *"baso la mia guida sul motto 'chi va piano va sano e lontano'"*, ecc.) e i comportamenti adottati durante la conduzione del veicolo o in previsione di essa (e.g. *"spesso faccio delle attività rilassanti mentre guido"*, *"spesso impreco contro gli altri conducenti"*, *"programmo i lunghi viaggi in anticipo"*, ecc.). Per

effettuare lo scoring i punteggi degli item relativi ad una specifica sottoscala vengono sommati fra loro dividendo il risultato per il numero degli item stessi, ottenendo così una media.

La versione del questionario utilizzata in questo studio (Freuli et al., 2020) mostra una struttura fattoriale stabile, con indici di reliability interni ai singoli fattori accettabili (in ordine: stile caratterizzato da ansia, $\alpha=0.826$; da comportamenti rischiosi, $\alpha=0.804$; da vissuti di rabbia, $\alpha=0.665$; da comportamenti prudenti, $\alpha=0.658$; da dissociazione, $\alpha=0.652$; da alte velocità, $\alpha=0.629$; da comportamenti di riduzione dello stress, $\alpha=0.549$; da comportamenti pazienti, $\alpha=0.466$).

CAVE Automatic Virtual Environment

L'ambiente virtuale nel quale è stata svolta la simulazione di guida è costruito all'interno di una stanza di 3,5x3,5 metri le cui pareti presentano dei teli da proiezione ricurvi che coprono 180° della visione di un soggetto posto al centro della stanza e si estendono grossomodo per tutta l'altezza della parete. I tre proiettori posti al centro del soffitto dispongono di una risoluzione fino a 4K (6144x1080 pixel), il sistema audio è a 360° e sono presenti 4 videocamere che consentono una completa visione del soggetto e dell'ambiente.

Questa stanza è adiacente ad un'altra più piccola, la cabina di regia, che ospita la workstation necessaria a controllare l'ambiente virtuale. Il PC utilizzato monta un processore Intel i9-9900K 8 Core 3.6 GHz, 32 GB di memoria RAM DDR4 e una scheda video GeForce RTX 2080 Ti Advanced Edition 11 GB GDDR6 con output su tre schermi che vengono duplicati dai proiettori del CAVE.

Apparato di guida

Al centro della stanza è posizionata una pedana di legno mobile sulla quale è fissato un sistema di guida Logitech G29 composto da un volante motorizzato con 900° di rotazione massima, pedali in metallo e sedile in stile auto sportiva. La struttura è in metallo per garantire stabilità al sistema di guida e, oltre a permettere di regolare la distanza dei pedali, consente anche l'aggiustamento di altezza e distanza del volante dal busto del guidatore.

Software

La simulazione è mediata da Matlab, programma che permette la comunicazione e la mappatura dei comandi necessari all'utilizzo del software di guida principale, SCANer. Quest'ultimo è prodotto da AVsimulation e, oltre la guida, permette la progettazione di tutti gli aspetti necessari ad una simulazione come il tracciato, i veicoli, i parametri per il controllo di traffico e pedoni e l'ambiente circostante senza bisogno di programmi prodotti da terze parti. Il tracciato utilizzato in questa simulazione è stato prodotto in collaborazione con il Dipartimento di Mobilità ed Infrastrutture del Politecnico di Torino.

Procedura sperimentale

Questo studio pilota si inserisce all'interno di uno studio più ampio mirato ad indagare il ruolo di specifiche aree cerebrali tramite strumentazione fNIRS nella preparazione del comportamento di guida nell'eventualità di situazioni impreviste incontrate durante la conduzione di un veicolo su strada. Il paradigma sperimentale prevede un compito di guida simulata in cui i principali eventi di interesse sono attraversamenti pedonali con differenti gradi di difficoltà e imprevedibilità. L'obiettivo è quello di determinare le relazioni tra l'attivazione delle aree cerebrali in esame e la percezione di emergenza indotta attraverso la manipolazione del tracciato di guida.



La partecipazione allo studio è su base volontaria e, a seguito della conferma della propria disponibilità tramite consenso informato, i soggetti sono invitati a compilare telematicamente un primo questionario. La somministrazione di tutti i questionari utilizzati nel presente studio è avvenuta tramite la piattaforma Qualtrics. Durante la prima rilevazione, alcuni giorni prima la sessione sperimentale, vengono indagate abitudini di guida, informazioni sociodemografiche ed anamnestiche, come ad esempio presenza di eventuali disturbi neurologici o sensoriali ed esperienze di cinetosi. In questa fase viene anche svolta la compilazione del MDSI sugli stili di guida. Raccolte queste informazioni si procede poi a calendarizzare un appuntamento a seconda della disponibilità del laboratorio e dei partecipanti.

Il giorno della prova i partecipanti vengono accompagnati all'interno del laboratorio CAVE e invitati a compilare un questionario per la determinazione della mano dominante (Hand Dominance Questionnaire, HDQ; Chapman e Chapman, 1987), il Simulator Sickness Questionnaire per la determinazione dei livelli basali dei sintomi, ed a confermare il proprio consenso informato alla partecipazione e al trattamento delle informazioni personali.

Terminata la compilazione, vengono fatti accomodare sul sedile di guida e viene ottimizzata la distanza da sterzo e pedali. I partecipanti vengono poi informati sulla procedura di montaggio della cuffia necessaria ad ottenere il segnale fNIRS. Si tratta di una procedura non invasiva di una durata complessiva variabile di circa venti minuti nella quale gli sperimentatori si assicurano che gli optodi presenti nella cuffia non subiscano l'interferenza di cavi o ciocche di capelli. Quando il segnale non dovesse dimostrarsi sufficientemente pulito, tramite l'ausilio di piccoli bastoncini di legno, si procede con la massima prudenza a spostare di lato i capelli in modo che l'optodo si trovi il più possibile a contatto con la cute del soggetto. Ultimate queste operazioni, e raggiunto così il massimo grado di pulizia del segnale ottenibile in un ragionevole lasso di tempo, il partecipante viene informato della possibilità di comunicare con gli sperimentatori tramite microfoni che a questo punto lasciano la stanza per spostarsi in cabina di regia.

Dopo alcune raccomandazioni finali circa la possibilità di interrompere la sperimentazione in qualsiasi momento, viene dato l'avvio ad una prima prova di guida della durata di circa cinque minuti volta alla familiarizzazione, da parte del soggetto, con i comandi di guida e con l'ambiente virtuale. In questo tracciato urbano sono presenti due

rettilinei separati da una curva in cui il partecipante è invitato a testare una serie di movimenti fisici (ruotare la testa a destra e sinistra, in alto e in basso) e i comportamenti di guida quali frenata, sterzata e accelerazione prima dell'inizio della prova sperimentale.



Fig.2 Immagine tratta dall'ambiente urbano in cui si è svolta la simulazione di guida.

Al termine della prova di addestramento il soggetto viene avvisato dell'inizio della fase sperimentale. Questa consiste in tre rettilinei in ambiente urbano separati da due curve di 90° (fig. 2 e 3) in cui il partecipante può procedere unicamente avanzando secondo il percorso indicato, senza quindi la possibilità di prendere strade secondarie o tornare indietro. La velocità di percorrenza, visibile in ogni momento attraverso un tachimetro a schermo, è stata limitata in fase di programmazione a 70 km/h. Al partecipante era stato precedentemente indicato che la guida sarebbe stata automatica, senza la necessità di cambiare marcia. La costruzione del tracciato prevede come variabile dipendente 24 attraversamenti pedonali, di cui 6 in assenza di segnaletica stradale (segnali stradali di attraversamento o strisce pedonali), quindi meno prevedibili, e 18 con segnaletica, che

risultavano quindi prevedibili. Alcuni attraversamenti, inoltre, si caratterizzano per un particolare grado di pericolosità prevedendo, ad esempio, un maggior grado di ostruzione visiva a carico del guidatore dovuta al posizionamento strategico di veicoli sui parcheggi stradali. Il traffico è stato limitato in fase di programmazione in modo tale da non costituire un potenziale impedimento alla marcia del veicolo ed escludendo così un'ulteriore variabile. La durata complessiva è di circa 12 minuti.

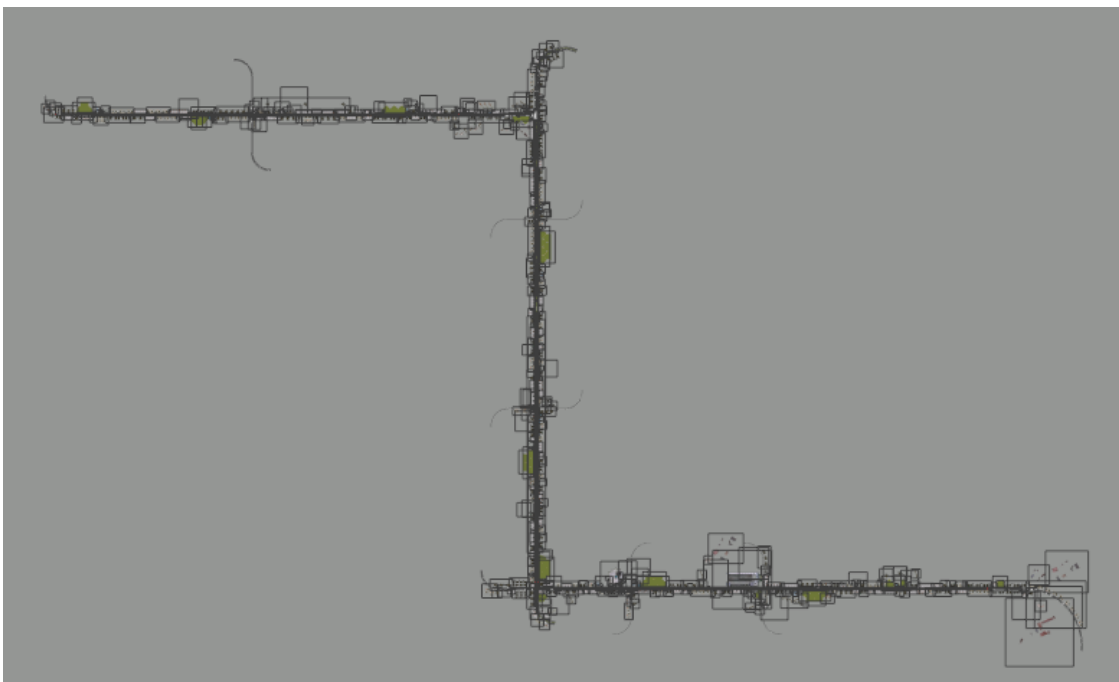


Fig. 3 Rappresentazione visualizzata dall'alto del tracciato della simulazione. I due capi costituiscono l'inizio e la fine della prova di guida ed è possibile osservare i tre rettilinei separati dalle due curve a 90°.

