

Virtual worlds and virtual reality. An analysis in the healthcare education

Mondi virtuali e realtà virtuale. Un'analisi del fenomeno nella formazione sanitaria

Claudio Pensieri^a, Alessandra La Marca^{b,1}

^a *Policlinico Universitario Campus Bio-Medico*, c.pensieri@unicampus.it

^b *Università degli Studi di Palermo*, alessandra.lamarca@unipa.it

Abstract

In the last six years Virtual Reality (VR) and Virtual Environment (VE) became more technologically advanced and accessible being cheaper. In Healthcare, VR is mainly used for students training, professionals training (simulators); rehabilitation/therapy; treatment/diagnosis and pain management. In this review we analyzed 2,252 articles published between 2012 and 2019 on *PubMed* and we organized them in sections: simulation for students; simulation for residents/novice; advanced simulation for professionals; application in the medical/dental/nursing field (soft skills); review and meta-analysis on simulations or VR and planning of presurgical/surgical or diagnostic cases. We have found that the greater use of VR is about: students/residents training and professionals skills improvement. A small part of VR is used to teach soft skills. This analysis demonstrates the versatility of these instruments.

Keywords: virtual reality; virtual environment; simulators; medical education; soft/hard skills.

Abstract

Negli ultimi sei anni la realtà virtuale (VR) e i mondi virtuali (VE) sono diventati sempre più tecnologicamente avanzati e molto più accessibili per quel che riguarda l'accesso economico. In sanità essi vengono utilizzati principalmente per cinque scopi: formazione degli studenti; formazione dei professionisti (simulatori); riabilitazione/terapia; cura/diagnosi e gestione del dolore. In questa review abbiamo analizzato 2.252 articoli pubblicati tra il 2012 e il 2019 su *PubMed* ed abbiamo organizzato gli articoli nelle aree simulazione per studenti; simulazione per specializzandi; simulazione avanzata per professionisti; applicazioni nei campi medico/dentale/infermieristico (soft skills); review e meta-analisi sulle simulazioni o VR e la pianificazione di casi pre-chirurgici/chirurgici o diagnostici. L'utilizzo maggiore riguarda la formazione degli studenti/specializzandi ed il miglioramento delle abilità dei professionisti. Una piccola parte della VR si sta dedicando anche all'insegnamento delle soft skills. Questa analisi dimostra la versatilità di tali strumenti che potrebbero ben essere utilizzati in altre discipline universitarie.

Parole chiave: realtà virtuale; ambiente virtuale; simulatori; educazione medica; competenze soft/hard.

¹ I paragrafi sono così attribuiti: i paragrafi 1, 2, 6 ad Alessandra La Marca; i paragrafi 3, 4, 5 a Claudio Pensieri.

1. Introduzione

Per millenni la popolazione mondiale è rimasta affascinata dalle storie e dai mondi narrati nei libri stampati. Si rimaneva stupiti dalla descrizione di un bellissimo mondo con rigogliose foreste, innevate montagne e simpatici personaggi come la saga de *Il Signore degli Anelli* o dagli scenari incantati e fantastici di *Alice nel Paese delle Meraviglie* o dei paesaggi surreali de *I Viaggi di Gulliver*. Però nessuno è mai potuto entrarci, nessuno poteva entrare e ruotare la prospettiva del protagonista o sentire i suoni e i rumori ambientali di quei luoghi. Questi mondi immaginari, definiscono immediatamente dei confini invalicabili, guardare e non toccare. Immaginare ma non toccare, non ascoltare né vedere. Questa era la regola dei mondi fantastici. Mondi chiusi a chiave che si potevano soltanto spiare dal buco della serratura, con i lettori che erano semplicemente spettatori. Condannati a osservare impotenti l'universo immaginario. Con l'avvento di internet e della computer grafica tutto è cambiato.

Quello che nel film *Ready Player One*² sembra un'utopistica rappresentazione del futuro è già in parte realtà. Non tanto per quel che riguarda le applicazioni della Realtà Virtuale (VR) ai mondi virtuali o Virtual Environments (VE) quanto la possibilità ingegneristica di esserlo. Proprio perché da sempre gli esseri umani hanno avuto il desiderio di crearsi un *proprio mondo*. Hanno sempre avuto la propensione ad illudersi e a farsi illusioni sulla realtà. Una delle caratteristiche più particolari della specie umana è proprio questa capacità di immaginare, raffigurare e produrre mondi illusori.

In questo contributo, dopo un breve accenno al rapporto tra VR e VE (Pensieri & Pennacchini, 2013), abbiamo tralasciato tutte le applicazioni riguardanti l'Augmented Reality (AR)³ anche se è un campo che si sta ampliando velocemente (Bertolo et al., 2019; Sayadi et al., 2019) perché sembra avere meno effetti collaterali della VR (Hong, Sakamoto & Irani, 2019), ci soffermiamo sulla VR applicata alla formazione nelle università sanitarie, abbiamo fatto un'analisi della letteratura medica riguardante la VR applicata alla formazione dei giovani medici e infermieri. Abbiamo escluso tutte le applicazioni riguardanti le applicazioni terapeutiche o diagnostiche e abbiamo ristretto il focus solo sulla formazione, questo perché potrebbe essere l'esempio di come tale tecnologia potrebbe essere applicata a tanti altri ambiti diversi.

² È un film di Steven Spielberg del 2018 in cui gli abitanti della terra, per fuggire dalle loro vite nelle città decadenti, si immergono nel mondo virtuale di Oasis, dove, attraverso le tecnologie immersive della VR possono prendere parte a numerose attività per lavoro, istruzione e intrattenimento. È interessante notare che il film è stato girato in un set completamente bianco, e gli attori indossavano gli occhiali *Oculus* (VR) per vedere il set reale, ovvero Oasis.

³ La AR è una tecnologia che consiste nell'aggiungere informazioni virtuali (come immagini, video, dati, metadati, etc.) alla visualizzazione del mondo reale. In questo modo, attraverso gli occhiali (come le *HoloLens* di Microsoft), mentre l'utente vede l'ambiente circostante, gli occhiali offrono la possibilità di proiettare immagini virtuali con cui l'utente può interagire. Inoltre un tutor può inviare messaggi o glifi o immagini sugli occhiali del discente che andranno a sovrasciversi sull'ambiente visto, una possibilità molto utile nel campo della didattica chirurgica per esempio, in cui il medico può mandare messaggi personalizzati ai partecipanti dell'esercitazione chirurgica.

2. Mondi virtuali e realtà virtuali

Solitamente per VR s'intende un ambiente spaziale simulato, creato e gestito dinamicamente dal computer, con il quale l'utente può interagire ricavandone l'illusione di un movimento e di un'immersione spaziale effettiva (Sivan, 2015). Un programma produce l'adattamento rapido di tutti i punti di vista in base alle azioni e ai movimenti dell'utente munito di protesi ottico-tattilo-auditiva (quando presenti). Solitamente si usa il concetto di navigazione per descrivere proprio questo spostamento all'interno delle VR modellate al computer.

Il termine VR sembra essere contraddittorio, poiché si considera solitamente la parola *virtuale* come sostitutiva del concetto di *non reale*. Invece si vuole intendere che anche se la realtà alla quale ci si riferisce non è quella fisica, essa è costituita sul modello della realtà fisica.

Al contrario della AR che parte dalla realtà su cui poi vengono sovrascritte le informazioni programmate dalle app, per esempio nel mondo dei videogame possiamo pensare a *Pokemon Go* (il primo gioco rivoluzionario nell'uso della AR) e che, nella letteratura medica, ha portato ad un aumento critico di infortuni legati al suo sovrautilizzo (Richards, Wong & Khan, 2018) ma anche al pregevole obiettivo di far fare attività motoria a tutti quei videoplayers che tendevano a rimanere isolati a giocare nelle loro case (Ni et al., 2019), ma anche semplicemente alle app del cellulare che ti permettono di capire le varie costellazioni del cielo semplicemente inquadrando con la telecamera del dispositivo. Si può arrivare persino ad avere gli occhiali da vista personalizzati con i quali è possibile leggere le e-mail ricevute sul cellulare.

