

I laboratori remoti e virtuali nella didattica delle STEM. Questioni di ergonomia didattica

Elisabetta De Marco¹

¹Ricercatrice di Didattica e Pedagogia Speciale – Università del Salento

Abstract: Scientific laboratories are an essential part of STEM education and represent an important field of pedagogical and didactic research. The integration of remote and virtual laboratories into science curricula, also accelerated by the pandemic emergency, has shifted the focus to the effectiveness of technology and digital laboratory teaching in enhancing the acquisition of scientific skills. Adopting an ergonomic logic in the design of science laboratories means identifying specific mediators to improve the relationship between the digital laboratory interface (remote or virtual) and the student's learning processes and to enhance the social and cooperative construction of scientific knowledge.

Keywords: STEM, remote laboratories, virtual laboratories, ergonomics

Riassunto: I laboratori scientifici sono parte integrante dei percorsi formativi STEM e rappresentano un campo di ricerca pedagogica e didattica di estremo interesse. L'integrazione dei laboratori remoti e virtuali nei curricula scientifici, accelerata anche dall'emergenza pandemica, ha spostato l'attenzione sull'efficacia delle tecnologie e della didattica laboratoriale digitale per migliorare l'acquisizione delle competenze scientifiche. Adottare una logica ergonomica nella progettazione di laboratori scientifici significa individuare specifici mediatori¹ per migliorare il rapporto tra interfaccia digitale (remota o virtuale) del laboratorio e processi di apprendimento dello studente e per potenziare la costruzione sociale e cooperativa delle conoscenze scientifiche.

Parole Chiave: STEM, laboratori remoti, laboratori virtuali, ergonomia.

L'educazione STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) gioca un ruolo strategico per lo sviluppo delle conoscenze e l'innovazione tecnologica. A livello europeo allo sviluppo di competenze scientifico-tecnologiche integrate in un curriculum interdisciplinare (Gonzalez & Kuenzi, 2012), è riconosciuto il ruolo di "motore" dello sviluppo del lavoro e dell'economie nazionali. Aumentare la motivazione degli studenti allo studio nei settori STEM e migliorare i risultati in queste aree sono sfide importanti per i sistemi d'istruzione europea. L'azione 7 dell'*Agenda per le Competenze per l'Europa (2020)*² prevede nei prossimi 5 anni l'aumento dei laureati in discipline STEM e la promozione delle competenze imprenditoriali e trasversali. La Commissione

¹ Mediatori intesi come dispositivi tecnici, normativi, umani o altro

² L'*Agenda per le Competenze per l'Europa* propone nell'Azione 7 di "aumentare il numero di laureati in discipline STEM e promuovere le competenze imprenditoriali e trasversali. La Commissione incoraggia i giovani, in particolare le donne, a intraprendere percorsi di studio nelle materie STEM"

incoraggia i giovani, in particolare le donne, a intraprendere percorsi di studio nelle materie STEM e ad acquisire competenze trasversali come la collaborazione e il pensiero critico. Secondo l'annuale report redatto dall'Istat³, nel 2020, in Italia soltanto il 24,9% dei laureati (25-34enni) ha una laurea nelle aree disciplinari scientifiche e tecnologiche, le cosiddette lauree STEM. Il divario di genere è molto importante, se si considera che la quota sale al 36,8% tra gli uomini (oltre un laureato su tre) e scende al 17,0% tra le donne (una laureata su sei). I dati nazionali risultano in linea ai dati europei: solo un giovane su quattro in Europa ha conseguito un diploma di istruzione terziaria⁴ in tali discipline, e le donne laureate in discipline STEM sono la metà rispetto agli uomini. L'educazione e la formazione in ambito "STEM" sono temi di grande rilevanza sia a livello nazionale che internazionale. L'evoluzione e l'innovazione tecnologica stanno infatti rivoluzionando il mercato del lavoro e, di conseguenza, anche le relative competenze richieste al mondo scolastico e universitario. Nel campo dell'educazione scientifica e dell'insegnamento delle discipline scientifiche, sia la letteratura internazionale sia i più recenti indirizzi della Commissione Europea riconoscono l'importanza della pratica laboratoriale per l'apprendimento scientifico e delle attività pratiche nella progettazione dei curricula scientifici (Alebous, 2021). I laboratori scientifici sono parte integrante dei percorsi formativi – dalla scuola primaria fino ai percorsi universitari – e rappresentano un campo di ricerca pedagogica e didattica di estremo interesse. L'integrazione dei laboratori remoti e virtuali nei curricula scientifici, accelerata anche dall'emergenza pandemica, ha comportato – a livello di ricerca – un aumento della produzione scientifica sul tema. A fronte di una retorica basata sull'innovatività dei laboratori remoti e virtuali, che ha portato a considerarli un'alternativa efficace ai tradizionali laboratori pratici, il dibattito pedagogico e la ricerca educativa si interroga sulle condizioni che ne condizionano l'efficacia didattica. Gli studi iniziali sui laboratori remoti per l'insegnamento delle discipline scientifiche si sono concentrati principalmente sulle tecnologie, sulla fattibilità e sulla capacità di gestire e di controllare un esperimento a distanza. Attualmente l'attenzione si concentra maggiormente sulle strategie didattiche e sulla progettazione delle azioni di apprendimento da implementare all'interno di laboratori remoti o virtuali per facilitare i

