

Simulation-Based Learning: questioni aperte e linee guida per un uso didatticamente efficace della simulazione

Franco Landriscina^a

^aUniversità di Trieste, flandriscina@units.it

Abstract

Nel suo libro "Visible Learning", Hattie (2009) assegna al metodo didattico della simulazione un effect size ($d=0.33$) inferiore alla soglia ($d=0.40$) degli effetti di maggiore rilevanza nella pratica educativa. Come interpretare questo risultato alla luce degli studi che sottolineano, invece, l'elevato potenziale didattico della simulazione? Una possibile chiave di lettura è da cercarsi in alcune confusioni concettuali e carenze metodologiche che impediscono l'accumulazione di una base coerente di evidenza sull'efficacia didattica della simulazione. Fra i fattori che possono influenzare significativamente tale efficacia, vi sono le pre-conoscenze degli studenti, il supporto a essi fornito, l'opacità del modello sottostante. Inoltre, le meta-analisi considerate da Hattie non distinguono fra l'uso di una simulazione esistente e la costruzione di modelli di simulazione da parte degli studenti.

Parole chiave: simulazione, evidence based education, carico cognitivo, strategie didattiche, metodi didattici.

Abstract

In his book "Visible Learning", Hattie (2009) assigned an effect size of $d=0.33$ to instructional simulation—i.e., below the $d=0.40$ hinge point considered to be of relevant practical value for instructional methods. Yet, how might this value be interpreted, in light of studies conversely highlighting the instructional potential of simulation as a teaching and learning method? One way to explore this difference is to examine the misconceptions and methodological flaws that frequently accompany research in this field, which make it difficult to collect a coherent base of evidence on simulation's instructional effectiveness. Some factors potentially influencing this type of effectiveness are: students' prior domain-knowledge, degree of cognitive scaffolding, and the "opacity" of the underlying simulation model. Moreover, the nine meta-analyses that Hattie examined, and for which he calculated a $d=0.33$ effect size, did not differentiate between simulation-*using* and simulation-*building* learning scenarios.

Keywords: simulation, evidence based education, cognitive load, instructional strategies, instructional methods.

Introduzione

Dopo decenni di dibattiti e riforme, influenzate da una varietà di teorie dell'apprendimento e di orientamenti culturali, il mondo dell'istruzione è oggi investito da una nuova tendenza di ricerca, che si propone di valutare in modo per quanto possibile oggettivo l'efficacia relativa dei diversi fattori che contribuiscono alla qualità dei risultati di apprendimento. Sono, infatti, sempre più numerosi gli studi che intendono cercare l'evidenza dell'apprendimento, e che sono per questo riconducibili al filone d'indagine conosciuto come Evidence-Based Education, o EBE (Calvani, 2012). In particolare, nel suo libro *Visible Learning*, Hattie (2009) ha sintetizzato i dati di 800 meta-analisi sui risultati di apprendimento scolastico, prendendo in considerazione quindici anni di ricerche che hanno coinvolto milioni di studenti, e calcolando gli effect size complessivi di un grande numero di variabili che influenzano l'apprendimento. Fra i metodi didattici basati sull'uso delle tecnologie, Hattie esamina anche il metodo della simulazione. Sulla base dei risultati di nove meta-analisi condotte fra il 1981 e il 2002, Hattie (2009, p. 230) calcola un effect size complessivo per la simulazione uguale a 0.33. Tale valore, pur non essendo fra i più bassi in assoluto, non è considerato di grande rilevanza pratica (vedi paragrafo successivo), ed è quindi inferiore alle attese di efficacia didattica e di innovazione associate a questo metodo didattico (Papert, 1982; Jonassen, 2000; de Jong, 2012; Landriscina, 2009, 2013).

