

Simulazione della realtà vs realtà virtuale

Simulation of reality vs virtual reality

CLAUDIO PENSIERI

Istituto di Filosofia dell'Agire Scientifico e Tecnologico (FAST), Università Campus Bio-Medico di Roma

La simulazione viene sempre più utilizzata in diversi ambiti come un'attività educativa. In casi particolari, come l'aviazione, è stata addirittura resa obbligatoria. Nell'ambito della formazione medica, la sua applicazione va dalla simulazione dell'approccio medico (attraverso i *role-play*, lo psicodramma e le esercitazioni), all'approccio chirurgico (uso di manichini, realtà virtuale, realtà aumentata, *box trainer*, simulatori laparoscopici, ecc.). In questo articolo prenderemo in esame gli aspetti legati alla simulazione e alle nuove tecnologie.

Parole chiave: Realtà virtuale, realtà aumentata, simulatori, simulatori chirurgici, chirurgia, formazione sanitaria

Simulation is widely used in various fields as an educational activity. In special cases, such as the aviation, it is a precondition for an efficient training activity. In medical education, its application goes from simulation of medical approach (through: role-play, psychodrama and exercises), to the surgical one (use of mannequins, virtual reality, augmented reality, box trainer, laparoscopic simulators, etc.). In this article we examine the relationship between simulation and new technologies in the healthcare field.

Key words: *Virtual reality, augmented reality, simulator, surgical simulator, surgery, medical education*

Indirizzo per la corrispondenza
Address for correspondence

Claudio Pensieri
Università Campus Bio-Medico di Roma
Via Álvaro del Portillo 21, 00128 Roma
e-mail: c.pensieri@unicampus.it

La simulazione

Il termine simulazione deriva dal latino *simulare*, (*similis* “simile”, “rendere simile”) e nel linguaggio corrente ha assunto diverse connotazioni, positive o negative. Negative, quando s’intende il fatto di simulare un atto o atteggiamento che tende a far sorgere in altri un falso giudizio, si veda l’esempio del giuoco del calcio, in cui il tentativo di ingannare l’arbitro fingendo un infortunio o un fallo subito viene punito con l’ammonizione per comportamento antisportivo.

Positive, in ambito tecnico/scientifico in cui, ad esempio, nella teoria dei sistemi, per simulazione s’intende ogni procedimento atto a studiare il comportamento di un sistema in determinate condizioni che si basi sulla “riproduzione del sistema” o dell’ambiente in cui esso deve operare attraverso modelli (siano essi meccanici, analogici, numerici, matematici o altro)¹.

Con l’aumento della potenza di calcolo dei computer negli anni si sono diffuse sempre più le simulazioni numeriche del comportamento di sistemi complessi.

Le simulazioni sono particolarmente efficaci se l’evoluzione di un processo complesso si può scomporre in un insieme (anche estremamente numeroso) di sottoprocessi elementari che siano facilmente rappresentabili in termini numerici o matematici, o similmente quando l’evoluzione di un sistema costituito da un numero estremamente grande di elementi si può ridurre all’effetto combinato di semplici interazioni tra i vari elementi².

Quando le leggi che regolano i processi elementari sono di tipo probabilistico, l’analisi di un fenomeno complesso può essere basata sui valori medi estratti da un campione statistico costituito da un gran numero di simulazioni del fenomeno, ottenute come successioni di sottoprocessi elementari, ciascuno determinato con estrazioni casuali che rispettino le distribuzioni di probabilità dei sottoprocessi stessi³.

Nella Formula 1, i piloti sono soliti allenarsi su simulatori di guida professionali: sono monoposto che permettono al pilota di provare i circuiti e gli assetti in maniera assolutamente fedele rispetto alla realtà, riproducendo le difficoltà che il pilota avrebbe a guidare la vettura in pista. In questo modo il pilota risparmia tempo, perché può provare le modifiche in modo virtuale, prima di intervenire sull’auto, e può allenarsi su circuiti distanti diecimila chilometri senza spostarsi. La simulazione, in questo contesto, è uno strumento di *training* fondamentale, che agevola il pilota e le scuderie e ne migliora le prestazioni.

In ambito medico, la simulazione si configura come un mezzo fondamentale per far fare “esperienza” a chi ancora

non ne ha, o deve riacquisirla (come un chirurgo che non esegue un’operazione specifica da diverso tempo).

Poiché il medico in formazione dovrà presto confrontarsi con dei pazienti “reali”, con il problema della “vita e della morte”, con le situazioni di emergenza chirurgica, la simulazione ben si presta per offrire un “ambiente” controllato, ove poter sperimentare le proprie abilità senza danneggiare i pazienti reali.

Così, se da un lato, il termine simulazione fa pensare a uno iato, una differenza rispetto a ciò che è reale, dall’altro, allude a una differenza particolare con la realtà, piccola, anche se significativa. È questa differenza che rende la simulazione uno strumento utile per la formazione e la crescita di competenze reali.

Reale vs virtuale, un confine immaginario?

La differenza tra simulazione e realtà virtuale non sta alla radice. Simulazione e realtà virtuale condividono lo stesso significato di fondo: imitare e riprodurre una realtà.

La differenza sta nello scopo delle due, e, in un certo senso, nell’intensità.

La realtà virtuale è come una “simulazione totale” percepita totalmente dai nostri sensi, in particolare dalla vista, seguita dall’udito e dal tatto; infatti, lo scopo della realtà virtuale è quello di immergere totalmente il fruitore in un ambiente virtuale, tendenzialmente coinvolgendo tutti i sensi, non solo la vista, l’udito e il tatto, ma anche quelli che non si è abituati a prendere in considerazione come l’orientamento.

La realtà virtuale utilizza visori montati in prossimità degli occhi, i cosiddetti HMD (*Head Mounted Display*), permette l’utilizzo di sensori di posizione in grado di fornire l’indicazione dell’orientamento del punto di vista dell’utente, e infine i *dataglove*, guanti dotati di sensori per manipolare gli oggetti virtuali e per simulare sensazioni tattili artificiali.

Nella dimensione virtuale non c’è più né soggetto né oggetto ma entrambi diventano elementi interattivi. L’operatore interagisce con l’ambiente simulato (si veda il progetto e-Dis-strict CiPro utilizzato per il training nella medicina dei disastri, in cui si simula in realtà virtuale il cedimento di uno stadio da calcio con gli spettatori dentro), ha un *feedback* visivo e auditivo delle sue azioni, i più avanzati simulatori danno anche un *feedback* tattile che rende il tutto ancora più simile alla realtà.

Possiamo dunque affermare che il virtuale è una neo-realtà, astratta e matematica, creata con dei modelli e dei linguaggi particolari. Il virtuale diventa il lato astratto della comprensione del mondo reale.