³ Il Report Istat sui *Livelli di istruzione* del 2020 è scaricabile dal link <https://www.istat.it/it/files/2021/10/REPORT-LIVELLI-DI-ISTRUZIONE-2020.pdf>

⁴ La categoria Istat "Titolo di studio terziario" comprende i titoli Universitari, Accademici (AFAM), i Diplomi di tecnico superiore ITS e altri titoli terziari non universitari. Sono inclusi i titoli post-laurea o post-AFAM.

processi di apprendimento e più in generale competenze scientifiche (Meintzer et al., 2017).

1. Il laboratorio nell'insegnamento delle discipline scientifiche

Nell'insegnamento delle discipline scientifiche il laboratorio si configura come il luogo in cui gli studenti possono acquisire conoscenze ed applicarle in esperienze pratiche per esaminare un fenomeno scientifico. Le pratiche didattiche riconducibili al concetto di laboratorio scolastico sono molteplici; in genere si fa riferimento a esperienze in ambienti scolastici in cui gli studenti interagiscono con dei materiali per osservare e comprendere il mondo naturale (Fadda, Vivanet, 2021a).

La didattica laboratoriale è intrinsecamente contrassegnata dalla messa in atto di procedure e metodologie di tipo attivo; mobilita il pensiero “investigativo” per trovare soluzioni a problemi che la realtà pone. La didattica laboratoriale è una strategia di insegnamento con una lunga tradizione, che trova piena formalizzazione con Dewey (1949) nell'attivismo pedagogico. Oltre alla dimensione “attiva”, la didattica laboratoriale fa riferimento al «il principio di esternalizzazione» - definito da Bruner (1997), come l'importanza di costruire «opere» che danno testimonianza del lavoro mentale eseguito, che permettono una rappresentazione oggettiva del pensiero e rendono più accessibile l'autoriflessione. «L'esternalizzazione libera l'attività cognitiva dal suo carattere implicito, rendendola più pubblica, negoziabile e solidale. Al tempo stesso la rende più accessibile alla successiva riflessione e metacognizione» (Bruner, 1997, p. 78).

Inoltre il laboratorio detiene una sua rilevanza pedagogica in quanto “dispositivo di innovazione scolastica globale: organizzativa, pedagogica e didattica al tempo stesso.” (Baldacci, 2004). Il laboratorio, in quanto spazio scolastico “altro”, si configura come un *frame* di significazione differente dall'aula tradizionale, basato su azioni didattiche e relazioni sociali orientate alla ricerca che hanno in comune un “fare per apprendere”. L'efficacia educativa del *learning by doing*, sui processi di apprendimento è indubbiamente positiva. Partendo da una definizione generica del laboratorio come spazio attrezzato in cui si svolge un'attività centrata su un certo oggetto culturale Baldacci (2004) ricava le “categorie fondative” rispetto alla sua prassi: l'oggettualità, la spazialità e l'attività del laboratorio. Di seguito (Tab. 1) si propone una sintesi delle

categorie fondative del laboratorio.