Lo stato fisico del partecipante è monitorato passivamente per tutto il corso dell'esperimento. Terminata la prova, il soggetto viene poi raggiunto dagli sperimentatori e, dopo un accertamento relativo ai possibili affetti avversi dovuti all'esposizione all'ambiente virtuale, è invitato ad un'ultima compilazione di questionari. La severità

degli eventuali effetti avversi viene misurata tramite il SSQ, l'intensità del senso di presenza attraverso il SUS e il workload cognitivo con il NASA-TLX.

Prima di essere condotto all'esterno della struttura al soggetto vengono fornite, se richieste, delucidazioni rispetto allo scopo della sperimentazione e ad eventuali quesiti o curiosità riguardanti la stessa.

Analisi dei dati

Le analisi svolte sono partite dall'assegnazione e dal calcolo dei punteggi per ogni questionario somministrato, per i quali sono state poi prodotte statistiche descrittive e frequenze di selezione.

L'elaborazione dei dati è stata svolta tramite il software Jamovi. I risultati ottenuti sono stati standardizzati in punti z, scelta fatta per usufruire di un confronto tra variabili distribuite su range differenti mantenendo la variabilità del dato. I punti z sono stati calcolati sottraendo al singolo dato la media del campione e dividendo il risultato per la deviazione standard.

Data la piccola numerosità del campione utilizzato, è stato scelto di utilizzare l'indice di Kendall (Kendall, 1938) per svolgere gli studi correlazionali.

L'effetto di variabili quali il genere o l'esperienza di guida con cambio manuale sono stati effettuati con il test di Wilcoxon-Mann-Whitney (Wilcoxon, 1945; Mann e Whitney, 1947), un test non parametrico finalizzato al confronto fra ranghi di osservazioni indipendenti. La scelta è motivata dal fatto che il ridotto campione a disposizione in questo studio pilota mostrava distribuzioni di punteggi asimmetriche e quindi non adatte ad un confronto fra medie tramite test parametrici come il test di t di Student.

Risultati preliminari

Lo studio correlazionale è stato svolto con l'ausilio dell'indice tau di Kendall. Complessivamente non sono risultate relazioni significative fra i punteggi di simulation sickness, presence e workload cognitivo (Tabella 2).

		Simulation sickness	Presence
Presence	Tau B di Kendall	0.204	—
	valore p	0.352	—
Workload	Tau B di Kendall	-0.040	-0.093
	valore p	0.853	0.665

Tab.2 Correlazioni fra presence, SS e Workload

Di seguito (figure 4, 5 e 6) sono riportati i grafici relativi alle dispersioni fra gli indici di presence, SS e workload.

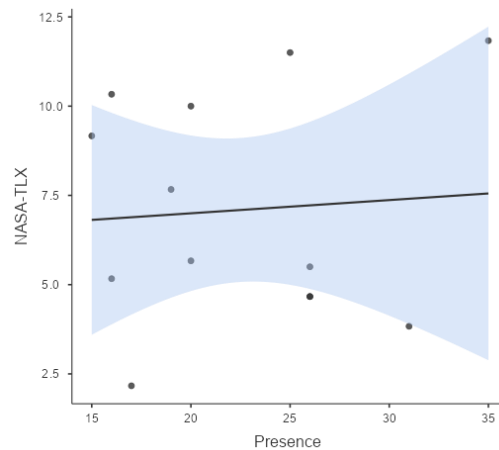


Fig. 4 Dispersione dei dati fra indici di presence e workload.

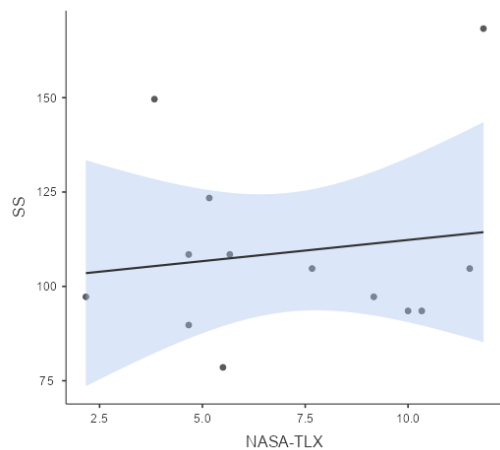


Fig. 5 Dispersione dei dati fra indici di workload ed SS.

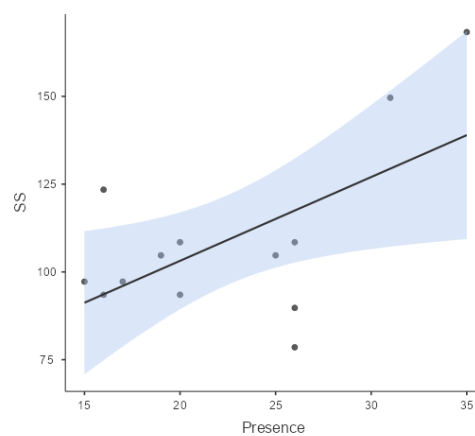


Fig.6 Dispersione fra indici di presence ed SS.

Analisi svolte fra indici globali e sottoscale di SSQ e NASA-TLX

I punteggi di presence sono poi stati approfonditi nella relazione con le subscale del NASA-TLX. Da tale indagine è risultata una correlazione negativa e significativa fra presence e la dimensione relativa alla frustrazione (Tau $b=-0.452$; $p=0.04$). A livello descrittivo, si può supporre comunque una tendenza positiva fra presence e scala della performance percepita (Tau $b=0.397$; $p=0.071$; tabella 3), ricordando che la scala della performance è invertita e bassi punteggi indicano buoni giudizi positivi. Non risultano invece significative le correlazioni fra il costrutto di presence e le sottoscale del SSQ (tabella 4), come non si osserva evidenza di correlazioni degne di nota fra le dimensioni del SSQ e le sottoscale del NASA-TLX (tabella 5).

		Sforzo Mentale	Sforzo fisico	Fretta	Performance	Impegno	Frustrazione
Presence	Tau B di Kendall	-0.014	0.098	-0.264	0.397	-0.262	-0.452
	valore p	0.950	0.661	0.233	0.071	0.236	0.040

Tab.3 Correlazioni fra SUS e sottoscale NASA-TLX.

		Nausea	Oculomotori	Disorientamento
Presence	Tau B di Kendall	0.352	-0.071	0.160
	valore p	0.116	0.752	0.484

Tab.4 Correlazioni fra SUS e sottoscale SSQ.

		Sforzo Mentale	Sforzo fisico	Fretta	Performance	Impegno	Frustrazione
Nausea	Tau B di Kendall	0.101	0.374	-0.071	0.282	0.014	-0.155
	valore p	0.658	0.100	0.751	0.208	0.950	0.489
Oculomotori	Tau B di Kendall	0.058	0.058	-0.058	-0.099	0.229	-0.014
	valore p	0.799	0.799	0.799	0.658	0.311	0.950
Disorientamento	Tau B di Kendall	-0.030	0.074	0.059	0.334	-0.015	-0.116
	valore p	0.898	0.749	0.798	0.143	0.949	0.611

Tab.5 Correlazioni fra sottoscale SSQ e NASA-TLX.

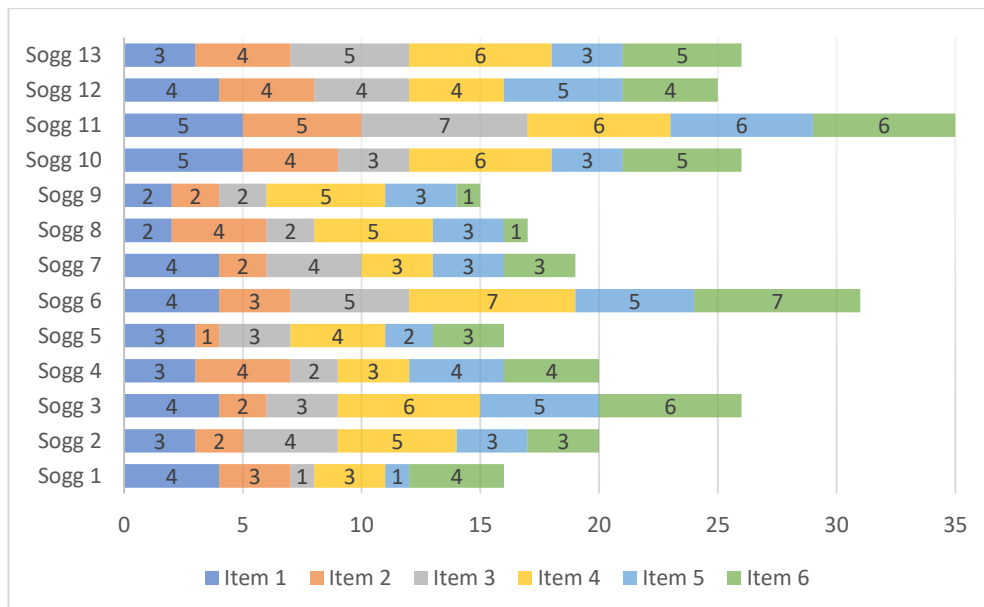


Fig.7 Rappresentazione delle risposte al questionario SUS per ogni partecipante, i colori indicano l'item del questionario

Analisi svolte circa abitudini di guida, informazioni sociodemografiche, informazioni anamnestiche ed indici globali di presence, SS, workload e relative sottoscale

Una eventuale differenza di genere nei punteggi delle tre scale e relative sottoscale è stata poi investigata attraverso il test non parametrico di Mann-Whitney. Il genere dei partecipanti non sembra determinare una differenza significativa per quanto riguarda la SS e le sue sottoscale, mentre risulta un significativo effetto di genere in relazione alla sottoscala della performance del NASA-TLX ($U=1.0$; $p=0.006$) (tab. 6 e 7), quale il genere femminile mostra medie maggiori nell'auto-valutazione (negativa, dal momento che la scala è invertita) della prova appena svolta. Un effetto di genere è riscontrabile anche per quanto riguarda l'indice di presence ($U=0.833$; $p=0.024$) (tab. 8 e 9) con punteggi mediamente più alti sempre per il genere femminile.