Anzi, il virtuale potrebbe diventare un modo diverso di leggere la realtà, un modo di illuminare la comprensione del mondo. Potrebbe divenire un mezzo per capire quali siano i quadri mentali degli operatori, i loro schemi concettuali. Il virtuale diventa quindi uno specchio delle loro capacità mentali anche se, nel virtuale, l’immagine viene creata da un processo astratto di linguaggi e si perde l’idea del contatto con la materia.

¹ Disponibile online: <http://www.treccani.it/vocabolario/simulazione/> (consultato il 22/05/2015).

² Tipiche applicazioni di queste simulazioni sono le previsioni meteorologiche e l’analisi delle transizioni di fase nei sistemi fisici.

³ Questa tecnica, nota come “simulazione Montecarlo”, poiché è basata su sequenze casuali di numeri, come quelle che escono alla roulette, si è sviluppata alla fine degli anni ’50 nella fisica delle particelle per la simulazione degli sciami elettromagnetici ed è oggi largamente diffusa in moltissime applicazioni.

Infatti, secondo diversi studi (Sadoski e Paivio, 2004), il cervello umano non distingue tra ciò che è reale e ciò che viene vividamente immaginato (Olivetti Belardinelli e Palmiero, 2007; Galloni, 2010).

Più la rappresentazione mentale dell'azione è multisensoriale (Pensieri, 2012)⁴ e dettagliata più essa è percepita come "reale" dal soggetto stesso, ma è bene ricordare che di una semplice visualizzazione gli esseri umani sono consapevoli del fatto che non è la realtà⁵. Tuttavia la risposta emotiva è la stessa (Bruno, 2014).

Recenti studi hanno messo in evidenza che la simulazione di un'immagine (Slotnick et al., 2012) o di un suono o di un'azione, attiva nel cervello umano le stesse aree neuronali del vedere, ascoltare o toccare.

Le rappresentazioni di eventi percepiti (percezioni) e di eventi da eseguire (azioni) (Noë, 2004) sono basate sullo stesso codice di tipo motorio (Jeannerod, 1994; Prinz, 1997).

Basti pensare che il cervello umano, oltre ad attivare la stessa area nel caso di una immagine vista (Pylyshyn, 2003) o immagine ricordata/ideata (Paivio, 1969), utilizza lo stesso meccanismo per le onde sonore.

Infatti, uno studio italiano (Magrassi et al., 2015) sembra chiarire alcuni rapporti tra cervello e linguaggio. I neuroni riproducono la traccia sonora delle parole anche quando le pensiamo senza pronunciarle. Lo studio, condotto misurando l'attività elettrica del cervello in persone in stato di veglia durante operazioni neurochirurgiche, rivela per la prima volta che quando si pensa – anche senza parlare – i neuroni del linguaggio comunicano tra di loro, con onde elettriche che "copiano" le onde sonore delle parole corrispondenti, hanno osservato che anche solo pensando alle frasi, i neuroni di quest'area si attivano modulando onde elettriche che hanno lo stesso schema dell'onda acustica delle parole usate.

La differenza tra "reale" e "virtuale" potrebbe quindi diventare una mera questione di "definizione", piuttosto che di un reale impatto sul cervello umano.

VR e Simulazione 2.0

Una convinzione molto diffusa, che per molto tempo ha portato a considerare gli eventi dei mondi virtuali come irreali, partiva dal presupposto che la realtà dovesse coincidere con le "cose" tangibili e materiali.

Questa idea è penetrata in molti ambiti intellettuali che, colti dalla difficoltà di inserire tutti i fenomeni esistenti (compresi quelli relativi ai mondi virtuali, alle simulazioni telematiche, ecc.) 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 mondi virtuali con il falso e l'illusorio (Pensieri, 2013).

Una tale visione, oltre a essere riduttiva, risulta anche poco utile come quadro interpretativo di tutti i fenomeni che questi mondi stanno facendo registrare.

Se solo ci limitiamo a un'analisi etimologica del termine *virtuale*, possiamo già vedere come di effimero e 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 Levy, lungi dall'opporci al reale, rappresenta una diversa modalità dell'essere (Levy, 1997; Levy, 1996); ecco il perché della sostituzione effettuata da molti studiosi del termine virtuale con il termine *simulato*. Deve far riflettere il fatto che, anche all'interno del mondo simulato e del virtuale, sia sensato parlare di una maggiore o minore verosimiglianza e attendibilità della rappresentazione. Si parlerebbe, in una formulazione dal sapore paradossale, dell'attendibilità della simulazione. Gli esperti del settore sanno bene che esistono simulatori affidabili e altri poco attendibili, nonostante tutti i simulatori, proprio in quanto artefatti, sono ugualmente lontani dalla realtà che simulano (Diodato, 2005)⁶.

Per medici e chirurghi, la simulazione tramite "realtà virtuale" (VR) prevale sull'obiettivo dell'interazione, il loro obiettivo finale e la riproduzione di oggetti virtuali che interagiscano con tutti i sensi umani in modo identico alla loro controparte naturale (Szekely e Satava, 1999).

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 da fuori, dietro o anche dentro.

In questo senso, gli ambienti virtuali possono essere utilizzati come strumenti didattici esperienziali, permettendo una comprensione più profonda dell'interrelazione delle strutture anatomiche che non possono essere raggiunte con altri mezzi, inclusa la dissezione di cadaveri.

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 et al., 2003).

In tutti questi casi, i simulatori VR hanno permesso l'acquisizione delle necessarie competenze tecniche richieste per compiere la procedura.

La Tabella I "Bibliografia Tematica", riporta gli autori, i titoli, il nome della rivista e l'anno di pubblicazione degli articoli scientifici per approfondire l'argomento.

⁴ La multisensorialità di una rappresentazione mentale è ben spiegata in Pensieri C., *La comunicazione Medico Paziente. PNL e Sanità*. NLP International Ltd, UK 2009, relativamente all'utilizzo della calibrazione, submodalità e ancora.

⁵ A meno di situazioni patologiche particolari come la schizofrenia e altre patologie mentali o neurologiche.

⁶ Potremmo pensare di introdurre una distinzione tra livello percettivo e livello ontologico attraverso la quale illuminare la questione della simulazione. A livello di percezione soggettiva, infatti, una simulazione potrebbe essere identica alla situazione reale; a livello ontologico, invece, la simulazione è destinata a non soddisfare mai i criteri della realtà.

Simulazione e realtà virtuale psicoterapeutica

Nel campo psicoterapeutico la simulazione VR può anche essere descritta come un avanzato “sistema immaginario”, ovvero una forma esperienziale di immagini che è efficace almeno quanto la realtà nell’indurre risposte emotive (North et al., 1997; Vincelli et al., 2001).