Categoria	Descrizione	Esempio
Oggettualità	Il laboratorio ha una specificità oggettuale ed esprime un'intenzionalità	Laboratorio di Botanica per lo studio e l'identificazione di specie della flora italiana ed esotiche.
Spazialità	Il laboratorio è uno spazio dedicato a un determinato oggetto e dotato di attrezzature (hardware e software) ad esso specifiche	Microscopi ottici e a fluorescenza per l'osservazione di preparati isto-anatomici e citologici. Spettrofotometro per l'analisi qualitative di sostanze e molecole in campioni vegetali.
Attività	Il laboratorio si caratterizza per le attività specifiche che si svolgono all'interno per conoscere o apprendere qualcosa o produrre ricerca e quindi avanzamento scientifico.	Laboratorio universitario di ricerca in botanica.

Tab. 1 Categorie fondative del laboratorio

Il laboratorio, quindi, è sintesi di una data “spazialità materiale” e di un certo “atteggiamento mentale” entro un “contesto” fisico e simbolico al tempo stesso.

Recenti ricerche sostengono in modo convincente che le tecnologie digitali hanno cambiato drasticamente il panorama della didattica di laboratorio (Scanlon et al. 2002).

La natura e le pratiche dei laboratori sono cambiate con l'affermarsi delle tecnologie educative. Le tecnologie educative scardinano un assunto di base del laboratorio: la spazialità materiale, la contestualità fisica che, in relazione al tipo di laboratorio digitale (remoto o virtuale) subisce una vera e propria trasformazione. L'esperienza di un laboratorio reale si caratterizza, infatti, per essere un *continuum* spazio-temporale; “viene soprattutto agita come un'unità organica, strutturata e continuamente ristrutturantesi, modellata da connessioni spazio-temporali, analitiche, sintetiche e fantastiche, emotive e affettive; è soggetta a conferme e smentite e perciò aperta all'interrogazione e alla problematizzazione” (Margiotta, 2013, p. 31).

La differenza principale tra un laboratorio scientifico digitale e un laboratorio tradizionale sta nella “presenza” dello studente (Villar-Martinez et al., 2021). In un laboratorio reale, lo studente è fisicamente di fronte all'esperimento o all'attività da svolgere ed è in grado di osservarlo e di manipolare, in modo immediato, i parametri che ne determinano l'esito. In un laboratorio digitale, invece, lo studente accede, visualizza e controlla il processo attraverso gli ambienti digitali (piattaforme, applicazioni di realtà virtuale o aumentata) e le azioni che si possono svolgere all'interno di questi ambienti.

La questione di ricerca centrale riguarda la progettazione dei laboratori virtuali, il monitoraggio e la valutazione delle azioni di apprendimento sollecitate dall'ambiente, in vista dello studio, dell'analisi e della comparazione dei risultati di apprendimento tra laboratori reali e laboratori virtuali e remoti. È in discussione, dunque, l'efficacia educativa dei laboratori remoti e virtuali e la capacità di rappresentare un'esperienza di apprendimento significativa in vista di una possibile applicazione delle conoscenze acquisite nei laboratori per risolvere i problemi del mondo reale. Sebbene ai laboratori remoti e virtuali sia riconosciuto il potenziale educativo per affrontare le sfide sopracitate, risulta necessario approfondire le prospettive teoriche e i risultati dell'apprendimento ottenuti al fine di migliorarne l'impatto e l'efficacia.

2. I laboratori reali, remoti e virtuali

Sulla valenza formativa del laboratorio nella didattica delle scienze c'è, in generale, accordo a livello scientifico, sulla base di due assunti: 1. la natura sperimentale delle scienze che procedono con attività di misura e di formulazione di leggi scientifiche. In

questo caso il laboratorio si configura come il luogo privilegiato della verifica delle leggi e dell'addestramento al metodo sperimentale; 2. la costruzione di una conoscenza scientifica che si basa sulla condivisione di esperienze e di significati. In questo caso il laboratorio si configura come “terreno privilegiato per costruire abilità sperimentali e capacità di ragionamento che permettono di sviluppare un pensiero critico, di distinguere tra evidenze e interpretazioni e condividere la plausibilità e il significato di concetti, modelli e teorie.” (Margiotta, 2013, pp.111-112)

A fronte di questo accordo scientifico esistono punti di vista anche molto diversi sulle funzioni, le modalità di attuazione e la valutazione dell'efficacia didattica del lavoro di laboratorio. Nel campo dei laboratori digitali, alcune recenti revisioni rilevano confusione e incoerenza nelle definizioni di laboratorio reale, remoto e virtuale. I laboratori remoti sono chiamati *web labs* (Ross et al. 1997) oppure *distributed learning labs* (Winer et al. 2000). Oppure addirittura si fanno rientrare i laboratori virtuali in quelli remoti con una netta sovrapposizione di categoria.

