

TECNOLOGIE DIGITALI E DIDATTICA LABORATORIALE NELL'EDUCAZIONE STEM

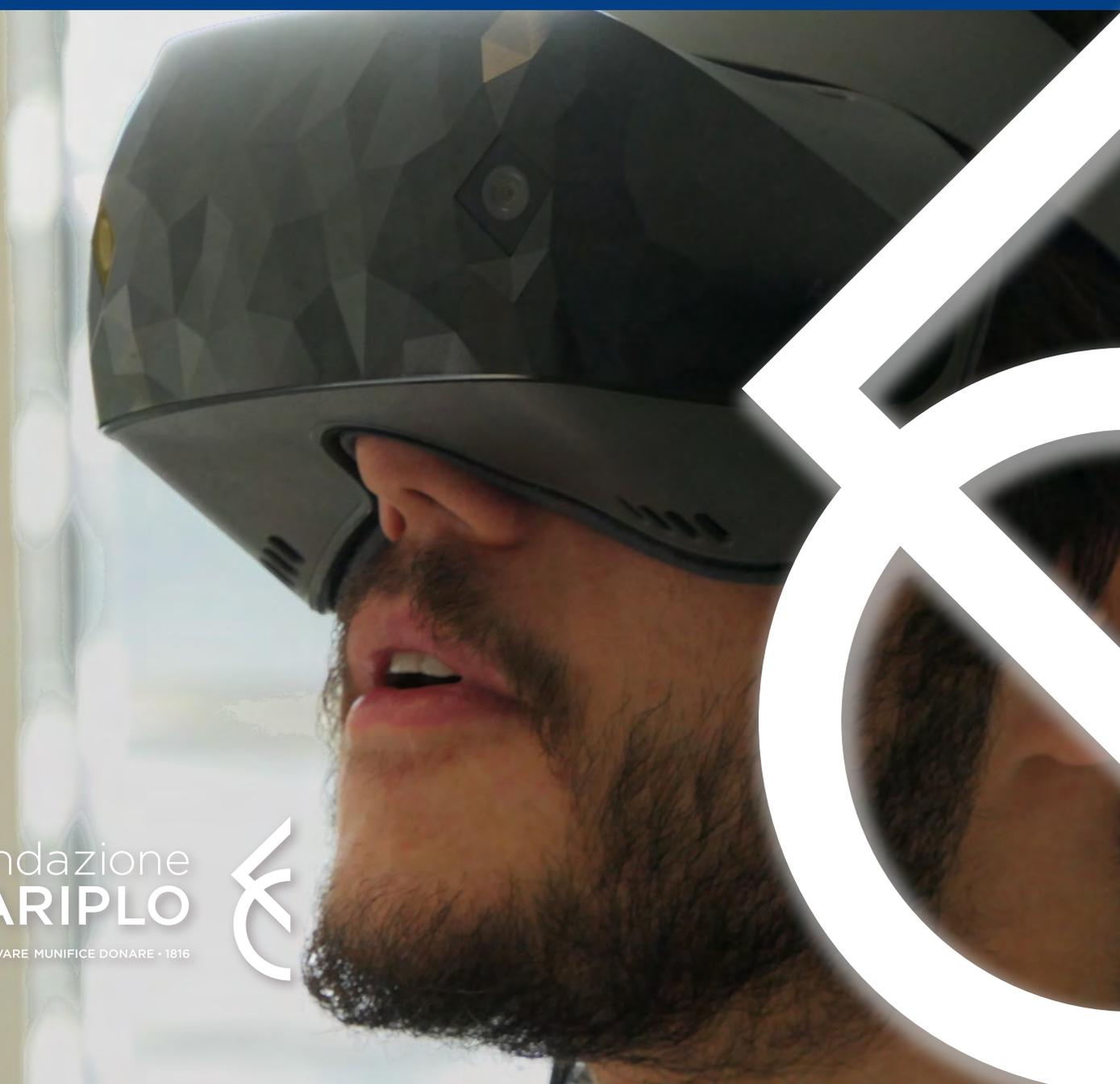
Evidenze scientifiche e raccomandazioni pratiche

QUADERNI DELL'OSSERVATORIO ▪ Approfondimento

37

Fondazione
CARIPLO

TUTE SERVARE MUNIFICE DONARE • 1816



TECNOLOGIE DIGITALI E DIDATTICA LABORATORIALE NELL'EDUCAZIONE STEM

Evidenze scientifiche e raccomandazioni pratiche

Daniela Fadda, Dottore di ricerca, Dipartimento di Pedagogia, Psicologia, Filosofia, Università di Cagliari
Giuliano Vivanet, Professore associato di Pedagogia sperimentale, Università di Cagliari

Collana "Quaderni dell'Osservatorio" n. 37 ▪ Anno 2021

In copertina: Laboratorio presso l'Istituto Tecnico Tecnologico "E. Mattei" di Sondrio: visori per la realtà aumentata, maggio 2019 – Foto di Masa R.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano rivolgere un sincero ringraziamento a Camilla Andreatza, Gian Paolo Barbetta, Paolo Canino, Stefano Cima e Diana Pozzoli di Fondazione Cariplo, con cui hanno avuto il piacere di condividere riflessioni critiche essenziali per lo sviluppo e l'arricchimento di questo lavoro. Sono da imputarsi ai soli autori tutti i limiti di esso.

INDICE



Inaugurazione del nuovo laboratorio all'Istituto Tecnico Tecnologico "E. Mattei" di Sondrio: visori per la realtà aumentata, maggio 2019 – Foto di Masa R.

ABSTRACT	4
INTRODUZIONE	5
EXECUTIVE SUMMARY	7
1. QUADRO GENERALE	13
1.1. Istruzione, tecnologie e apprendimenti	13
1.2. La didattica laboratoriale nell'era digitale	21
2. TECNOLOGIE E APPRENDIMENTI NELL'EDUCAZIONE STEM	25
2.1. I risultati della ricerca	25

2.2. Sintesi delle evidenze	39
3. LABORATORI ONLINE NELL'EDUCAZIONE STEM	43
3.1. I risultati della ricerca	43
3.2. Sintesi delle evidenze	57
4. RACCOMANDAZIONI PRATICHE	61
4.1. Il livello macro: le policy	62
4.2. Il livello micro: la didattica quotidiana	64
BIBLIOGRAFIA	67
NOTA METODOLOGICA	73

ABSTRACT

L'educazione STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) gioca un ruolo strategico per lo sviluppo delle conoscenze e l'innovazione tecnologica. Considerata la rilevanza che assume l'istruzione scolastica per la formazione dei futuri professionisti in tale ambito, in questo lavoro, si presenta un quadro delle migliori evidenze scientifiche che la ricerca educativa ha elaborato sull'efficacia delle tecnologie e della didattica laboratoriale digitale per il miglioramento degli apprendimenti nell'educazione STEM. Sulla base di esse, si suggeriscono, inoltre, alcune raccomandazioni pratiche per la policy e la didattica quotidiana.

INTRODUZIONE



Meetme@school: tre giorni di incontri tra scuole e aziende, in preparazione al concorso SI Fabbrica. Testimonial d'eccezione: Luca Abete, ottobre 2019

L'educazione STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*; Gonzalez, Kuenzi, 2012), basata sull'idea di un curriculum interdisciplinare che coniuga competenze proprie delle discipline scientifico-tecnologiche, gioca un ruolo strategico per lo sviluppo delle conoscenze e l'innovazione tecnologica; fattori in grado di generare, a loro volta, la creazione di posti di lavoro e la crescita economica nazionale (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018).

Circoscrivendo la nostra analisi a tale ambito e ai contesti scolastici, in questo lavoro cercheremo di fare un quadro delle migliori evidenze che la ricerca educativa ha prodotto sull'efficacia delle tecnologie e della didattica laboratoriale digitale per il miglioramento degli apprendimenti e delle indicazioni che ne derivano per le pratiche di insegnamento e apprendimento quotidiane. Il termine apprendimento può essere impiegato con riferimento a dimensioni diverse (es. cognitiva,

socio-emotiva, comportamentale). Qui focalizzeremo l'attenzione prevalentemente su quella cognitiva, nel contesto della scuola secondaria di secondo grado. A tal fine, il testo è organizzato in quattro capitoli.