		Statistica	p	Dimensione dell'Effetto
Sforzo Mentale	U di Mann-Whitney	16.5	0.876	0.0833
Sforzo Fisico	U di Mann-Whitney	14.0	0.584	0.2222
Fretta	U di Mann-Whitney	18.0	1.000	0.0000
Performance	U di Mann-Whitney	0.0	0.006	10.000
Impegno	U di Mann-Whitney	17.5	1.000	0.0278
Frustrazione	U di Mann-Whitney	14.5	0.641	0.1944
NASA totale	U di Mann-Whitney	13.0	0.487	0.2778

Tab 6 Test U fra sottoscale NASA-TLX e genere. *Nota: correlazione biseriale di rango, $H_a \mu_{Donna} \neq$*

μ_{Uomo}

	Gruppo	N	Media	Mediana	SD	SE
Sforzo Mentale	Donna	4	8.75	9.00	6.95	3.47
	Uomo	9	8.67	10.00	4.15	1.384
Sforzo Fisico	Donna	4	7.75	6.00	7.63	3.82
	Uomo	9	3.89	4.00	2.52	0.841
Fretta	Donna	4	4.50	4.50	3.11	1.55
	Uomo	9	5.00	4.00	4.36	1.453
Performance	Donna	4	14.25	14.00	2.06	1.03
	Uomo	9	5.78	5.00	3.53	1.176
Impegno	Donna	4	8.50	9.00	6.40	3.20
	Uomo	9	9.44	10.00	4.00	1.334
Frustrazione	Donna	4	5.25	4.50	4.19	2.10
	Uomo	9	6.89	6.00	5.46	1.822
NASA totale	Donna	4	8.17	8.50	4.10	2.05
	Uomo	9	6.61	5.67	2.81	0.937

Tab.7 Descrittive fra sottoscale NASA-TLX e genere.

		Statistica	p	Dimensione dell'Effetto
Presence	U di Mann-Whitney	3.00	0.024	0.833

Tab. 8 Test U fra genere e presence. *Nota: correlazione biseriale di rango, $H_a \mu_{Donna} \neq \mu_{Uomo}$.*

	Gruppo	N	Media	Mediana	SD	SE
Presence	Donna	4	29.3	28.5	4.65	2.32
	Uomo	9	19.4	19.0	4.13	1.38

Tab.9 Descrittive fra genere e presence

Un'esperienza pregressa nell'uso di vetture con cambio automatico è risultata relata a minori punteggi nell'indice globale di SS ($U=0.725$; $p=0.039$) e nella sottoscala dei sintomi di nausea ($U=0.800$; $p=0.021$) (tabelle 10 e 11).

		Statistica	p	Dimensione dell'Effetto
Nausea	U di Mann-Whitney	4.00	0.021	0.800
Oculomotori	U di Mann-Whitney	7.50	0.073	0.625
Disorientamento	U di Mann-Whitney	10.00	0.153	0.500
SS	U di Mann-Whitney	5.50	0.039	0.725

Tab. 10 Test U fra utilizzo di cambio automatico e sottoscale SSQ. *Nota: Correlazione biseriale di rango, $H_a \mu_{Si} \neq \mu_{No}$*

	Gruppo	N	Media	Mediana	SD	SE
Nausea	Si	8	79.9	76.3	19.0	6.73
	No	5	120.2	95.4	44.03	19.69
Oculomotori	Si	8	71.1	72.0	12.8	4.52
	No	5	84.9	83.4	8.30	3.71
Disorientamento	Si	8	116.6	111.4	23.5	8.29
	No	5	142.0	125.3	36.03	16.11
SS totale	Si	8	97.7	95.4	13.3	4.71
	No	5	127.2	108.5	29.80	13.33

Tab 11 Descrittive fra utilizzo di cambio automatico e sottoscale SSQ. *Nota: Si=familiarità con cambio automatico, No= totale inesperienza con cambio automatico.*

Non sono stati riscontrati effetti relativi all'aver sofferto o soffrire tutt'ora di mal d'auto o altre cinetosi, al coinvolgimento in incidenti nel corso della vita, all'esperienza pregressa nell'uso di VR e alla sperimentazione conseguente di effetti collaterali sugli indici di presenza, NASA-TLX, SS e relative sottoscale. Nemmeno l'età dei partecipanti e il numero di anni dal conseguimento della patente di guida hanno mostrato relazioni significative con questi indici.

Analisi svolte fra indice di SS globale e relative sottoscale con confronto pre e post condizione sperimentale

L'indice di SS globale risulta positivamente correlato ad ognuna delle sottoscale del SSQ, con una correlazione specialmente pronunciata con la dimensione relativa alla nausea (Tau b=0.826; p<0.001; tab. 12). Il confronto fra le misure di SS ottenute prima della sperimentazione con quelle successive all'esperienza risultano significative per la dimensione dei sintomi oculomotori. La scala O post sperimentazione è infatti significativamente relata ai punteggi nelle dimensioni di nausea (Tau b=0.528; p=0.025), sintomi oculomotori (tau b=0.533; p=0.021) e punteggio globale (Tau b=0.638; p=0.005) registrati immediatamente prima dell'inizio della fase sperimentale (tab.13). Nella figura 8 sono inoltre indicate le frequenze di risposta ai singoli item del SSQ.

		Nausea	Oculomotori	Disorientamento
Oculomotori	Tau B di Kendall	0.438	—	
	valore p	0.056	—	
Disorientamento	Tau B di Kendall	0.493	0.376	—
	valore p	0.034	0.107	—
SS	Tau B di Kendall	0.826	0.620	0.606
	valore p	< .001	0.006	0.008

Tab.12 Correlazioni fra l'indice di SS totale e le scale SSQ.

		Nausea post	Oculom. post	Disorient. post	SS post
Nausea pre	Tau B di Kendall	0.231	0.528	0.095	0.268
	valore p	0.326	0.025	0.691	0.244
Oculom. Pre	Tau B di Kendall	0.162	0.533	0.015	0.185
	valore p	0.482	0.021	0.948	0.412
Disorient. pre	Tau B di Kendall	0.076	0.441	-0.078	0.184
	valore p	0.766	0.086	0.764	0.462
SS pre	Tau B di Kendall	0.216	0.638	0.044	0.250
	valore p	0.341	0.005	0.847	0.259

Tab.13 Correlazioni fra indici di SS totale e scale nel pre esperimento e nel post.

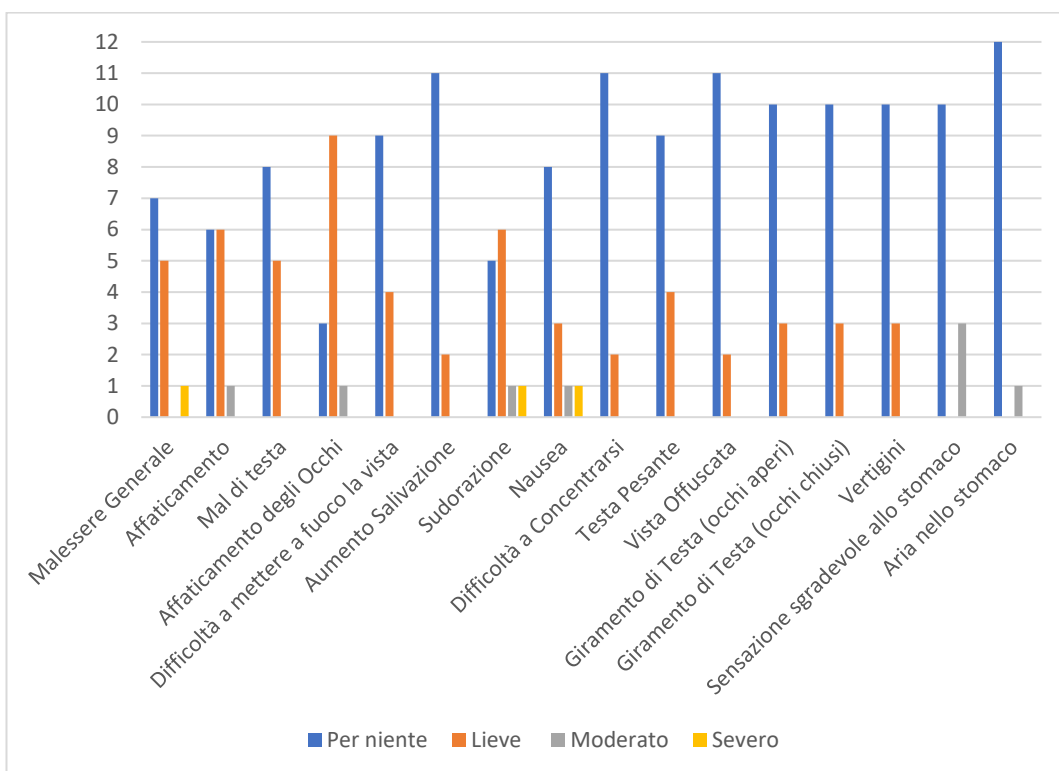


Fig.8 Frequenze delle risposte ottenute tramite il questionario SSQ post-sperimentale.