Invece l'espressione VR spesso viene sostituita con sistema di ambiente virtuale, sistema di ambienti sintetici o VE. Lo spazio virtuale e quello fisico possono essere accomunati dalle stesse leggi fisiche (ma anche totalmente diverse volendo) e da relazioni spaziali che aiutano a definire le dimensioni e la posizione degli oggetti presenti nell'ambiente. In questo modo è più facile interagire con questi ambienti poiché sembrerà di essere nel mondo reale. La creazione di un VE è soggettiva, non si avrà mai una copia esatta del mondo reale.

Gerosa e Pfeffer (2006) descrivono in questo modo i mondi virtuali: “Immaginate un videogame molto elaborato, con scenari dettagliatissimi e abitanti dai costumi tutti diversi gli uni dagli altri. Immaginate un videogame in cui contemporaneamente giochino migliaia di persone, tutte rappresentate in quella dimensione da un proprio personaggio. Immaginate qualcosa come un gigantesco teatro elettronico in cui migliaia di burattinai muovano contemporaneamente i fili di altrettanti burattini chiamati *avatar*. Immaginate ora che questi possano interagire tra loro, parlarsi in tempo reale, tramite chat (o tramite cuffie multimediali⁴). E ora che avete immaginato tutto questo dimenticatevi dei videogiochi. I mondi virtuali non sono solo giochi. Il divertimento è quasi sempre a scopo di lucro: nelle vene di questi mondi molto spesso scorrono un sacco di soldi” (p. 21).

Per rendere più veritiero lo spazio virtuale i modellatori/programmatore vengono affiancati, a volte, da psicologi (e medici, nel caso della formazione sanitaria) che aiutano a capire le caratteristiche del mondo fisico. Il mondo è un territorio complesso, dove le identità si moltiplicano e si sovrappongono. Un mondo che non si riesce più a raccontare con le

⁴ Oggi la tecnologia permette di parlarsi, vedersi ed ascoltarsi. Prima era possibile comunicare solo in forma scritta tramite brevi messaggi di testo nelle chat nei giochi.

vecchie tecniche: non basta più il romanzo classico, non basta più l'arte tradizionale, non bastano più le categorie usuali cui l'uomo è abituato. È un mondo stratificato, che assomiglia sempre di più alla costruzione della Rete.

Frazzetto (2010) afferma che “probabilmente gli storici futuri definiranno i nostri anni come l'epoca in cui si desideravano molte vite” (p. 36). Vite che possono svilupparsi in mondi già stabilizzati, come *Star Wars* o *Matrix*, ma anche in mondi in divenire, come *World of Warcraft*. La direttrice di Joystick Nation inc. nella prefazione del libro di Gerosa e Pfeffer (2006) afferma che “Gli Abitanti dei mondi virtuali navigano attraverso terre fantastiche e inconsistenti, è interessante notare come gli esperti del settore li considerino ‘luoghi’ e non cose. I critici sociali di questi giochi non fanno lo stesso e decidono di trattarli alla stregua dei film e della musica, anch'essi presi di mira per il loro contenuto violento o addirittura di considerarli come qualcosa di molto simile alle droghe che danno dipendenza – i giocatori invece – riferendosi ai mondi virtuali come se parlassero di luoghi, li considerano semplicemente come reali. I luoghi sono reali semplicemente perché molte persone possono sperimentarli e concordare su ciò che hanno visto e fatto. Sono reali perché le cose succedono anche quando tu non sei lì. La storia va comunque avanti. La vita continua” (pp. 1-2).

Il monitor (o il visore 3D), le chat, le cuffie e il microfono creano un cordone ombelicale difficile da recidere e sempre più giocatori vogliono far vivere il proprio avatar. Vogliono metterlo alla prova, capire cosa gli succederebbe in certe situazioni. In molti VE è proprio questo il gioco più interessante. Ci sono infinite combinazioni, milioni di incontri che possono capitare o che si possono deliberatamente provocare, un repertorio sterminato di casi. I VE sono il paradiso del “what if?” del “che cosa succederebbe se?” (Gerosa, 2007, p. 46). Il giocatore sperimenta la sensazione di essere il regista di una vita, in un film senza copione dove si gira a braccio, man mano che si va avanti.

Nel caso dei mondi virtuali sanitari creati per esempio per la formazione nel campo della Medicina dei Disastri i giocatori con i loro avatar possono sperimentare cosa accade se fanno una scelta piuttosto che un'altra, quanti pazienti muoiono se compiono la prima invece della seconda, oppure cosa accade quando si trovano vicino ad uno stadio da calcio crollato o in Piazza San Pietro dopo che è stata dichiarata l'allerta bomba.

Nei VE nessuno, a meno che qualcuno non li informi, avrà alcuna base di pregiudizio o di discriminazione verso qualcun altro. Età, genere, colore della pelle, disabilità fisiche o psichiche, così come la posizione geografica, non hanno alcun peso sulle relazioni tra le persone in un VE, dove si può cambiare aspetto semplicemente con un clic. Gli unici parametri influenti sono: la scaltrezza e la propria posizione rispetto al digital divide. Gli utilizzatori devono saper maneggiare un computer, devono avere un hardware potente, accesso a internet ad alta velocità e capire l'utilità del VE (questi criteri escludono automaticamente alcune fasce di popolazione come i poveri, i ciechi e chi non ha una discreta formazione culturale). Il VE (da giocare) non è una *sintesi* del mondo *reale*, è una riproduzione con leggi fisiche e leggi morali diverse da quelle che viviamo nel mondo offline. Mentre i mondi virtuali (sanitari) sono una riproduzione con leggi fisiche e leggi morali uguali a quelle che viviamo nel mondo offline.

Quando si accede ad un VE, tramite il proprio computer, lo schermo diventa una porta su una realtà il più delle volte fantastica (per i civili) mentre è più simile alla realtà per i mondi educativi o sanitari. In entrambi i casi però, il confine tra spazio reale e spazio di gioco è ancora chiaro e ben delineato.

L'universo immaginifico costruito da sequenze di 0 e 1 del linguaggio binario può mostrare montagne, laghi, fiumi, case, chiese, scuole, laboratori, pezzi anatomici, sistemi cardiovascolari, interventi chirurgici, si può vedere una rappresentazione sintetica del corpo del giocatore tramite cui egli esplora i luoghi e i tempi della rappresentazione. La convinzione più diffusa, per molto tempo ha portato a considerare gli eventi dei VE come irreali, partendo dal presupposto che la realtà dovesse coincidere con le cose tangibili e materiali, questa idea è penetrata anche in molti ambiti intellettuali che, colti dalla difficoltà di inserire questi fenomeni nella categoria della realtà o dell'irrealtà, hanno optato per la via più immediata da intraprendere: una semplificazione che ha determinato l'associazione di quanto accade nei VE con il falso e l'illusorio.

Una tale visione, oltre ad essere riduttiva, risulta anche poco utile come quadro interpretativo di tutti i fenomeni che, questi mondi, stanno facendo registrare. Se solo ci limitiamo ad un'analisi etimologica del termine virtuale, possiamo già vedere come di effimero ed illusorio abbia ben poco, in quanto da una parte abbiamo la radice *virtus*, forza, e dall'altra abbiamo *vir*, ovvero uomo, da qui l'idea di virtuale come potenziale, possibile.