Il barometro delle influenze educative

Uno dei metodi più utilizzati nel campo della EBE è il calcolo dell'effect size: una misura statistica della forza della relazione tra due variabili, largamente utilizzata in medicina e nelle scienze sociali. In campo educativo, la variabile dipendente è tipicamente il livello di apprendimento, mentre quella indipendente è costituita dal fattore di cui si vuole investigare l'effetto quantitativo. L'indagine avviene attraverso il confronto fra i risultati di un gruppo sperimentale e quelli di un gruppo di controllo o, se in uno stesso gruppo, fra una condizione iniziale e una finale. L'effect size è calcolato come differenza fra le medie nei due gruppi divisa per la media delle deviazioni standard. I risultati di singoli studi sperimentali che forniscono dati comparabili, possono essere combinati attraverso i metodi statistici della meta-analisi, che sintetizzano i diversi studi in una singola stima complessiva.

Sulla base della distribuzione statistica di tali effetti su tutte le meta-analisi considerate nel suo studio, Hattie (2009) ha stabilito un "punto cardine", pari a un effetto di dimensione $d=0.4$. Secondo l'autore, questo valore corrisponde a un livello sopra il quale gli effetti di miglioramento dei risultati sono di grande rilevanza pratica. Inoltre, Hattie ha introdotto uno strumento grafico, il "barometro delle influenze educative", suddiviso in quattro zone. La zona da $d=0.4$ a $d=1.2$ costituisce quella degli effetti desiderati, poiché significativamente sopra la media. Fattori con un effetto compreso fra questi due valori, dovrebbero perciò essere considerati in modo prioritario nelle decisioni scolastiche. Spostandosi nella direzione opposta, la zona da $d=0.15$ a $d=0.4$ corrisponde all'effetto dell'insegnante, vale a dire all'apprendimento risultante dall'attività di un insegnante in un tipico anno di scuola. La zona da $d=0.0$ a $d=0.15$ corrisponde all'effetto dello sviluppo, cioè alla crescita degli studenti, come avrebbe luogo senza andare a scuola. Infine, la zona sotto a $d=0.0$ corrisponde a metodi e situazioni che hanno un effetto inverso sull'apprendimento, e sono quindi da evitare.

I dati forniti da Hattie trovano in alcuni casi riscontro in pratiche comunemente associate a un insegnamento efficace, come ad esempio l'elevato effect size riportato per il feedback studenti-insegnante ($d=0.90$ per il feedback da studente a insegnante, $d=0.73$ per quello da insegnante a studente). Altre volte, invece, i dati evidenziano dubbi e criticità verso pratiche consolidate, come ad esempio i compiti a casa, il cui effetto complessivo sull'apprendimento risulta molto basso ($d=0.29$). Sul fronte dei metodi didattici, l'ago del barometro pende decisamente a favore di quelli con forte strutturazione dei contenuti e istruzione diretta, con particolare riferimento a modelli sviluppati negli anni '60 e '70, come il Mastery learning ($d=0.58$) e il Metodo PSI di Keller ($d=0.53$), mentre è messa in discussione l'efficacia di metodi basati sull'apprendimento per scoperta, come l'Inquiry-based learning ($d=0.31$) e il Problem-based learning ($d=0.15$) (da non confondere con il Problem-solving teaching, basato sull'insegnamento esplicito di euristiche per la risoluzione di problemi, con $d=0.61$). Un aspetto che emerge chiaramente è la rivalutazione del ruolo dell'insegnante, considerato l'attore più importante del processo formativo, non solo come fonte di conoscenza o facilitatore delle attività degli studenti, ma come agente di cambiamento, chiamato a decidere cosa e come insegnare in un determinato momento, sulla base della valutazione dei progressi degli studenti. In quest'ottica, il principale "messaggio" dell'approccio Visible Learning (e della EBE in generale) è l'appello a insegnanti e decisori ad essere più consapevoli della necessità di misurare l'efficacia dei propri metodi didattici, piuttosto che basarsi su idee e conclusioni considerate valide per abitudine o perché nuove e di moda.