Analisi svolte fra indice di workload globale e relative sottoscale

Nelle analisi interne riguardanti i fattori del NASA-TLX sono emerse correlazioni positive significative fra la scala dello sforzo mentale e le scale relative al senso di fretta indotto (Tau b=0.454; p=0.043), all'impegno profuso (tau b=0.704; p=0.002), alla frustrazione percepita (Tau b=0.476; p=0.033) e all'indice globale di workload (tau b=0.695; p=0.002). La scala dello sforzo fisico è risultata significativamente correlata soltanto all'indice globale (Tau b=0.613; p=0.005) mentre, la dimensione legata alla percezione di fretta, ha mostrato relazioni significative con le scale di impegno profuso (Tau b=0.545; p=0.014), frustrazione (Tau b=0,764; p<0.001) e indice globale (Tau b=0.663; p=0.002). Infine, la scala dell'impegno, oltre alle relazioni già indicate, ha ottenuto correlazioni significative con la dimensione della frustrazione (tau b=0.662; p=0.003) e con l'indice globale (Tau b=0.739; p<0.001) mentre, la scala di performance, non è risultata significativamente correlata a nessun'altro fattore, compreso l'indice generale (tab. 14). Nella figura 9 sono rappresentati i punteggi cumulativamente riportati da ogni soggetto al questionario.

		S. Mentale	S. fisico	Fretta	Performance	Impegno	Frustrazione
S. Mentale	Tau B di Kendall	—					
	valore p	—					
S. Fisico	Tau B di Kendall	0.429	—				
	valore p	0.058	—				
Fretta	Tau B di Kendall	0.454	0.369	—			
	valore p	0.043	0.100	—			
Perform.	Tau B di Kendall	-0.014	0.056	0.056	—		
	valore p	0.950	0.802	0.802	—		
Impegno	Tau B di Kendall	0.704	0.423	0.545	-0.069	—	
	valore p	0.002	0.059	0.014	0.755	—	
Frustr.	Tau B di Kendall	0.476	0.308	0.764	-0.164	0.662	—
	valore p	0.033	0.168	< .001	0.455	0.003	—
NASA-TLX	Tau B di Kendall	0.695	0.613	0.663	0.160	0.739	0.600
	valore p	0.002	0.005	0.002	0.459	< .001	0.005

Tab.14 Correlazioni fra le sottoscale NASA-TLX.

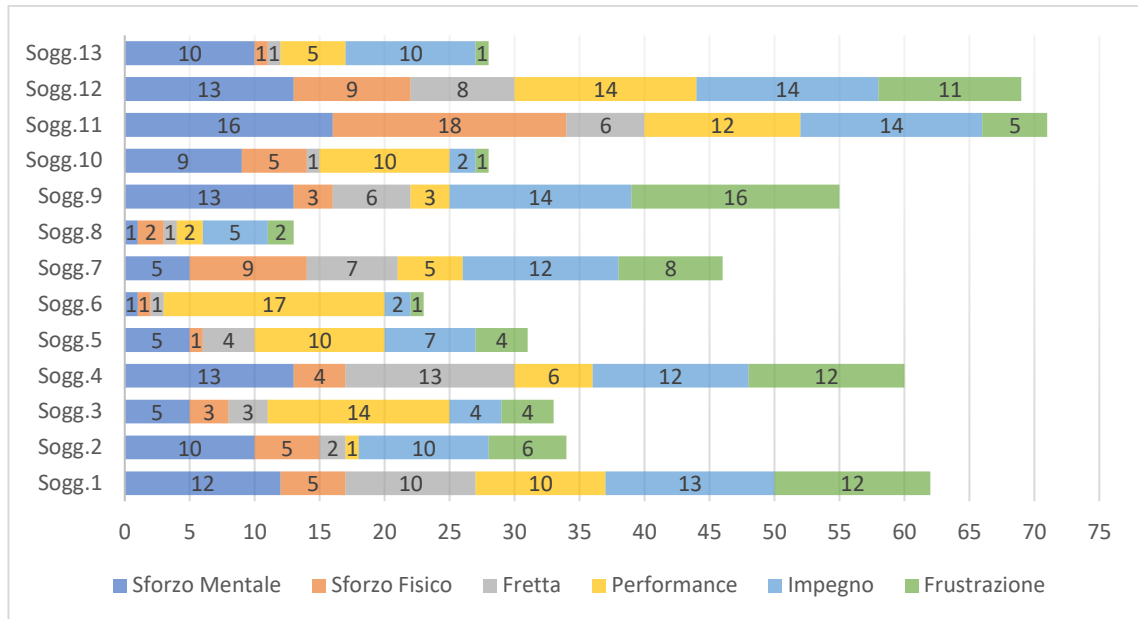


Fig.9 Rappresentazione delle risposte al questionario NASA-TLX per ogni partecipante, i colori indicano gli item del questionario.

Analisi svolte in relazione ai profili di guida emersi dal MDSI

I profili di guida emersi dal questionario MDSI non sono risultati significativamente relati al senso di presenza, alla SS, al NASA-TLX né alle loro rispettive sottoscale, eccezion fatta per la dimensione dello sforzo fisico che ha riportato una relazione negativa con il profilo caratterizzato da comportamenti rischiosi alla guida (Tau $b=-0.446$; $p=0.05$) (tab. 15, 16).

Lo stile di guida prudente è risultato correlare positivamente con l'età dei partecipanti (Tau $b=0.606$, $p=0.007$) mentre i comportamenti dissociativi alla guida sono negativamente associati agli anni di patente (Tau $b=-0.476$; $p=0.036$) (tab. 17).

Dalle analisi svolte non risultano effetti significativi dovuti al genere e all'esperienza o meno di incidenti nel corso della vita in relazione allo stile di guida.

		Nausea	Oculomotori	Disorientamento	SS	Presence
Dissociazione	B	0.266	0.381	0.288	0.270	-0.367
	p	0.233	0.089	0.204	0.216	0.094
Ansia	B	0.388	0.333	0.326	0.333	-0.056
	p	0.086	0.142	0.158	0.132	0.801
Rischio	B	-0.203	0.073	-0.134	-0.084	-0.338
	p	0.374	0.750	0.563	0.707	0.131
Rabbia	B	0.326	0.214	0.073	0.301	0.055
	p	0.147	0.342	0.750	0.171	0.803
Alta velocità	B	0.085	0.099	-0.232	0.095	0.055
	p	0.706	0.658	0.309	0.664	0.803
Riduz. Stress	B	-0.157	0.086	-0.353	-0.179	-0.125
	p	0.487	0.703	0.125	0.417	0.573
Pazienza	B	-0.248	-0.029	-0.090	-0.254	0.156
	p	0.278	0.898	0.699	0.257	0.487
Prudenza	B	-0.270	-0.086	0.132	-0.164	0.124
	p	0.231	0.704	0.566	0.455	0.574

Tab.15 Correlazioni fra profili di guida MDSI, presence e sottoscale SS.

		S. Mentale	S. Fisico	Fretta	Perf.	Impegno	Frustr.	NASA-TLX
Dissociazione	B	-0.208	-0.028	0.235	-0.122	-0.055	0.231	-0.066
	p	0.348	0.900	0.287	0.576	0.803	0.291	0.758
Ansia	B	0.200	0.500	0.340	-0.154	0.324	0.308	0.368
	p	0.375	0.027	0.128	0.489	0.147	0.167	0.092
Rischio	B	-0.144	-0.446	-0.314	-0.141	-0.128	-0.183	-0.274
	p	0.526	0.050	0.163	0.529	0.571	0.413	0.212
Rabbia	B	0.028	-0.042	-0.070	0.262	0.083	-0.069	-0.013
	p	0.900	0.850	0.753	0.236	0.708	0.755	0.951
Alta velocità	B	0.098	0.238	-0.028	0.233	0.097	-0.027	0.160
	p	0.661	0.286	0.900	0.290	0.662	0.901	0.459
Riduz. Stress	B	0.284	0.213	0.197	-0.069	0.406	0.250	0.325
	p	0.207	0.344	0.377	0.754	0.069	0.260	0.136
Pazienza	B	0.014	0.087	0.187	-0.043	0.114	0.043	0.124
	p	0.949	0.703	0.408	0.850	0.612	0.850	0.573
Prudenza	B	-0.028	-0.042	0.070	-0.041	0.083	-0.041	-0.013
	p	0.900	0.850	0.753	0.851	0.708	0.851	0.951

Tab.16 Correlazioni fra profili di guida MDSI e sottoscale NASA-TLX.

		Diss.	Ansia	Rischio	Rabbia	Alta V.	Rid. Stress	Pazienza	Prudenza
Età	B	-0.333	0.000	-0.460	-0.183	0.098	0.227	0.493	0.606
	p	0.133	1.000	0.043	0.414	0.661	0.313	0.031	0.007
Anni scolarizz	B	0.016	-0.290	0.292	-0.302	-0.331	-0.144	0.065	0.302
	p	0.946	0.219	0.219	0.198	0.155	0.541	0.784	0.198
Anni di patente	B	-0.476	-0.119	-0.299	0.175	0.348	0.368	0.271	0.409
	p	0.036	0.607	0.199	0.444	0.127	0.110	0.245	0.074

Tab.17 Correlazioni fra profili di guida MDSI, Età, Anni di scolarità Anni di patente.