Il virtuale dunque, come sottolineato anche dallo studioso Pierre Lévy (1996), lungi dall'opporci al reale, rappresenta una diversa modalità dell'essere, ecco il perché della sostituzione effettuata da molti studiosi del termine virtuale con il termine sintetico (Lévy, 1997). Spostando poi l'attenzione verso aspetti più propriamente tecnici, possiamo vedere come questi spazi vengano costruiti integrando al loro interno molte dimensioni tipiche della realtà tradizionalmente intesa, un espediente usato affinché, per quanto fantastici possano essere questi spazi, sia in qualche maniera sancita la loro esistenza.

È il concetto della *suspension of disbelief* o sospensione dell'incredulità di Samuel Taylor Coleridge (1817). Per legittimare qualcosa di molto improbabile bisogna crearci attorno tutto un contesto radicato nel reale, in tal modo si può credere anche all'improbabile. Di qui non solo il ricorso a frammenti di realtà offline, ma una cura particolare viene rivolta a due categorie fondamentali come spazio e tempo. Rispetto ai videogiochi tradizionali, i VE offrono spazi immensi dotati di una grafica tale da garantire elevate coerenza interna e immersività. Per essere considerati dei luoghi, essi devono in un certo senso essere vicini alla percezione che si ha nella vita offline, ecco perché lo spazio è innanzitutto persistente, in questo modo come gli individui nella loro quotidianità possono sospendere il dubbio sull'esistenza del mondo così, anche assumendo il ruolo di avatar, potranno smettere di domandarsi se troveranno o meno lo spazio sintetico al prossimo ingresso.

Passando poi alla dimensione temporale, se in un primo periodo i mondi sintetici non presentavano un tempo analogo a quello tradizionale quanto piuttosto un tempo immaginario, più adatto alla fuga dalla realtà, un tempo che rimandava al sogno di immortalità, i più recenti mondi online hanno integrato una dimensione temporale che scorre in parallelo a quella offline.

I VE più evoluti, utilizzati nell'educazione sanitaria, oltre allo scorrere del tempo (che si percepisce in base all'eventuale sanguinamento dei pazienti o dell'aggravarsi delle condizioni del paziente virtuale) riportano anche gli imprevisti che possono accadere nel mondo reale, per esempio in un ambiente come la sala operatoria uno strumentario potrebbe smettere di funzionare all'improvviso, o potrebbero esserci dei disturbi sonori o visivi che rendono la simulazione più reale.

Anche in questo modo, quindi, l'immagine del virtuale come irreali si affievolisce, l'universo virtuale assume un ulteriore livello di plausibilità permettendo all'utente di immergersi al suo interno, considerandolo implicitamente reale.

Ora, anche gli effetti delle convenzioni sociali sintetiche non possono e non sono confinate all'interno di una sola dimensione, ma hanno delle conseguenze che valicano le barriere schermiche, influenzando gli individui anche nella quotidianità offline e, per quanto si possa non condividere questa opinione, è evidente che se milioni di persone considerano questi spazi come reali, percependo come altrettanto reali le conseguenze di eventi lì verificatisi (come per esempio la morte del paziente in un simulatore chirurgico), allora forse è necessario mettere da parte lo scetticismo e cominciare a considerare questi luoghi da una nuova angolazione. D'altra parte quando si attribuisce valore ad un pezzo di carta, trasformandolo in denaro, non abbiamo forse accettato di subire delle conseguenze da parte di un oggetto virtuale?

3. Realtà virtuale e mondi virtuali in sanità

In sanità, i mondi virtuali e la VR, vengono utilizzati principalmente per cinque scopi:

- formazione degli studenti;
- formazione dei professionisti (simulatori);
- riabilitazione/terapia;
- cura/diagnosi;
- gestione del dolore.

Alcuni prevedono l'utilizzo della VR applicata ai VE, per esempio un anziano allettato in ospedale per una lungodegenza o un paziente terminale in hospice può usare la VR per fare una passeggiata in un museo, o in cima all'Himalaya, o al Colosseo, oppure si possono incontrare altre persone con patologie simili in VE già esistenti.

Però, per molti operatori sanitari la VR è prima di tutto una tecnologia. Dal 1986, quando Lanier, Zimmerman, Blanchard, Bryson e Harvill (1987) hanno usato per la prima volta il termine VR, è stata solitamente descritta come un insieme di dispositivi tecnologici.

Si tratta, solitamente, di un computer in grado di produrre visualizzazione interattiva 3D, un casco per la visualizzazione (headset) e dei guanti (o controller) dotati di uno o più tracker di posizione, nella sanità spesso i controller possono essere sostituiti da degli hardware che hanno dei sensori aptici per il feedback tattile. I tracker rilevano la posizione e l'orientamento dell'utente e segnalano le informazioni al computer che aggiorna (in tempo reale) le immagini per la visualizzazione proiettate nel casco.

Ad oggi la tecnologia 3D immersiva è diventata più accessibile economicamente per molte persone, basti pensare che un hardware basico può variare dalle 10 alle 300 euro, mentre i più evoluti possono arrivare anche a 15.000 euro⁵.

Infatti se per avere una piena esperienza è necessario dotarsi di un visore 3D per computer come Oculus Rift o HTC Vive, è comunque possibile godere di una decente esperienza virtuale usando lo smartphone e alcune applicazioni molto coinvolgenti.

Per utilizzare la VR sullo smartphone (Android o iPhone), si può comprare un dispositivo che funziona come visore 3D da indossare come un occhiale, al cui interno si può inserire il cellulare. L'effetto delle applicazioni VR è quello di immergersi in uno scenario come se

⁵ Da Google Cardboard (la scatola di cartone da 10 euro) a Google DayDream View (circa 110 euro), dal Samsung Gear VR (con diverse versioni ed è compatibile anche con le app realizzate per Oculus Rift) a visori 3D per smartphone generici.

ci si fosse dentro e quindi vedere cose diverse quando si gira la testa a destra, a sinistra, in alto o in basso. Rubino, Soler, Marescaux e Maisonneuve (2002), McCloyand e Stone (2001), Székely e Satava (1999), nelle loro review condividono la stessa visione di VR: un insieme di tecnologie che permettono alle persone di interagire in modo efficiente con i database 3D computerizzati, in tempo reale e utilizzando i loro sensi naturali e le proprie competenze (Brooks, 1999; Burdea & Coiffet, 2003).

Tutte le definizioni che abbiamo considerato sottolineano due diverse visioni della VR. Per i medici e chirurghi, il fine ultimo della VR è la presentazione multisensoriale di oggetti virtuali in modo che siano identici alla loro controparte naturale (Székely & Satava, 1999). Come hanno notato Satava e Jones (2002), più la tecnologia medica diventa in grado di gestire grandi quantità di dati e informazioni, più sarà possibile rappresentare un paziente con una maggiore fedeltà al punto che l'immagine stessa diventerà un surrogato/avatar del paziente. In questo senso, un efficace sistema di VR dovrebbe arrivare a offrire delle parti del corpo o avatar che interagiscano con i dispositivi esterni quali gli strumenti chirurgici, il più vicino possibile ai loro modelli reali.

Per gli psicologi clinici e per gli specialisti della riabilitazione l'obiettivo finale della VR invece è radicalmente diverso (Riva et al., 1999; Rizzo, Wiederhold, Riva & Van Der Zaag, 1998). Loro usano la VR per fornire un nuovo paradigma di interazione uomo-computer in cui gli utenti non solo sono osservatori esterni delle immagini sullo schermo di un computer, ma sono soggetti attivi all'interno di un mondo virtuale 3D.

