

ABSTRACT

Negli ultimi anni molte sono state le critiche sollevate rispetto alla validità ecologica degli strumenti utilizzati nell'assessment neuropsicologico delle funzioni cognitive. La letteratura scientifica ha quindi proposto alcune alternative metodologiche ai classici test carta e matita: tra queste, un posto di rilievo è attualmente occupato dalla realtà virtuale, grazie alla sua capacità di fornire ambienti realistici in grado di simulare situazioni del mondo reale, il che permette di ottenere valutazioni del funzionamento più aderenti alla realtà quotidiana del paziente. Tuttavia, i livelli di realismo grafico ed immersività garantiti dagli strumenti attualmente presenti in letteratura risultano molto limitati. Gli autori del presente studio si sono quindi interrogati sulla possibilità di superare questo limite mediante l'implementazione di una particolare tecnologia afferente alla VR: l'utilizzo di ambienti naturalistici creati mediante foto e video panoramici a 360°. In particolare, ispirandosi ad un subtest di una batteria di memoria classica e di documentato valore ecologico, il Rivermead Behavioural Memory Test-III gli autori hanno ideato un protocollo valutativo preliminare, l'ObReco360, con l'obiettivo di testare le possibilità derivanti dall'utilizzo di questa nuova tecnologia nell'assessment neuropsicologico della memoria. I risultati hanno dimostrato che l'ObReco 360 è riuscito a fornire misure di memoria comparabili con quelle ottenute dal test tradizionale, garantendo parallelamente livelli di immersività più elevati. Queste evidenze preliminari nel loro insieme supportano l'idea di creare strumenti di valutazione neuropsicologica della memoria basati sull'implementazione di ambienti virtuali naturalistici a 360°.

1. Introduzione

Nell'ambito della valutazione in neuropsicologia clinica un aspetto sempre molto attuale è quello relativo alla validità ecologica degli strumenti che si utilizzano nella pratica clinica. Dalla letteratura emerge infatti un dibattito relativo alla capacità dei test psicometrici più utilizzati nel saper valutare le effettive capacità del paziente anche nel suo ambiente quotidiano, certamente differente rispetto al setting clinico: esistono infatti pazienti che ai test psicometrici ottengono prestazioni nella norma ma poi nel quotidiano mostrano delle difficoltà evidenti, e viceversa. (Mondini, Mapelli e Arcara, 2016). Da questo punto di vista per il neuropsicologo clinico appare dunque fondamentale poter accedere a degli strumenti che per quanto possibile superino i limiti ecologici dei protocolli standard. Per cercare di affrontare questa ed altre necessità negli ultimi anni molto si è investito sull'applicazione delle tecnologie afferenti alla realtà virtuale, in quanto si sono rivelate promettenti nel fornire degli ambienti virtuali in cui i pazienti possono effettuare dei compiti in modo molto simile a come fanno nel quotidiano (Parsons, 2015). Molti autori hanno utilizzato la realtà virtuale per creare dei protocolli finalizzati alla valutazione e alla riabilitazione di una vasta serie di disturbi neuropsicologici, dal neglect (Ogourtsova, Archambault, Sangani e Lamontagne, 2018) fino alle funzioni esecutive (Pedroli, Serino, Pallavicini, Cipresso e Riva, 2018). In particolare, per quanto riguarda la valutazione delle funzioni di memoria molti lavori più o meno recenti si sono focalizzati su singole componenti della memoria, per esempio quella episodica (Corriveau Lecavalier, Ouellet, Boller e Belleville, 2018), oppure hanno sviluppato degli strumenti totalmente nuovi per l'assessment globale delle funzioni mnestiche (Ouellet, Boller, Corriveau-Lecavalier, Cloutier e Belleville, 2018).

Tuttavia, l'attuale maggior accessibilità delle tecnologie della realtà virtuale, specialmente quelle che comprendono l'utilizzo delle foto e dei video panoramici immersivi (foto e video girati a 360°), apre la strada a nuove possibilità rispetto allo sviluppo di protocolli di valutazione innovativi ed ecologicamente validi. In particolare, attualmente in Italia solo un lavoro sperimentale (Serino et al., 2017) ha indagato le possibili implicazioni metodologiche derivanti dall'applicazione di questa promettente tecnologia alla valutazione neuropsicologica.

Il presente lavoro si divide in due parti: una sezione introduttiva ed una relativa alla descrizione di uno studio sperimentale. La prima fornisce una panoramica sui principali aspetti teorici e sugli strumenti relativi alla realtà virtuale, con focus specifico sulla recente tecnologia delle foto e dei video panoramici immersivi, proseguendo poi con una descrizione delle implicazioni derivanti dell'utilizzo delle tecnologie virtuali nel campo della valutazione neuropsicologica, con un bilancio rispetto ai vantaggi e agli svantaggi. La seconda parte illustra uno studio pilota, ideato utilizzando la realtà virtuale unita alla tecnologia dei video e delle foto a 360° ed applicato alla valutazione neuropsicologica della memoria: si analizzeranno i risultati derivanti dalla somministrazione di un test di memoria sviluppato ex novo utilizzando gli strumenti di questa nuova tecnologia, con l'intento di valutare l'effettiva possibilità di estendere l'utilizzo di questa particolare metodologia anche al campo della valutazione della memoria.

1.4 Foto e video panoramici immersivi

Come descritto in precedenza, il VE presentato in VR può essere di due tipi. Nel primo caso lo spazio digitale è creato completamente al computer, ovvero in CGI: questo significa che l'utente si interfacerà con una riproduzione del mondo reale che a livello grafico racchiude dei modelli tridimensionali, elaborati mediante software denominati “motori grafici” (fig.6 A). Nel secondo caso invece il VE è costituito da una foto o un video panoramico di un paesaggio della vita reale, catturato mediante degli specifici strumenti e montato attraverso software di elaborazione video (fig.6 B).