Discussione

L'obiettivo di questo studio pilota era in prima istanza quello di individuare potenziali trend e relazioni presenti fra i tre costrutti in esame. L'ipotesi di correlazione negativa fra presence e workload non è stata confermata dai risultati, in linea con lo studio condotto da Lackey e colleghi (2016). I risultati ottenuti da Lackey e colleghi (2016) vengono poi nuovamente accreditati dai nostri dati in sede di confronto fra l'indice di presence e la sottoscala della frustrazione, da cui emerge come bassi livelli di presence siano rispecchiati in giudizi maggiori espressi in quella determinata sottoscala. Questo risultato potrebbe essere interpretato, in accordo alle ipotesi sperimentali, come un indicatore del fatto che il compito di guida non fosse sufficientemente complesso da saturare le risorse cognitive di quei partecipanti che, oltre al compito, stessero contemporaneamente sperimentando difficoltà nell'adattamento all'ambiente virtuale. Questo scarso adattamento alla simulazione è testimoniato dai report dei partecipanti riguardo alla frustrazione sperimentata durante la prova e, parzialmente, nelle valutazioni soggettive relative alla qualità della performance che, sebbene non abbiano raggiunto la significatività statistica ($p=0.071$), indicano almeno una tendenza nell'esprimere giudizi negativi rispetto alla propria prestazione al crescere del senso di presence (ricordiamo che la scala di performance è invertita). Non è da escludere il possibile coinvolgimento di una terza variabile attualmente non considerata, dal momento che il genere femminile presenta contemporaneamente livelli significativamente maggiori di presence e di auto-valutazione (negativa) del livello di performance. Non sembra tuttavia risultare dalla letteratura una differenza di genere nei punteggi di presence o NASA-TLX e il campione statistico a disposizione per questo studio pilota è certamente insufficiente a trarre conclusioni. Studi futuri, in questo senso, potrebbero verificare l'effettiva esistenza di questa tendenza dei partecipanti a sperimentare frustrazione in relazione al senso di presence e, in caso positivo, cercare di determinare quale delle due spiegazioni potrebbe essere più verosimile nella spiegazione di questo fenomeno, verificando o confutando la presenza di un effetto di genere.

Dalle analisi svolte non sembrerebbe emergere una relazione fra sintomi di SS e workload, né per quanto riguarda gli indici totali né dalle correlazioni operate fra le varie

sottoscale. La dispersione dei dati e la retta di regressione (Fig.5) sembrerebbero suggerire una tendenza, seppur minima, dei partecipanti a riportare punteggi maggiori di workload all'acuirsi dei sintomi avversi e il partecipante che ha riportato i maggiori livelli di SS è lo stesso che ha indicato il compito come più impattante. Questo partecipante, inoltre, è stato l'unico a far presente agli sperimentatori il suo livello di malessere al termine della prova, laddove solo una modesta parte di partecipanti aveva spontaneamente riferito qualche effetto collaterale perlopiù marginale e relativo a sintomi oculomotori. È quindi possibile che le limitazioni dovute alla bassa numerosità del campione abbiano impattato particolarmente questo aspetto, considerata la plausibilità dell'ipotesi che vede una persona particolarmente colpita da sintomi mentali e fisici come quelli della SS subire maggiormente l'impatto di una prova che richiede un livello relativamente alto di attenzione sostenuta.

Dai dati risulta che l'esperienza pregressa dei partecipanti nell'utilizzo di veicoli con cambio automatico presenti correlazioni negative statisticamente significative con l'indice totale di SS e con la scala di nausea. Alla luce di questi risultati è possibile ipotizzare un effetto facilitatore dato dalla familiarità con questo tipo di veicoli, variabile che potrebbe essere presa in considerazione in studi futuri dal momento che potrebbe condizionare, oltre alle correlazioni fra eventuali test di controllo, anche gli indici di performance nella prova di guida simulata.

Il confronto statistico fra indici di presence e SS non ha prodotto riscontri significativi sebbene in questo caso la slope della retta di regressione (Fig. 6) sembri suggerire una tendenza dei partecipanti a sperimentare una sintomatologia più compromettente in concomitanza di un più accentuato senso di presence. L'ipotesi sperimentale, che supponeva una relazione positiva fra presence e SS, era dovuta all'attesa di un alto grado di mismatch sensoriale causato dall'elevata immersività visiva del VE non sufficientemente supportata da altre modalità sensoriali. I dati, pur non rilevando un effetto statistico, potrebbero non essere sufficienti per smentire la possibilità che l'ipotesi legata al ruolo dei supporti sensoriali nell'incidenza della SS possa essere fondata. È quindi possibile che il futuro ampliamento del campione possa indurre ad una correlazione positiva fra questi costrutti.

Il comportamento dell'indice di presence in relazione alle sottocole di sintomi della SS non ha prodotto risultati statisticamente rilevanti nonostante la dimensione della

nausea, a differenza delle altre due, sembra indicare una tendenza positiva ($\tau_b=0.325$; $p=0.116$). Nonostante la cautela interpretativa, approfondimenti in tal senso potrebbero suggerire come i sintomi legati alla nausea costituiscano il cluster preponderante indotto dall'ambiente virtuale utilizzato. A conferma di ciò, sebbene il CAVE sia spesso riconosciuto come più incline all'induzione di sintomi oculomotori, le analisi interne alla scala di SS hanno permesso di osservare come, nonostante tutti e tre i cluster siano significativamente relati all'indice globale, quello che presenta correlazione e significatività maggiori sia quello relativo alla nausea. È anche interessante notare, d'altro canto, come le analisi svolte tra gli indici di SS ottenuti prima della prova e quelli post-sperimentazione riconoscano ai valori basali delle scale N, O e all'indice totale di SS un ruolo predittivo sui valori fasici della scala O. Non è di conseguenza possibile escludere la possibilità che le caratteristiche peculiari del CAVE facilitino, come descritto dalla letteratura, l'induzione di sintomi tendenzialmente oculomotori.

Riassumendo, le ipotesi principali del presente studio pilota non hanno complessivamente trovato un riscontro statistico. Nonostante la letteratura che prende in esame la possibile relazione fra SS e workload sia per lo più aneddotica, ad un livello puramente teorico sembra ragionevole ipotizzare come una persona parzialmente debilitata a livello fisico possa dover investire una quantità di energia mentale maggiore per portare a termine una prova che necessita di attenzione sostenuta. È possibile, dunque, che la relazione fra questi due costrutti non sia emersa in questo studio pilota a causa del ristretto numero di partecipanti. A sostegno di questa supposizione vi è l'osservazione relativa al fatto che il numero di persone colpite in modo moderato o grave dai sintomi si sia rivelato sorprendentemente basso se paragonato alle stime riscontrabili in letteratura con un tasso di drop-out dalla prova nullo. Inoltre, fattori spesso indicati come predittori di SS, come l'aver sofferto o soffrire di mal d'auto, esperienze di altri tipi di cinetosi, il genere e l'età dei partecipanti, non sembrerebbero aver comportato nessun effetto sui livelli di SS o nelle relative sottoscale. Relativamente all'età anagrafica dei soggetti è necessario comunque sottolineare come il campione fosse interamente costituito da giovani adulti, popolazione ritenuta meno suscettibile alla presentazione della sintomatologia in forma grave.

Questi dati potrebbero, da una parte, confermare il CAVE come un ambiente virtuale generalmente poco incline all'induzione di SS, ammettendo come i risultati e le

conclusioni che possono essere tratte dal presente lavoro siano da considerare esclusivamente come esplorative ed in funzione di futuri studi con una potenza maggiore.

Riguardo l'ipotesi di relazione positiva fra senso di presence e indici di simulation sickness, sebbene sia stata rilevata una tendenza visibile sul piano descrittivo, non è stato possibile riscontrare alcun effetto statistico degno di nota. Nonostante sia possibile che allo stato attuale i risultati presenti in letteratura non siano stati replicati, considerato anche lo stadio pilota dello studio e il livello intermedio di qualità degli strumenti sperimentali utilizzati (volante da gaming con seduta statica), è necessario sottolineare come l'utilizzo del SUS per la misura di presence si sia rivelato difficoltoso. Oltre alla limitatezza del campione, infatti, una criticità può essere riscontrata nell'assenza di un metodo unico e stabile per lo scoring del questionario. In letteratura, non sorprendentemente, sono riscontrabili altri gruppi di ricerca che, utilizzando il SUS, hanno sviluppato metodi di scoring personalizzati (eg. Himmels et al., 2020). È possibile, tuttavia, che il ridotto numero di partecipanti abbia influenzato la distribuzione dei risultati e che, su larga scala, il metodo di assegnazione dei punteggi proposto dagli autori originali non risulti altrettanto conservativo. A questo proposito, lavori futuri interessati all'utilizzo del questionario potrebbero, durante l'elaborazione dei dati, includere misure di presence ottenute tramite metodi di scoring alternativi, o ancora, mettere a punto una nuova proposta di scoring della scala generalizzabile e valida a livello psicometrico.

L'assenza di una relazione fra senso di presence e workload è, d'altro canto, un fenomeno già riscontrato in letteratura (e.g. Lackey et al., 2016) e una spiegazione che tenga in conto la mancata saturazione delle risorse cognitive del soggetto da parte del compito risulta plausibile. Questo quesito teorico, in modo analogo al precedente, appare per lo più inesplorato e definire con maggiore certezza la presenza di una relazione fra questi due costrutti potrebbe ricoprire un ruolo importante nello stabilire la validità ecologica degli studi di guida simulata. Studi futuri potrebbero concentrarsi quindi sull'indagine di questa relazione magari manipolando le due variabili in esame, proponendo quindi ai soggetti prove di diverse difficoltà e utilizzando diversi tipi di simulazione. Le limitazioni sottolineate precedentemente, ossia la numerosità del campione e le criticità nell'uso del SUS, rimangono tuttavia valide anche per questo

quesito teorico e, se una soluzione per la prima è facilmente individuabile, la seconda comporta riflessioni teoriche e pratiche più approfondite.