Tipicamente, un sistema di VR immersiva è composto da:

- un database e un software di modellazione virtuale per la costruzione e il mantenimento di modelli dettagliati e realistici del VE. Un microprocessore ad alta velocità. In particolare, il software gestisce la geometria, la struttura, il comportamento intelligente, l'inerzia e la plasticità di qualsiasi superficie degli oggetti inclusi nell'VE;
- gli strumenti di input (tracker, guanti o mouse o strumentario medico ad es. sonde ecografiche o strumentario laparoscopico) che segnalano continuamente la posizione e i movimenti degli utenti. Il sistema di rendering grafico che genera, a 20-30 fotogrammi al secondo il VE. Gli strumenti di uscita (visivi, uditivi e tattili) per immergere l'utente nel VE;
- la VR offre stimoli sensoriali mediante diverse forme di tecnologia visiva in grado di integrare in tempo reale, computer grafica e/o immagini fotografiche/video con una varietà di altri dispositivi di output sensoriali che possono riportare stimoli auditivi, responsi tattili (force-feedback) ma anche sensazioni olfattive. Altre tecniche utilizzano display 3D proiettati su un muro o su un singolo spazio della parete multipla (queste camere con multi-parete per la proiezione sono conosciute anche come Caves). Anche monitor con display a schermo piatto sono stati usati per fornire scenari interattivi VR che, pur non immersivi, a volte sono opzioni sufficienti e poco costose per la somministrazione di test, per la formazione, per il trattamento e le applicazioni riabilitative (Rizzo et al., 2011);
- altri gadget sono: un casco con display montato sul capo che garantisce alta definizione, 3D e suoni, dispositivi per il monitoraggio di testa o arti e software specializzato per rendere un VE interattivo.

Come abbiamo appena visto la VR è di solito descritta come una particolare collezione di hardware e software tecnologici. Tuttavia, è anche possibile descriverla in termini di esperienza umana come: "un ambiente reale o simulato in cui un percettore sperimenta la

telepresenza”, dove il termine telepresenza indica “l’esperienza di ‘presenza’ (Riva, Davide & Ijsselsteijn, 2003a; Steuer, 1992) in un ambiente, per mezzo di un medium comunicativo” (Pensieri, 2013, pp. 117-118).

Nelle scienze comportamentali, in cui vengono utilizzati dispositivi immersivi per oltre il 50% delle applicazioni, la VR è descritta come una forma avanzata di interfaccia uomo-computer, che permette all’utente di interagire con e immergersi in un ambiente naturalistico generato da un computer (Schultheis & Rizzo, 2001). Con la sensazione di *esserci* che i pazienti possono sperimentare durante l’esposizione.

Bricken (1990) identifica la caratteristica fondamentale della VR nel rapporto compreso tra il partecipante e il VE, dove l’esperienza diretta dell’ambiente immersivo costituisce la comunicazione. Da questo punto di vista la VR è descritta da Schultheis e Rizzo (2001) come una forma avanzata di interfaccia uomo-macchina che consente all’utente di immergersi e interagire con un ambiente generato in modo naturalistico da un computer. Tutte queste definizioni sottolineano due diversi obiettivi della VR in medicina:

- VR come strumento di simulazione;
- VR come strumento di interazione.

Per medici e chirurghi “si tratta di esperienze relativamente recenti, soprattutto nei Paesi anglosassoni, che riguardano sia l’insegnamento rivolto a studenti che l’insegnamento specifico delle tecniche chirurgiche (Scott et al., 2008) rivolto agli specializzandi o a chirurghi già specialisti” (Alloni, 2015, p. 51).

Infatti oggi, la didattica si avvale di simulatori per l’apprendimento delle manovre semeiologiche tradizionalmente definite chirurgiche, come l’esplorazione rettale o l’esame obiettivo di masse addominali, e di simulatori per l’esecuzione di procedure chirurgiche come la sutura di ferite, la medicazione di ferite complesse, il posizionamento di drenaggi (in torace, in addome, anche sotto guida ecografica), artrocentesi e iniezioni intraarticolari etc.).

Simulazione e VR condividono quindi lo stesso significato di fondo: imitare e riprodurre un accadimento (Pensieri, 2015). La differenza sta nello scopo delle due, e, in un certo senso, nell’intensità.

La VR (quella immersiva, con headset, guanti o controller, che crea un ambiente spaziale simulato, creato e gestito dinamicamente dal computer, con il quale l’utente può interagire ricavandone l’illusione di un movimento e di un’immersione spaziale effettiva) è una *simulazione sensoriale* percepita dai nostri sensi, in particolare dalla vista, seguita dall’udito e dal tatto; infatti, lo scopo della VR è quello di immergere totalmente il fruitore in un VE, tendenzialmente coinvolgendo tutti i sensi, non solo la vista, l’udito e il tatto, ma anche il processo di orientamento (che non si è abituati a prendere in considerazione), l’olfatto e il gusto. In alcuni casi i simulatori e gli ambienti di VR sono stati anche utilizzati per educare il paziente a superare alcune fobie e paure.

Finora la VR è stata verificata nel trattamento di sei disturbi psicologici specifici: l’acrofobia (Emmelkamp, Bruynzeel, Drost & Van der Mast, 2001; Rothbaum et al., 1995); l’aracnofobia (Garcia-Palacios, Hoffman, Carlin, Furness & Botella, 2002), gli attacchi di panico con agorafobia (Vincelli et al., 2003), disturbi dell’immagine corporea (Riva, Bacchetta, Baruffi & Molinari, 2001), i disturbi alimentari (Riva, Bacchetta, Baruffi & Molinari 2002; Riva, Bacchetta, Cesa, Conti & Molinari, 2003b) e la paura di volare (Rothbaum, Hodges, Smith, Lee & Price, 2000; Wiederhold et al., 2002).

Negli ultimi anni, la VR ha generato grande entusiasmo e grande confusione. Dall'analisi dei documenti recuperati possiamo vedere che le prime applicazioni sanitarie della VR sono iniziate negli anni Novanta dalla necessità del personale medico di visualizzare i complessi dati medici, in particolare durante l'intervento chirurgico e per la pianificazione dell'intervento (Chinnock, 1994). Questi fattori sono evidenti nel vasto materiale pubblicato nella stampa scientifica e popolare, e nelle aspettative irrealistiche da parte dei professionisti sanitari (Riva & Wiederhold, 2002).

4. Metodi e analisi dei dati

Il crescente interesse per applicazioni mediche della VR è evidenziato anche dal crescente numero di articoli scientifici pubblicati ogni anno su questo argomento: Riva nel 2003 ha trovato su Medline 951 articoli (Realtà Virtuale) e 708 su PsycINFO (Riva, 2003). Nella ricerca Medline 2006 con la *realtà virtuale* come parola chiave, il numero totale di pubblicazioni è aumentato da 45 nel 1995 a 951 nel 2003 fino a 3.203 nel 2010. Pensieri (2013) ha evidenziato il crescente interesse della sanità al campo della VR.

La parole chiave virtual reality su PubMed, PsycINFO e Isiknowledge ha riportato i seguenti dati: nel 2010 per VR in Pubmed esistevano 2.960 articoli, 3.290 nel 2011, (+ 330 articoli) e 3.443 nel febbraio 2012, su PsycINFO da 29 nel 2010 a 114 nel 2011 (+ 85 articoli) e su Isiknowledge da 6.213 a 8.237 (+ 2.024 articoli)⁶. Svolgendo la stessa analisi su ERIC nel 2018 abbiamo rinvenuto 1.045 articoli (Figura 1).

	PubMed			PsycINFO			Isiknowledge ⁷			ERIC
	2010	2011	2018	2010	2011	2018	2010	2011	2018	2018
Virtual Reality	2.960	3.290	8.565	29	114	243	6.213	8.237	30.936	1.045

Figura 1. Risultati della query con parola chiave: Virtual Reality.

Recentemente abbiamo svolto un'analisi aggiornata sul motore di ricerca di PubMed ed abbiamo riscontrato che utilizzando la parola chiave virtual reality uscivano 8.565 risultati. Abbiamo deciso di restringere il campo all'area della medical education e della formazione. Abbiamo così escluso gli articoli che riportavano la parola therapy (3.544 articoli), la parola assessment (804 articoli) e la parola pain (125).