Una nota di attenzione

Nel suo approccio alla valutazione dei metodi didattici, Hattie non si limita alla compilazione di graduatorie basate su di una serie di valori numerici, ma cerca di districare la rete delle influenze causali che emerge dalla combinazione degli studi esaminati, per indagare i motivi delle differenze nei risultati, conducendo così una meta-analisi di secondo livello (Pawson, 2006, p. 56). Una meta-analisi di questo tipo richiede di esaminare con attenzione il ruolo delle "variabili moderatrici", cioè di quelle variabili indipendenti secondarie che concorrono a ridurre o intensificare l'influenza della variabile indipendente primaria (ad esempio, età, genere, classe sociale). Ad esempio, per quanto riguarda i compiti a casa, Hattie (2012, p. 12) non interpreta il corrispondente basso valore, $d=0.29$, come un motivo per abbandonare tale attività, ma come un invito ad individuare le cause per cui tali compiti non sono in genere particolarmente efficaci. Un'analisi più dettagliata, suddivisa per gruppi, rivela che l'effect size scende a $d=0.15$ nella scuola primaria, per salire a $d=0.64$ in quella secondaria, per cui si può ipotizzare un effetto moderatore dell'età degli studenti. Come riportato da Hattie (2012) citando il caso di una scuola neozelandese, una possibile azione correttiva può essere quella di creare un sito web in cui i compiti sono presentati in forma di "sfide a casa" e misurare l'impatto dell'iniziativa sui risultati degli studenti e il coinvolgimento dei genitori. Questo suggerisce che un'eccessiva enfasi sui valori numerici degli effect size, può dunque distogliere l'attenzione dai miglioramenti che possono derivare anche da piccoli cambiamenti.

Il caso della simulazione

Venendo ora alla simulazione, si può notare che il valore $d=0.33$ calcolato per tale metodo Hattie (2009, p. 230) si trova vicino al punto cardine ($d=0.4$) che separa la zona

degli effetti standard da quella degli effetti desiderati. Pur essendo significativamente più elevato di altri metodi, come ad esempio il Web-based learning ($d=0.18$) e la Distance education ($d=0.09$), tale valore non è particolarmente significativo sulla scala del barometro delle influenze educative. Esso non deve, tuttavia, sorprendere, poiché riflette l'esistenza di alcuni punti ancora non risolti riguardo ai diversi modi di utilizzo della simulazione e la misurazione dell'efficacia di tale metodo. Ad esempio, secondo il report *Learning Science Through Computer Games and Simulations* (National Research Council, 2011) diverse barriere rallentano lo sviluppo e l'uso su larga scala delle simulazioni per l'apprendimento di materie scientifiche, sia nell'istruzione primaria e secondaria che in quella superiore (p. 175). Nel medesimo report, si afferma che c'è un'evidenza solo moderata che le simulazioni aumentino l'interesse degli studenti verso la scienza, e ancora minore che esse supportino altri obiettivi di apprendimento scientifico (p. 2). Un aspetto rilevante dal punto di vista della EBE è che: "le molte lacune e debolezze nella ricerca sull'uso delle simulazioni e dei giochi nell'insegnamento delle scienze rendono difficile costruire una base coerente di evidenza in grado di dimostrare la loro efficacia e di improntare miglioramenti futuri. Il campo richiede un processo che consenta di accumulare evidenze sperimentali a tutti i livelli della varietà di simulazioni e giochi, e alla luce della innovazione costante che li caratterizza" (p. 55, trad. propria).