Al contrario, l'utilizzo del SSQ e del NASA-TLX si è rivelato più semplice e non sono state riscontrate particolari criticità. Nel primo, le sottoscale hanno mostrato una buona correlazione con l'indice totale e fra loro, eccezion fatta per la relazione fra scala O e D. Anche le dimensioni del NASA-TLX hanno mostrato delle buone correlazioni con l'indice globale, tranne la scala di auto-valutazione della performance che non è risultata significativa. Nonostante questo, il vantaggio evidente nell'utilizzo di questi due questionari è la possibilità di valutare separatamente gli indici che li compongono.

In ultima istanza, i profili di guida forniti dal MDSI non si sono rivelati particolarmente informativi a questo stadio dello studio, mostrando limitate correlazioni con gli indici in esame. Questo potrebbe considerarsi tutto sommato positivo dal momento che i nostri risultati sembrerebbero escludere un ruolo impattante di queste differenze individuali sulle analisi svolte. Un'eccezione particolare riguarda il profilo di guida caratterizzato da comportamenti rischiosi, il quale è risultato negativamente relato alla sottoscala dello sforzo fisico del NASA-TLX. Sembrerebbe infatti che i partecipanti che hanno riportato una frequenza maggiore di comportamenti e stati mentali associabili ad una guida rischiosa abbiano ritenuto meno faticosa la prova affrontata. Questo potrebbe significare, da un lato, una maggior "leggerezza" associata all'atto di guidare da parte di questi soggetti oppure, dall'altro, la relativa semplicità della prova simulata rispetto alle usuali esperienze di guida nel mondo reale. Durante il prosieguo dello studio sarà di sicuro interesse considerare la prestazione effettiva dei partecipanti al compito di guida, eventualmente associando il profilo MDSI al comportamento di guida e agli indici soggettivi.

Futuri studi interessati all'esplorazione di questi tre costrutti potrebbero includere questionari riguardo l'ansia di stato e il benessere psicofisico, necessari per meglio inquadrare lo stato in cui si trova la persona prima di sottoporsi alla prova. La richiesta di informazioni relative alle abitudini di guida, come la frequenza di utilizzo dell'automobile, il livello di expertise percepito in quanto guidatore o l'eventuale presenza di ansia e timori sperimentati durante quest'attività, potrebbero fornire ulteriori spunti riguardo alla reale competenza del soggetto in relazione agli indici di performance e agli esiti dei questionari. Un campione più ampio e rappresentativo

sarebbe certamente utile per la generalizzabilità dei risultati sulla popolazione di riferimento, necessaria per una corretta interpretazione e implementazione dei risultati ottenuti. Infine, l'integrazione di misure psicofisiologiche semplici e poco invasive, come la frequenza cardiaca o respiratoria, aiuterebbero nel riconoscimento, nella definizione e nella disambiguazione del senso di presence.

L'ambito di ricerca riguardante la guida simulata è in costante sviluppo e lo studio strutturato e rigoroso delle interazioni che intercorrono fra questi tre costrutti potrebbe gettare le basi per stabilire la validità ecologica di questi paradigmi, sempre più essenziali per la comprensione dei comportamenti alla guida in contesti sperimentali controllati.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bélangier, A., Gagnon, S., & Yamin, S. (2010). Capturing the serial nature of older drivers' responses towards challenging events: A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 809–817.

Bella, F. (2008). Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1078-1087.

Bimberg, P., Weissker, T., & Kulik, A. (2020, March). On the usage of the simulator sickness questionnaire for virtual reality research. In *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces abstracts and workshops (VRW)* (pp. 464-467). IEEE.

Bliss, J. P., Tidwell, P. D., & Guest, M. A. (1997). The effectiveness of virtual reality for administering spatial navigation training to firefighters. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(1), 73-86.

Bracco, F., & Chiorri, C. (2006, October). Validazione italiana del NASA-TLX su un campione di motociclisti [Italian validation of the NASA-TLX in a sample of bikers]. In *Proceedings of the national congress of the Italian psychological association*.

Brookhuis, K. A., & De Waard, D. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 898-903.

Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., ... & Wills, R. F. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident analysis & prevention*, 42(3), 788-796.

Bruck, L., Haycock, B., & Emadi, A. (2020). A review of driving simulation technology and applications. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 2, 1-16.

Byers, J. C., Bittner, A. C., & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw task load index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary. *Advances in industrial ergonomics and safety*, 1, 481-485.

Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P., & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1282-1293.

Calhoun, V. D., & Pearlson, G. D. (2012). A selective review of simulated driving studies: combining naturalistic and hybrid paradigms, analysis approaches, and future directions. *Neuroimage*, 59(1), 25-35.

Cassavaugh, N. D., Domeyer, J. E., & Backs, R. W. (2011). Lessons learned regarding simulator sickness in older adult drivers. In *Universal Access in Human-Computer Interaction. Context Diversity: 6th International Conference, UAHCI 2011, Held as Part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011, Proceedings, Part III 6* (pp. 263-269). Springer Berlin Heidelberg.

Chang, E., Kim, H. T., & Yoo, B. (2020). Virtual reality sickness: a review of causes and measurements. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(17), 1658-1682.

Chapman, L. J., & Chapman, J. P. (1987). The measurement of handedness. *Brain and cognition*, 6(2), 175-183.

Cheung, B. S., Howard, I. P., & Money, K. E. (1991). Visually-induced sickness in normal and bilaterally labyrinthine-defective subjects. *Aviation, space, and environmental medicine*, 62(6), 527-531.

Classen, S., Bewernitz, M., & Shechtman, O. (2011). Driving simulator sickness: an evidence-based review of the literature. *The American Journal of Occupational Therapy*, 65(2), 179-188.

Classen, S., & Brooks, J. (2014). Driving simulators for occupational therapy screening, assessment, and intervention. *Occupational therapy in health care*, 28(2), 154-162.

Cobb, S. V., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE). *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 8(2), 169-186.

Cooper, G. E., & Harper, R. P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities*. National Aeronautics and Space Administration.

Crowley, J. S. (1987). Simulator sickness: a problem for Army aviation. *Aviation, space, and environmental medicine*, 58(4), 355-357.

Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., & DeFanti, T. A. (2023). Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In *Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries, Volume 2* (pp. 51-58).

De Craen, S., Twisk, D. A., Hagenzieker, M. P., Elffers, H., & Brookhuis, K. A. (2008). The development of a method to measure speed adaptation to traffic complexity: Identifying novice, unsafe, and overconfident drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1524-1530.

De Waard, D., & Brookhuis, K. A. (1996). The measurement of drivers' mental workload.

de Winkel, K. N., Talsma, T. M., & Happee, R. (2022). A meta-analysis of simulator sickness as a function of simulator fidelity. *Experimental Brain Research*, 240(12), 3089-3105.

Deniaud, C., Honnet, V., Jeanne, B., & Mestre, D. (2015, July). An investigation into physiological responses in driving simulators: An objective measurement of presence. In *2015 Science and Information Conference (SAI)* (pp. 739-748). IEEE.

Deniaud, C., Honnet, V., Jeanne, B., & Mestre, D. (2015). The concept of "presence" as a measure of ecological validity in driving simulators. *Journal of Interaction Science*, 3, 1-13.

Di Stasi, L. L., Álvarez-Valbuena, V., Cañas, J. J., Maldonado, A., Catena, A., Antolí, A., & Candido, A. (2009). Risk behaviour and mental workload: Multimodal assessment techniques applied to motorbike riding simulation. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 12(5), 361-370.

Domeyer, J. E., Cassavaugh, N. D., & Backs, R. W. (2013). The use of adaptation to reduce simulator sickness in driving assessment and research. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 127-132.

Draper, J. V., & Blair, L. M. (1996, April). Workload, flow, and telepresence during teleoperation. In *Proceedings of IEEE international conference on robotics and automation* (Vol. 2, pp. 1030-1035). IEEE.

Draper, J. V., Kaber, D. B., & Usher, J. M. (1998). Telepresence. *Human factors*, 40(3), 354-375.

Draper, J. V., Kaber, D. B., & Usher, J. M. (1999). Speculations on the value of telepresence. *CyberPsychology & Behavior*, 2(4), 349-362.

Drexler, J. M. (2006). *Identification of system design features that affect sickness in virtual environments*. University of Central Florida.

Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2018). Can simulator sickness be avoided? A review on temporal aspects of simulator sickness. *Frontiers in psychology*, 9, 2132.

Ebenholtz, S. M. (1992). Motion sickness and oculomotor systems in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(3), 302-305.

Ebenholtz, S. M. (2001). Oculomotor systems and perception. (*No Title*).

Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45(9), 952-979.

Figalová, N., Pichen, J., Chuang, L. L., Baumann, M., & Pollatos, O. (2022). System Immersion of a Driving Simulator Affects the Oscillatory Brain Activity. *Neuroergonomics and Cognitive Engineering*, 42, 113.

Freuli, F., De Cet, G., Gastaldi, M., Orsini, F., Tagliabue, M., Rossi, R., & Vidotto, G. (2020). Cross-cultural perspective of driving style in young adults: Psychometric evaluation through the analysis of the Multidimensional Driving Style Inventory. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 73, 425-432.

Galante, F., Bracco, F., Chiorri, C., Pariota, L., Biggero, L., & Bifulco, G. N. (2018). Validity of mental workload measures in a driving simulation environment. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.