Nel primo (*Quadro generale*), si fornirà una “cornice” (non circoscritta all'educazione STEM) di conoscenze più generali sui principi che dovrebbero guidare ogni buona progettazione didattica e sull'efficacia delle tecnologie per il miglioramento degli apprendimenti (Paragrafo 1.1); e una introduzione alla didattica laboratoriale nell'era digitale (Paragrafo 1.2).

Nel secondo (*Tecnologie e apprendimenti nell'educazione STEM*), si presenteranno i risultati della ricerca condotta sull'efficacia delle tecnologie digitali (simulazioni e giochi digitali; applicazioni mobili; applicazioni della realtà aumentata e della realtà virtuale; applicazioni della robotica e *coding*) nell'educazione STEM (Paragrafo 2.1) e le principali evidenze che in sintesi emergono da questi (Paragrafo 2.2).

Nel terzo (*Laboratori online nell'educazione STEM*), si presenteranno invece i risultati relativi più specificamente alla didattica laboratoriale digitale (laboratori

virtuali e remoti) (Paragrafo 3.1) e le evidenze che in sintesi se ne possono trarre (Paragrafo 3.2).

Infine, nell'ultimo (*Raccomandazioni pratiche*), si forniranno alcune indicazioni per la policy e la progettazione didattica che derivano dall'insieme di evidenze presentate nei capitoli precedenti.

Guida per la lettura

Il testo si presta a più percorsi di lettura. La divisione in quattro capitoli consente al lettore di focalizzarsi direttamente sul tema per sé più interessante. Inoltre, la divisione dei capitoli sui risultati di ricerca da quelli sulle evidenze che ne emergono permette, a quanti non interessati al dettaglio dei risultati e delle fonti consultate, di leggerne direttamente le conclusioni. Tuttavia, ci sentiamo di suggerire anche a questi ultimi la lettura dei capitoli in cui sono presentati i risultati di ricerca per comprendere su quali fondamenta le conclusioni sono basate, oltre che per la ricchezza di elementi di interesse per la pratica didattica quotidiana. Le raccomandazioni pratiche riportate in conclusione, infine, permettono di “tirare le somme” dall'insieme di indicazioni che riteniamo più rilevanti, emergenti in questo report.

EXECUTIVE SUMMARY¹



Stand di Progetto SI alla Fiera SPS IPC Drives, Parma, 28-30 maggio 2019

Introduzione

L'educazione STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), che coniuga in un curriculum interdisciplinare le competenze delle discipline scientifico-tecnologiche, gioca un ruolo strategico per lo sviluppo delle conoscenze e l'innovazione tecnologica; da ciò è facilmente intuibile la rilevanza che assume

¹ Giuliano Vivinet.

l'istruzione scolastica per la formazione dei futuri professionisti in tale ambito (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018).

In questo lavoro, sarà pertanto presentato un quadro delle migliori evidenze scientifiche che la ricerca educativa rende disponibili sull'efficacia delle tecnologie e della didattica laboratoriale digitale per il miglioramento degli apprendimenti nell'educazione STEM. Queste saranno quindi sintetizzate in un breve insieme

di raccomandazioni pratiche per la *policy* (interventi sul sistema di istruzione nazionale o regionale-locale) e per la didattica quotidiana.

Tali raccomandazioni sono il frutto di un lavoro di integrazione, comparazione e sintesi compiuto su un vastissimo *corpus* di dati tratti dalla letteratura internazionale relativa (i) ai principi dell'istruzione efficace e agli effetti delle applicazioni tecnologiche sugli apprendimenti (indipendentemente da specifici ambiti disciplinari); (ii) ai risultati della ricerca sull'impatto delle tecnologie sul miglioramento dei risultati scolastici nell'educazione STEM; e (iii) a quelli relativi ai laboratori *online* nelle medesime discipline scientifico-tecnologiche.

Quadro generale

Una discussione sull'efficacia delle applicazioni tecnologiche e della didattica laboratoriale digitale nell'educazione STEM non può prescindere dalle conoscenze che la ricerca educativa ha capitalizzato nel corso della sua storia sui principi che dovrebbero guidare ogni buona progettazione e azione didattica, indipendentemente da specifici ambiti disciplinari. Al riguardo, sono riscontrabili ampie convergenze sulle conclusioni cui pervengono i contributi derivanti da più settori di ricerca, quali *l'Instructional Design*; *l'Evidence-based Education*; e le scienze cognitive. Queste ci portano ad affermare che oggi è possibile individuare alcuni principi fondamentali, a cui possiamo attribuire una sufficiente affidabilità, che ogni buon insegnante e/o progettista didattico dovrebbe conoscere e saper contestualizzare nella propria pratica (adattate da Calvani, Marzano, 2020):

- partire da un problema rilevante per l'allievo, in modo da stimolarne l'interesse e la motivazione;
- esplicitare e rendere ben chiaro l'obiettivo di apprendimento da conseguire e la direzione da percorrere a tal fine;
- agganciare le nuove conoscenze a quelle già in possesso degli allievi;
- procedere gradualmente e in ordine di complessità nella presentazione delle nuove informazioni, favorendone una chiara strutturazione e alternando con frequenza la pratica;

- promuovere un continuo *feedback* insegnante-allievo, utile all'insegnante per monitorare il progresso degli studenti e a questi ultimi per acquisire consapevolezza del proprio stato di avanzamento nel percorso di apprendimento e delle strategie migliori per raggiungere l'obiettivo successivo (es. strategie per l'autoregolazione);
- stimolare la riflessione sulle procedure seguite (es. strategie meta-cognitive);
- variare forme e modi di applicazione e richiamare le conoscenze a distanza di tempo (es. strategie di rinforzo).

Questo primo insieme di indicazioni può essere integrato con quanto emerge dalle numerose indagini su larga scala e sperimentazioni che hanno indagato gli effetti delle tecnologie sugli apprendimenti (*technology enhanced learning*). Il dato "macro" emergente è che, a fronte della retorica che accompagna il dibattito sull'innovazione tecnologica nella scuola, vi è una consistente e autorevole letteratura che mostra come le tecnologie abbiano in media un effetto moderato, non particolarmente significativo, sul miglioramento degli apprendimenti degli studenti. I dati mostrano che non sono le tecnologie il fattore principale a incidere su questi ultimi; quanto piuttosto le strategie e i metodi dell'insegnamento. E questo ci permette di evidenziare un elemento che ritroveremo poi sottolineato continuamente nella letteratura analizzata, ossia il ruolo centrale della formazione degli insegnanti all'uso, non solo strumentale, ma didatticamente efficace delle tecnologie nella scuola.

Andando al di là del dato medio, tuttavia, riconosciamo anche che determinate applicazioni tecnologiche risultano essere più promettenti, in termini di effetto sugli apprendimenti, rispetto ad altre, tra cui (Paragrafo 1.1): certi utilizzi delle tecnologie come supporto intensivo a studenti svantaggiati e/o con bisogni educativi speciali; alcune applicazioni del tipo *Computer Assisted Instruction* e *Intelligent Tutoring Systems*; determinate tecniche di utilizzo dei video.

Oltre a queste, sono diverse le condizioni didattiche che possono favorire l'efficacia dell'insegnamento, quali *in primis* l'utilizzo delle tecnologie come supporto alla

didattica tradizionale (e non con funzione sostitutiva); l'integrazione tra approcci tipici dell'istruzione diretta e quelli caratteristici dell'istruzione collaborativa (specialmente se fondata su strategie meta-cognitive strutturate e basate su lavoro di coppia o in piccoli gruppi); la valorizzazione del *feedback* insegnante-allievo con funzione formativa; e il controllo dei rischi associati all'uso delle tecnologie, quali gli effetti sulla memorizzazione, la distrazione del *focus* dell'attenzione, il sovraccarico cognitivo, la dipendenza e le negative conseguenze fisiche (es. affaticamento, disturbi del sonno).