Come sottolineato da Baños et al. (Baños et al., 1999), l’esperienza della VR può contribuire alla buona riuscita della terapia per “la sua capacità di ridurre la distinzione tra realtà del computer e realtà convenzionale”; infatti la “VR può essere utilizzata per sperimentare diverse identità ... come pure per sperimentare altre forme del Se”. Finora la VR è stata verificata nel trattamento di sei disturbi psicologici specifici: l’acrofobia (Emmelkamp et al., 2001; Rothbaum et al., 1995), l’aracnofobia (Garcia-Palacios et al., 2002), attacchi di panico con agorafobia (Vincelli et al., 2003), disturbi dell’immagine corporea (Riva et al., 2001), disturbi alimentari (Riva et al., 2002; Riva et al., 2003) e paura di volare (Rothbaum et al., 2000; Wiederhold et al., 2002).

Paramedici e metropolitane

La St. George’s University of London (Rice, 2009) nel 2009 ha sperimentato il PIVOTE (*PREVIEW Immersive Virtual Training Environment*)⁷, un sistema sviluppato da specialisti dei mondi virtuali per la *UK Government Joint Information Systems Committee* (JISC) all’interno di un progetto finanziato chiamato “Preview”, che mirava allo studio delle possibilità di “problem-based learning” nei mondi virtuali.

Un elemento chiave del “Preview” era quello di esplorare come un mondo virtuale potesse essere utilizzato per la formazione dei paramedici (Burstein, 2010) della St George’s University of London e della Kingston University. Il sistema risultante fu reso disponibile come un sistema open source chiamato PIVOTE. Alan Rice, Senior Lecturer in Paramedic Science della St George’s, ha affermato: “Questo programma fornisce agli studenti un ambiente di apprendimento divertente, dove possono permettersi di fare errori che non potevano permettersi di fare nel mondo reale. Quando fanno un errore online, sono sempre pronti a rimettersi in gioco per non commettere lo stesso errore di nuovo”. L’ambiente di simulazione virtuale prevedeva 5 tipi di scenario: un paziente con ferite da ustioni; un paziente collassato in un ufficio gremito di persone; una signora con un problema cardiaco in metropolitana; un incidente stradale e infine una signora con un tasso alcolemico molto alto davanti a un night club con anche elevati livelli di glucosio.

Simulazione chirurgica: neuro(chirurgica), endoscopica, laparoscopica

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 esem-

pio le scansioni MRI) per costruire un preciso modello di realtà virtuale 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 realtà virtuale prima di tentarla su un paziente umano” (Whalley, 1995).

Gli elaboratori attuali consentono l’integrazione di enormi database di informazioni derivate da imaging strutturali di organi malati e dalla loro simultanea mappatura funzionale.

Mabrey (Mabrey, 2010) nella sua review della letteratura ha identificato per “virtual reality” and “surgery” circa 1.025 citazioni che spaziano dal 1992 al 2009.

Questo sottoinsieme, “VR + Chirurgia”, è stato poi cercato introducendo la discriminante “orthopaedic” OR “orthopedic” OR “fracture” OR “spine” OR “hip” OR “knee” OR “shoulder”, producendo 232 articoli dal 1994 al 2009.

Del sottoinsieme di 48 articoli rilevanti per l’ortopedia trovati nella revisione della letteratura informale dal 1995 al 2009, solo 23 trattavano di simulatori VR specifici, con il resto degli articoli che invece trattavano argomenti più generali.

Di questi 23 articoli, solo 16 trattavano di simulatori specifici mentre il resto coprivano generici principi di VR riferita alla formazione in ortopedia.

Questo, ha portato a 9 articoli sui simulatori di “artroscopia del ginocchio” (1995-2006), quattro simulatori riguardavano la “spalla” (1999-2008) e tre le “fratture” (2007-2008). Per fare un confronto: erano state trovate 246 citazioni riguardanti la simulazione di laparoscopie in realtà virtuale su un totale di 1025 citazioni (1992-2009).

I simulatori laparoscopici in VR sono stati disponibili per qualche tempo e sono stati inseriti nella maggior parte dei programmi di formazione di chirurgia generale, con studi clinici randomizzati a documentarne l’efficacia.

Gurusamy (Gurusamy, 2008) ha 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 a 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; Ahlberg et al., 2007; Grantcharov et al., 2003; Larsen et al., 2009; Stefanidis et al., 2005; Verdaasdonk et al., 2008).

Mabrey nella sua review (Mabrey et al., 2010) relativa all’ortopedia descrive l’efficacia dei simulatori nel settore dell’aviazione e della medicina: “Il 15 gennaio 2009, il capitano Chesley Sullenberger III ha fatto un atterraggio d’emergenza con un Airbus 320 e con due motori in avaria, nel mezzo del fiume Hudson a New York City senza alcuna perdita di vite umane (Burke et al., 2009).

Come per tutti i piloti delle compagnie aeree più importanti, aveva in precedenza provato questo scenario più volte in un simulatore di volo ad alta fedeltà.

⁷ Disponibile online: <http://www.elu.sgul.ac.uk/virtualworlds/pivote.htm> accesso del 10.06.2015.

Quando fu il momento di provare il volo, il capitano Sulenberger fu tenuto a eseguire, nel simulatore, tre decolli e tre atterraggi, uno di questi simulante un guasto al motore” (Klein, 2009).

È interessante notare come non ci siano tali requisiti per i chirurghi che trascorrono periodi lontani dalla sala operatoria.

Diversi programmi di chirurgia generale, per diversi anni, hanno utilizzato la realtà virtuale nei simulatori per la formazione laparoscopica.

Purtroppo il numero di documenti specifici riguardanti l'ortopedia e la VR è limitato (Mabrey, 2010).

I simulatori di VR sono prontamente disponibili per artroscopia della spalla e del ginocchio, ma non sono altrettanto bene integrati nel programma di formazione.

I simulatori di realtà virtuale laparoscopica sono ottimi per valutare le prestazioni, ma mancano di un realistico *feedback* tattile.

La realtà aumentata (AR) invece combina la VR con veri e propri materiali fisici, strumenti e *feedback*. Infatti, in contrasto con la tecnologia della realtà virtuale in cui un utente è completamente immerso all'interno di un ambiente sintetico e non può vedere il mondo reale che lo circonda, la tecnologia della AR consente all'utente di vedere il mondo reale, con oggetti virtuali sovrapposti o compostati con il mondo reale.

L'utente ha l'impressione che gli oggetti virtuali e reali coesistono nello stesso spazio.