Dagli articoli rimasti abbiamo escluso gli articoli riguardanti la cybersickness, la augmented reality, le applicazioni biomolecolari e farmaceutiche, la diagnostica (dal punto di vista dei pazienti), gli studi relativi all'efficacia ingegneristica degli hardware VR (sensori aptici, headset, etc.) e tutti gli editoriali o lettere alle redazioni.

Dei 4.096 articoli abbiamo analizzato gli abstract di 2.252 articoli che coprivano il lasso di tempo 2019-2012 (perché in sei anni la tecnologia VR è cambiata moltissimo ed è diventata anche economicamente molto più accessibile).

⁶ Pensieri ha poi esteso la ricerca anche alle parole chiave metaverso, second life, virtual world e virtual life.

⁷ In particolare nell'area: Web of Science Core Collection.

Infatti, gli articoli relativi alla VR intesa come strumento utile alla formazione del personale sanitario che prevede l'utilizzo di simulatori 3D (con o senza headset) ma che comunque utilizzano un sensore aptico per il feedback tattile, sono aumentati esponenzialmente.

Per la chiave di ricerca: “(Virtual Reality) NOT therapy NOT assessment NOT pain” siamo passati dai 15 articoli del triennio 1991-1993 ai 735 del solo anno 2018 indicando l'importanza che ha assunto il tema negli ultimi anni (Figura 2).

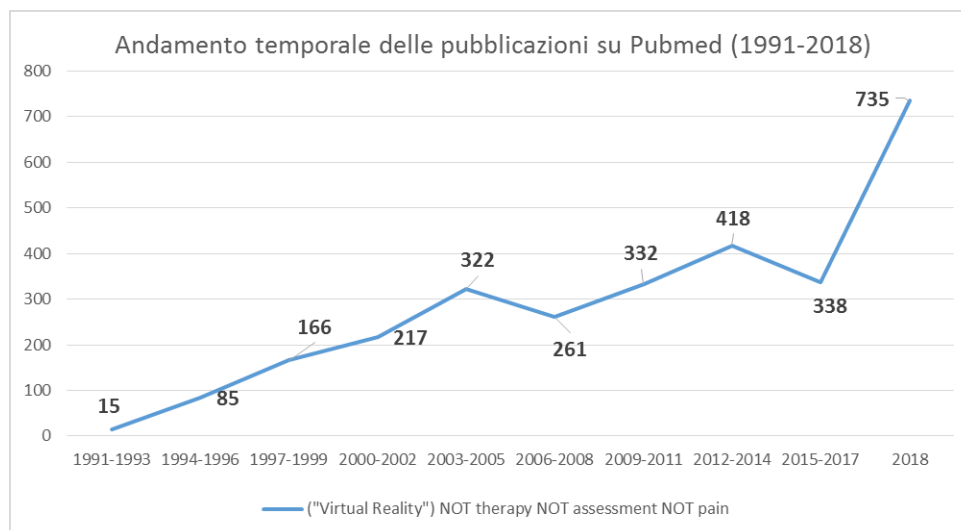


Figura 2. Trend delle pubblicazioni su PubMed.

Abbiamo suddiviso gli articoli analizzati nelle otto aree seguenti:

- simulazione per studenti (medicina, infermieristica e dentistica);
- simulazione per specializzandi (residents/novice);
- simulazione avanzata per professionisti (3D o headset);
- application in medical/dental/nursing/professionals education (soft skills);
- review e meta-analisi sulla simulazione o VR (3D o immersive);
- presurgical/surgical case planning or diagnostical.

Mentre abbiamo escluso (poiché sfuggiti ai filtri avanzati del motore di ricerca PubMed) i seguenti articoli:

- editoriali o commenti;
- simulazione BLSD-CPR (Basic Life Support Defibrillation - Cardio Pulmonary Resuscitation);
- formazione ai pazienti;
- dolore (pain management);
- relativi a ingegneria o tecnica della VR;
- simulazioni in 3D ma non virtuali;
- no abstract available (articoli di cui non siamo riusciti a rintracciare l'abstract);
- non aderente (altro argomento).

Gli articoli più presenti in assoluto riguardavano la simulazione chirurgica per gli studenti di medicina/infermieristica/odontoiatria (n. 53 articoli), che insieme ai 52 articoli degli specializzandi (ovvero studenti di qualche scuola di specializzazione) arrivano a 105 articoli.

Gli articoli in cui venivano valutate le applicazioni della VR (simulatori o meno) per i professionisti (già specialisti) erano 52. È interessante notare che sono state sviluppate delle applicazioni della VR e dei VE anche per la formazione nel campo delle soft skills sanitarie (13 articoli).

Inoltre sono state sviluppate negli ultimi anni delle applicazioni in 3D e VR che combinano i dati sanitari dei pazienti (provenienti per esempio dalle risonanze magnetiche funzionali) per costruire dei modelli in VR del paziente in modo da poter fare delle diagnosi più accurate o delle simulazioni chirurgiche precedenti al vero intervento (15 articoli).

Infine (Figura 3) il dato più rilevante (58 articoli) è stato relativo alle review e meta-analisi delle applicazioni della VR in medicina (o in vari ambiti specifici, tipo l'urologia, la ginecologia, la neurochirurgia, etc.).

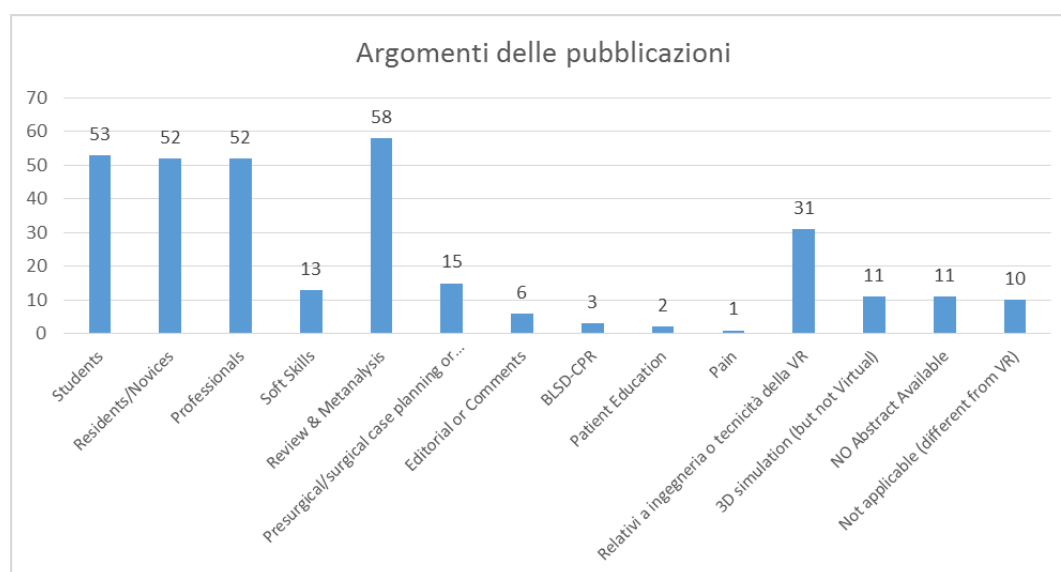


Figura 3. Argomenti delle pubblicazioni.

5. Discussione

È interessante notare che la maggior parte degli articoli analizzati (105) riguardano la formazione degli studenti (compresi gli specializzandi).

Alcuni articoli riportavano sperimentazioni delle applicazioni VR sia su studenti che specializzandi che professionisti e li abbiamo però inseriti in una sola categoria (Angulo et al., 2014; Fiard et al., 2014; Kneist, Huber, Paschold & Lang, 2016; Sandy et al., 2013).