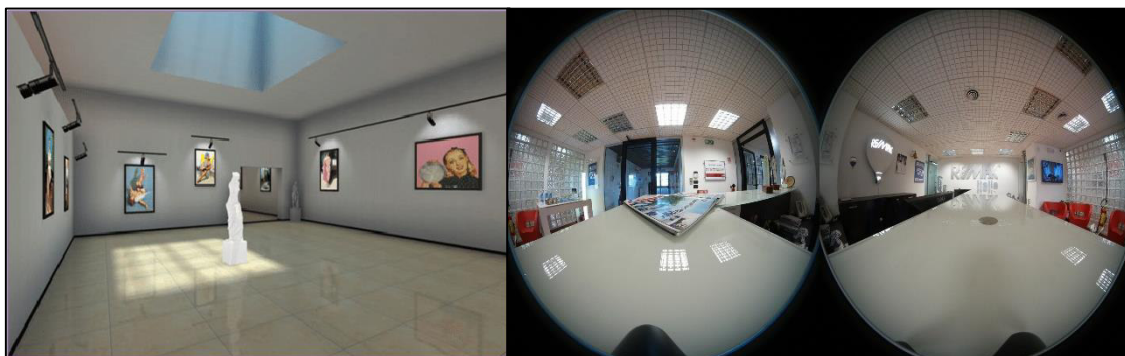


Figura 6. (A) Un esempio di VE realizzato in CGI utilizzando il motore grafico Unity© (<https://unity3d.com/>). In Tramonti, M. (2017). *Reinforcing Learning Setting through the Use of Digital Tools*. (B) Un VE catturato mediante l'utilizzo di una videocamera a 360°. In questo caso l'immagine è divisa in due parti poiché ancora non ha ricevuto le modifiche previste in post-produzione. Immagine tratta dal sito web di InstaVR©. (<http://www.instavr.co/>)

Nel 2005 Frank Nielsen pubblica un articolo in cui illustra una tecnica utilizzabile per creare delle immagini e dei video panoramici immersivi: utilizzando un set di telecamere poste attorno ad un punto specifico è possibile catturare simultaneamente lo spazio circostante dividendolo in due porzioni, una che racchiude i primi 180° e una che comprende gli altri 180° in cui è diviso l'ambiente.

2.2.2 Strumenti

L'ObReco360: sviluppo, somministrazione e descrizione

L'ObReco360 è uno strumento per la valutazione della memoria sviluppato mediante la tecnologia delle riprese panoramiche naturalistiche e somministrabile con i dispositivi della VR, ispirato al subtest Riconoscimento Figure (Immediato e Differito) del RBMT-3. I file multimediali impiegati nella creazione degli ambienti virtuali e successivamente utilizzati per il test sono stati registrati grazie ad una videocamera omnidirezionale, la Ricoh© Theta S (cfr. par. 1.4, fig. 7 B), con una risoluzione di 5376 x 2688 pixel per le foto panoramiche e 1920x1080 pixel per i video. Le registrazioni sono poi state elaborate mediante il programma proprietario della videocamera utilizzata e un applicativo per l'editing di foto e video, Adobe© Premiere Pro CC, mentre lo sviluppo complessivo delle applicazioni finali è avvenuto grazie al software InstaVR©, nella sua versione a pagamento.

Per somministrare il test è stato utilizzato un HMD di recente disponibilità (Maggio 2018), l'Oculus© Go nella sua versione da 64 GB, un visore *stand-alone* che permette di eseguire vari applicativi della VR (cfr. par. 1.3, fig. 4 B). Il dispositivo comprendeva anche un telecomando wireless, integrato via software, grazie al quale i partecipanti potevano interagire con quanto mostrato tramite il visore.

Le risposte ottenute dai partecipanti al test sono state registrate in un foglio di correzione sviluppato ad hoc (cfr. Appendice 2).

Il test si compone di due parti da somministrare in momenti differenti: il primo è il “Riconoscimento Oggetti Immediato” ed il secondo è il “Riconoscimento Oggetti Differito”.

La prima applicazione, il “Riconoscimento Oggetti Immediato”, racchiude 3 ambienti virtuali differenti. Il primo, utile per familiarizzare con l’ambiente e con le periferiche hardware, o per rilevare possibili effetti collaterali (es: *cyber sickness*), è formato da un video panoramico di uno schermo nero, liberamente esplorabile in tutte le direzioni, in cui sono stati posizionate quattro icone rappresentanti i numeri 1, 2, 3 e 4, ognuna delle quali è posta seguendo i quattro punti cardinali, attorno al punto di vista (*point of view*, POV) del partecipante. (fig. 8 A). In fase di registrazione quest’ultimo è stato impostato affinché corrispondesse a quello di una persona seduta su una sedia al centro di una stanza.



Figura 8. (A) La figura mostra ciò che partecipante vede spostando lo sguardo e la direzione del volto dall’immagine rappresentante il numero 1 all’immagine rappresentante il numero 2.

Ognuna di queste icone, se selezionata, mostra un messaggio: “vai al numero 2” per l’icona rappresentante il numero 1, “vai al numero 3” per l’icona rappresentante il numero 2 e così via fino all’icona numero 4, che invece una volta selezionata mostra il testo “vai alle istruzioni” (fig. 8 B).



Figura 8. (B) Una volta esplorato tutto lo spazio attorno a sé alla ricerca dei quattro stimoli bersaglio, giungendo al numero 4 e selezionandolo il partecipante può successivamente passare alla fase seguente.

Il secondo ambiente anche mostra anch'esso uno spazio nero tridimensionale liberamente esplorabile, ma questa volta al suo interno è inserito un testo che racchiude le istruzioni del test, sotto al quale si trovano due icone interattive: quella a sinistra riporta la dicitura “riascolta le istruzioni”, mentre quella a destra riporta la dicitura “vai al test”. (fig. 9). Contemporaneamente era presentato in file audio in cui una voce leggeva le istruzioni.