Il riferimento alle lacune nella ricerca e alla mancanza di una base coerente di evidenza, è particolarmente pertinente riguardo alle meta-analisi utilizzate da Hattie nel suo calcolo dell'effect size complessivo della simulazione. Una prima criticità da notare, è che in alcune di esse (VanSickle, 1986; Remmer & Jernsted, 1982) simulazioni e giochi sono fatti rientrare in una sola categoria. Lo stesso Hattie (2009, p. 230) usa i due termini in modo intercambiabile. Tuttavia, queste due attività presentano sostanziali differenze dal punto di vista didattico e dei processi cognitivi coinvolti, per cui non distinguere fra esse è una potenziale fonte di confusione (Landriscina, 2013, p. 4). Per definizione, una simulazione è basata sulla riproduzione, in forma semplificata, di un sistema o di una situazione, mentre un gioco non è limitato da questo vincolo, in quanto può seguire le proprie sole regole. Inoltre, nelle simulazioni non è necessariamente presente l'elemento di competizione, che è invece una componente essenziale dei giochi (esiste anche un'area di sovrapposizione, quella dei giochi di simulazione, più sviluppata nel settore dei videogames che a fini didattici). Inoltre, si dovrebbero anche preliminarmente distinguere due tipi di simulazioni al computer:

1. simulazioni basate su modelli (anche dette simulazioni simboliche);
2. simulazioni esperienziali.

Le prime sono basate su un modello teorico, in genere matematico (ad esempio, il modello di un sistema fisico o biologico). Le seconde, sulla riproduzione virtuale di un'attività o di un evento (ad esempio, un simulatore di volo o un role-play in rete). Nei due casi, gli obiettivi didattici e i processi di apprendimento in gioco sono sostanzialmente diversi, per cui mettere insieme dati provenienti dall'uno e dall'altro tipo di simulazione per trarre conclusioni generali sull'efficacia della simulazione come metodo didattico può essere metodologicamente fuorviante.

In aggiunta a ciò, in molti studi oggetto delle meta-analisi gli obiettivi di apprendimento non sono chiaramente definiti: a volte riguardano l'apprendimento di fatti e concetti, altre volte di procedure, altre ancora lo sviluppo di capacità di pensiero (critical thinking, problem-solving, ragionamento scientifico). Talora l'unico scopo della simulazione è di tipo motivazionale (come ad esempio aumentare l'interesse degli studenti per la scienza o usare un linguaggio scientifico), senza un obiettivo didattico definito in modo misurabile.

Effetti di moderazione

Per quanto riguarda le differenze che emergono fra i vari studi, si deve considerare l'esistenza di variabili categoriali che possono moderare in una direzione o nell'altra l'efficacia della simulazione, fra cui hanno un ruolo rilevante:

- le conoscenze possedute dagli studenti;
- il supporto fornito allo studente;
- l'opacità del modello sottostante la simulazione.

Riguardo al primo fattore, si può notare che gli ambienti di apprendimento basati sulla simulazione sono spesso caratterizzati da molteplici rappresentazioni dell'informazione (immagini, animazioni, grafici, leve, numeri), che lo studente deve integrare dinamicamente durante la risoluzione di compiti complessi, come la verifica di ipotesi o l'esecuzione di esperimenti virtuali. Ambienti di questo tipo richiedono l'elaborazione simultanea nella memoria di lavoro di un numero elevato di elementi interagenti, e possono così produrre un elevato carico cognitivo intrinseco (Plass et al., 2010; Sweller et al., 2013). Inoltre, se l'ergonomia cognitiva dell'interfaccia non è ben progettata, anche il carico cognitivo estraneo può essere molto elevato. In queste situazioni, le conoscenze di dominio (pre-conoscenze) possedute dagli studenti sono un fattore chiave dell'apprendimento, in accordo anche con la teoria dell'apprendimento per assimilazione, di Ausubel (1968). In questa prospettiva, si deve tenere conto che la simulazione è talvolta impiegata per trasferire agli studenti nuovi contenuti, che ancora non conoscono, e altre volte come un tipo di pratica, simile a un'attività di laboratorio, per applicare e rinforzare la conoscenza acquisita tramite altri media. Thomas e Hooper (1991) hanno introdotto una distinzione fra simulazione pura (solo pratica) e simulazione ibrida (pratica e presentazione di nuovi contenuti). Brant et al. (1991) hanno investigato se sia più efficace utilizzare la simulazione prima o dopo una lezione tradizionale: nei loro esperimenti, gli studenti che avevano eseguito la simulazione come framework per comprendere una successiva lezione in classe, ottenevano in un successivo test di comprensione dell'argomento un punteggio più alto del gruppo che utilizzava la simulazione come attività integrativa dopo la lezione.