Galy, E., Paxion, J., & Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics*, 61(4), 517-527.

Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological theory of motion sickness and postural instability. *Ecological psychology*, 3(3), 195-240.

George, P., Kemeny, A., Merienne, F., Chardonnet, J. R., Thouvenin, I. M., Posselt, J., & Icart, E. (2013, March). Nomad devices for interactions in immersive virtual environments. In *The Engineering Reality of Virtual Reality 2013* (Vol. 8649, pp. 163-169). SPIE.

Gianaros, P. J., Muth, E. R., Mordkoff, J. T., Levine, M. E., & Stern, R. M. (2001). A questionnaire for the assessment of the multiple dimensions of motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 72(2), 115.

Gibson, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems.

Grassini, S., & Laumann, K. (2020). Questionnaire measures and physiological correlates of presence: A systematic review. *Frontiers in psychology*, 11, 349.

Grier, R. A. (2015, September). How high is high? A meta-analysis of NASA-TLX global workload scores. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 59, No. 1, pp. 1727-1731). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Hettinger, L. J., Berbaum, K. S., Kennedy, R. S., Dunlap, W. P., & Nolan, M. D. (1990). Vection and simulator sickness. *Military psychology*, 2(3), 171-181.

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139-183). North-Holland.

Hart, S. G. (2006, October). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 50, No. 9, pp. 904-908). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage publications.

Hettinger, L. J., & Riccio, G. E. (1992). Visually induced motion sickness in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(3), 306-310.

Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner Jr, A. C., Zaklade, A. L., & Christ, R. E. (1992). Comparison of four subjective workload rating scales. *Human factors*, 34(4), 429-439.

Himmels, C., Rock, T., Venrooij, J., & Riener, A. (2020). Presence Questionnaires in Driving Simulation. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 1-35.

IJsselsteijn, W. A., De Ridder, H., Freeman, J., & Avons, S. E. (2000, June). Presence: concept, determinants, and measurement. In *Human vision and electronic imaging V* (Vol. 3959, pp. 520-529). SPIE.

Jayaram, S., Connacher, H. I., & Lyons, K. W. (1997). Virtual assembly using virtual reality techniques. *Computer-aided design*, 29(8), 575-584.

Johnsen, E. G., & Corliss, W. R. (1971). *Human factors applications in teleoperator design and operation* (p. 252). New York: Wiley-Interscience.

Johnson, D. M. (2007). Simulator sickness research summary. *US Army Research Institute for the Behavioral and Social Science Ft. Rucker, Alabama*.

Johnson, M. J., Chahal, T., Stinchcombe, A., Mullen, N., Weaver, B., & Bédard, M. (2011). Physiological responses to simulated and on-road driving. *International journal of Psychophysiology*, 81(3), 203-208.

Reed Jones, J. (2011). *Prediction and prevention of simulator sickness: An examination of individual differences, participant behaviours, and controlled interventions* (Doctoral dissertation, University of Guelph).

Kantowitz, B. H. (2000, July). Attention and mental workload. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 44, No. 21, pp. 3-456). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Kellogg, R.S., Kennedy, R.S., & Graybiel, A. (1964). Motion sickness symptomatology of labyrinthine defective and normal subjects during zero gravity maneuvers. *Aerospace medicine*, 36, 315-8 .

Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1/2), 81-93.

Kennedy, R. S., & Graybiel, A. (1965). *The Dial test: A standardized procedure for the experimental production of canal sickness symptomatology in a rotating environment*. US Naval School of Aviation Medicine, US Naval Aviation Medical Center.

Kennedy, R. S., Graybiel, A., McDonough, R. C., & Beckwith, D. (1968). Symptomatology under storm conditions in the North Atlantic in control subjects and in persons with bilateral labyrinthine defects. *Acta oto-laryngologica*, 66(1-6), 533-540.

Kennedy, R. S., & Frank, L. H. (1985). *A review of motion sickness with special reference to simulator sickness* (p. 0053). Canyon Research Group, Incorporated.

Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1992). Use of a motion sickness history questionnaire for prediction of simulator sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 63(7), 588-593.

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Liienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203-220.

Kennedy, R. S., Drexler, J., & Kennedy, R. C. (2010). Research in visually induced motion sickness. *Applied ergonomics*, 41(4), 494-503.

Keshavarz, B., Riecke, B. E., Hettinger, L. J., & Campos, J. L. (2015). Vection and visually induced motion sickness: how are they related?. *Frontiers in psychology*, 6, 472.

Kramer, A. F. (2020). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. *Multiple task performance*, 279-328.

Lane, N. E., & Kennedy, R. S. (1988). *A New Method for Quantifying Simulator Sickness: Development and Application of the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ); Technical Report*. Essex Corporation.

Lobjois, R., Faure, V., Désiré, L., & Benguigui, N. (2021). Behavioral and workload measures in real and simulated driving: Do they tell us the same thing about the validity of driving simulation?. *Safety science*, 134, 105046.

Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of computer-mediated communication*, 3(2), JCMC321.

Mai, Christian. (2018). *The Usage of Presence Measurements in Research: A Review*.

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*, 50-60.

Matas, N. A., Nettelbeck, T., & Burns, N. R. (2015). Dropout during a driving simulator study: A survival analysis. *Journal of safety research*, 55, 159-169.

Matthews, G., Saxby, D. J., Funke, G. J., Emo, A. K., & Desmond, P. A. (2011). Driving in states of fatigue or stress.

Megías, A., Navas, J. F., Petrova, D., Candido, A., Maldonado, A., Garcia-Retamero, R., & Catena, A. (2015). Neural mechanisms underlying urgent and evaluative behaviors: An fMRI study on the interaction of automatic and controlled processes. *Human brain mapping*, 36(8), 2853-2864.

Minsky, "Telepresence," Omni, pp. 45–51, 1980.

Mourant, R. R., & Thattacherry, T. R. (2000, July). Simulator sickness in a virtual environments driving simulator. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 44, No. 5, pp. 534-537). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Mullen, N. W., Weaver, B., Riendeau, J. A., Morrison, L. E., & Bédard, M. (2010). Driving performance and susceptibility to simulator sickness: Are they related?. *The American Journal of Occupational Therapy*, 64(2), 288-295.

Nabi, H., Salmi, L. R., Lafont, S., Chiron, M., Zins, M., & Lagarde, E. (2007). Attitudes associated with behavioral predictors of serious road traffic crashes: results from the GAZEL cohort. *Injury Prevention*, 13(1), 26-31.

Pallamin, N., & Bossard, C. (2016). Presence, behavioural realism and performances in driving simulation. *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), 408-413.

Park, G. D., Allen, R. W., Fiorentino, D., Rosenthal, T. J., & Cook, M. L. (2006, October). Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, and gender for an older driver assessment study. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 50, No. 26, pp. 2702-2706). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Patten, C. J., Kircher, A., Östlund, J., Nilsson, L., & Svenson, O. (2006). Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 887-894.

Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2014). Mental workload and driving. *Frontiers in psychology*, 5, 1344.

Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2015). Overload depending on driving experience and situation complexity: which strategies faced with a pedestrian crossing?. *Applied ergonomics*, 51, 343-349.

da Silva, F. P. (2014). Mental workload, task demand and driving performance: what relation?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 162, 310-319.

Pollatsek, A., Vlakveld, W., Kappé, B., Pradhan, A. K., & Fisher, D. L. (2011). Driving simulators as training and evaluation tools: Novice drivers. *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*, 334-337.

Reason, J. T., & Brand, J. J. (1975). *Motion sickness*. Academic press.

Reason, J. T. (1978). Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the royal society of medicine*, 71(11), 819-829.

Reed, N., Diels, C., & Parkes, A. M. (2007, December). Simulator sickness management: Enhanced familiarisation and screening processes. In *Proceedings of the First International Symposium on Visually Induced Motion Sickness, Fatigue, and Photosensitive Epileptic Seizures (VIMS2007)* (pp. 156-162). Hong Kong, PRC: VIMS.

Reid, G. B., & Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 185-218). North-Holland.

Reimer, B., & Mehler, B. (2011). The impact of cognitive workload on physiological arousal in young adult drivers: a field study and simulation validation. *Ergonomics*, *54*(10), 932-942.

Rolison, J. J., Regev, S., Moutari, S., & Feeney, A. (2018). What are the factors that contribute to road accidents? An assessment of law enforcement views, ordinary drivers' opinions, and road accident records. *Accident Analysis & Prevention*, *115*, 11-24.

Salanitri, D., Lawson, G., & Waterfield, B. (2016, September). The relationship between presence and trust in virtual reality. In *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics* (pp. 1-4).

Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *10*(3), 266-281.

Shechtman, O., Classen, S., Awadzi, K., & Mann, W. (2009). Comparison of driving errors between on-the-road and simulated driving assessment: a validation study. *Traffic injury prevention*, *10*(4), 379-385.

Shupak, A., & Gordon, C. R. (2006). Motion sickness: advances in pathogenesis, prediction, prevention, and treatment. *Aviation, space, and environmental medicine*, *77*(12), 1213-1223.

Slater, M., Steed, A., & Usoh, M. (1995). The virtual treadmill: A naturalistic metaphor for navigation in immersive virtual environments. In *Virtual Environments' 95: Selected papers of the Eurographics Workshops in Barcelona, Spain, 1993, and Monte Carlo, Monaco, 1995* (pp. 135-148). Springer Vienna.

Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence: teleoperators and virtual environments*, 8(5), 560-565.

Slater, M., Steed, A., McCarthy, J., & Maringelli, F. (1998). The influence of body movement on subjective presence in virtual environments. *Human factors*, 40(3), 469-477.

Slater, M., & Steed, A. (2000). A virtual presence counter. *Presence*, 9(5), 413-434.

Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence connect*, 3(3), 1-5.

Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3549-3557.