In questo quadro più generale, emergono infine le prospettive più peculiari della didattica laboratoriale nell'era digitale, il cui ruolo strategico è stato sottolineato anche nei recenti documenti di indirizzo del MIUR sull'innovazione scolastica. Al riguardo, sono due le principali opzioni di laboratori *online* per la scuola: i laboratori remoti e quelli virtuali (Paragrafo 1.2). I primi possono essere definiti dei sistemi misti virtuale-reale che permettono agli studenti di condurre a distanza attività laboratoriali, interagendo con strumenti e/o componenti di un laboratorio fisico. I secondi possono invece essere definiti dei sistemi interamente virtuali (*software*) che consentono allo studente di interagire con un ambiente digitale per condurre attività laboratoriali simulate e/o manipolare le rappresentazioni digitali di strumenti e/o componenti di un laboratorio fisico.

Tecnologie e apprendimenti nell'educazione STEM

Sono stati analizzati, integrati e sintetizzati i risultati di dieci revisioni sistematiche e meta-analisi² relative all'impatto di differenti tecnologie digitali, tra loro fortemente collegate (simulazioni e giochi digitali, applicazioni mobili, realtà aumentata e virtuale, robotica e *coding*) sui risultati di apprendimento nell'educazione STEM.

Ciascuna di tali tecnologie e i risultati raccolti sono presentati nel capitolo 2. Più specificamente, le simulazioni sono ambienti digitali che, riproducendo

il modello di un sistema fisico reale o ipotetico, si prestano alla creazione di ambienti educativi, anche nella forma di giochi didattici (Paragrafo 2.1.1). Questi ultimi possono essere sviluppati inoltre nella forma di applicazioni mobili educative che, sfruttando supporti quali *tablet* e *smarthphone*, hanno il vantaggio di una grande flessibilità (Paragrafo 2.1.2). Simulazioni e giochi digitali sono strumenti educativi che possono essere utilizzati anche in abbinamento alle applicazioni della realtà aumentata e virtuale, generando nello studente un senso di immersione nell'esperienza digitale di apprendimento (Paragrafo 2.1.3). Infine, l'impiego dei *robot* e le attività di programmazione o *coding* (utilizzate spesso in ambito educativo nella forma del gioco digitale) hanno un'ampia gamma di applicazioni, adattabili agli interessi degli studenti secondo una prospettiva interdisciplinare, tipica dell'educazione STEM (Paragrafo 2.1.4).

Dalla letteratura esaminata, emergono in sintesi alcuni elementi verso cui si registra maggiore convergenza e che assumono particolare rilevanza per la decisione in educazione (Paragrafo 2.2):

- le nuove tecnologie hanno un impatto mediamente più positivo nell'educazione STEM, rispetto a quello registrato in altri ambiti disciplinari;
- i giochi digitali appaiono i più promettenti in termini di efficacia sugli apprendimenti, rispetto alle altre tecnologie indagate;
- la tecnologia è bene che abbia una funzione supplementare più che sostitutiva dell'insegnamento tradizionale;
- l'insegnante ha un ruolo centrale per il miglioramento degli apprendimenti, è importante garantirne a tal fine un'adeguata formazione tecnologica e pedagogico-didattica;
- l'apprendimento collaborativo mediamente ha un effetto positivo sugli apprendimenti (pur nella ampia variabilità dei dati);
- l'acquisizione di conoscenze è il risultato di apprendimento maggiormente indagato;
- gli interventi hanno solitamente una durata breve e risentono dell'effetto novità.

2 La revisione sistematica (RS, *systematic review*) (Chalmers, Altman, 1995) è un metodo di sintesi di tutti i risultati empirici disponibili su un dato problema al fine di pervenire a una loro generalizzazione. La meta-analisi (MA, *meta-analysis*) è un metodo per la sintesi statistica dei risultati quantitativi degli studi empirici su un dato problema (Glass, 1976).



Laboratorio presso l'Istituto Tecnico Industriale "G. Feltrinelli" Milano, maggio 2018

Laboratori online nell'educazione STEM

Sono stati analizzati, integrati e sintetizzati i risultati di dieci revisioni sistematiche e meta-analisi sull'impatto dei laboratori *online* nell'educazione STEM. Nel paragrafo 3.1 sono presentati i risultati più interessanti dei singoli studi relativi ai laboratori remoti (in cui la realtà è mediata dalla distanza) e virtuali (basati su una realtà simulata) per il miglioramento degli apprendimenti in ambito scolastico, con riferimento alla loro efficacia comparata ai laboratori tradizionali; ai principi che ne guidano la progettazione didattica; e alla natura degli obiettivi di apprendimento indagati (es. conoscenza, atteggiamento, abilità pratiche e ragionamento scientifico).

Dall'insieme di dati tratti da tali studi, emergono i seguenti punti verso cui si registra maggiore accordo in letteratura e che assumono particolare significatività per la decisione in educazione (Paragrafo 3.2):

- i laboratori *online* permettono di raggiungere risultati comparabili a quelli tradizionali;
- il *feedback* dell'insegnante è un fattore importante per una pratica laboratoriale efficace;
- i laboratori *online* sono spesso integrati nella progettazione didattica alle attività pratiche;
- la formazione pedagogico-didattica dell'insegnante è importante per l'efficacia dei laboratori;
- negli studi viene data più importanza al sapere che al saper fare e pochi studi si concentrano sullo sviluppo del ragionamento scientifico;
- emergono alcune indicazioni riguardo i principi che dovrebbero guidare la progettazione dei laboratori *online* (es. favorire l'indagine attiva dello studente; stimolarne il processo decisionale; svilupparne la capacità argomentativa);
- gli studenti vivono positivamente l'esperienza laboratoriale.

Raccomandazioni pratiche

Compito della ricerca educativa è, da un lato, contribuire allo sviluppo delle conoscenze e, dall'altro, fornire ai professionisti informazioni utili a prendere decisioni

più consapevoli. In questa prospettiva, sulla base delle evidenze introdotte nei punti precedenti, sono state definite alcune raccomandazioni pratiche per l'uso delle tecnologie e della didattica laboratoriale digitale nell'educazione STEM in ambito scolastico. Consapevoli che nella scuola non possono esserci ricette facili di sicuro successo e che sempre le indicazioni della ricerca devono trovare adeguata contestualizzazione negli specifici *setting* di istruzione, queste sono da intendersi come orientamenti volti a due differenti livelli di decisione: un primo livello macro, identificato nelle scelte di *policy* (quelle del decisore politico, dei soggetti pubblici e/o privati che hanno un ruolo nella definizione degli indirizzi del sistema istruzione a livello nazionale o locale, ma anche dei dirigenti scolastici per la *governance* del proprio istituto); e un livello micro, che si colloca nella pratica didattica quotidiana (quella degli insegnanti, degli educatori e dei progettisti didattici).

Raccomandazioni per la policy (Paragrafo 4.1)

1. Indirizzare l'innovazione tecnologica verso obiettivi prioritari del sistema di istruzione.
2. Privilegiare le strategie di innovazione tecnologica basate su evidenze.
3. Garantire un'adeguata formazione degli insegnanti all'uso didatticamente efficace delle tecnologie.
4. Accompagnare l'innovazione tecnologica con un sistema rigoroso di valutazione dell'efficacia degli interventi.

Raccomandazioni per la pratica didattica (Paragrafo 4.2)

1. Chiarire agli studenti l'obiettivo di apprendimento e allineare scrupolosamente obiettivo > strategia didattica > valutazione.
2. Partire da un problema rilevante per lo studente per stimolarne la motivazione.
3. Agganciare le nuove conoscenze a quelle già in possesso degli studenti, gradualmente e strutturando le conoscenze.
4. Alternare frequentemente la pratica, integrando didattica in presenza e didattica digitale.
5. Integrare attività collaborative ben strutturate (in coppia o a piccoli gruppi) e didattica istruttiva.