Figura 9. Nella figura sono riportate le istruzioni che il partecipante può leggere autonomamente o ascoltare grazie alla contemporanea presentazione di un file audio. Una volta terminata la presentazione audio il partecipante è libero di selezionare l'icona in basso a sinistra per riascoltare le istruzioni o l'icona in basso a destra per passare alla fase del test vero e proprio.

L'ultimo ambiente presente all'interno della prima parte del test rappresenta l'effettiva fase di valutazione: esso è costituito da una registrazione video panoramica di una stanza, in cui un esaminatore si sposta e mostra al partecipante degli oggetti che quest'ultimo deve denominare (fig. 10). Gli oggetti sono 10 e vengono mostrati ruotandoli attorno al proprio asse per 5 secondi, affinché il partecipante possa riconoscerli e denominarli, e rientrano in un insieme più ampio di 27 oggetti totali (10 target + 17 distrattori) posti attorno alla stanza.



Figura 10. La sequenza di oggetti che il partecipante deve denominare. Ciascuno di questi viene presentato per 5 secondi e ruotato sul suo asse, in modo da essere chiaramente distinguibile.

La seconda applicazione, il “Riconoscimento Oggetti Differito”, comprende invece 4 ambienti differenti. Allo stesso modo della parte precedente, il primo è costituito da uno spazio nero tridimensionale, ma in questo caso non ci sono numeri: è presente solo una singola icona, inizialmente posta davanti al POV del partecipante, che contiene l’etichetta “inizio” (fig. 11). Una volta selezionata, condurrà alle istruzioni della seconda parte del test. Il secondo ambiente racchiude le stesse caratteristiche del suo omologo presente nella prima parte del test: a cambiare questa volta è solo il testo delle istruzioni (fig. 12).

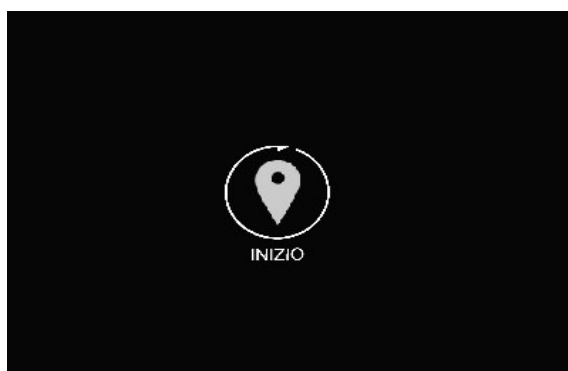


Figura 11. La schermata iniziale della seconda parte del test. Questa volta è presente solo una singola icona, poiché si presuppone che il partecipante abbia familiarizzato con il sistema durante l’esposizione precedente

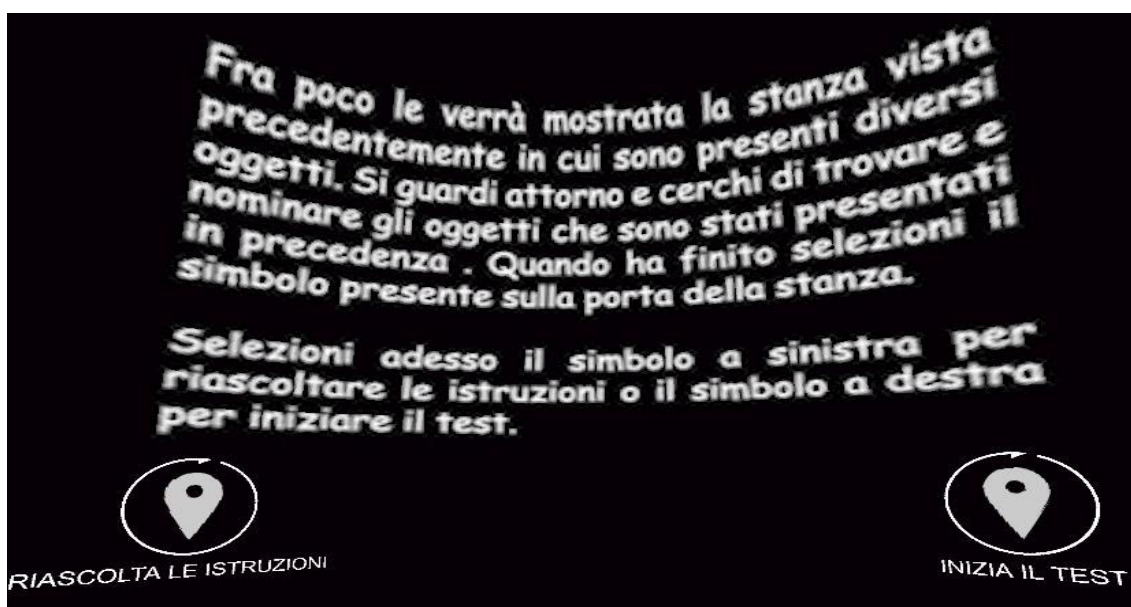


Figura 12. Le istruzioni presenti nella seconda parte del test.

Una volta selezionato “inizia il test” il partecipante si trova davanti al terzo ambiente previsto in questa fase del test, la stanza precedentemente vista nella registrazione, ma in questo caso si tratta unicamente di una foto panoramica. (fig. 13). La stanza contiene tutti i 27 oggetti, compresi i 10 mostrati in precedenza, posizionati tuttavia in modo differente: compito del partecipante è trovare e denominare tutti i 10 oggetti target. Una volta finito deve selezionare l’icona posta sulla porta della stanza, che lo porterà alla schermata finale.



Figura 13. La foto panoramica della stanza entro cui sono posti i 10 oggetti target ed i 17 distrattori.