Nel presente contributo si adotta la suddivisione tripartita dei laboratori proposta da Ma&Nickerson (2006): laboratori reali (*Hands-On Labs*), laboratori simulati (*Simulated Labs*) e laboratori remoti (*Remote Labs*) a cui si aggiungono i più recenti laboratori virtuali (*Virtual Labs*).

Nei laboratori reali o *Hands-On Labs* si svolgono attività di ricerca all'interno di uno spazio fisico reale. Le costanti di base di questo tipo di laboratorio sono: (1) la presenza dell'attrezzatura specifica che determina l'allestimento fisico di quel laboratorio; (2) la presenza fisica degli studenti che svolgono le attività nel/del laboratorio. La caratteristica tradizionale dei laboratori è quella di apprendere qualcosa condividendo una spazialità, un'oggettualità e un'attività specifica determinata dall'oggetto/i e dalle attrezzature presenti per manipolare l'oggetto/i. Il principale vantaggio risiede nell'attività pratica e nella manipolazione di oggetti reali e/o concetti in un *setting* laboratoriale condiviso. Tra gli svantaggi di questi laboratori vi sono i costi di allestimento, di gestione e di manutenzione, che spesso richiedono spazi ampi ed idonei e tempi di utilizzo programmati, e la presenza di istruttori, tecnici, docenti e altre risorse umane. Inoltre, a causa della limitazione dello spazio e delle risorse, i laboratori reali non sono in grado di soddisfare le esigenze specifiche degli studenti disabili (Colwell et al. 2002).

Nei laboratori simulati o *Simulated Labs* gli esperimenti reali sono simulati. Tutte le infrastrutture che caratterizzano quel laboratorio non sono reali, ma simulate. I primi sostenitori dei laboratori simulati sostengono che questi rappresentano un modo per fronteggiare le spese crescenti dei laboratori reali. Le simulazioni, inoltre, riducono la quantità di tempo necessaria per svolgere l'esperimento e migliorano la motivazione ad apprendere. I laboratori simulati sono considerati efficaci almeno quanto i laboratori manuali tradizionali (Shin et al. 2002) in quanto gli studenti, grazie alla simulazione, sono in grado di "fermare il mondo" e di "uscire" dal processo simulato per riviverlo e comprenderlo meglio (Parush et al. 2002). Molte ricerche inoltre si focalizzano sul coinvolgimento e sull'attivazione dei soggetti nei processi simulativi che migliorano i processi di apprendimento e le prestazioni degli studenti (Faria e Whiteley 1990; Smith e Pollard 1986; Whiteley e Faria 1989); altri sostengono che l'eccessiva esposizione alla simulazione provochi una disconnessione tra il mondo reale e quello virtuale (Maginin 1990) e che si perda il gusto dell'imparare per "tentativi ed errori" (Grant 1995). Qualche anno fa, alcuni autori osservano che il costo della simulazione non era inferiore a quello dei laboratori reali (Canizares e Faur 1997). Oggi le spese si sono ridotte. In ogni caso le simulazioni realistiche richiedono una grande quantità di tempo per essere sviluppate e non sempre modellano in modo fedele la realtà. Una soluzione oggi è rappresentata dai laboratori virtuali o *Virtual Labs* che tratteremo in seguito.