6. Valorizzare il *feedback*, favorendo l'autoregolazione degli apprendimenti nello studente.
7. Stimolare la riflessione sulle procedure (meta-cognizione).
8. Variare forme e modi di applicazione e richiamare le conoscenze a distanza di tempo (rinforzo).
9. Utilizzare le tecnologie digitali con interventi bilanciati nel tempo, tenendone sotto controllo i rischi di effetti collaterali.
10. Progettare didattiche laboratoriali integrate tradizionali-digitali per il raggiungimento di obiettivi che vanno oltre la mera conoscenza.

1. QUADRO GENERALE¹



Stampa 3D, Istituto Tecnico Professionale “Ponti” di Gallarate (VA), giugno 2018

1.1. Istruzione, tecnologie e apprendimenti

Il *focus* di questo lavoro è centrato sull’educazione STEM. Tuttavia, una discussione su quest’ultima non può prescindere dal più generale quadro di conoscenze di cui disponiamo sull’efficacia dell’istruzione, delle tecnologie digitali e delle loro applicazioni nella didattica laboratoriale.

¹ Giuliano Vivanet.

Pertanto, in questo capitolo, pur nella consapevolezza che i limiti di questo contributo ci costringeranno a inevitabili e talvolta estreme semplificazioni, dapprima forniremo alcuni riferimenti essenziali utili alla definizione di quei principi, fondati teoricamente ed emergenti dalle migliori evidenze scientifiche disponibili, che dovrebbero orientare ogni buona progettazione didattica; per poi entrare nel merito della relazione tra usi delle tecnologie digitali e apprendimenti degli studenti.

Con riferimento al primo punto, il modesto fine che ci poniamo è quello di richiamare alcuni riferimenti fondamentali che nella ricerca didattica hanno avuto particolare rilievo e su cui si è registrata un'ampia convergenza di voci, tra le più autorevoli del settore. Al riguardo, come già messo in luce da più autori (Rosenshine, 2010; Calvani, 2011; 2012; Bell, 2020), abbiamo assistito nel corso degli ultimi decenni a un importante processo di capitalizzazione delle conoscenze, grazie soprattutto ai contributi avanzati in tre ambiti:

- *l'Instructional Design* (ID): campo di studio, avente origine nella psicologia comportamentale e in quella cognitiva, con importanti contributi più recenti del costruttivismo, che si occupa di analizzare le condizioni per favorire l'apprendimento (Reigeluth, 2013);
- *l'Evidence-based Education** (EBE): orientamento volto, da un lato, a produrre e diffondere conoscenze fondate scientificamente sugli interventi educativi al fine di supportare quanti operano in tali contesti nella presa di decisioni più informate e consapevoli e, dall'altro, a diffondere una cultura metodologica più rigorosa nella ricerca educativa (Davies, 1999)²;
- le scienze cognitive: ambito di studio fortemente interdisciplinare che si occupa della mente umana, della natura della conoscenza, nelle sue forme e contenuti, e di come questa è usata, elaborata e acquisita; all'interno di esso, si sta costituendo un importante settore che integra neuroscienze ed educazione, a cui si fa talvolta riferimento con l'espressione *educational neuroscience* (Howard-Jones, 2009)³.

Sono riscontrabili, infatti, ampie convergenze sulle conclusioni cui pervengono i contributi derivanti da tali settori, così da poter affermare che, allo stato delle conoscenze attuali, sia possibile individuare

- 2 Tale ambito si caratterizza, sul piano metodologico per l'adozione di metodi di indagine più rigorosi che consentono la triangolazione di dati su larga scala, quali revisioni sistematiche e meta-analisi (Pellegrini, Vivanet, 2018).
- 3 Per una visione più complessiva dei rapporti tra tali ambiti, a fondamento di una Scienza dell'istruzione e dell'apprendimento, si rimanda al *Manifesto S.Ap.I.E.*

alcuni principi fondamentali, a cui possiamo attribuire una sufficiente affidabilità, che ogni buon insegnante (o progettista didattico) dovrebbe conoscere e saper contestualizzare nella propria pratica. Riprendendo alcuni lavori classici delle teorie dell'istruzione, riferendoci ai contributi di Gagné e Briggs (1974), Merrill (2002) e Rosenshine (2010), notiamo nella tabella 1.1 (ripresa da Calvani, Marzano, 2020) alcuni di tali punti di convergenza; si rimanda ai riferimenti bibliografici citati per gli opportuni approfondimenti.

In sostanza, come emerge dalla sintesi proposta da Calvani (2010; 2011; Calvani, Marzano, 2020), si registra un sostanziale accordo sul fatto che nel predisporre e attuare le condizioni ottimali per favorire gli apprendimenti degli allievi⁴, un insegnante dovrebbe: (i) partire da un problema rilevante per l'allievo, in modo da stimolarne da subito l'interesse e la motivazione; (ii) esplicitare e rendere ben chiaro a sé stesso e agli allievi l'obiettivo di apprendimento da conseguire e la direzione da percorrere a tal fine; (iii) agganciare le nuove conoscenze e/o acquisizioni al bagaglio di quelle già in possesso degli allievi; (iv) procedere gradualmente e in ordine di complessità nella presentazione delle nuove informazioni, favorendone una chiara strutturazione e alternando con frequenza la pratica; (v) promuovere un continuo *feedback* insegnante-allievo, utile all'insegnante per monitorare il progresso degli studenti e a questi ultimi per acquisire consapevolezza del proprio stato di avanzamento nel percorso di apprendimento e delle strategie migliori per raggiungere l'obiettivo successivo (es. strategie per l'autoregolazione); (vi) stimolare la riflessione sulle procedure seguite (es. strategie meta-cognitive); (vii) variare forme e modi di applicazione e richiamare le conoscenze a distanza di tempo (es. strategie di rinforzo).

Se tali principi valgono per ogni progettazione didattica, essi rappresentano un primo *set* di "raccomandazioni" da tenere presenti anche quando l'attività di insegnamento prevede la mediazione delle tecnologie

- 4 Si noti che si riscontra pieno accordo tra quanto qui esposto e l'infografica predisposta e resa disponibile dal Dipartimento dell'istruzione statunitense sulle pratiche di insegnamento basate su evidenza, disponibile a questo link: ies.ed.gov/ncee/edlabs/infographics/pdf.

Tabella 1.1 – Punti di convergenza nelle teorie dell’istruzione

Gagné & Briggs (1974)	Merrill (2002)	Rosenshine (2010)
Guadagnare l’attenzione	<i>Problem</i> : impegnare gli allievi nella soluzione di problemi di significato reale	
Stimolare il recupero delle conoscenze precedenti	<i>Activation</i> : indurre gli allievi a ricordare conoscenze o esperienze precedenti, tali da fare da fondamento alla nuova conoscenza	Iniziare la lezione con una breve revisione degli apprendimenti precedenti
Informare sugli obiettivi; presentare le informazioni; fornire una guida	<i>Demonstration</i> : mostrare in modo concreto cosa l’allievo dovrà imparare	Presentare le nuove conoscenze in piccoli passi con pratica dopo ogni passo; fare numerose domande e controllare le risposte di ciascuno; presentare modelli
Far fare pratica; fornire un <i>feedback</i> ; valutare la prestazione	<i>Application</i> : chiedere di risolvere una sequenza di problemi variati; riusare conoscenze o abilità in contesti differenti	Guidare la pratica dell’allievo; controllare la sua comprensione; ottenere un alto tasso di successo; offrire sostegno per compiti difficili
Potenziare la conservazione in memoria e il <i>transfert</i>	<i>Integration</i> : rendere le conoscenze o abilità oggetto di riflessione e riuso a distanza di tempo	Richiedere e monitorare la pratica indipendente; impegnare allievi in revisioni settimanali e mensili

digitali. Anche in quest’ultimo campo, a cui spesso nella letteratura internazionale si fa riferimento con l’espressione *technology enhanced learning*, peraltro, possiamo affermare si sia pervenuti negli ultimi trent’anni a un ampio *corpus* di conoscenze ben fondate.