La schermata finale rappresenta la conclusione della sessione test (fig. 14).



Figura 14. La schermata finale della seconda parte del test: una volta terminata la prova il paziente può togliersi il visore 3D.

2.3 Procedura

L'ambiente entro cui lo studio si è svolto era costituito da una stanza comprendente un tavolo e delle sedie, posti centralmente, ed una sedia girevole, posizionata in un angolo sufficientemente spazioso da permettere ai partecipanti di muoversi girando a 360° sulla sedia non incontrando ostacoli. (fig. 16).



Figura 16. L'ambiente entro cui sono effettuate le prove sperimentali. I test carta e matita sono stati somministrati utilizzando il tavolo posto al centro della stanza, mentre la parte che prevedeva l'uso della VR è stata svolta chiedendo ai partecipanti di sedersi sulla sedia girevole.

Sono stati sviluppati due protocolli neuropsicologici differenti, ognuno comprendente specifiche prove, così etichettati:

- RBMT-3: comprendeva la somministrazione di test standard carta e matita, ovvero del MMSE, del Riconoscimento Figure RBMT-3 (Immediato e Differito), della Memoria di Prosa RBMT-3 (Rievocazione Immediata), di una Rievocazione Libera delle figure mostrate durante il Riconoscimento Figure (Immediato) e della FAB.

- ObReco360: comprendeva la somministrazione di prove standard e di test in VR, ovvero del Riconoscimento Oggetti (Immediato e Differito) dell'ObReco360, del Raccontino di Babcock (Rievocazione Immediata e Differita), della Rievocazione Libera degli oggetti mostrati nel Riconoscimento Oggetti Immediato (ObReco360), dell'ITC SOPI e del SUS.

Ogni partecipante afferente allo studio è stato assegnato ad una delle due condizioni sperimentali descritte di seguito, facendo attenzione ad ottenere una numerosità simile tra i due gruppi (due gruppi da 5 partecipanti):

- RBMT-3 → ObReco360: il partecipante svolgeva i test compresi nel protocollo “RBMT-3” nella prima seduta, mentre svolgeva i test compresi nel protocollo “ObReco360” nella seduta successiva.
- ObReco360 → RBMT-3: il partecipante svolgeva i test compresi nel protocollo “ObReco360” nella prima seduta, mentre svolgeva i test compresi nel protocollo “RBMT-3” nella seduta successiva.

In entrambe le condizioni prima di iniziare la procedura al partecipante venivano fornite tutte le informazioni sulla natura della sperimentazione e sui suoi diritti in quanto volontario, il tutto racchiuso all'interno di un modulo di consenso informato che il partecipante era invitato a sottoscrivere.

La procedura risultava dunque differente in base a quale dei due protocolli neuropsicologici veniva somministrato per primo:

- RBMT-3 → ObReco360: il partecipante veniva fatto accomodare al tavolo ed invitato a sedere sulla sedia di fronte all'esaminatore. La sessione sperimentale iniziava con la somministrazione del MMSE, cui seguiva il subtest Riconoscimento

Figure del RBMT-3, nella sua versione che richiedeva il Riconoscimento Immediato. Successivamente ad essere somministrato era il subtest Memoria di Prosa (Rievocazione Immediata), anch'esso racchiuso nel protocollo RBMT-3, il quale indicava la sua esecuzione tra le due parti del subtest Riconoscimento Figure. Il passaggio successivo consisteva nel richiedere al partecipante una Rievocazione Libera di tutti gli oggetti che si ricordava tra quelli presentati nel Riconoscimento Figure (Immediato). Gli ultimi due test ad essere somministrati erano il Riconoscimento Figure del RBMT-3 (Differito), e la FAB. La fig. 17 rappresenta una schematizzazione del protocollo valutativo espresso in questa fase.

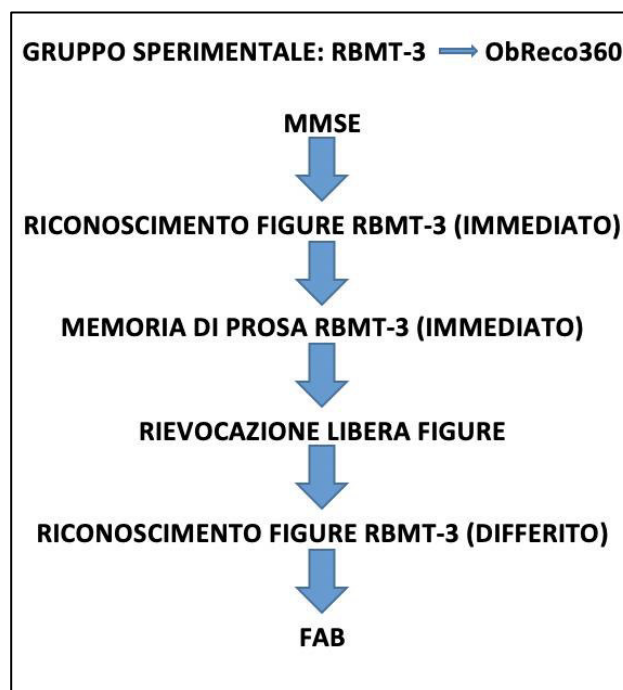


Figura 17. La successione temporale delle prove racchiuse nel protocollo sperimentale comprendente i tradizionali test carta e matita.