Nei laboratori remoti o *Remote Labs* gli esperimenti vengono condotti da remoto o a distanza. Esiste cioè un'attrezzatura fisica che però viene comandata o gestita da remoto. Questi laboratori si caratterizzano per lavorare attraverso una realtà mediata. Ciò che li differenzia dai laboratori reali è

la distanza tra l'esperimento e lo sperimentatore. Nei laboratori reali, le attrezzature possono essere mediate attraverso il controllo di un computer, ma l'esperimento avviene all'interno di un laboratorio in cui sono presenti uno o più sperimentatori. Al contrario, nei laboratori remoti gli sperimentatori sono a distanza e ottengono i dati controllando apparecchiature geograficamente distanti. Le potenzialità dei laboratori remoti sono l'accessibilità garantita dalla condivisione di dispositivi sperimentali per esempio da una rete di scuole (Sonnenwald et al. 2003; Zimmerli et al. 2003), oppure la possibilità di estendere la capienza di un laboratorio convenzionale oppure di aumentare il numero di volte e di luoghi da cui uno studente può eseguire esperimenti (Canfora et al. 2004).

Nei laboratori virtuali o *Virtual Labs* lo studente svolge un esperimento in una realtà virtuale che non richiede la presenza di attrezzature specifici e/o spazi fisici attrezzati. Le componenti fondamentali di questo tipo di laboratori sono: la formalizzazione e la riproposizione dell'esperimento nella realtà virtuale, un dispositivo con possibilità di controllo e di acquisizione dei dati, il server del laboratorio, che fornisce il controllo, il monitoraggio e l'elaborazione dei dati dell'esperimento, strumenti che consentono la comunicazione audio, video e chat tra più utenti. Tra i principali vantaggi di un laboratorio virtuale, nella sostituzione di un laboratorio reale, vi è l'abbattimento dei costi di manutenzione e di gestione delle attrezzature e del personale e dei rischi connessi all'uso delle attrezzature. Ciò che viene evidenziato dalle ricerche è la riduzione dei livelli di interazione tra i soggetti e l'esperimento, tra i soggetti e gli istruttori, tra gli studenti stessi e la diminuzione dei livelli di motivazione e di attenzione degli studenti. Nella tabella seguente (Tab.2), sono sintetizzati i vantaggi e gli svantaggi per ciascun tipo di laboratorio.

Tipologia di laboratori	Vantaggi	Svantaggi
Laboratorio reale	Dati reali Interazione con l'esperimento reale Lavoro collaborativo Interazione con il supervisore	Vincoli spaziali e temporali Programmazione Costi elevati Supervisione
Laboratorio remoto	Interazione con l'attrezzatura reale Calibrazione Dati realistici Assenza di vincoli spaziali e temporali Costi medi	Presenza "virtuale" in laboratorio
Laboratorio virtuale	Spiegazione concettuale Assenza di vincoli spaziali e temporali Interazione media Costi bassi	Dati idealizzati Assenza di collaborazione Nessuna interazione con le attrezzature reali del laboratorio

Tab. 2 Adattamento della tabella 1 *Comparison of real, virtual e remote laboratories* (Stark et al. 2017)

3. L'ergonomia didattica dei laboratori scientifici remoti e virtuali.

L'ergonomia didattica riguarda gli elementi che debbono essere tenuti presente in un positivo rapporto uomo/macchina per allestire ambienti di apprendimento in cui la tecnologia è usata come risorsa positiva per la costruzione della conoscenza (Calvani, 2001; 2006). Questa definizione deriva dall'ergonomia intesa come studio dell'attività umana in relazione alle condizioni ambientali, strumentali e organizzative in cui si svolge, avendo come obiettivo la promozione della salute e del benessere delle persone. Nel campo dell'ergonomia didattica assumono importanza le condizioni d'uso delle tecnologie educative: (1) per stimolare e supportare i processi cognitivi e garantire processi di apprendimento significativo; (2) per progettare il *setting*; (3) per ottimizzare le condizioni di fruizione al fine di costruire un ambiente di apprendimento produttivo per la crescita. Parlare di ergonomia didattica nel campo dei laboratori remoti e virtuali significa, quindi, non approfondire soltanto l'artefatto tecnologico (in questo caso il laboratorio digitale) ma le relazioni che esso stabilisce con i molteplici fattori che caratterizzano i processi di insegnamento/apprendimento, per assumere una consapevolezza critica che eviti sia opposizioni preconcepite sia facili entusiasmi.