Ciò che emerge come prima indicazione è che, a fronte della retorica che accompagna il dibattito sull’innovazione tecnologica nella scuola (Ranieri, 2011), vi è una consistente e autorevole letteratura che mostra come le tecnologie abbiano in media un effetto moderato, non particolarmente significativo, sul miglioramento degli apprendimenti degli studenti (Vivanet, 2017)⁵. I dati mostrano che non sono le tecnologie il fattore principale a incidere sul miglioramento degli apprendimenti; quanto piuttosto le strategie e i metodi dell’insegnamento.

Si tratta di un’affermazione che merita tuttavia qualche precisazione per evitare fraintendimenti. Il fatto

⁵ Per un approfondimento del tema e una discussione critica sulle potenzialità e i rischi connessi all’uso delle tecnologie digitali, che va anche al di là delle evidenze scientifiche disponibili, si rimanda all’opera citata (Vivanet, 2017).

che i dati disponibili mostrino un effetto non particolarmente significativo delle tecnologie sugli apprendimenti non giustifica, a nostro parere, che non si debba investire nell’innovazione tecnologia nella scuola, e questo per differenti ragioni. La prima, più immediata, nasce dalla semplice constatazione che i media digitali sono parte costitutiva della società odierna; per questo motivo, una scuola che non voglia creare una frattura rispetto alla realtà circostante non può tenere le tecnologie al di fuori delle sue pareti e dei curriculum di istruzione. Secondo, la letteratura mostra che, in misura minore o maggiore, tutti gli interventi didattici comportano un certo effetto di miglioramento degli apprendimenti (Hattie, 2009; 2016). A fronte di ciò, compito della ricerca dovrebbe essere fornire indicazioni utili a individuare – tra questi – quelli che hanno le più alte probabilità di produrre un significativo miglioramento delle conoscenze e competenze degli studenti. Terzo, dev’essere chiaro che quando parliamo di un “effetto moderato” ci riferiamo a un dato medio; questo, come tutte le medie, può “nascondere” condizioni più favorevoli e/o sfavorevoli in grado di influenzare gli esiti dell’insegnamento. Cercheremo



Istituto "E. Majorana" di Seriate (BG) presenta il proprio progetto "ABB VR Room" durante i Pitch days del concorso SI Fabbrica, 4-6 febbraio, 2019.

pertanto qui di fornire elementi utili a mettere in luce tali condizioni.

Nello studio della relazione tra tecnologie e apprendimenti, sono state sviluppate principalmente due prospettive di analisi:

1. quella della relazione tra investimenti sull'innovazione tecnologica e risultati scolastici;
2. quella della relazione tra interventi didattici mediati da tecnologie digitali e risultati scolastici.

Con riferimento alla prima, la più vasta indagine condotta a livello internazionale negli ultimi anni è quella pubblicata dall'*Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 2015), in cui si indagano le relazioni tra, da una parte, (i) investimento di risorse per le tecnologie nella scuola; (ii) dotazioni tecnologiche; (iii) utilizzo del computer per i compiti in classe e a casa; e, dall'altra, i risultati di profitto degli studenti

misurati sui test PISA. Acronimo di Programme for International Student Assessment, il test PISA è un'indagine internazionale condotta dall'OECD che ha come soggetti di indagine gli studenti quindicenni, di cui rileva le competenze in matematica, scienze, lettura, oltre che quelle in ambito finanziario, mettendo queste in correlazione con informazioni di contesto sulle pratiche educative nei paesi partecipanti. Il *report* prodotto è assai ricco di dati e spunti di riflessione; rimandiamo al riferimento bibliografico per tutti gli approfondimenti che merita (OECD, 2012). Tuttavia, il principale macro-dato che emerge è che nei sistemi di istruzione in cui si sono investite più risorse economiche per le tecnologie nella scuola non si sono registrati apprezzabili miglioramenti sul piano degli apprendimenti nella lettura, nella matematica e nelle scienze.

Risulta, ad esempio, che un uso limitato del computer per i compiti può essere più vantaggioso di un suo

totale inutilizzo, ma che livelli di utilizzo sopra la media OECD sono associati significativamente con risultati peggiori. Inoltre, nei paesi in cui è meno comune l'uso del computer per lo svolgimento dei compiti (sia a scuola sia a casa), i risultati degli studenti nella lettura migliorano più rapidamente di quanto non accada nei paesi in cui l'utilizzo è più frequente.

L'utilizzo del computer da parte degli studenti a scuola varia in modo significativo a seconda dei paesi e degli istituti scolastici stessi, e questa variabilità è spiegata in massima misura dalla reale condizione di dotazioni tecnologiche e di connessione internet nelle classi. Al di là di ciò, tuttavia, l'apertura degli insegnanti verso l'integrazione delle tecnologie nella propria attività didattica risulta dipendente anche (i) dall'effettiva accessibilità dei dispositivi in classe o in aule specificamente dedicate; (ii) dalla definizione di un curriculum dedicato allo sviluppo delle competenze digitali; e (iii) dalla preparazione professionale degli insegnanti all'uso didatticamente efficace delle tecnologie.

Infine, risulta che tra gli insegnanti, coloro che sono più inclini all'uso e meglio preparati per pratiche come lavori collaborativi e cooperativi, l'apprendimento individualizzato e il lavoro basato su progetti, risultano essere anche meglio predisposti all'uso delle risorse digitali.

Per quanto riguarda l'Italia, gli studenti che dichiarano di utilizzare il computer per lo svolgimento dei compiti a casa non ottengono risultati migliori nei test di lettura rispetto a coloro che non lo utilizzano mai (questo si ipotizza essere dovuto alla mancanza di competenze critiche digitali relative, ad esempio, a come effettuare una ricerca su Internet e come valutare la rilevanza di una informazione o la credibilità di una fonte).

Questi dati generali trovano conferma sostanziale nella rilevazione più recente OECD PISA 2018, in cui si riscontra che la disponibilità e la qualità delle risorse educative in generale, e delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (TIC) in particolare, non garantiscono di per sé migliori apprendimenti, se non "potenziate" dalla competenza dell'insegnante nell'uso di queste in modo didatticamente efficace (OECD, 2020). Sebbene infatti i dati più recenti mostrino che vi è un aumento della disponibilità di

dispositivi digitali, quali computer *desktop* e portatili, nelle scuole rispetto alla rilevazione precedente, tale incremento non risulta essere in media associato con le *performance* degli studenti. I risultati mostrano infatti che l'impatto di tali tecnologie sull'apprendimento rimane limitato, proprio perché non accompagnato da un adeguato sviluppo della professionalità docente.

Le indicazioni cui abbiamo fatto riferimento sono coerenti con quanto emerge dalla seconda prospettiva di analisi, quella sulla relazione tra interventi didattici mediati da tecnologie digitali e profitto scolastico.

Secondo la rassegna prodotta (e continuamente aggiornata) dall'*Education Endowment Foundation* (EEF)⁶, vi è ormai una consistente letteratura che conferma come le applicazioni tecnologiche nella scuola abbiano un effetto moderato sui risultati di apprendimento (pur anche in questo caso con un'ampia variabilità dei dati), a confronto di altri fattori con effetti più rilevanti e minori costi di implementazione, quali l'uso del *feedback* e le strategie meta-cognitive e per l'autoregolazione (Higgins *et al.*, 2012; EEF, 2019)⁷. Dai dati disponibili, appare improbabile che le prime possano produrre un effetto diretto sui secondi; piuttosto esse potenzialmente possono favorire il cambiamento nelle interazioni insegnamento-apprendimento, ad esempio supportando gli insegnanti nel fornire *feedback* più efficaci; utilizzare forme di rappresentazione più utili didatticamente o motivare gli studenti a fare più pratica.