Alcuni articoli riportavano l'utilizzo della VR nel campo dello studio dell'anatomia umana infatti attraverso la visualizzazione 3D dell'enorme volume di informazioni e banche dati, i medici e gli studenti riescono a comprendere importanti principi fisiologici e l'anatomia di base (Alcañiz et al., 2000).

Per esempio la VR può essere utilizzata per esplorare gli organi umani volandogli intorno, dietro o anche dentro. In questo senso, gli VE possono essere utilizzati come strumenti didattici esperienziali, permettendo una comprensione più profonda della interrelazione delle strutture anatomiche che non possono essere raggiunte con altri mezzi, inclusa la dissezione di cadaveri (ormai in disuso).

A prescindere dallo studio dell'anatomia la VR è stata utilizzata per insegnare l'abilità di svolgere compiti diversi, come un ECG a 12 derivazioni (Jeffries, Woolf & Linde, 2003). In tutti questi casi, i simulatori VR hanno permesso l'acquisizione delle necessarie competenze tecniche richieste per compiere la procedura.

La maggior parte degli articoli analizzati riguardava l'applicazione della VR alla chirurgia (simulatori laparoscopici, chirurgia della cataratta, simulatori del Robot Da Vinci, etc.). Nel 1995 Whalley scriveva che: "le complesse tecniche operatorie possono essere insegnate con una macchina virtuale. È già possibile utilizzare i risultati delle indagini cliniche (ad esempio le scansioni MRI) per costruire un preciso modello di VR di tutto o di una parte di un paziente e la si può usare per dare al chirurgo l'opportunità di sperimentare una procedura chirurgica, potenzialmente complessa, nella VR prima di tentarla su un paziente umano" (p. 109).

I supercomputer attualmente esistenti consentono l'integrazione di enormi database di informazioni derivate da imaging strutturali di organi malati e dalla loro simultanea mappatura funzionale. Gurusamy, Aggarwal, Palanivelu e Davidson (2008) hanno recensito 23 studi controllati randomizzati di simulatori laparoscopici in VR che includevano 612 partecipanti. Essi hanno riferito che la formazione con VR laparoscopica ha diminuito il tempo per il completamento del compito e ha portato ad una maggiore accuratezza in confronto ai soggetti di controllo che non avevano una formazione in VR.

Sembra che la tecnologia VR, se applicata all'educazione nei programmi di chirurgia generale, abbia un impatto positivo sulla loro formazione (Aggarwal et al., 2007).

Alcuni simulatori VR (Sapkaroski, Baird, McInerney & Dimmock, 2018) oltre alla simulazione chirurgica (hard skill) introducevano anche il rapporto comunicativo con il paziente (soft skill) oppure il lavoro in team.

Molto interessanti sono anche le applicazioni per l'acquisizione delle soft skills, che vanno dal team building in sala operatoria, al team building in caso di emergenza o medicina dei disastri, passando dalla comunicazione medico-paziente per arrivare anche allo studio dei dilemmi morali (Abelson et al., 2015; Bracq, Michinoc & Jannin, 2018; Coyne, Takemoto, Parmentier, Merritt & Sharpton, 2018; Crawford, Monks & Wells, 2018; Farra, Smith & Ulrich, 2018; Friedman et al., 2014; Garcia-Bonete, Jensen & Katona, 2019; Herrera, Bailenson, Weisz, Ogle & Zaki, 2018; Jacklin, Maskrey & Chapman, 2018; Louie et al., 2018; Markowitz, Laha, Perone, Pea & Bailenson, 2018; Nicely & Farra, 2015; Wiederhold, 2018).

Diversi articoli cercano di indicare un numero minimo di simulazioni VR da inserire nei curriculum di studio degli specializzandi ma è ancora un obiettivo troppo lontano sia per il costo degli hardware (per ora ancora molto alto)⁸.

Alcuni simulatori VR hanno recentemente inserito dei problemi imprevisti che si possono presentare in sala operatoria, come lo strumento che non funziona bene o elementi di disturbo sonori.

⁸ Più che il costo del casco o del visore è necessario considerare che ogni headmounted display necessita del suo computer di riferimento (che deve anche essere molto performante), non è possibile collegare più display ad un solo computer (ne risentirebbe in velocità di movimento e di caricamento), quindi il prezzo va basato su postazione completa e si aggira intorno ai 5.000-6.000 euro a postazione. Contro i 5.000 euro circa di un HoloLens Microsoft per la AR che invece è a costo finito, in quanto nel casco integra tutto l'hardware necessario a farlo funzionare.

Qualcuno ha anche videoripreso in modo immersivo l'operazione chirurgica (Yang et al., 2014) per poi permettere agli studenti una visione tridimensionale immersiva dell'operazione fatta. Sicuramente la VR risulta molto agevole per insegnare la medicina dei disastri (Farra, Miller & Hodgson, 2015; Hsu et al., 2013; Ngo, Schertzer, Harter & Smith-Coggins, 2016) in quanto non è facilmente simulabile dal vivo il cedimento strutturale di uno stadio, o un attentato terroristico con un maxi afflusso di pazienti.

Fuori dalla nostra analisi sono poi risultati degli articoli sull'utilizzo della VR nei college americani per lo studio della forza centripeta (Johnson-Glenberg, Megowan-Romanowicz, Birchfield & Savio-Ramos, 2016) ed in una classe di scienze (Hodgson, Bachmann, Vincent, Zmuda & Waller, 2015).

6. Conclusioni e prospettive future

In questo articolo abbiamo voluto mettere in risalto come, delle tecnologie nate più di vent'anni fa stiano diventando sempre più alla portata di tutti.

Il problema principale, nei prossimi anni, non sarà più l'accesso economico ai dispositivi hardware o software ma la predisposizione dei docenti ad utilizzarli.

È opinione degli autori che la mancanza di competenze dei docenti nell'insegnare con questi mezzi innovativi sia una barriera di accesso al loro utilizzo. Ogni tipo di nuovo device (VR o AR) necessita di un periodo di formazione sia nell'utilizzo dell'hardware (saper dare i comandi vocali o gestuali giusti nel caso degli Hololens, o saper utilizzare bene i wearable device e puntatori nel caso della VR).

Una formazione specifica andrebbe fatta anche per insegnare ai docenti le possibilità tutoriali di tali strumenti, ad esempio: come parlare/interagire con il visore del singolo studente per correggerlo nell'operazione chirurgica che sta vedendo nel suo visore, ristabilendo il criterio della formazione chirurgica uno a uno. Oppure indicandogli quale parte anatomica deve tagliare *prima* che tagli quella sbagliata, o inserendo delle checklist di passaggi fondamentali a lato del display che si spuntano ogni volta che lo studente le adempie.

Se utilizzate invece per la formazione non-chirurgica diventano importanti per dare allo studente la possibilità di vedere con i propri occhi come funziona il cuore umano, l'apparato circolatorio, il sistema linfatico, o un organo umano (da diverse prospettive, compresa la sezione sagittale, o per livelli: sistema nervoso, linfatico, sanguigno, etc.) sarà sicuramente utile alle nuove generazioni di studenti (i millennials) che ormai sono avvezzi all'utilizzo quotidiano di tali tecnologie piuttosto che alla mera lettura di un libro cartaceo in 2D. Alcuni insegnamenti di discipline universitarie (dalla fisica all'attività motoria, dalla geografia alla storia) ne gioveranno molto. Poter vedere l'Himalaya standoci in piedi, o il Courtauld Gallery di Londra⁹ potendo girare la testa e guardare i dipinti di Gauguin, Renoir, Manet e Monet offre sicuramente un apprendimento più interattivo rispetto al libro di carta stampata.