- ObReco360 → RBMT-3: in questo caso il partecipante veniva fatto sedere su una sedia girevole, poiché la sessione iniziava con la somministrazione del Riconoscimento Oggetti Immediato dell'ObReco360. Prima di indossare l'Oculus® Go, al partecipante venivano spiegate le caratteristiche sia del visore che del telecomando associato, mostrando anche il modo corretto di indossare ed utilizzare gli strumenti. Una volta pronto, il partecipante indossava il visore ed impugnava il telecomando: da lì in poi iniziava la prima parte del test, dove veniva mostrato un VE che permetteva di familiarizzare con le periferiche e con l'applicazione (cfr. par. "ObReco360: sviluppo, somministrazione, descrizione"). Una volta terminato, il partecipante veniva invitato a sedersi al tavolo con l'esaminatore, per svolgere dei test tradizionali: la prima prova ad essere somministrata era il Raccontino di Babcock (Rievocazione Immediata), seguito dalla successiva Rievocazione Libera degli oggetti mostrati durante la prima esposizione all'ObReco360. Al termine della Rievocazione Immediata del Raccontino, l'esaminatore impostava un timer a 10 minuti, al fine di ottenere un riferimento temporale rispetto al momento in cui richiedere la Rievocazione Differita del brano. Finita questa fase, il partecipante si spostava nuovamente a sedere sulla sedia girevole, ed iniziava la seconda parte dell'ObReco360, il Riconoscimento Oggetti Differito. Da qui iniziava la parte finale del protocollo, che comprendeva la somministrazione dei questionari ITC-SOPI e SUS, la cui compilazione veniva temporaneamente interrotta allo scadere dei 10 minuti impostati precedentemente: una volta somministrata la Rievocazione Differita del Raccontino di Babcock, il partecipante poteva riprendere e concludere la compilazione dei due questionari autosomministrati. La fig. 18 rappresenta una schematizzazione del protocollo valutativo espresso in questa fase.



Figura 18. La successione temporale delle prove racchiuse nel protocollo sperimentale comprendente l'ObReco360.

2.5 Discussione e conclusioni

Il lavoro sperimentale illustrato nei precedenti capitoli si è focalizzato sul ricavare informazioni e sullo stabilire la fattibilità di applicare le tecniche della VR, in particolare quella basata sui VE naturalistici a 360°, al campo della valutazione neuropsicologica della memoria. Il rationale della sperimentazione si è basato sul dibattito esistente in letteratura rispetto alla validità ecologica delle misure ottenute dai protocolli neuropsicologici tradizionali (Parsons, 2015): partendo dalle evidenze favorevoli verso l'utilizzo della VR nella creazione di protocolli di valutazione più ecologici (Rizzo e Koenig, 2017), si è voluto fare un altro passo avanti, indagando le possibilità offerte in questo campo dall'implementazione di VE creati utilizzando foto e video panoramici immersivi a 360°, specialmente rispetto all'assessment della memoria. Data la scarsità di studi in materia (Serino e Repetto, 2018; Serino et al., 2017), gli autori hanno espresso la volontà di mettere a punto uno strumento di valutazione che comprendesse l'utilizzo di questa particolare tipologia di VR, ispirandosi ad un test di memoria tradizionale progettato per essere già più ecologico rispetto ad altri protocolli standard: il RBMT-3. Da queste considerazioni si è sviluppato l'ObReco360, uno strumento preliminare pensato con l'intento di ricavare informazioni utili e testare i possibili vantaggi offerti dall'implementazione di questa tecnologia.

Gli autori, seguendo la linea già tracciata in letteratura (Parsons, 2015; Rizzo e Koenig, 2017) si aspettavano di individuare delle correlazioni tra i punteggi ottenuti dall'ObReco360 e dal subtest Riconoscimento Figure del RBMT-3, con un particolare interesse rispetto al confronto tra le prestazioni mostrate dai partecipanti nei compiti inseriti nel protocollo tradizionale e nel protocollo comprendente l'Obreco360.

Gli indici su cui è stata posta un'attenzione maggiore, come suggerito dalla letteratura (Serino e Repetto, 2018) riguardavano i punteggi relativi ai compiti di Rievocazione e Libera e di Riconoscimento ottenuti dai partecipanti nel protocollo contenente il Riconoscimento Figure Immediato e Differito (RBMT-3) e nel protocollo contenente l'ObReco360, dal cui confronto ci si aspettava di ottenere informazioni significative.

L'altro aspetto su cui è stata posta un'attenzione specifica riguardava le sensazioni provate dai partecipanti durante l'utilizzo del test sviluppato in VR, poiché da queste si potevano ottenere informazioni importanti rispetto a caratteristiche di grande spessore metodologico, quali immersività e validità ecologica: si sono quindi volute confrontare le sensazioni di *user-experience* ottenute dall'ObReco360 con quelle ottenute da altri protocolli sviluppati mediante tecniche di VR tradizionale (es: VE sviluppati in CGI).

I risultati ottenuti hanno individuato la presenza di una correlazione significativa tra i punteggi ottenuti nei compiti di Rievocazione Libera nel protocollo tradizionale e nel protocollo contenente l'ObReco360, ma non per i compiti di Riconoscimento. Parallelamente, è emersa una differenza significativa nelle prestazioni mostrate dai partecipanti nei compiti di Rievocazione Libera contenuti nei due test confrontati: in particolare, le percentuali di accuratezza ottenute nella Rievocazione Libera degli oggetti presentati nell'ObReco360 risultavano maggiori rispetto a quelle rilevate nella Rievocazione Libera delle figure del RBMT-3. Nessuna differenza significativa è invece emersa per quanto riguarda lo stesso confronto effettuato per i compiti di Riconoscimento.