⁶ Si tratta di una fondazione indipendente (istituita dal *Department for Education* del Regno Unito) impegnata nel miglioramento dei risultati scolastici degli studenti svantaggiati in Inghilterra. È oggi il principale istituto europeo impegnato nella produzione ed elaborazione di dati di sintesi secondo un orientamento *evidence-based*. Il sito web dell'EEF è ricco di risorse rivolte agli insegnanti e se ne raccomanda la consultazione (educationendowmentfoundation.org.uk). L'analisi citata si basa principalmente sul report di Higgins *et al.* (2012), in cui sono state sintetizzati i risultati di 48 meta-analisi relative all'impatto della tecnologia digitale sui risultati di apprendimento degli studenti di scuola primaria e secondaria.

⁷ I dati aggiornati sono disponibili all'indirizzo seguente: <https://educationendowmentfoundation.org.uk/evidence-summaries/teaching-learning-toolkit/>.

In generale, le evidenze emergenti dall'analisi dell'EEF suggeriscono che le tecnologie digitali dovrebbero essere usate preferibilmente per integrare/supportare le attività didattiche, piuttosto che rimpiazzare quelle tradizionali. Inoltre, emergono indicazioni a favore di attività in piccolo gruppo e dell'uso collaborativo delle tecnologie, che risultano essere più utili di quelle volte all'individualizzazione dell'apprendimento (sebbene alcuni alunni, in particolare i bambini più piccoli, possano aver bisogno di una guida su come collaborare in modo efficace e responsabile). I dispositivi digitali si dimostrano più efficaci se utilizzati in programmi limitati nel tempo in cui sia previsto un uso regolare e costante (circa tre volte a settimana nel corso di 5-10 settimane), e soprattutto ben allineati rispetto ai risultati di apprendimento. Chiare sono le evidenze inoltre a favore dell'uso delle tecnologie per il miglioramento delle competenze di lettura e di quelle matematico-scientifiche, mentre minori sono i benefici per le competenze di scrittura e il *problem solving*. Elemento che preme sottolineare è infine come la formazione professionale dell'insegnante all'uso delle tecnologie in chiave formativa si confermi essere un fattore rilevante per aumentare le probabilità di efficacia di queste ultime⁸.

Con riferimento specifico alla didattica a distanza in ambito scolastico, verso cui è stata particolarmente alta l'attenzione nel periodo emergenziale determinato dalla diffusione del virus Covid-19, tra le meta-analisi volte a indagarne l'efficacia, si ricorda quella del Dipartimento dell'Educazione statunitense (U.S. Department of Education, 2009). Da essa, risulta che gli studenti che hanno frequentato corsi a distanza (ES = 0,20⁹)

hanno avuto, in media, risultati di poco superiori rispetto a chi ha partecipato a corsi in presenza (ES = 0,05), mentre valori più elevati di efficacia sono stati registrati nelle ricerche in cui sono messi a confronto interventi ibridi o *blended* (ES = 0,35) che prevedono l'integrazione di attività didattiche a distanza e in presenza. Dallo stesso studio, emergono indicazioni circa l'importanza del ruolo-guida del docente e la maggiore efficacia delle strategie collaborative rispetto a quelle di studio individuale. In aggiunta, si nota che la variabile "tempo impegnato nello svolgimento delle attività" è l'unica altra variabile, oltre alla citata condizione *blended*, in grado di influenzare positivamente l'effetto sugli apprendimenti nei corsi *online*.

Al riguardo della didattica a distanza, tuttavia, preme sottolineare come il fatto che non ci sia un apprezzabile differenza tra condizioni a distanza e condizioni in presenza possa essere interpretato già di per sé come un dato positivo, sulla base del fatto che, a fronte di un livello di apprendimento che si mantiene sostanzialmente simile, si ottengono dei vantaggi su altri piani, quali: (i) il risparmio di tempo e costi sul lungo periodo (il medesimo corso può essere riproposto successivamente e fruito *on demand* dallo studente ogni volta che lo desidera); (ii) l'accesso al percorso, indipendente dalla sede e dai vincoli di tempo dello studente; (iii) le possibilità di personalizzazione.

Proseguendo nella nostra analisi, se queste tendenze generali trovano riscontri empirici sufficientemente convergenti in letteratura, come anticipato, dietro ai valori medi finora richiamati, appare importante indagare le condizioni più favorevoli che possono determinare migliori esiti sugli apprendimenti.

Oltre a quelle già esposte finora nella discussione, la già citata meta-analisi condotta da Hattie (2009) permette di evidenziare come vi siano alcune applicazioni tecnologiche che tendenzialmente registrano maggiori

8 L'insieme di questi dati è in linea con un'ampia e consolidata letteratura pregressa che si esprime nei termini di una *no significant difference* ("nessuna differenza significativa"; Russell, 1999) nel confronto sui risultati scolastici tra attività didattiche tradizionali e attività didattiche mediate da tecnologie. A simili conclusioni pervengono anche le ampie rassegne della letteratura condotte da Hattie (2009) e da Tamim *et al.* (2011).

9 Il valore qui riportato è espresso in termini di *effect size* (ES, "dimensione dell'effetto" o "ampiezza dell'effetto"; Coe, 2012), un indice statistico utilizzato tipicamente per quantificare l'effetto di dato intervento. Sull'interpretazione dei valori di ES il dibattito è aperto (Pellegrini *et*

al., 2018). Per avere un primo parametro di riferimento, Hattie (2009) stima un valore soglia di 0,40 per individuare gli interventi con effetto più significativo. Un altro studio più recente rilevante per la letteratura educativa, condotto da Kraft (2020), propone la seguente scala di valori: < 0,05 piccolo; tra 0,05 e 0,20 medio; > 0,20 grande.

effetti sugli apprendimenti¹⁰. In particolare, l'ambito che risulta essere più di beneficio è quello delle tecnologie impiegate con studenti con bisogni educativi speciali (BES) (ES = 0,57)¹¹. Evidenze positive in tal senso emergono anche dalla sintesi dell'EEF precedentemente citata, da cui risulta un *trend* sostanzialmente positivo nei risultati registrati negli studi che hanno indagato l'uso delle tecnologie con funzioni correttive e tutoriali con studenti a basso rendimento, con BES e, più in generale, provenienti da *background* svantaggiati (soprattutto come strumenti in grado di fornire un supporto intensivo e favorire il recupero del *gap* di tali studenti rispetto ai coetanei).

La letteratura specifica sui BES, in confronto al quadro generale finora dipinto, invita dunque a un – per quanto cauto – maggiore ottimismo relativamente ai benefici delle tecnologie¹². In particolare, le applicazioni rispetto alle quali possiamo formulare un'ipotesi più solida di efficacia sono i sistemi di *Computer Assisted Instruction* (CAI) (nella meta-analisi di Hattie, sotto le voci *Technology in other subjects* ES = 0,55 e *Information and Computer Technology* ES = 0,51)¹³; le tecniche di Comunicazione Aumentativa Alternativa (CAA); il *video modeling* e il *video prompting*¹⁴.

10 Hattie (2009) ha sintetizzato i risultati statistici di oltre 800 meta-analisi (in pratica, si tratta di una meta-analisi di meta-analisi), al fine di quantificare l'effetto di centinaia di fattori in grado di influenzare i risultati di apprendimento degli studenti in età scolastica. Successivamente lo stesso studioso ha aggiornato continuamente la sua analisi, includendo sempre maggiori fonti e analizzando nuovi fattori. Questi sono consultabili attraverso un database interattivo all'indirizzo seguente: visiblelearningmetax.com. I dati qui presentati sono tratti dai dati disponibili in tale database alla data del 10/12/2020.

11 Fonte: visiblelearningmetax.com/technology_with_learning_needs_students.

12 La cautela in questo caso è dovuta principalmente al fatto che si tratta di una letteratura scientifica meno matura, come già discusso in precedenti pubblicazioni (Vivanet, 2020).

13 Fonti: visiblelearningmetax.com/technology_in_other_subjects e visiblelearningmetax.com/information_and_computer_technology.