Un fattore che influenza notevolmente l'efficacia della simulazione è il tipo di supporto cognitivo fornito allo studente. La simulazione è stata spesso presentata come un esempio di strategia di apprendimento per scoperta libera, e quindi in linea con i metodi didattici proposti dalla pedagogia costruttivista (Tobias e Duffy, 2009). Tuttavia, uno sguardo più approfondito ai diversi contesti d'uso, rivela che le scelte disponibili a insegnanti e ricercatori sono più numerose:

- nella scoperta libera (exploratory learning) agli studenti sono forniti solo obiettivi di apprendimento generali, e gli studenti devono scegliere autonomamente i sotto-obiettivi e le attività;
- nella strategia di scoperta guidata (guided discovery) sono presentati gli obiettivi didattici di ogni attività, gli studenti sono liberi di esplorare l'ambiente di apprendimento, ma a ogni stadio è fornita loro una guida e un aiuto;
- nella scoperta programmata (programmed discovery) sono forniti degli esempi, e gli studenti devono scoprire le regole o le leggi sottostanti attraverso una sequenza di passi accuratamente programmati.

In uno studio che esamina gli effetti della simulazione sulle capacità di risoluzione di problemi di biologia da parte di studenti di scuola superiore, Rivers e Vockell (1987) hanno diviso le simulazioni in due categorie: guidate e non guidate. I risultati hanno

dimostrato che gli studenti che utilizzavano la versione guidata delle simulazioni ottenevano punteggi più alti dell'altro gruppo. Questo suggerisce che gli studenti migliorano la loro prestazione quando viene loro fornita una qualche forma di guida, cioè in un ambiente di scoperta guidata o programmata piuttosto che di scoperta libera, ipotesi confermata in altri studi, come riportato da de Jong (2012): “la valutazione su larga scala di ambienti di apprendimento basati sulla simulazione accuratamente progettati mostra vantaggi delle simulazioni su forme tradizionali di apprendimento espositivo e su classi di laboratorio” (p. 458, traduzione propria).

Sempre considerando il supporto fornito allo studente, è utile distinguere fra programmi di simulazione, che generalmente consentono agli studenti unicamente di cambiare il valore di alcune variabili e vedere le conseguenze delle decisioni in un grafico o in un'animazione, e ambienti di apprendimento basati sulla simulazione (simulation-based learning environment), più strutturati. Questi ultimi, possono comprendere supporti didattici e risorse che hanno lo scopo di facilitare e arricchire l'esperienza di apprendimento degli studenti, come informazioni preliminari, domande guida, suggerimenti, spiegazioni, guide all'esplorazione, esercizi, tools per tracciare grafici, pianificatori di decisioni. L'uso di questi supporti è stato approfonditamente investigato dal gruppo di ricercatori che hanno sviluppato il programma SimQuest (de Jong, 2006; de Jong e van Joolingen, 1998), per mitigare e risolvere i problemi che gli studenti tipicamente incontrano nell'apprendimento per scoperta. Alcuni ambienti di apprendimento basati sulla simulazione inizialmente progettati sulla base di premesse teoriche costruttiviste, come ambienti di apprendimento esplorativo, si sono in seguito sviluppati con l'introduzione di funzionalità di supporto e di guida (Horwitz e Christie, 1999; Nelson, 2007; Stieff e Wilensky, 2003). Queste funzionalità si possono considerare forme di “scaffolding cognitivo”, vale a dire un tipo di supporto fornito allo studente in una fase iniziale dell'apprendimento, per consentirgli di eseguire un compito che sarebbe altrimenti per lui troppo difficile, e gradualmente rimosso man mano che egli diventa più autonomo.