La AR migliora la percezione dell'utente del mondo reale, perché gli oggetti virtuali visualizzano informazioni che l'utente non può individuare direttamente con i suoi sensi, essa lo aiuta a far funzionare meglio le attività nel mondo reale.

Mediante la sovrapposizione delle strutture anatomiche virtuali al corpo del paziente reale, i chirurghi hanno una visione “X-Ray” dell'anatomia interna che arricchisce la percezione visiva e migliorano le loro prestazioni. Questi sistemi possono essere utilizzati nella pianificazione pre-operatoria o durante l'operazione chirurgica di una procedura minimamente invasiva.

Botden et al. (Botden e Jakimowicz, 2009) hanno presentato gli attuali sviluppi della simulazione di realtà aumentata per via laparoscopica.

I diversi tipi di simulatori utilizzati per scopi formativi sono: *traditional box trainer*, simulatori di VR e AR.

<p><i>Traditional box trainers</i> Offrono un realistico <i>feedback</i> tattile durante tutte le procedure, ma deve esser presente un osservatore esperto per valutarne le prestazioni</p>
<p>Simulatori VR Forniscono le spiegazioni dei compiti e una valutazione pratica e obiettiva delle prestazioni, ma non hanno un realistico <i>feedback</i> tattile</p>
<p>Simulatori AR Mantengono un <i>feedback</i> tattile realistico e forniscono una valutazione obiettiva delle prestazioni del tirocinante⁸</p>

⁸ Nell'ambito del Progetto ARPED (finanziato dalla Fondazione della Cassa di Risparmio di Puglia) è stato sviluppato presso l'A-

Botden e Jakimowicz hanno cercato su PubMed alcune parole chiave quali: “laparoscopia”, “simulazione”, “formazione”, “Augmented reality” e “hybrid”.

Durante la ricerca bibliografica hanno identificato sette simulatori che si adattavano alla definizione di AR, ma solo 4 aziende produttrici hanno restituito il loro questionario compilato:

1. *PROMIS*: unisce i mondi virtuali e reali nello stesso sistema, gli utenti imparano, praticano e misurano le proprie competenze con gli strumenti reali su modelli fisici e virtuali;
2. *CELTS*: è un prototipo di simulatore di chirurgia laparoscopica che utilizza strumenti reali, visualizzazioni video in tempo reale, pelle sintetica e vassoi per consentire l'esercizio di attività altamente realistiche per sviluppare le abilità chirurgiche;
3. *LTS3-e*: è un simulatore relativamente a basso costo in grado di formare e valutare le competenze tecniche laparoscopiche del programma della Società americana di chirurgia endoscopica e gastrointestinale⁹;
4. il *Blue Dragon*: è un sistema di acquisizione della cinematica e della dinamica di due strumenti endoscopici in contemporanea e con il punto di vista complessivo della scena chirurgica.

L'AR laparoscopica ha il notevole vantaggio, rispetto al simulatore VR, di permettere all'allievo l'utilizzo degli stessi strumenti che sono attualmente presenti in sala operatoria.

Il simulatore fornisce un *feedback* tattile realistico, a causa dell'ambiente ibrido in cui è presente sia il manichino che il tirocinante e che è assente nei sistemi in VR.

Questo simulatore offre un ambiente di formazione fisico-realistico che si basa su strumenti reali che interagiscono con oggetti reali.

La Tabella I “Bibliografia tematica”, riporta gli autori, i titoli, il nome della rivista e l'anno di pubblicazione degli articoli scientifici per approfondire l'argomento.

Oculus Rift

Un aiuto consistente nel campo della VR è stata la recente creazione di Oculus Rift.

Oculus Rift (acquistato nel 2014 dalla Facebook Inc.) è uno schermo da indossare sul viso (*head mounted display*) per la VR.

rea “Tecniche di Realtà Virtuale per la Medicina” dell'Università del Salento il primo prototipo di un sistema di AR a supporto della chirurgia laparoscopica pediatrica. In collaborazione con la Divisione di Chirurgia Addominale dell'Ospedale “Casa Sollievo delle Sofferenze” di San Giovanni Rotondo, è stato sviluppato un sistema di AR per la termoablazione dei tumori epatici.

⁹ *Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) Fundamentals of Laproscopy (FLS)*.

TABELLA I.			
<i>Bibliografia tematica.</i>			
<i>Medical education & training</i>			
Kaltenborn KF, Rienhoff O	Virtual reality in medicine	Methods Inf Med ;32:407-17	1993
Lefrançois L, Puddington L	Extrathymic intestinal T-cell development: virtual reality?	Immunol Today ;16:16-21	1995
Völter S, Krämer KL	Virtual reality in medicine	Radiologe ;35:563-8	1995
Sakurai K	A survey of virtual reality research: From technology to psychology	Shinrigaku Kenkyu ;66:296-309	1995
Marran L, Schor C	Multiaccommodative stimuli in VR systems: problems & solutions	Hum Factors ;39:382-8	1997
Ahmed M, Meech JF, Timoney A	Virtual reality in medicine	Br J Urol ;80 (Suppl 3):46-52	1997
Kaufman DM, Bell W	Teaching and assessing clinical skills using virtual reality	Stud Health Technol Inform ;39:467-72	1997
Moline J	Virtual reality for health care: a survey	Stud Health Technol Inform; 44:3-34	1997
Riva G.	Virtual reality as assessment tool in psychology	Stud Health Technol Inform ;44:71-9	1997
Riva G	Virtual reality in neuroscience: a survey	Stud Health Technol Inform ;58:191-9	1998
Gobbetti E, Scateni R	Virtual reality: past, present and future	Stud Health Technol Inform ;58:3-20	1998
Botella C, Perpiñá C, et al.	Virtual reality: a new clinical setting lab	Stud Health Technol Inform ;58:73-81	1998
Blonde L, Cook JL, Dey J	Internet use by endocrinologists	Recent Prog Horm Res ;54:1-29; discussion 29-31	1999
Dzhafarova OA, Donskaia OG, et al.	Virtual reality technology and physiological functions	Vestn Ross Akad Med Nauk :26-30	1999
Parham P	Virtual reality in the MHC	Immunol Rev ;167:5-15	1999
Lum LG	T cell-based immunotherapy for cancer: a virtual reality?	CA Cancer J Clin ;49:74-100, 65	1999
Marescaux J, Mutter D, et al.	The Virtual University applied to telesurgery: from tele-education to tele-manipulation	Bull Acad Natl Med ;18:509-21; discussion 521-2	1999
Riva G, Bacchetta M, Baruffi M, et al.	The use of PC based VR in clinical medicine: the VREPAR projects	Technol Health Care ;7:261-9	1999
Stenzl A, Kölle D, Eder R, et al.	Virtual reality of the lower urinary tract in women	Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct ;10:248-53	1999
Hoffman HM	Teaching and learning with virtual reality	Stud Health Technol Inform ;79:285-91	2000
Riva G, Gamberini L	Virtual reality as telemedicine tool: technology, ergonomics and actual applications	Technol Health Care ;8:113-27	2000
Riva G, Gamberini L	Virtual reality in telemedicine	Telemed J E Health Fall ;6:327-40	2000
Reznek M, Harter P, Krummel T	Virtual reality and simulation: training the future emergency physician	Acad Emerg Med ;9:78-87	2002
Nichols S, Patel H	Health and safety implications of virtual reality: a review of empirical evidence	Appl Ergon ;33:251-71	2002
Riva G	Virtual reality for health care: the status of research	Cyberpsychol Behav ;5:219-25	2002
Letterie GS	How virtual reality may enhance training in obstetrics and gynecology	Am J Obstet Gynecol ;187(Suppl 3):S37-40	2002
Schultheis MT, Himelstein J, Rizzo AA	Virtual reality and neuropsychology: upgrading the current tools	J Head Trauma Rehabil ;17:378-94	2002
Tarr MJ, Warren WH	Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond	Nat Neurosci ;(Suppl 5):1089-92	2002
Riva G	Applications of virtual environments in medicine	Methods Inf Med ;42:524-34	2003
Mantovani F, Castelnovo G, Gaggioli A, et al.	Virtual reality training for health-care professionals	Cyberpsychol Behav ;6:389-95	2003
Beutler LE, Harwood TM	Virtual reality in psychotherapy training	J Clin Psychol ;60:317-30	2004
Dankelman J, Wentink M, Grimbergen CA, et al.	Does virtual reality training make sense in interventional radiology? Training skill, rule- and knowledge-based behavior	Cardiovasc Intervent Radiol ;27:417-21	2004