14 Per un approfondimento della letteratura di settore si rimanda a Vivanet (2020).

I sistemi CAI rappresentano una famiglia molto ampia di applicazioni, quali *software* tutoriali e di *drill and practice* (entrambe caratterizzati per una forte strutturazione degli obiettivi, contenuti e attività), oltre che simulazioni¹⁵. Le loro applicazioni sono più frequenti nelle discipline matematiche e scientifiche ed è interessante notare come, studiando i loro effetti sul rendimento, questi risultino potenziati quando combinati con approcci didattici di tipo costruttivista (anche se questo è più evidente nella scuola primaria), facendo intravedere una felice integrazione tra l'approccio più tipico dell'istruzione diretta e quello più caratteristico dei metodi collaborativi (Li, Ma, 2010). Ulteriori interessanti dati sull'efficacia dei sistemi CAI nell'ambito dell'educazione speciale derivano dalla sintesi di Mitchell (2014). Da sottolineare che i dati di Hattie cui facciamo qui riferimento mostrano evidenze di efficacia per i sistemi CAI, anche in contesti educativi non caratterizzati da BES, oltre che in ambiti disciplinari differenti dalle materie scientifiche.

Le tecniche di CAA consentono di esprimersi a coloro che vedono compromessa la propria capacità comunicativa attraverso l'uso di immagini che possono essere cliccate ad esempio su un *tablet*, con in aggiunta la funzionalità della sintesi vocale. Esse tipicamente sono impiegate al fine di incrementare le capacità comunicative naturali degli allievi o per fornire loro modi di comunicazione alternativi.

Infine, evidenze di efficacia abbastanza solide sono disponibili anche in riferimento ad alcune tecniche istruttive basate su video, quali il *video modeling* e il *video prompting*; che prevedono che lo studente apprenda determinate abilità attraverso l'imitazione ripetuta di comportamenti-modello a video. Si tratta di strategie strutturate, sequenzializzate, programmate e interattive, basate sulle teorie dell'apprendimento per imitazione (Bandura, 1977) e usate spesso con soggetti affetti da disturbo dello spettro autistico.

15 Tra gli archivi gratuiti di simulazioni digitali per l'istruzione si ricordano PHET (*Physics Education Technology*) *Interactive Simulations* (versione originale: phet.colorado.edu; versione italiana curata da Vito Garganese: phet.colorado.edu/it) e *go-Lab* (*Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School*; golabz.eu).



Laboratorio presso l'Istituto Tecnico Industriale "G. Feltrinelli" Milano, maggio 2018

Tra le applicazioni tecnologiche per le quali i dati di Hattie registrano valori di efficacia rilevanti vi sono inoltre i video interattivi ($ES = 0,54$)¹⁶ che consentono agli studenti di riprodurre più volte segmenti di video in modo non lineare e che, in aggiunta, appaiono collegati a una riduzione del carico cognitivo, a un incremento dell'attenzione e a una maggiore riflessione¹⁷.

Infine, dati più favorevoli si riscontrano per gli *Intelligent Tutoring Systems* (ITS), sistemi intelligenti di tutoraggio volti a fornire un supporto didattico individuale e a sviluppare e testare modelli sui processi cognitivi attivati nell'istruzione ($ES = 0,51$)¹⁸ e per

16 Fonte: [The Visible Learning™-interactive_video](#).

17 Sull'uso didatticamente efficace dei video nell'istruzione si suggerisce la consultazione della guida del *Center for teaching* della Vanderbilt University – Vanderbilt.edu/effective-educational-videos.

18 Fonti: [The Visible Learning™-intelligent-tutoring-systems](#).

l'uso di dispositivi mobili, quali *smartphones*, *e-readers*, *tablet* e *iPads* ($ES = 0,48$)¹⁹. Al riguardo di questi ultimi, tuttavia, i dati non sono sempre concordanti, in quanto secondo alcuni studi, tali strumenti sarebbero meno efficaci per la presa di appunti, in confronto al tradizionale "carta e penna" e al loro uso sarebbero connessi anche importanti rischi sul piano della distrazione degli studenti (OECD, 2020).

Più in generale, richiamando le indicazioni che Hattie (2009) trae dai suoi studi, ricordiamo che l'efficacia risulta maggiore quando: (i) l'insegnante è in grado di impiegare più strategie di insegnamento, adattandole alle diverse situazioni didattiche e offrendo così agli studenti opportunità multiple di apprendimento (pur tenendo sotto controllo il rischio di sovraccarico cogni-

19 Fonti: [The Visible Learning™-mobile~touch_device~tablets](#).

tivo); (ii) l'insegnante è stato precedentemente formato all'uso delle tecnologie a scopo didattico (e non puramente strumentale); (iii) lo studente, e non l'insegnante (né il computer), ha il controllo del processo di apprendimento; (iv) si ottimizza l'apprendimento tra pari (in coppia, piuttosto che da soli o in grandi gruppi) e il *feedback* (bidirezionale insegnante-studenti).

Tra questi, ci sembra particolarmente rilevante il punto relativo alla formazione degli insegnanti: in proposito, infatti, più studi convergono nel sottolineare la centralità. Tra essi, Bernard, Borokhovski e Schimid (2018) hanno condotto una ricerca di tipo quantitativo all'interno della letteratura relativa all'uso delle tecnologie in educazione, selezionando le meta-analisi di qualità più alta dal 1982 al 2015, pervenendo alla conclusione, tra le altre, che si evidenzia un gap tra l'evoluzione molto rapida delle tecnologie educative e la preparazione pedagogica e didattica dei docenti al loro uso. Questo conduce a un utilizzo spesso dettato da un eccessivo entusiasmo al quale però non corrisponde un'adeguata competenza e capacità di lettura dello strumento tecnologico scelto²⁰.

Terminato questo *excursus* più generale sull'efficacia dell'istruzione mediata dalle tecnologie, di seguito ci concentreremo sul tema della didattica laboratoriale nell'era digitale.

1.2. La didattica laboratoriale nell'era digitale

I più recenti documenti di indirizzo del MIUR per l'istruzione scolastica rilanciano una strategia complessiva per l'innovazione tecnologica della scuola italiana (MIUR, 2015). Lo stesso concetto di scuola viene ripensato come spazio aperto per l'apprendi-

²⁰ Peraltro, quella delle competenze nelle tecnologie digitali è, insieme a quella dei BES, l'area in cui, secondo le indagini internazionali più recenti sulla professionalità docente, è maggiormente avvertita l'esigenza formativa degli insegnanti (OECD, 2019). Un utile riferimento in tal senso è rappresentato dal *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu* (Redecker, Punie, 2017; ed. it. Bocconi *et al.*, 2018) che fornisce un quadro di riferimento a coloro che operano in ambito educativo per la definizione di modelli di competenza digitale e della formazione; per la verifica del proprio livello di "competenza pedagogica digitale"; e per lo sviluppo ulteriore di quest'ultima.

mento, ponendo al centro non tanto le tecnologie in sé, quanto i nuovi modelli di interazione didattica che utilizzano queste ultime.

All'interno di tale prospettiva, vi è un richiamo esplicito al ruolo strategico della didattica laboratoriale: "*si deve accompagnare un'idea nuova di potenziamento e rivisitazione dei laboratori scolastici, con l'obiettivo di renderli ambienti associati all'innovazione e alla creatività digitale nella scuola primaria e nella scuola secondaria di primo grado, e che aggiornino la dimensione professionalizzante e caratterizzante delle scuole superiori in chiave digitale*" (MIUR, 2015, p.28).

Al riguardo, sebbene la didattica laboratoriale sia una strategia di insegnamento con una lunga tradizione e forti radici (si pensi all'eredità lasciata da studiosi dell'educazione quali Pestalozzi, Dewey, Decroly, Montessori e Vygotskij), dobbiamo riconoscere che il concetto di *laboratorio scolastico* sia spesso usato in letteratura senza che sia possibile rintracciarne una definizione sufficientemente condivisa (Hofstein, Mamlok-Naaman, 2007).