In medicina invece, la VR offre spunti didattici importanti visto che ormai la dissezione dei cadaveri non è più in uso e non tutti hanno la possibilità di partecipare attivamente ad

⁹ Visitabile tramite *WoofbertVR*, l'app lanciata nel novembre 2015 da Oculus per Samsung Gear VR.

interventi chirurgici né tantomeno alcuni professionisti hanno la possibilità di esercitarsi fisicamente sui pazienti in alcune rare operazioni. Sarà sicuramente utile valutare in futuro, come stanno facendo già in America, un curriculum per gli specializzandi ed i professionisti, di esercitazioni sui simulatori per alcuni interventi particolari o per l'utilizzo di tecnologie avanzate sui pazienti (ad esempio il Robot Da Vinci).

In ogni caso, la formazione universitaria si andrà indirizzando sempre più verso l'utilizzo di queste tecnologie, in campo medico per salvaguardare la salute dei pazienti, nelle altre discipline per offrire dei prodotti didattici interattivi e ampiamente apprezzati dagli studenti millennials che si aspetteranno tali forme di apprendimento.

Bibliografia

- Aggarwal, R., Ward, J., Balasundaram, I., Sains, P., Athanasiou, T., & Darzi, A. (2007). Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery. *Annals of Surgery*, 246, 771–779.
- Alcañiz, M., Perpiñá, C., Baños, R., Lozano, J.A., Montesa, J., Botella, C., ...Alozano, J. (2000). A new realistic 3D body representation in virtual environments for the treatment of disturbed body image in eating disorders. *CyberPsychology & Behavior*, 3(3), 433–439.
- Abelson, J.S., Silverman, E., Banfelder, J., Naides, A., Costa, R., & Dakin, G. (2015). Virtual operating room for team training in surgery. *The American Journal of Surgery*, 210(3), 585–590.
- Alloni, R. (2015). L'uso della simulazione nella formazione chirurgica, *MEDIC*, 23(2), 50–56.
- Angulo, J.C., Arance, I., García-Tello, A., Las Heras, M.M., Andrés, G., Gimbernat, H., ...de Fata, F. R. (2014). Virtual reality simulator for training on photoselective vaporization of the prostate with 980 nm diode laser and learning curve of the technique. *Actas Urológicas Españolas*, 38(7), 451–458.
- Bertolo, R., Hung, A., Porpiglia, F., Bove, P., Schleicher, M., & Dasgupta, P. (2019). Systematic review of augmented reality in urological interventions: the evidences of an impact on surgical outcomes are yet to come. *World journal of urology*, 2, 1–10.
- Bracq, M.S., Michinov, E., & Jannin, P. (2019). Virtual reality simulation in nontechnical skills training for healthcare professionals. *Simulation in Healthcare*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02025126> (ver. 15.04.2019).
- Bricken, W. (1990). *Virtual reality: Directions of growth*. Technical Report R-90-1. Seattle, WA: University of Washington.
- Brooks, F.P. (1999). What's real about virtual reality?. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(6), 16–27.
- Burdea, G.C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology (2nd edition)*. New Brunswick, NJ: Wiley-IEEE Press.
- Chinnock, C. (1994). Virtual reality in surgery and medicine. *Hosp Technol Ser*, 13(18), 1–48.

- Coleridge, S.T. (1817). *Biographia literaria*, capitolo XIV, p. 42. https://archive.org/stream/biographialiteraria00coleuoft/biographialiteraria00coleuoft_djvu.txt (ver. 15.04.2019).
- Coyne, L., Takemoto, J.K., Parmentier, B.L., Merritt, T., & Sharpton, R.A. (2018). Exploring virtual reality as a platform for distance team-based learning. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 10(10), 1384–1390.
- Crawford, S.B., Monks, S.M., & Wells, R.N. (2018). Virtual reality as an interview technique in evaluation of emergency medicine applicants. *AEM education and training*, 2(4), 328–333.
- Emmelkamp, P.M., Bruynzeel, M., Drost, L., & Van der Mast, C.A. (2001). Virtual reality treatment in acrophobia: a comparison with exposure in vivo. *CyberPsychology & Behavior*, 4(3), 335–339.
- Farra, S.L., Miller, E.T., & Hodgson, E. (2015). Virtual reality disaster training: translation to practice. *Nurse Education in Practice*, 15(1), 53–57.
- Farra, S.L., Smith, S.J., & Ulrich, D.L. (2018). The student experience with varying immersion levels of virtual reality simulation. *Nursing education perspectives*, 39(2), 99–101.
- Fiard, G., Selmi, S.Y., Promayon, E., Vadcard, L., Descotes, J.L., & Troccaz, J. (2014). Initial validation of a virtual-reality learning environment for prostate biopsies: realism matters!. *Journal of endourology*, 28(4), 453–458.
- Frazzetto, G. (2010). *Molte vite in multiversi. Nuovi media e arte quotidiana*. Gemona del Friuli: Mimesis Edizioni.
- Friedman, D., Pizarro, R., Or-Berkers, K., Neyret, S., Pan, X., & Slater, M. (2014). A method for generating an illusion of backwards time travel using immersive virtual reality - an exploratory study. *Frontiers in psychology*, 5, 943.
- Garcia- Bonete, M.J., Jensen, M., & Katona, G. (2019). A practical guide to developing virtual and augmented reality exercises for teaching structural biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(1), 16–24.
- Garcia-Palacios, A., Hoffman, H., Carlin, A., Furness, T.A., & Botella, C. (2002). Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study. *Behavior Research and Therapy*, 40(9), 983–993.
- Gerosa, M. (2007). *Second Life*. Roma: Meltemi Editore.
- Gerosa, M., & Pfeffer, A. (2006). *Mondi Virtuali*. Roma: Castelvecchi.
- Gurusamy, K., Aggarwal, R., Palanivelu, L., & Davidson, B.R. (2008). Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *British Journal of Surgery*, 95(9), 1088–1097.
- Herrera, F., Bailenson, J., Weisz, E., Ogle, E., & Zaki, J. (2018). Building long-term empathy: A large-scale comparison of traditional and virtual reality perspective-taking. *PloS one*, 13(10), e0204494.
- Hodgson, E., Bachmann, E.R., Vincent, D., Zmuda, M., & Waller, D., (2015) Calusdian WeaVR: a self-contained and wearable immersive virtual environment simulation system. *Behavior Research Methods*, 47(1), 296–307.