(continua)

Tabella I (segue)

Choi KS, Sun H, Heng PA	An efficient and scalable deformable model for virtual reality-based medical applications	Artif Intell Med ;32:51-69	2004
Xiao J, Zhang HX, Liu L	Application of virtual reality technique in forensic pathology	Fa Yi Xue Za Zhi ;21:146-8	2005
Lum LG, Padbury JF, Davol PA, et al.	Virtual reality of stem cell transplantation to repair injured myocardium	J Cell Biochem ;95:869-74	2005
Khalifa YM, Bogorad D, Gibson V, et al.	Virtual reality in ophthalmology training	Surv Ophthalmol ;51:259-73	2006
Hilty DM, Alverson DC, Alpert JE, et al.	Virtual reality, telemedicine, web and data processing innovations in medical and psychiatric education and clinical care	Acad Psychiatry ;30:528-33	2006
Mohan A, Proctor M	Virtual reality – a “play station” of the future. A review of virtual reality and orthopaedics	Acta Orthop Belg ;72:659-63	2006
Chan C, Kepler TB	Computational immunology – from bench to virtual reality	Ann Acad Med Singapore ;36:123-7	2007
Stetz MC, Thomas ML, Russo MB, et al.	Stress, mental health, and cognition: a brief review of relationships and countermeasures.	Aviat Space Environ Med ;78(Suppl 5):B252-60	2007
Liu W, Wang S, Zhang J, et al.	Application of virtual reality in medicine	Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi ;24:946-9	2007
Banerjee PP, Luciano CJ, Rizzi S	Virtual reality simulations	Anesthesiol Clin ;25:337-48 Erratum in: Anesthesiol Clin ;25:687	2007
Jiang HP, Feng H, Dong FP	The influence of virtual reality both on biology experiment and teaching	Yi Chuan ;29:1529-32	2007
Thorley-Lawson DA, Duca KA, Shapiro M	Epstein-Barr virus: a paradigm for persistent infection – for real and in virtual reality	Trends Immunol ;29:195-201	2008
Schmidt B, Stewart S	Implementing the virtual reality learning environment: Second Life	Nurse Educ ;34:152-5	2009
Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, et al.	Sensorimotor training in virtual reality: a review.	NeuroRehabilitation ;25:29-44	2009
Desender LM, Van Herzele I, Aggarwal R, et al.	Training with simulation versus operative room attendance	J Cardiovasc Surg ;52:17-37	2011
Galvin J, Levac D	Facilitating clinical decision-making about the use of virtual reality within paediatric motor rehabilitation: describing and classifying virtual reality systems	Dev Neurorehabil ;14:112-22	2011
Levac DE, Galvin J	Facilitating clinical decision-making about the use of virtual reality within paediatric motor rehabilitation: application of a classification framework	Dev Neurorehabil ;14:177-84	2011
<i>(Neuro) Surgery</i>			
Satava RM	Emerging medical applications of virtual reality: a surgeon's perspective	Artif Intell Med ;6:281-8	1994
Marescaux J, Clément JM, Nord M, et al.	A new concept in digestive surgery: the computer assisted surgical procedure, from virtual reality to telemanipulation	Bull Acad Natl Med ;181:1609-21; discussion 1622-3	1997
Gorman PJ, Meier AH, Krummel TM	Simulation and virtual reality in surgical education: real or unreal?	Arch Surg ;134:1203-8	1999
Lange T, Indelicato DJ, Rosen JM	Virtual reality in surgical training	Surg Oncol Clin N Am ;9:61-79, vii	2000
Peters TM	Image-guided surgery: from X-rays to virtual reality	Comput Methods Biomech Biomed Engin ;4:27-57	2000
Tronnier VM, Stauber A, Bonsanto MM, et al.	Virtual reality in neurosurgery	Radiologe ;40:211-7	2000
Meier AH, Rawn CL, Krummel TM	Virtual reality: surgical application – challenge for the new millennium	J Am Coll Surg ;192:372-84	2001
McCloy R, Stone R	Science, medicine, and the future. Virtual reality in surgery	BMJ ;323:912-5	2001
Satava RM	Surgical education and surgical simulation	World J Surg ;25:1484-9.	2001
Jackson A, John NW, Thacker NA, et al.	Developing a virtual reality environment in petrous bone surgery: a state-of-the-art review	Otol Neurotol ;23:111-21	2002

(continua)

Tabella I (segue)