L'indice che fornisce informazioni significative risulta quindi essere quello relativo alla Rievocazione Libera: in particolare, la prestazione ottenuta dai partecipanti nel rievocare gli oggetti presentati nell'ObReco360 appare migliore rispetto a quella ottenuta nel rievocare le figure presentate durante il subtest del RBMT-3. Secondo gli autori questa maggior accuratezza è da imputare alle caratteristiche intrinseche degli stimoli presentati in un VE naturalistico: essendo oggetti tridimensionali e altamente realistici, essi risultano molto più vicini alla loro controparte reale rispetto ad oggetti rappresentati su un cartoncino bidimensionale, come quelli contenuti nel test tradizionale. Gli alti livelli di realismo e di immersività garantiti da un VE naturalistico come quello utilizzato per l'ObReco360 garantirebbero quindi una miglior codifica mnestica, in linea con quanto evidenziato da altri studi (Makowski, Sperduti, Nicolas e Piolino, 2017). Questo dato, se considerato alla luce dei risultati ottenuti dalla *user-experience assessment*, la quale ha evidenziato livelli di validità ecologica percepiti comparabili o superiori a quelli di altri strumenti presenti in letteratura, definirebbe lo scarto osservato nella prestazione di Rievocazione nell'ObReco360 come il risultato del maggior valore ecologico, che fornirebbe una valutazione più aderente al funzionamento reale dell'individuo.

Per quanto riguarda l'inesistenza di una correlazione e di una differenza significativa nel confronto fra i compiti di Riconoscimento, la ragione di questo risultato si può identificare nella non-sovrapposibilità del compito richiesto dall'ObReco360 rispetto a quello richiesto dal Riconoscimento Figure del RBMT-3. Trattandosi di un adattamento e non di una trasposizione parallela, il compito di Riconoscimento Oggetti interno all'ObReco360 presenta delle caratteristiche additive rispetto al suo corrispettivo tradizionale. Il partecipante viene infatti istruito ad esplorare attivamente l'ambiente circostante, richiedendo cioè un compito di esplorazione visiva e, contemporaneamente,

di discriminare gli stimoli target dai distrattori: queste due consegne rendono il compito di Riconoscimento Oggetti più cognitivamente impegnativo ed inoltre vanno a valutare anche altre componenti rispetto al solo riconoscimento.

Inoltre, un altro dato a favore dell'implementazione dei VE naturalistici nella creazione di strumenti di valutazione si può riscontrare nel basso punteggio medio ottenuto dall'ObReco360 nella scala "*Negative Effects*" dell'ITC-SOPI, per cui l'adozione di un setting statico sembrerebbe aver agito in modo favorevole rispetto a possibili effetti collaterali, quali ad esempio la già citata *cyber sickness*.

Le indicazioni derivanti da questo studio pilota sembrano quindi puntare a favore rispetto all'adozione della tecnologia delle foto e dei video panoramici nell'assessment neuropsicologico, con buoni spunti per quanto riguarda anche la valutazione della memoria: quali sono però i limiti che si sono evidenziati? In primo luogo, la numerosità e la rappresentatività del campione: essendo quello presentato uno studio pilota queste necessità sono passate in secondo piano in fase di progettazione, ma per ottenere conclusioni e dati più robusti sarebbe necessario utilizzare un campione più rappresentativo e di numerosità più ampia. Inoltre, ispirarsi ad un test tradizionale come il RBMT-3 potrebbe certamente aver fornito una buona base di confronto con cui valutare i risultati ottenuti dall'ObReco360, ma contemporaneamente i risultati ottenuti, avendo fornito ancora una volta degli indizi a favore della maggior validità ecologica di questi strumenti, potrebbero indicare la necessità di costruire e validare protocolli di valutazione ex novo, che presuppongano cioè delle considerazioni teoriche e metodologiche differenti da quelle utilizzate per la messa a punto dei test standard.

Il lavoro sperimentale qui descritto ha quindi fornito indicazioni interessanti che possono evidenziare anche i possibili sviluppi futuri derivanti all'utilizzo di VE naturalistici nella messa a punto di strumenti di valutazione neuropsicologica. Le indicazioni riportanti una maggior validità ecologica di questo particolare tipologia di tecnica di VR, incrementata anche rispetto a quella fornita da VE tradizionalmente utilizzati nella letteratura di riferimento, suggeriscono di seguire ancora di più questa direzione, magari utilizzando strumenti tecnologici ancora più sofisticati, in grado di garantire livelli di immersività e di realismo ancora più elevati. Per quanto riguarda nello specifico la valutazione della memoria, le evidenze riportate dal presente studio, seppur preliminari e necessarie di approfondimento, risultano favorevoli all'introduzione di misure di rievocazione come possibile indice di funzionamento mnestico all'interno di protocolli sviluppati mediante l'utilizzo di VE naturalistici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>.
- Appollonio, I. M., & Nichelli, P. (2005). The Frontal Assessment Battery (FAB): Normative values in an Italian population sample. <https://doi.org/10.1007/s10072-005-0443-4>
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). *Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale*. *Journal of Usability Studies* (Vol. 4).
- Banville, F., Nolin, P., Lalonde, S., Henry, M., Dery, M. P., & Villemure, R. (2010). Multitasking and prospective memory: Can virtual reality be useful for diagnosis? *Behavioural Neurology*, 23(4), 209–211. <https://doi.org/10.3233/BEN-2010-0297>
- Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. *Communication in the Age of Virtual Reality*. Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Brade, J., Lorenz, M., Busch, M., Hammer, N., Tscheligi, M., & Klimant, P. (2017). Being there again – Presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task. *International Journal of Human Computer Studies*, 101, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.01.004>

- Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 4–7. <https://doi.org/10.1002/hbm.20701>
- Brooks, B. M., Rose, F. D., Potter, J., Jayawardena, S., & Morling, A. (2004). Assessing stroke patients' prospective memory using virtual reality. *Brain Injury*, 18(4), 391–401. <https://doi.org/10.1080/02699050310001619855>
- Cabeza, R., & Moscovitch, M. (2013). Memory Systems, Processing Modes, and Components: Functional Neuroimaging Evidence. *Perspectives on Psychological Science: A Journal of the Association for Psychological Science*, 8(1), 49–55. <https://doi.org/10.1177/1745691612469033>
- Chaytor, N., & Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The Ecological Validity of Neuropsychological Tests: A Review of the Literature on Everyday Cognitive Skills. *Neuropsychology Review*, 13(4), 181–197. <https://doi.org/10.1023/B:NERV.0000009483.91468.fb>
- Corriveau Lecavalier, N., Ouellet, É., Boller, B., & Belleville, S. (2018, May 29). Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1080/09602011.2018.1477684>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, 19(2), 272–309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>