- Hong, K., Sakamoto, Y., & Irani, P. (2019). The use of head-worn augmented reality displays in health communications. *Studies in health technology and informatics*, 257, 163–169.
- Hsu, E.B., Li, Y., Bayram, J.D., Levinson, D., Yang, S., & Monahan, C. (2013). State of virtual reality based disaster preparedness and response training. *PLoS Current*, 24, 5.
- Jacklin, S., Maskrey, N., & Chapman, S. (2018). Improving shared decision making between patients and clinicians: Design and development of a virtual patient simulation tool. *JMIR medical education*, 4(2), e10088.
- Jeffries, P.R., Woolf, S., & Linde, B. (2003). Technology based vs. traditional instruction. A comparison of two methods for teaching the skill of performing a 12-lead ECG. *Nursing education perspectives*, 24(2), 70–74.
- Johnson-Glenberg, M.C., Megowan-Romanowicz, C., Birchfield, D.A., & Savio-Ramos, C. (2016). Effects of embodied learning and digital platform on the retention of physics content: Centripetal force. *Frontiers in Psychology*, 25(7), 1819.
- Kneist, W., Huber, T., Paschold, M., & Lang, H. (2016). 3D Virtual Reality laparoscopic simulation in surgical education - Results of a pilot study. *Zentralbl Chir*, 141(3), 297–301.
- Lanier, J., Zimmerman, T.G., Blanchard, C., Bryson, S., & Harvill Y. (1987). A hand gesture interface device. *Proceedings of the SIGCHI/GI conference on Human factors in computing systems and graphics interface*, 189–192. New York, NY: Association for Computing Machinery.
- Lévy, P. (1996). *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*. Milano: Feltrinelli.
- Lévy, P. (1997). *Il virtuale*. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Louie, A.K., Coverdale, J.H., Balon, R., Beresin, E.V., Brenner, A.M., Guerrero, A.P., & Roberts, L.W. (2018). Enhancing empathy: A role for virtual reality?. *Academic Psychiatry*, 42(6), 747–752.
- Markowitz, D.M., Laha, R., Perone, B.P., Pea, R.D., & Bailenson, J.N. (2018). Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology*, 9, 2364.
- McCloy, R., & Stone, R. (2001). Science, medicine, and the future. Virtual reality in surgery. *British Medical Journal*, 323(7318), 912–915.
- Ngo, J., Schertzer, K., Harter, P., & Smith-Coggins, R. (2016). Disaster medicine: a multi-modality curriculum designed and implemented for emergency medicine residents. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 10(4), 611–614.
- Ni, M.Y., Hui, R.W., Li, T.K., Tam, A.H., Choy, L.L., Ma, K.K., ...Leung, G.M. (2018). Augmented reality games as a new class of physical activity interventions? The impact of Pokémon go use and gaming intensity on physical activity. *Games for health journal*, 8(1), 1–6.
- Nicely, S., & Farra, S. (2015). Fostering learning through interprofessional virtual reality simulation development. *Nursing Education Perspectives*, 36(5), 335–336.

- Pensieri, C. (2013). *Game Therapy. L'uso dei mondi virtuali in campo terapeutico*. Roma: UniversItalia.
- Pensieri, C. (2015). Simulazione della realtà vs realtà virtuale. *MEDIC*, 23(2), 13–23.
- Pensieri, C., & Pennacchini, M. (2013) Overview: Virtual reality in medicine. *Journal of Virtual Worlds Research*, 7(1), 1–36.
- Richards, K.G., Wong, K.Y., & Khan, M. (2018). Augmented reality game-related injury. *BMJ Case Report*, 11(1), e224012.
- Riva, G. (2003). Applications of virtual environments in medicine. *Methods of Information in Medicine*, 42(5), 524–534.
- Riva, G., Bacchetta, M., Baruffi, M., & Molinari, E. (2001). Virtual reality-based multidimensional therapy for the treatment of body image disturbances in obesity: A controlled study. *Cyberpsychology and Behavior*, 4(4), 511–526.
- Riva, G., Bacchetta, M., Baruffi, M., & Molinari, E. (2002). Virtual-reality-based multidimensional therapy for the treatment of body image disturbances in binge eating disorders: A preliminary controlled study. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 6(3), 224–234.
- Riva, G., Davide, F., & Ijsselsteijn, W.A. (2003a). *Being there: Concepts, effects and measurements of user presence in synthetic environment*. Amsterdam: Ios Press.
- Riva, G., Bacchetta, M., Cesa, G., Conti, S., & Molinari, E. (2003b). Six-month follow-up of in-patient experiential-cognitive therapy for binge eating disorders. *CyberPsychology & Behavior*, 6(3), 251–258.
- Riva, G., Rizzo, A., Alpini, D., Attree, E.A., Barbieri, E., Bertella, L., ...Katz, N. (1999). Virtual environments in the diagnosis, prevention, and intervention of agerelated diseases: A review of VR scenarios proposed in the EC VETERAN project. *CyberPsychology and Behavior*, 2(6), 577–591.
- Riva, G., & Wiederhold, B.K. (2002). Introduction to the special issue on virtual reality environments in behavioral sciences. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 6(3), 193–197.
- Rizzo, A.A., Wiederhold, B., Riva, G., & Van Der Zaag, C. (1998). A bibliography of articles relevant to the application of virtual reality in the mental health field. *CyberPsychology & Behavior*, 1(4), 411–425.
- Rizzo, A., Parsons, T.D., Lange, B., Kenny, P., Buckwalter, J. G., Rothbaum, B., ...Reger, G. (2011). Virtual reality goes to war: a brief review of the future of military behavioral healthcare. *Journal of clinical psychology in medical settings*, 18(2), 176–187.
- Rothbaum, B.O., Hodges, L.F., Kooper, R., Opdyke, D., Williford, J.S., & North, M. (1995). Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. *American Journal of Psychiatry*, 152(4), 626–628.
- Rothbaum, B.O., Hodges, L., Smith, S., Lee, J.H., & Price, L. (2000). A controlled study of virtual reality exposure therapy for the fear of flying. *Journal of Consulting & Clinical Psychology*, 68(6), 1020–1026.
- Rubino, F., Soler, L., Marescaux, J., & Maisonneuve, H. (2002). Advances in virtual reality are wide ranging. *British Medical Journal*, 324(7337), 612.

- Sandy, N.S., Cruz, J. A.S.D., Passerotti, C.C., Nguyen, H., Reis, S.T.D., Gouveia, E.M., ...Srougi, M. (2013). Can the learning of laparoscopic skills be quantified by the measurements of skill parameters performed in a virtual reality simulator?. *International Brazilian Journal of Urology*, 39(3), 371–376.
- Sapkaroski, D., Baird, M., McInerney, J., & Dimmock, M.R. (2018). The implementation of a haptic feedback virtual reality simulation clinic with dynamic patient interaction and communication for medical imaging students. *Journal of Medical Radiation Sciences*, 65(3), 218–225.
- Satava, R.M., & Jones, S.B. (2002). Medical applications of virtual reality. In K.M. Stanney (ed.), *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications* (pp. 368-391). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sayadi, L.R., Naides, A., Eng, M., Fijany, A., Chopan, M., Sayadi, J.J., ...Widgerow, A.D. (2019). The new frontier: a review of Augmented Reality and Virtual Reality in plastic surgery. *Aesthetic Surgery Journal*. <https://doi.org/10.1093/asj/sjz043> (ver. 15.04.2019).
- Schultheis, M.T., & Rizzo, A.A. (2001). The application of virtual reality technology in rehabilitation. *Rehabilitation Psychology*, 46(3), 296–311.
- Scott, D.J., Cendan, J.C., Pugh, C.M., Minter, R.M., Dunnington, G.L., & Kozar, R.A. (2008). The changing face of surgical education: Simulation as the new paradigm. *Journal of Surgical Research*, 147(2), 189–193.
- Sivan, Y. (ed.). (2015). *Handbook on 3D3C platforms: Applications and tools for three dimensional systems for community, creation and commerce*. Heidelberg: Springer.
- Steuer, J.S. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence, *Journal Communications*, 42(4), 73–93.
- Székely, G., & Satava, R.M. (1999). Virtual reality in medicine. *British Medical Journal*, 319(7220), 1305.
- Vincelli, F., Anolli, L., Bouchard, S., Wiederhold, B.K., Zurloni, V., & Riva, G. (2003). Experiential cognitive therapy in the treatment of panic disorders with agoraphobia: a controlled study. *CyberPsychology & Behavior*, 6(3), 312–318.
- Whalley, L.J. (1995). Ethical issues in the application of virtual reality to medicine. *Computers in Biology and Medicine*, 25(2), 107–114.
- Wiederhold, B.K. (2018). The next level of virtual reality isn't technology – it's storytelling. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 21(11), 671.
- Wiederhold, B.K., Jang, D.P., Gevirtz, R.G., Kim, S.I., Kim, I.Y., & Wiederhold, M.D. (2002). The treatment of fear of flying: A controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 6(3), 218–223.
- Yang, Y., Guo, X., Yu, Z., Steiner, K.V., Barner, K.E., Bauer, T.L., & Yu, J. (2014). An immersive surgery training system with live streaming capability. *Studies in Health Technology and Informatics*, 196, 479–485.