Un altro fattore che può significativamente aumentare o ridurre l'efficacia didattica di una simulazione è il livello di opacità del modello sottostante. Una simulazione “opaca”, o “a scatola nera”, non rende mai visibili agli studenti le ipotesi e le regole a essa sottostanti, cioè il modello concettuale della simulazione (Landriscina, 2013). Ad esempio, una simulazione urbanistica può rappresentare un grande numero di scenari e situazioni, ma non mostrare le regole di cambiamento della città nel corso del tempo, inserite nel modello da coloro che l'hanno creato. Quando uno studente osserva gli eventi che avvengono come conseguenza delle sue decisioni, tende automaticamente ad attribuire al sistema delle regole, che possono coincidere o no con quelle presenti nel modello. Inferenze errate o incomplete possono interferire con l'apprendimento e renderlo meno efficace o addirittura fuorviante. Tuttavia, se utilizzate come fonte di dissonanza cognitiva, e trasformate in inferenze corrette, possono essere utili per una comprensione più profonda del sistema o del fenomeno oggetto di studio.

Ricerca scientifica e questioni aperte

Le meta-analisi considerate nel libro di Hattie (2009) sono relative unicamente all'uso di simulazioni già esistenti, non alla costruzione di modelli di simulazione da parte degli

studenti. In questo secondo caso, gli studenti utilizzano un linguaggio di programmazione o un software di modellizzazione per costruire essi stessi una simulazione insieme all'insegnante.

La ricerca nel campo dell'apprendimento e dell'istruzione basati su modelli (model-based learning and teaching) enfatizza il valore didattico delle situazioni in cui gli studenti costruiscono, valutano, rivedono, ed elaborano i propri modelli (Gobert & Buckley, 2000). Secondo Seel (2012), la modellizzazione dinamica fornisce una nuova prospettiva, in cui "L'apprendimento ha luogo attraverso il confronto dei risultati attesi operando su un sistema con le conseguenze osservate della sua trasformazione. Nel caso di una discrepanza fra attese e osservazioni, i risultati sono usati dallo studente per aggiornare e rivedere il proprio modello mentale." (2009, p. 1053, trad. propria). In questa prospettiva, l'apprendimento ha luogo attraverso un percorso che parte da un modello mentale iniziale, caratterizzato dalle pre-concezioni e dalle intuizioni di partenza dello studente, per arrivare a un modello finale, lo scopo dell'istruzione, attraverso una serie di modelli intermedi. Un percorso di questo tipo, diventa decisivo quando l'obiettivo di apprendimento non concerne fatti e concetti di base, ma richiede una ristrutturazione dei modelli mentali degli studenti, come nel caso dell'apprendimento di concetti scientifici che si scontrano con le pre-concezioni degli studenti.

Nella pratica di insegnamento la simulazione può integrarsi sinergicamente con altre tecniche didattiche. Una tecnica potenzialmente fruttuosa, è quella dell'apprendimento reciproco (Iserbyt, 2012) in cui gli studenti lavorano in coppia: mentre uno studente interagisce col programma, l'altro osserva e prende appunti, e i ruoli poi si invertono. L'apprendimento reciproco può consentire agli studenti di elaborare l'informazione con un carico cognitivo minore di quello che essi sperimenterebbero individualmente, interagendo da soli con la simulazione. Un'altra area di ricerca è quella delle strategie di studio messe in atto dagli studenti, vale a dire del repertorio di metodi e tecniche che essi sono in grado di applicare quando usano o costruiscono un programma di simulazione. Sono esempi di queste strategie: il brainstorming, l'annotazione, la strutturazione visiva dell'informazione (ad esempio, usando mappe e diagrammi), l'auto-spiegazione, la creazione di sotto-obiettivi e la gestione del tempo.