- Dibbets, P., & Schulte Ostermann, M. (2015). *Virtual reality, real emotions: A novel analogue for the assessment of risk factors of post-traumatic stress disorder. Frontiers in Psychology* (Vol. 6). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00681>
- Dong, D., Wong, L. K. F., & Luo, Z. (2017). Assessment of Prospective Memory using fNIRS in Immersive Virtual Reality Environment. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 07(06), 247–258. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2017.76018>
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., & Pillon, B. (2000). The FAB: A frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55(11), 1621–1626. <https://doi.org/10.1212/WNL.55.11.1621>
- Elkind, J. S., Rubin, E., Rosenthal, S., Skoff, B., & Prather, P. (2001). A Simulated Reality Scenario Compared with the Computerized Wisconsin Card Sorting Test: An Analysis of Preliminary Results. *CyberPsychology & Behavior*, 4(4), 489–496. <https://doi.org/10.1089/109493101750527042>
- Emoto, M., Sugawara, M., & Nojiri, Y. (2008). Viewing angle dependency of visually-induced motion sickness in viewing wide-field images by subjective and autonomic nervous indices. *Displays*, 29(2), 90–99. <https://doi.org/10.1016/J.DISPLA.2007.09.010>
- Freeman, J., Keogh, E., & Davidoff, J. (2001). *A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. Presence* (Vol. 10). Retrieved from <https://www.mitpressjournals.org/doi/pdfplus/10.1162/105474601300343612>

- Gigante, M. (2014). Virtual reality systems. In *Virtual Reality: Definitions, History and Applications* (pp. 3–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-22372-5>
- Heeter, C. (1995). *Communication research on consumer VR*.
- Iriarte, Y., Diaz-Orueta, U., Cueto, E., Irazustabarrena, P., Banterla, F., & Climent, G. (2016). AULA—Advanced Virtual Reality Tool for the Assessment of Attention. *Journal of Attention Disorders*, 20(6), 542–568. <https://doi.org/10.1177/1087054712465335>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Kalawsky, R. (1999). The validity of presence as a reliable human performance metric in immersive environments. *PRESENCE 2000, 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON PRESENCE*, 27--28. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.12.8095>
- Keefe, R. S. E., Davis, V. G., Atkins, A. S., Vaughan, A., Patterson, T., Narasimhan, M., & Harvey, P. D. (2016). Validation of a Computerized test of Functional Capacity. *Schizophrenia Research*, 175(1–3), 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.03.038>
- Knight, R. G., & Titov, N. (2009). Use of virtual reality tasks to assess prospective memory: Applicability and evidence. *Brain Impairment*, 10(1), 3–13. <https://doi.org/10.1375/brim.10.1.3>

- Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E., & Davidoff, J. (2001). A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 282–297. <https://doi.org/10.1162/105474601300343612>
- Lombard, M., & Ditton, T. (2006). At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), 0–0. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- Lorenz, M., Brade, J., Diamond, L., Sjölie, D., Busch, M., Tscheligi, M., ... Hammer, N. (2018). Presence and User Experience in a Virtual Environment under the Influence of Ethanol: An Explorative Study. *Scientific Reports*, 8(1), 6407. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24453-5>
- Lovett, A., Appleton, K., Warren-Kretzschmar, B., & Von Haaren, C. (2015). Using 3D visualization methods in landscape planning: An evaluation of options and practical issues. *Landscape and Urban Planning*, 142, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.021>
- Makowski, D., Sperduti, M., Nicolas, S., & Piolino, P. (2017). “Being there” and remembering it: Presence improves memory encoding. *Consciousness and Cognition*, 53, 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.06.015>
- Matheis, R. J., Schultheis, M. T., Tiersky, L. A., DeLuca, J., Millis, S. R., & Rizzo, A. (2007). Is learning and memory different in a virtual environment? *Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 146–161. <https://doi.org/10.1080/13854040601100668>

Measso, G., Cavarzeran, F., Zappalà, G., D. Lebowitz, B., H. Crook, T., J. Pirozzolo, F., ... Grigoletto, F. (1993). The Mini-Mental State Examination: Normative Study of An Italian Random Sample. *Developmental Neuropsychology*, 9, 77–85. <https://doi.org/10.1080/87565649109540545>

Milani, L., Ambrosioni, S., & Di Blasio, P. (2017). Interacting with videogames in adolescence: Effects of graphic visualization on perceived presence and visuospatial competences. In *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST* (Vol. 181 LNICST, pp. 183–189). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49655-9_25

Mondini, S., Mapelli, D., & Arcara, G. (2016). *Semeiotica e diagnosi neuropsicologica: metodologia per la valutazione*. Carocci. Retrieved from http://www.carocci.it/index.php?option=com_carocci&task=schedalibro&isbn=9788843084845&Itemid=72

Negu, A., Matu, S. A., Sava, F. A., & David, D. (2016). Virtual reality measures in neuropsychological assessment: A meta-analytic review. *Clinical Neuropsychologist*, 30(2), 165–184. <https://doi.org/10.1080/13854046.2016.1144793>.