Arnold P, Farrell MJ	Can virtual reality be used to measure and train surgical skills?	Ergonomics ;45:362-79	2002
Spicer MA, Apuzzo ML	Virtual reality surgery: neurosurgery and the contemporary landscape	Neurosurgery ;52:489-97; discussion 496-7	2003
Balogh A, Preul MC, Schornak M, et al.	Intraoperative stereoscopic QuickTime Virtual Reality	J Neurosurg ;100:591-6	2004
Wang P, Becker AA, Jones IA, et al.	A virtual reality surgery simulation of cutting and retraction in neurosurgery with force-feedback	Comput Methods Programs Biomed ;84:11-8	2006
Albani JM, Lee DI	Virtual reality-assisted robotic surgery simulation	J Endourol ;21:285-7	2007
Fried MP, Uribe JI, Sadoughi B	The role of virtual reality in surgical training in otorhinolaryngology	Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg ;15:163-9	2007
Lemole GM Jr, Banerjee PP, Luciano C, et al.	Virtual reality in neurosurgical education: part-task ventriculostomy simulation with dynamic visual and haptic feedback	Neurosurgery ;61:142-8; discussion 148-9	2007
Van der Meijden OA, Schijven MP	The value of haptic feedback in conventional and robot-assisted minimal invasive surgery and virtual reality training: a current review	Surg Endosc ;23:1180-90	2009
Abdelwahab MG, Cavalcanti DD, Preul MC	Role of computer technology in neurosurgery	Minerva Chir ;65:409-28	2010
Malone HR, Syed ON, Downes MS, et al.	Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications	Neurosurgery ;67:1105-16	2010
Palter VN, Grantcharov TP	Virtual reality in surgical skills training	Surg Clin North Am ;90:605-17	2010
Lendvay TS	Surgical simulation in pediatric urologic education	Curr Urol Rep ;12:137-43	2011
<i>Laparoscopic & endoscopic</i>			
Coleman J, Nduka CC, Darzi A	Virtual reality and laparoscopic surgery	Br J Surg ;81:1709-11	1994
Hart R, Karthigasu K.	The benefits of virtual reality simulator training for laparoscopic surgery	Curr Opin Obstet Gynecol ;19:297-302	2007
Gurusamy K, Aggarwal R, Palanivelu L, et al.	Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery	Br J Surg ;95:1088-97	2008
Botden SM, Jakimowicz JJ	What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery?	Surg Endosc ;23:1693-700	2009
Gurusamy KS, Aggarwal R, Palanivelu L, et al.	Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery	Cochrane Database Syst Rev :CD006575	2009
Mettler LL, Dewan P	Virtual reality simulators in gynecological endoscopy: a surging new wave	JLSLS ;13:279-86	2009
Thijssen AS, Schijven MP	Contemporary virtual reality laparoscopy simulators: quicksand or solid grounds for assessing surgical trainees?	Am J Surg ;199:529-41	2010
Bashir G	Technology and medicine: the evolution of virtual reality simulation in laparoscopic training	Med Teach ;32:558-61	2010
Van Dongen KW, Ahlberg G, Bonavina L, et al.	European consensus on a competency-based virtual reality training program for basic endoscopic surgical psychomotor skills	Surg Endosc ;25:166-71	2010
<i>Simulators</i>			
Rosen JM, Soltanian H, Laub DR, et al.	The evolution of virtual reality from surgical training to the development of a simulator for health care delivery. A review.	Stud Health Technol Inform ;29:89-99	1996
Rodney WM	Will virtual reality simulators end the credentialing arms race in gastrointestinal endoscopy or the need for family physician faculty with endoscopic skills?	J Am Board Fam Pract ;11:492-6	1998
Cosman PH, Cregan PC, Martin CJ, et al.	Virtual reality simulators: current status in acquisition and assessment of surgical skills	ANZ J Surg ;72:30-4	2002
Erel E, Aiyenibe B, Butler PE	Microsurgery simulators in virtual reality: review	Microsurgery ;23:147-52	2003
Schijven M, Jakimowicz J	Virtual reality surgical laparoscopic simulators	Surg Endosc ;17:1943-50 Erratum in: Surg Endosc 2003;17:2041-2	2003

(continua)

Tabella I (segue)

Carter FJ, Schijven MP, Aggarwal R, et al.	Consensus guidelines for validation of virtual reality surgical simulators	Surg Endosc ;19:1523-32	2005
Seymour NE	VR to OR: a review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance	World J Surg ;32:182-8	2008
Fairhurst K, Strickland A, Maddern G	The LapSim virtual reality simulator: promising but not yet proven	Surg Endosc ;25:343-55	2010
<i>Other</i>			
Suramo I, Talala T, Karhula V, et al.	Virtual reality in radiology	Duodecim ;113:2151-6	1997
Merril JR	Using emerging technologies such as virtual reality and the World Wide Web to contribute to a richer understanding of the brain	Ann N Y Acad Sci ;820:229-33	1997
Shah J, Mackay S, Vale J, et al.	Simulation in urology – a role for virtual reality?	BJU Int ;88:661-5	2001
Cameron BM, Robb RA	Virtual-reality-assisted interventional procedures	Clin Orthop Relat Res ;442:63-73	2006
Dawson DL	Virtual reality training for carotid intervention	Nat Clin Pract Neurol ;3:470-1	2007
Neequaye SK, Aggarwal R, Van Herzele I, et al.	Endovascular skills training and assessment	J Vasc Surg ;46:1055-64	2007
Tsang JS, Naughton PA, Leong S, et al.	Virtual reality simulation in endovascular surgical training	Surgeon ;6:214-20	2008
Onuki T	Virtual reality in video-assisted thoracoscopic lung segmentectomy	Kyobu Geka ;62(Suppl 8):733-8	2009
Mabrey JD, Reinig KD, Cannon WD	Virtual reality in orthopaedics: is it a reality?	Clin Orthop Relat Res ;468:2586-91	2010

Le sue caratteristiche sono la bassa latenza, un ampio campo visuale e la possibilità di esser commercializzato a basso costo su molte piattaforme (PC, Mac, ecc.).

La VR era usata già da molto tempo con successo nel campo della medicina. L'arrivo del visore inventato da Palmer Luckey, ha però dato un'accelerazione fortissima alle sperimentazioni in questo senso. Grazie all'utilizzo di un headset e un joystick la VR può aiutare gli studenti di medicina nella dissezione di un cadavere virtuale.

Non solo è possibile tornare indietro dopo aver già sezionato per applicare un taglio su un piano diverso, (cosa impossibile nella pratica reale), ma la precisione qui è millimetrica.

I costi molto bassi, (una volta perfezionata e commercializzata la tecnologia) e le ovvie implicazioni etiche rendono questa idea facilmente raggiungibile sotto tutti i fronti.

Gli studenti possono approcciare alla pratica clinica avendo tutti gli organi a disposizione, lo spazio e il modo di capire appieno come devono procedere prima di provare su un corpo fisico.

A breve potrebbe mostrare le malformazioni (viste finora solo sui libri), o come il corpo umano reagisce alle medicine, o addirittura il pronto intervento saranno ora comprensibili appieno.