I facili entusiasmi, nell'uso dei laboratori remoti e virtuali, riguardano *in primis* l'abbattimento dei costi per la progettazione, la gestione e la manutenzione dei laboratori fisici, soprattutto nei casi in cui è necessario disporre di strumenti avanzati e sofisticati, la sicurezza garantita dagli ambienti digitali e la riduzione o l'assenza delle spese per il personale tecnico dei laboratori.

Adottare una logica ergonomica nella progettazione e nell'allestimento di ambienti di apprendimento virtuali, come i laboratori scientifici, significa invece, individuare specifici mediatori⁵ per migliorare il rapporto tra l'interfaccia digitale (remota o virtuale) e i processi di apprendimento dello studente in modo da potenziare la costruzione sociale e cooperativa delle conoscenze scientifiche. Alla progettazione dei laboratori remoti e virtuali si accompagna la valutazione delle ricadute non soltanto in termini di risultati di apprendimento attesi (ricadute didattiche) ma anche di miglioramento delle soluzioni organizzative, comunicative e tecnologiche adottate.

La domanda di ricerca allora diventa: a quali condizioni l'interazione tra studente e

⁵ Cfr. nota 1

laboratori digitali (remoti e virtuali) potenzia i processi di apprendimento e la crescita cognitiva degli studenti?

In un'ottica di ergonomia didattica, l'adozione di laboratori scientifici di tipo remoto o virtuale non può essere sostenuta dai "facili entusiasmi" o dall'alleggerimento del carico cognitivo in sé dell'obiettivo da conseguire ma dalla progettazione di un ecosistema di apprendimento, fatto di relazioni strette tra attività e altri elementi della rete di apprendimento: contenuti, soggetti, modelli pedagogici, canali fisici e virtuali (Sancassani et al., 2019)

Per ottimizzare l'uso dei laboratori remoti e virtuali nella didattica delle STEM può essere molto utile rivolgere l'attenzione a fattori di contesto. Tra questi vi sono la collocazione dell'esperienza in momenti specifici di un percorso di apprendimento, l'aggiunta di consegne di lavoro, la presenza di indicazioni aggiuntive, l'integrazione di altri supporti (Calvani, 2001; 2006). I risultati di una recente sintesi delle evidenze (Fadda, Vivianet, 2021b) consentono di affermare che tendenzialmente i laboratori online permettono agli studenti di raggiungere risultati di apprendimento comparabili a quelli dei laboratori tradizionali e suggeriscono la rilevanza di determinati fattori (tra cui, la formazione degli insegnanti; la coerenza tra obiettivi, strategia laboratoriale e valutazione; il feedback dell'insegnante; l'integrazione tra attività laboratoriali online e in presenza) al fine di massimizzarne l'efficacia. Tutto quanto può essere utile per trasformare l'esperienza del soggetto nel laboratorio (remoto o virtuale) in un reale contesto di apprendimento.

Riferimenti Bibliografia

Alebous, T. (2021). The Extent to Which Teachers of Science Subjects Use Virtual Scientific Laboratories during Corona Virus Pandemic: The Reality & Hope . *Journal for the Education of Gifted Young Scientists* , 9 (3) , 193-206 . DOI: 10.17478/jegys.972540.

Baldacci, M. (2004). Il laboratorio come strategia didattica. Suggestioni deweyane. In R. Travaglini & N. Filograsso, *Dewey e l'educazione della mente* (pp. 86-97). Milano: FrancoAngeli.

Bruner J. (1997). *La cultura dell'educazione*. Milano: Feltrinelli.

Calvani A. (2001). *Educazione, Comunicazione e nuovi media. Per una pedagogia del Cyberspazio*. Torino: UTET.

Calvani A. (2006). *Tecnologie, scuola, processi cognitivi. Per una ecologia*

dell'apprendere. Milano: Franco Angeli.

Canfora, G., Daponte, P., Rapuano, S. (2004). Remotely accessible laboratory for electronic measurement teaching. *Comput. Standards and Interfaces* 26, 6, 489–499.

Canizares, C. A., Faur, Z. T. (1997). Advantages and disadvantages of using various computer tools in electrical engineering courses. *IEEE Trans. Education* 40, 3, 166–171.

Colwell, C., Scanlon, E., Cooper, M. (2002). Using remote laboratories to extend access to science and engineering. *Computer and Education* 38, 1–3, 65–76.

Dewey J. (1949). *Esperienza e educazione*. Firenze: Nuova Italia.