- Ogourtsova, T., Archambault, P., Sangani, S., & Lamontagne, A. (2018). Ecological Virtual Reality Evaluation of Neglect Symptoms (EVENS): Effects of Virtual Scene Complexity in the Assessment of Poststroke Unilateral Spatial Neglect. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 32(1), 46–61. <https://doi.org/10.1177/1545968317751677>
- Ouellet, É., Boller, B., Corriveau-Lecavalier, N., Cloutier, S., & Belleville, S. (2018). The Virtual Shop: A new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory. *Journal of Neuroscience Methods*, 303, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2018.03.010>
- Pan, X., & Hamilton, A. F. de C. (2018). Why and how to use virtual reality to study human social interaction: The challenges of exploring a new research landscape. *British Journal of Psychology*, 109(3), 395–417. <https://doi.org/10.1111/bjop.12290>
- Parsons, T. D. (2015). Virtual Reality for Enhanced Ecological Validity and Experimental Control in the Clinical, Affective and Social Neurosciences. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(December), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00660>
- Parsons, T. D., Carlew, A. R., Magtoto, J., & Stonecipher, K. (2017). The potential of function-led virtual environments for ecologically valid measures of executive function in experimental and clinical neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27(5), 777–807. <https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1109524>

- Pedroli, E., Serino, S., Pallavicini, F., Cipresso, P., & Riva, G. (2018). Exploring Virtual Reality for the Assessment and Rehabilitation of Executive Functions. *International Journal of Virtual and Augmented Reality*, 2(1), 32–47. <https://doi.org/10.4018/IJVAR.2018010103>
- Pflueger, M. O., Stieglitz, R. D., Lemoine, P., & Leyhe, T. (2018). Ecologically Relevant Episodic Memory Assessment Indicates an Attenuated Age-Related Memory Loss - A Virtual Reality Study. *Neuropsychology*, 32(6), 680–689. <https://doi.org/10.1037/neu0000454>
- Picard, L., Abram, M., Orriols, E., & Piolino, P. (2017). Virtual reality as an ecologically valid tool for assessing multifaceted episodic memory in children and adolescents. *International Journal of Behavioral Development*, 41(2), 211–219. <https://doi.org/10.1177/0165025415616198>
- Pugnetti, L., Mendozzi, L., Barbieri, E., Motta, A., Alpini, D., Attree, E. A., ... Rose, F. D. (1998). Developments of a collaborative research on VR applications for mental health. *Virtual Reality*, 04(1), 77–84. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01530650>
- Repetto, C., Serino, S., Macedonia, M., & Riva, G. (2016). Virtual Reality as an Embodied Tool to Enhance Episodic Memory in Elderly. *Frontiers in Psychology*, 7, 1839. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01839>
- Rice, H. J., & Rubin, D. C. (2009). I can see it both ways: First- and third-person visual perspectives at retrieval. *Consciousness and Cognition*, 18(4), 877–890. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.07.004>

- Riva, G. (2009). *Virtual reality: An experiential tool for clinical psychology*. *British Journal of Guidance & Counselling - BRIT J GUID COUNS* (Vol. 37).
<https://doi.org/10.1080/03069880902957056>
- Rizzo, A. "Skip," & Koenig, S. T. (2017). Is clinical virtual reality ready for primetime? *Neuropsychology*, *31*(8), 877–899. <https://doi.org/10.1037/neu0000405>
- Rizzo, A., Schultheis, M. T., & Rothbaum, B. O. (2003). Ethical Issues for the Use of Virtual Reality in the Psychological Sciences. *Ethical Issues in Clinical Neuropsychology*, 243–280.
- Robertson, C. E., Hermann, K. L., Mynick, A., Kravitz, D. J., & Kanwisher, N. (2016). Neural Representations Integrate the Current Field of View with the Remembered 360° Panorama in Scene-Selective Cortex. *Current Biology*, *26*(18), 2463–2468.
<https://doi.org/10.1016/J.CUB.2016.07.002>
- Rose, F. D., Brooks, B. M., & Rizzo, A. A. (2005). Virtual Reality in Brain Damage Rehabilitation: Review. *CyberPsychology & Behavior*, *8*(3), 241–262.
<https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.241>
- Rubin, D. C., & Umanath, S. (2015). Event memory: A theory of memory for laboratory, autobiographical, and fictional events. *Psychological Review*, *122*(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1037/a0037907>
- Sauz on, H., N’Kaoua, B., Arvind Pala, P., Taillade, M., & Guitton, P. (2016). Age and active navigation effects on episodic memory: A virtual reality study. *British Journal of Psychology*, *107*(1), 72–94. <https://doi.org/10.1111/bjop.12123>

- Serino, S., Baglio, F., Rossetto, F., Realdon, O., Cipresso, P., Parsons, T. D., ... Riva, G. (2017). Picture Interpretation Test (PIT) 360°: An Innovative Measure of Executive Functions. *Scientific Reports*, 7(1), 16000. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16121-x>
- Serino, S., & Repetto, C. (2018). New Trends in Episodic Memory Assessment: Immersive 360° Ecological Videos. *Frontiers in Psychology*, 9, 1878. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01878>
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Slobounov, S. M., Ray, W., Johnson, B., Slobounov, E., & Newell, K. M. (2015). Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: An EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 95(3), 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.11.003>
- Smith, J. (2016). Virtual Reality (VR) Research, Market, Trends, Adoption, Business Opportunities - Business Insider. Retrieved October 16, 2018, from <https://www.businessinsider.com/virtual-reality-report-2016-11?IR=T>

Sutcliffe, A., Gault, B., & Shin, J.-E. (2005). Presence, memory and interaction in virtual environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 62(3), 307–327. <https://doi.org/10.1016/J.IJHCS.2004.11.010>

Tamborini, R., & Bowman, N. D. (2010). Presence in Video Games. *Immersed in Media: Telepresence Theory, Measurement & Technology*, (October), 87–109. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10190-3>

Tramonti, M. (2017). *Reinforcing Learning Setting through the Use of Digital Tools*.

Umiltà, C. A. (1995). *Manuale di neuroscienze*. Il mulino.

Wilson, B.A., Greenfield, E., Clare, L., Baddeley, A., Cockburn, J., Watson, P., ... Crawford, J. R. (2008). *The Rivermead Behavioural Memory Test – Third Edition*. London: Pearson Education