DOC Madness – Gioco di simulazione di chirurgia

Infine, con l'avvento del WEB 3.0 e della capacità informatica diffusa, si possono trovare tantissimi “giochi” di simu-

lazione chirurgica (non VR o AR) ma che stimolano l'attenzione degli studenti sui “passi” e sulle “corrette procedure” da utilizzare in sala operatoria. Pur non offrendo una simulazione dettagliata dell'operazione aiutano gli studenti a capire i “processi” che stanno intorno alla “tecnica” operativa.

Un esempio è il gioco online “DOC MADNESS”, un gioco semplice, di grafica scorrevole, in cui è necessario eseguire diversi interventi chirurgici¹⁰.

Conclusioni

Abbiamo preso le mosse dal termine simulazione, in generale, passando rapidamente in rassegna alcune applicazioni emblematiche, come i simulatori di volo o di Formula 1. Da qui abbiamo esaminato in maniera più approfondita la simulazione in ambito medico-chirurgico, mostrandone il ruolo essenziale nella formazione del medico e in particolare del chirurgo. La pratica della simulazione sta diffondendosi sempre più, portando miglioramento nelle tecniche avanzate di chirurgia, dove l'intervento umano è in larga parte mediato da mezzi tecnologici.

Se al primo impatto il termine “simulazione” (virtuale o sul campo) può far pensare a qualcosa di incompleto, di mancante, di irreali, il suo uso sistematico nelle pratiche di apprendimento di tecniche avanzate e particolarmente deli-

¹⁰ Disponibile online: <http://www.docmadness.com/it/chirurgia/gioco-di-simulazione-di-chirurgia.html> (consultato il 23/05/2015).

cate ne esalta l'aspetto positivo, quello di essere strumento prezioso e insostituibile per la crescita di determinati settori scientifici e tecnologici.

L'uso del termine VR, che potrebbe suonare quasi come un ossimoro, deve far riflettere: la realtà virtuale è *reale*, perché l'immagine che abbiamo davanti è realmente un'immagine, ma è *virtuale*, perché ciò di cui è immagine non esiste realmente davanti a noi. In un mondo di VR, potremmo dire, le immagini prendono il posto delle cose, reificandosi. Nel mondo reale, fatto di oggetti, cose e persone, guidare una monoposto a 300 km/h stando fermi non è possibile, se non virtualmente.

Così, il nesso tra il virtuale e il reale è ciò che ci consente di utilizzare la simulazione per apprendere, per imparare qualcosa sulla realtà.

In questa direzione vanno gli usi sempre più diffusi della simulazione a livello di analisi dei dati, ad esempio: simulare che qualcosa accada per vedere cosa succederebbe se accadesse veramente. Un gioco contorto? Nient'affatto. Pensiamo alle simulazioni di procedure di emergenza dove sono coinvolti potenzialmente centinaia di persone: dagli ospedali, alle aziende, alle scuole, alle navi da crociera, alla simulazione dei disastri¹¹. Sappiamo bene che, se venissero rispettate le procedure che si eseguono nelle simulazioni apposite, i rischi gravi e i pericoli generati, ad esempio, da un incendio sarebbero molto ridotti. Ma, purtroppo, abbiamo imparato che il panico, l'indisciplina e la confusione prevalgono sugli insegnamenti delle simulazioni anti incendio.

Simulare, allora assolve a una specifica funzione pedagogica, nella misura in cui prepara alla realtà nel modo migliore possibile, anticipando e limitando i rischi connessi con qualcosa di inaspettato, che in determinate situazioni rappresenta

un elemento che richiede la massima cura e preparazione, ma il rapporto dal vivo con le esperienze non è mai sostituibile, come il rapporto interpersonale che il medico ha con i suoi pazienti (Pensieri, 2012), per quanto ci si possa allenare nella simulazione, per quanti libri sulla comunicazione il medico possa leggere è solo nella "pratica" della vita clinica che si possono osservare i veri cambiamenti.

Acknowledgments

Si ringrazia il dott. Nicola Di Stefano per le riflessioni e per il contributo teorico al presente articolo che è stato arricchito dalle sue preziose conoscenze e competenze.

Bibliografia

- Aggarwal R, Ward J, Balasundaram I, et al. *Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery*. Ann Surg 2007;246:771-9.
- Ahlberg G, Enochsson L, Gallagher AG, et al. *Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies*. Am J Surg 2007;193:797-804.
- Alcañiz M, Perpiña C, Baños R, et al. *A new realistic 3D body representation in virtual environments for the treatment of disturbed body image in eating disorders*. Cyberpsychol Behav 2000;3:421-32.
- Baños RM, Botella C, Perpiña C. *Virtual reality and psychopathology*. Cyberpsychol Behav 1999;2:283-92.
- Botden SM, Jakimowicz JJ. *What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery?* Surg Endosc 2009;23:1693-700.
- Bruno G. *Peak state*. Milano: Bruno Mondadori 2014.
- Burke K, Donohue P, Siemaszko C. *US Airways airplane crashes in Hudson River – Hero pilot Chesley Sullenberger III saves all aboard*. New York Daily News. January 16, 2009. http://www.nydailynews.com/news/2009/01/15/2009-01-15_us_airways_airplane_crashes_in_hudson_ri.html?page=1 (consultato il 17/05/2015).
- Burstein F, Brezillon P, Zaslavsky A. *Supporting real time decision making*. New York: Springer 2010.
- Diodato R. *Estetica del virtuale*. Milano: Bruno Mondadori 2005.
- Emmelkamp PM., Bruynzeel M, Drost L, et al. *Virtual reality treatment in acrophobia: a comparison with exposure in vivo*. Cyberpsychol Behav 2001;4:335-9.
- Galloni G. *La rappresentazione nelle scienze cognitive contemporanee: un approccio incorporato, situato e dinamico*. Teorie & Modelli 2010;XV:19-33.
- Garcia-Palacios A, Hoffman H, Carlin A, et al. *Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study*. Behav Res Ther 2002;40:983-93.
- Grantcharov TP, Bardram L, Funch-Jensen P, et al. *Learning curves and impact of previous operative experience on performance on a virtual reality simulator to test laparoscopic surgical skills*. Am J Surg 2003;185:146-9.
- Gurusamy K, Aggarwal R, Palanivelu L, et al. *Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery*. Br J Surg 2008;95:1088-97.
- Jeannerod M. *The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery*. Behav Brain Sci 1994;17:187-245.
- Jeffries PR, Woolf S, Linde B. *Technology based vs. traditional instruction. A comparison of two methods for teaching the skill of performing a 12-lead ECG*. Nurs Educ Perspect 2003;24:70-4.