Fadda, D., Vivinet, G. (2021a). Tecnologie digitali e didattica laboratoriale nell'educazione STEM. Evidenze scientifiche e raccomandazioni pratiche. Milano: Fondazione Cariplo.

Fadda, D., Vivinet, G., (2021b). Online laboratories for science education: a summary of evidence. *Italian Journal of Educational Research*, 26, 105-117.

Faria, A. J., Whiteley, T. R. (1990). An empirical evaluation of the pedagogical value of playing a simulation game in a principles of marketing course. *Development in Business Simul. Experiential Learning* 17, 53–57.

Gonzalez, H. B., & Kuenzi, J. J. (2012). *Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: A primer*. Washington, DC: Congressional Research Service, Library of Congress.

Grant, A. (1995). The effective use of laboratories in undergraduate courses. *Int. J. Mechanical Eng. Education* 23, 2, 95–101.

Ma, J. & Nickerson, J. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Comput. Surv.* 38. 10.1145/1132960.1132961.

Magin, D. J., Reizez, J. A. (1990). Computer simulation of laboratory experiments: An unrealized potential. *Computers and Education* 14, 3, 263–270.

Margiotta U. (2013). *La didattica Laboratoriale. Strategie, strumenti e modelli per la scuola secondaria di secondo grado*. Erickson

Meintzer, Chris & Sutherland, Frances & Kennepohl, Dietmar. (2017). Evaluation of Student Learning in Remotely Controlled Instrumental Analyses. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*. 18. 10.19173/irrodl.v18i6.3093.

Parush, A., Hamm, H. Shtub, A. (2002). Learning histories in simulation-based teaching: The effects on self-learning and transfer. *Computers and Education* 39, 319–332.

Ross, R. J., Boroni, C. M., Goosey, F. W., Grinder, M., Wissenbach, P. (1997). Weblab! A universal and interactive teaching, learning, and laboratory environment for the world wide web. In *Proceedings of the 28th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*. San Jose, CA. 199–203.

Sancassani, S., Brambilla F., Casiraghi, D. (2019). *Progettare l'innovazione didattica*. Milano: Pearson.

Scalon, E., Morris, E., Di Paolo, T., Cooper, M. (2002). Contemporary approaches to

- learning science: Technologically-mediated practical work. *Studies in Science Education* 38, 73–114.
- Shin, D., Yoon, E. S., Le, K. Y., Lee, E. S. (2002). A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education: Issues, design and implementation. *Computers and Chemical Eng.* 26, 2, 319–330
- Smith, P. R., Pollard, D. (1986). The role of computer simulations in engineering education. *Computers and Education* 10, 3, 335–340.
- Sonnewald, D. H., Whitton, M. C., Maglaughlin, K. L. (2003). Evaluating a scientific collaboratory: Results of a controlled experiment. *ACM Trans. Comput. Hum. Interact* 10, 2, 150–176.
- Stark, Erich & Bisták, Pavol & Kozak, Š.Kozák & Kucera, Erik. (2017). Virtual laboratory based on Node.js technology. 386-391. 10.1109/PC.2017.7976245.
- Stark, Erich & Bisták, Pavol & Kucera, Erik & Haffner, Oto & Kozak, Š.Kozák. (2017). Virtual Laboratory Based on Node.js Technology and Visualized in Mixed Reality Using Microsoft HoloLens. 315-322. 10.15439/2017F313.
- Villar-Martínez, A., García-Zubía, J., Angulo, J., Rodríguez-Gil, L. (2021). Towards Reliable Remote Laboratory Experiences: A Model for Maximizing Availability Through Fault-Detection and Replication. *IEEE Access*, 9, 45032-45054.
- Whiteley, T. R., Faria, A. J. (1989). A study of the relationship between student final exam performance and simulation game participation. *Simul. Games* 21, 1, 44–64.
- Winer, L. R., Chomienne, M., Vazquez-Abad, J. (2000). A distributed collaborative science learning laboratory on the Internet. *American Journal Distance Education* 14, 1.
- Zimmerli, S., Steinemann, M.-A., AND Braun, T. (2003). Educational environments: Resource management portal for laboratories using real devices on the Internet. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Review* 53, 3, 145–151.