Slater, M., Lotto, B., Arnold, M. M., & Sanchez-Vives, M. V. (2009). How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement. *Anuario de psicología*, 40(2), 193-210.

Slob, J. J. (2008). State-of-the-art driving simulators, a literature survey. *DCT report*, 107.

Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10, 251-296.

Sweller, J. (1988), Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12.

Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, M., & Gillath, O. (2004). The multidimensional driving style inventory—scale construct and validation. *Accident Analysis & Prevention*, 36(3), 323-332.

Terkildsen, T., & Makransky, G. (2019). Measuring presence in video games: An investigation of the potential use of physiological measures as indicators of presence. *International journal of human-computer studies*, 126, 64-80.

Treisman, M. (1977). Motion sickness: an evolutionary hypothesis. *Science*, 197(4302), 493-495.

Trick, L. M., & Caird, J. K. (2011). Methodological issues when conducting research on older drivers.

Triggs, T. J. (2004). "Simulation evaluation of driver performance changes during the early years of driving," in *Proceedings of the Driving Simulation Conference, Paris*, 421–430.

Usoh, M., Arthur, K., Whitton, M. C., Bastos, R., Steed, A., Slater, M., & Brooks Jr, F. P. (1999, July). Walking> walking-in-place> flying, in virtual environments. In *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 359–364).

Usoh, M., Catena, E., Arman, S., & Slater, M. (2000). Using presence questionnaires in reality. *Presence*, 9(5), 497-503.

Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation: Towards an adaptive human machine interface in the car of tomorrow. *Ergonomics*, 43(2), 187-209.

Vessey, I. (1994). The effect of information presentation on decision making: A cost-benefit analysis. *Information & management*, 27(2), 103-119.

Weidner, F., Hoesch, A., Poeschl, S., & Broll, W. (2017, March). Comparing VR and non-VR driving simulations: An experimental user study. In *2017 IEEE Virtual Reality (VR)* (pp. 281-282). IEEE.

Wilcoxon, F. Individual comparisons by ranking methods, *Biom. Bull.* 1 (6)(1945) 80–83.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.

Wynne, R. A., Beanland, V., & Salmon, P. M. (2019). Systematic review of driving simulator validation studies. *Safety science*, 117, 138-151.

Young, Mark & Brookhuis, Karel & Wickens, Christopher & Hancock, Peter. (2014). State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*. 58. 1-17.

Zhang, Y., Guo, Z., & Sun, Z. (2020). Driving simulator validity of driving behavior in work zones. *Journal of advanced transportation*, 2020, 1-10.

Zijlstra, F. R. H. (1993). Efficiency in work behaviour: A design approach for modern tools (Ph. D. Thesis).

APPENDICE

Appendice A- Slater Usah Steed (SUS)

Item 1:

Quanto si è sentito “dentro” alla realtà virtuale? Il punteggio massimo corrisponde alla normale sensazione che proverebbe in un ambiente reale.

(Da: “Per niente” a “Del tutto”)

Item 2:

Può valutare il grado in cui le è sembrato che l’ambiente virtuale fosse, in qualche modo, la “realtà” durante la prova?

(Da: “Per niente” a “Del tutto”)

Item 3:

Ripensando alla prova, i ricordi della realtà virtuale le appaiono più come immagini o, piuttosto, come un luogo che ha visitato?

(Da: “Nulla più che immagini” a “Come fosse un luogo”)

Item 4:

Durante l’esperienza era più forte la sensazione di essere dentro l’ambiente virtuale o nel laboratorio?

(Da: “Nel laboratorio” a “Totalmente nell’ambiente virtuale”)

Item 5:

Ripensando all’ambiente virtuale, quanto le sembra che la struttura del ricordo sia simile ad altri posti in cui è stato oggi? Con “struttura del ricordo” intendiamo caratteristiche come il grado in cui il ricordo è vivido, a colori, realistico, la sua grandezza e altri elementi strutturali.

(Da: “Per nulla paragonabile ad altri posti reali” a “Totalmente paragonabile ad altri posti reali”)

Item 6:

Durante la prova ha pensato spesso di essere nell'ambiente virtuale?

(Da: "Praticamente mai" a "Molto spesso")

Appendice B- Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

La prego di indicare, per ognuno dei seguenti sintomi, come si sente in questo momento.

(Scelte: Per niente, Lieve, Moderato, Severo)

Item1: Malesere generale

Item 2: Fatica

Item 3: Mal di testa

Item 4: Affaticamento degli occhi

Item 5: Difficoltà a mettere a fuoco la vista

Item 6: Aumento della salivazione

Item 7: Sudore

Item 8: Nausea

Item 9: Difficoltà a concentrarsi

Item 10: Testa Pesante

Item 11: Vista offuscata

Item 12: Giramenti di testa (ad occhi aperti)

Item 13: Giramenti di testa (ad occhi chiusi)

Item 14: Vertigini

Item 15: Sensazione sgradevole allo stomaco

Item 16: Aria nello stomaco

Appendice C- NASA-TLX

Item 1:

Sforzo Mentale

Quanto è stato mentalmente faticoso per lei affrontare la prova di guida?

(Da: "Molto poco" a "Molto")

Item 2:

Sforzo fisico

Quanto è stato fisicamente faticoso per lei affrontare la prova di guida?

(Da: "Molto poco" a "Molto")

Item 3:

Fretta

Le è sembrato che i tempi fossero stretti per la prova? Di dover fare le cose "di corsa"?

(Da: "Molto poco" a "Molto")

Item 4:

Performance

Come crede di aver svolto la prova in base a ciò che le abbiamo chiesto?

(Da: "In modo impeccabile" a "Mi sento di aver fallito")

Item 5:

Impegno

Quanto si è dovuto impegnare per ottenere questo risultato?

(Da: "Molto poco" a "Molto")

Item 6:

Frustrazione

Quanto si è sentito insicuro, scoraggiato, irritato e infastidito durante la prova?

(Da: "Molto poco" a "Molto")

Appendice D- Multidimensional Driving Style Inventory (MDSI)

Di seguito è riportata una lista di affermazioni riguardanti il comportamento di guida delle persone. Gentilmente, legga con attenzione ogni affermazione ed indichi in quale misura la descrivano.

(Scelte: Per nulla, Molto poco, Poco, Abbastanza, Molto, Decisamente)

Item1: Spesso faccio delle attività rilassanti mentre guido

Item 2: Spesso guido di proposito a distanza ravvicinata dal veicolo che mi precede

Item 3: Spesso suono il clacson o “faccio i fari” ai veicoli che mi precedono come modo di esprimere la mia frustrazione

Item 4: Sento di avere il controllo sulla guida

Item 5: Spesso attraverso degli incroci quando il semaforo è appena diventato rosso

Item 6: Di solito mi piace la sensazione di guidare al limite (pericolosamente)

Item 7: Mentre guido tento di rilassarmi

Item 8: Quando il traffico è intenso e nelle corsie accanto a me le auto cominciano a muoversi, tento di spostarmi su queste il più presto possibile

Item 9: Di solito guidare mi fa sentire frustrato

Item 10: Spesso sogno ad occhi aperti per passare il tempo mentre guido

Item 11: Spesso impreco contro gli altri automobilisti

Item 12: Quando il semaforo diventa verde e l'auto davanti a me non parte, attendo un istante che lo faccia

Item 13: Guido in modo cauto/prudente

Item 14: Talvolta, perso nei miei pensieri, non mi accorgo della presenza di pedoni in attesa agli attraversamenti pedonali

Item 15: Quando il traffico è intenso, penso a come uscire dal traffico più velocemente

Item 16: Quando il semaforo diventa verde e l'auto davanti a me non parte immediatamente, tento di indurre il conducente a muoversi

Item 17: Alle intersezioni in cui devo dare la precedenza, attendo con pazienza che passino i veicoli con diritto di precedenza

Item 18: Quando qualcuno tenta di accostare davanti a me sulla strada, tento di impedirglielo guidando comunque in modo equilibrato

Item 19: Amo prendermi dei rischi mentre guido

Item 20: Baso la mia guida sul motto: "Chi va piano va sano e va lontano"

Item 21: Mi piace l'ebbrezza di essere a contatto con la morte e il disastro

Item 22: Mi spaventa il pensiero di guidare con cattivo tempo

Item 23: Spesso mentre guido medito/rifletto profondamente

Item 24: Perso nei miei pensieri, spesso non mi accorgo di avere i fari abbaglianti accesi, fino a quando non me lo segnala un altro automobilista

Item 25: Quando qualcuno adotta in strada comportamenti che mi annoiano, cerco di smuoverlo con l'uso degli abbaglianti a concentrarsi

Item 26: Provo un certo piacere nel contravvenire al codice della strada

Item 27: Spesso valuto in modo errato la velocità dei veicoli in arrivo dalla direzione opposta durante un sorpasso

Item 28: Mi sento nervoso mentre guido

Item 29: Divento impaziente durante le ore di punta

Item 30: Mi sento sotto stress mentre guido

Item 31: Spesso aziono le luci invece dei tergicristallo, come avrei voluto, o viceversa

Item 32: Spesso tento di evitare un semaforo rosso accelerando in terza marcia

Item 33: Spesso faccio delle attività rilassanti mentre guido

Item 34: Spesso programmo i miei viaggi non correttamente, per cui mi imbatto in traffico che avrei potuto evitare

Item 35: Spesso adotto tecniche di rilassamento muscolare mentre guido

Item 36: Programmo i lunghi viaggi in anticipo

Item 37: Spesso in un parcheggio colpisco qualcosa (o lo evito per poco) a causa di un errata valutazione degli spazi

Item 38: Mi sento a mio agio mentre guido

Item 39: Spesso suono il clacson contro gli altri

Item 40: Solitamente mi piace l'eccitazione di una guida pericolosa