¹¹ Fabrizio La Mura del Centro di Ricerca Interdipartimentale in Medicina d'Emergenza e dei Disastri e di Informatica applicata alla Pratica Medica (CRIMEDIM) ha sperimentato il modello e-District CiPro. *L'European DISTance TRaining Interactive and Collaborative Tools for the Civil Protection* con 11 partner (5 Italia, 1 Belgio, 1 Irlanda, 2 Romania, 1 Spagna, 1 Ungheria), coordinati dal Consorzio Scuola Comunità e Impresa in Novara, ha avuto come obiettivo lo sviluppo di un prototipo di didattica Collaborativa Virtuale (CVE) fruibile via Internet, di una serie di moduli didattici in SCORM e di un sistema di valutazione delle competenze (La Mura F, Griboaud M, Calignano F, et al. *Esercizi 3D al computer e scenari simulati di medicina d'emergenze e delle catastrofi: il ruolo del fotorealismo*. Minerva Anestesiologica 2006;72). La medicina dei disastri si occupa dell'eventualità in cui le risorse spendibili siano molto inferiori alle necessità. Il progetto pilota mette a disposizione un'infrastruttura di didattica a distanza che comprende moduli didattici in formato SCORM e un ambiente multiutente di simulazione di realtà virtuale in 3D; quest'ultimo permette di effettuare il training di personale di soccorso (medici, paramedici, volontari). Il prototipo (che comprende anche una simulazione di cedimento strutturale di uno stadio) si compone di un sistema integrato per l'apprendimento a distanza che adotta un sistema di bilanciamento delle competenze (per definire programmi di studio personalizzati), alcuni moduli didattici rivolti a varie figure professionali coinvolte in azioni di protezione civile e un simulatore per l'addestramento basato su ambienti di realtà virtuale collaborativi.

- Klein M. *Nice, Sully – now try it all again*. The New York Post, March 1, 2009. http://www.nypost.com/p/news/regional/item_A1I97WsXnKUJuzxQvF4xGJ;jsessionid=5E3F2061AEAEA7DFFA8BEC1043EFDF44 (consultato il 20/05/2015).
- La Mura F, Gribaudo M, Calignano F, et al. *Esercitazioni 3D al computer e scenari simulati di medicina d'emergenze e delle catastrofi: il ruolo del fotorealismo*. Minerva Anestesiologica 2006;72.
- Larsen CR, Soerensen JL, Grantcharov TP, et al. *Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial*. BMJ 2009;338:b1802.
- Levy P. *Il virtuale*. Milano: Raffaello Cortina Editore 1997.
- Levy P. *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*, Milano: Feltrinelli 1996.
- Mabrey JD, Reinig KD, Cannon WD. *Virtual reality in orthopaedics. Is it a reality?* Clin Orthop Relat Res 2010;468:2586-91.
- Magrassi L, Aromataris G, Cabrini A, et al. *Sound representation in higher language areas during language generation*. PNAS 2015;112:1868-73.
- Noë A. *Action in perception*. Cambridge: MIT Press 2004.
- North MM, North SM, Coble JR. *Virtual reality therapy for fear of flying*. Am J Psychiatry 1997;154:130.
- Olivetti Belardinelli M, Palmiero M. *La vividezza delle immagini mentali nelle diverse modalità sensoriali. Uno studio fMRI*. In: Griffo T, Di Monte M, editors. *Sensibilia 1 – Potere delle immagini?* Milano: Mimesis 2007.
- Paivio A. *Mental imagery in associative learning and memory*. Psychol Rev 1969;76:241-63.
- Pensieri C. *Game therapy*. Roma: Universitalia 2013, pp. 99-100.
- Pensieri C. *PNL medica e salute*. Roma: Armando Curcio 2012.
- Prinz W. *Perception and action planning*. Eu J Cogn Psychol 1997;9:129-54.
- Pylyshyn ZW. *Return of the mental image: are there really pictures in the brain?* Trends Cogn Sci 2003;7:113-8.
- Rice A. *PIVOTE launches an open-source learning system for virtual worlds, the web and iPhone*. Prolog press 2009.
- Riva G, Bacchetta M, Baruffi M, et al. *Virtual reality-based multi-dimensional therapy for the treatment of body image disturbances in obesity: a controlled study*. Cyberpsychol Behav 2001;4:511-26.
- Riva G, Bacchetta M, Baruffi M, et al. *Virtual-reality-based multi-dimensional therapy for the treatment of body image disturbances in binge eating disorders: a preliminary controlled study*. IEEE Trans Inf Technol Biomed 2002;6:224-34.
- Riva G, Bacchetta M, Cesa G, et al. *Six-month follow-up of in-patient Experiential-Cognitive Therapy for binge eating disorders*. Cyberpsychol Behav 2003;6:251-8.
- Rothbaum BO, Hodges L, Smith S, et al., *A controlled study of virtual reality exposure therapy for the fear of flying*. J Consult Clin Psychol 2000;68:1020-6.
- Rothbaum BO, Hodges LF, Kooper R, et al. *Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia*. Am J Psychiatry 1995;152:626-8.
- Sadoski M, Paivio A. *A dual coding theoretical model of reading*. In: Ruddell RB, Unrau NJ, editors. *Theoretical models and processes of reading*. Newark, DE: International Reading Association 2004, pp. 1329-62.
- Slotnick SD, Thompson WL, Kosslyn SM. *Visual memory and visual mental imagery recruit common control and sensory regions of the brain*. Cogn Neurosci 2012;3:14-20.
- Stefanidis D, Korndorffer JR, Sierra R, et al. *Skill retention following proficiency-based laparoscopic simulator training*. Surgery 2005;138:165-70.
- Szekely G, Satava RM. *Virtual reality in medicine*. Br Med J 1999;319:1305.
- Verdaasdonk EG, Dankelman J, Lange JF, et al. *Transfer validity of laparoscopic knot-tying training on a VR simulator to a realistic environment: a randomized controlled trial*. Surg Endosc 2008;22:1636-42.
- Vincelli F, Anolli L, Bouchard S, et al. *Experiential Cognitive Therapy in the treatment of panic disorders with agoraphobia: a controlled study*. Cyberpsychol Behav 2003;6:312-8.
- Vincelli F, Molinari E, Riva G. *Virtual reality as clinical tool: immersion and three-dimensionality in the relationship between patient and therapist*. Stud Health Technol Inform 2001;81:551-3.
- Whalley LJ. *Ethical issues in the application of virtual reality to medicine*. Comput Biol Med 1995;25:107-14.
- Wiederhold BK, Jang DP, Gevirtz RG, et al., *The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy*. IEEE Trans Inf Technol Biomed 2002;6:218-23.