Conclusioni

La valutazione dell'efficacia didattica della simulazione richiede di considerare con accuratezza il tipo di attività svolto dagli studenti per caratterizzare situazioni che possono differire fra loro in modo significativo. Si deve anche considerare il ruolo di variabili come le pre-conoscenze degli studenti, il supporto a essi fornito, l'opacità del modello sottostante. Un'analisi di questo tipo può aiutare a specificare le condizioni appropriate per un uso didatticamente efficace della simulazione. Infine, un impatto significativo può derivare dalla combinazione della simulazione con altri metodi didattici e strategie di studio.

Bibliografia

- Ausubel, D. P. (1988). *Educazione e processi cognitivi. Guida psicologica per gli insegnanti*. Milano: Franco Angeli.
- Brant, G., Hooper, E., & Sugrue, B. (1991). Which comes first the simulation or the lecture? *Journal of Educational Computing Research*, 7(4), pp. 469–481.
- Calvani, A. (2012). *Per un'istruzione evidence based*. Trento: Edizioni Erickson.
- de Jong, T. (2006). Technological advances in inquiry learning. *Science*, 312, pp. 532–533.
- de Jong, T. (2011). Instruction Based on Computer Simulations. In R. E. Mayer & P. A. Alexander, (Eds.), *Handbook of Research on Learning and Instruction*. New York and London: Routledge, pp. 446-466.
- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68 (2), pp. 179-201.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 891-894.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses relating to Achievement*. London and New York: Routledge.
- Hattie, J. (2012). *Visible Learning for Teachers. Maximizing Impact on Learning*. London and New York: Routledge.
- Horwitz, P., & Christie, M. (1999). Hypermodels: Embedding curriculum and assessment in computer-based manipulatives. *Journal of Education*, 181(2), pp. 1-23.
- Iserbyt, P. (2012). Reciprocal Learning. In N. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New York, NY: Springer, pp. 2785-2787.
- Jonassen, D. H. (2000b). *Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.
- Landriscina, F. (2009a). Simulation and learning: the role of mental models. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, 5(2), pp. 23-32.
- Landriscina F. (2009b). *La simulazione nell'apprendimento. Quando e come avvalersene*. Trento: Edizioni Erickson.
- Landriscina, F. (2012). Simulation and Learning: The Role of Mental Models. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New York, NY: Springer, pp. 3072-3075.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning. A Model-Centered Approach*. New York, NY: Springer.
- National Research Council (2011). *Learning Science Through Computer Games and Simulations*. Washington, DC: the National Academies Press.

- Nelson, B. C., (2007). Exploring the use of individualized, reflective guidance in an educational Multi-User Virtual Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), pp. 83-97.
- Papert, S. (1982). *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. New York, NY: Basic Books.
- Pawson, R. (2006). *Evidence-Based Policy: A Realist Perspective*. London: Sage Publications.
- Plass, J.L., Moreno, R., & Brünken, R. (Eds.) (2010). *Cognitive Load Theory*. NY: Cambridge University Press.
- Remmer, A. M., & Jernstedt, C. (1982). Comparative effectiveness of simulation games in secondary and college level instruction: A meta-analysis. *Psychological Reports*, 51, p. 742.
- Rivers, R. H., & Vockell, E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), pp. 403–415.
- Seel, N. M. (2012a). Dynamic Modeling and Analogies. In N. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New York, NY: Springer, pp. 1051-1054.
- Stieff, M., & Wilensky, U. (2003). Connected Chemistry - incorporating interactive simulations into the chemistry classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 12(3), pp. 285–302.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York, NY: Springer.
- Thomas, R. A., & Hooper, E. (1991). Simulations: An opportunity we are missing. *Journal of Research on Computing in Education*, 23(4), pp. 497–513.
- Tobias, S., & Duffy, T. M. (Eds.) (2009). *Constructivist Instruction: Success or Failure?* New York, NY: Routledge.
- VanSickle, R. L. (1986). A quantitative review of research on instructional simulation gaming. *Theory and Research in Social Education*, 14, pp. 245-264.