Esso è usato genericamente per fare riferimento a esperienze in ambienti scolastici in cui gli studenti interagiscono con dei materiali per osservare e comprendere il mondo naturale (seguendo l'approccio dell'attivismo pedagogico di origine deweyana). Tuttavia, tali esperienze possono differenziarsi ampiamente nelle loro modalità: individuale, in piccoli o grandi gruppi; con una guida e grado di strutturazione delle attività da parte dell'insegnante molto variabile; includendo sperimentazioni e progetti portati avanti per settimane o attività della durata di pochi minuti; sfruttando una ricca strumentazione o eliminando del tutto il supporto di quest'ultima. Da ciò ne deriva che appare più corretto parlare di *strategie didattiche laboratoriali* piuttosto che di una unica forma di didattica laboratoriale.

In ogni caso, indipendentemente dalla variabilità di queste, si tratta di strategie che assumono un ruolo fondamentale per l'apprendimento scientifico (Hofstein, Mamlok-Naaman, 2007), potenzialmente in grado di supportare gli studenti, se ben progettate, nel raggiungimento di differenti obiettivi, come definiti dal National Research Council (NRC, 2006) e riportati nella tabella 1.2.

Nel riconoscere – per le ragioni suddette – la rilevanza delle esperienze laboratoriali nell'educazione STEM (ma non solo), dobbiamo anche ammettere che differenti ordini di problemi possono limitare l'uso di simili strategie nella scuola. Mettendo per un attimo da parte quelli legati alla formazione degli insegnanti – su cui torneremo a breve – potremmo ricordare i costi spesso elevati, imputabili all'allestimento dei laboratori (es. acquisto di strumentazioni e materiali di consumo) e alla loro manutenzione; la necessità di qualifiche tecniche specializzate per la gestione di laboratori avanzati; la disponibilità di locali conformi; le difficoltà e i potenziali rischi connessi all'utilizzo di strumenti sofisticati e sostanze.

A fronte di tali problematiche, il mondo delle tecnologie digitali offre interessanti opportunità, rappresentando talvolta l'unica alternativa percorribile per la messa in pratica di una didattica laboratoriale. Al riguardo, due sono le principali opzioni di laboratori *online* per la scuola: i laboratori remoti e quelli virtuali.

I *laboratori remoti* possono essere definiti dei sistemi misti virtuale-reale che permettono agli studenti di condurre a distanza attività laboratoriali, interagendo con strumenti e/o componenti di un laboratorio fisico.

I *laboratori virtuali* possono invece essere definiti dei sistemi interamente virtuali (*software*) che consentono allo studente di interagire con un ambiente

Tabella 1.2 – Obiettivi della didattica laboratoriale (adattati da NRC, 2006)

Obiettivo	Descrizione
Migliorare la padronanza della materia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Favorire la comprensione dei concetti scientifici, delle loro relazioni, e di specifici fenomeni
Sviluppare il ragionamento scientifico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promuovere la capacità di uno studente di formulare domande e definire concetti che guidano le indagini scientifiche ▪ Progettare e condurre sperimentazioni ▪ Sviluppare e rivedere modelli scientifici ▪ Riconoscere e analizzare modelli alternativi ▪ Sviluppare e difendere un'argomentazione
Comprendere la complessità e l'ambiguità del lavoro empirico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comprendere concretamente la complessità e l'ambiguità intrinseche dei fenomeni naturali ▪ Imparare a fare osservazioni e manipolazioni controllate ed effettuare misurazioni ▪ Comprendere come gestire e interpretare i dati e gli errori di misurazione
Sviluppare abilità pratiche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imparare le procedure e l'utilizzo degli strumenti per l'indagine scientifica
Comprendere la natura della scienza	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acquisire consapevolezza circa i valori e i presupposti inerenti allo sviluppo e all'interpretazione della conoscenza scientifica, come l'idea che la scienza è un prodotto della mente umana volta alla comprensione del mondo naturale e come le teorie, i modelli e le spiegazioni scientifiche cambiano nel tempo sulla base di nuove conoscenze
Coltivare l'interesse per la scienza e per l'apprendimento delle scienze	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sviluppare la motivazione degli studenti verso la scienza e coglierne la rilevanza per la vita quotidiana
Sviluppare capacità di lavoro di squadra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promuovere la capacità di uno studente di collaborare efficacemente con gli altri nello svolgimento di compiti complessi, di condividere il lavoro, di assumere ruoli diversi in momenti diversi e di contribuire allo sviluppo delle idee

digitale per condurre attività laboratoriali simulate e/o manipolare le rappresentazioni digitali di strumenti e/o componenti di un laboratorio fisico.

Ai laboratori remoti e virtuali, in confronto coi laboratori tradizionali, possono essere riconosciuti diversi vantaggi e svantaggi, come presentato nella tabella 1.3, tali per cui essi possono essere pensati come risorse complementari, da integrare nella didattica per sfruttare i punti di forza di ciascuno e offrire delle esperienze di apprendimento significativo. La tabella è un adattamento di quella presentata da Hernandez-de-Menéndez *et al.* (2019), derivante da una

rassegna della letteratura su esperienze di laboratorio condotte in ambito ingegneristico.

Al fine di massimizzare il potenziale educativo delle esperienze laboratoriali, in modalità remota o virtuale, assume una rilevanza strategica la formazione degli insegnanti all'uso efficace di tali strategie e tecnologie. Si tratta di un tema che abbiamo già visto emergere come centrale discutendo la relazione tra applicazioni tecnologiche e apprendimenti scolastici e che assume medesima significatività nell'ambito della didattica laboratoriale, come sottolineato dalla *National Science Teachers Association* (NSTA, 2007). Da quest'ultima,

Tabella 1.3 – Vantaggi e svantaggi associati ai laboratori online (adattati da Hernandez-de-Menéndez *et al.*, 2019)

Laboratorio	Possibili vantaggi	Possibili svantaggi
Tradizionale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valorizza la fisicità dell'esperienza di apprendimento (manipolazione diretta) ▪ Favorisce l'interazione sociale diretta tra gli studenti e tra questi e l'insegnante (in linea con le teorie socio-costruttiviste dell'apprendimento) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi elevati iniziali e per la manutenzione ▪ Limita il numero di studenti che possono condurre una sperimentazione contemporaneamente ▪ Rischi connessi alla manipolazione impropria dell'attrezzatura
Virtuale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi ridotti per la dotazione software e pressoché nulli per il mantenimento ▪ Più studenti possono condurre una sperimentazione simultaneamente ▪ È possibile semplificare i modelli per rendere più comprensibili fenomeni complessi ▪ Può consentire agli studenti di osservare e manipolare fenomeni altrimenti non esperibili ▪ Non vi sono rischi di danno alle attrezzature ▪ Replicabilità delle sperimentazioni ▪ Possibilità di condurre certe sperimentazioni senza i limiti di tempo occorrenti nei processi naturali 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mancanza di fisicità nell'esperienza di apprendimento ▪ Interazione sociale limitata e comunque sempre mediata dal software ▪ Rischio di deviazione dell'attenzione sulla simulazione, invece che sull'obiettivo di apprendimento ▪ In alcuni domini, limitata fedeltà della rappresentazione digitale del mondo naturale ▪ Il fatto che non vi siano rischi connessi alla manipolazione può ridurre l'attenzione dello studente, la sua serietà nel condurre l'esperimento e il livello di attenzione ▪ La semplificazione dei modelli può limitare la comprensione della complessità del fenomeno naturale
Remoto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Può fornire un modo per condividere competenze e risorse ▪ La sua flessibilità amplia la disponibilità di tempo e luoghi in cui può essere utilizzato ▪ Apparecchiature e <i>software</i> costosi/complessi possono essere utilizzati in luoghi diversi ▪ Gli studenti, in sedi diverse, possono usufruire degli stessi vantaggi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi elevati per l'allestimento e la manutenzione (dati dalla somma di quelli per il laboratorio fisico e della strumentazione software per il controllo a distanza) ▪ Potrebbero essere percepiti dallo studente come non realistici e associati ai laboratori simulati

al fine di fornire agli insegnanti il supporto necessario per guidare le indagini di laboratorio come parte integrante del proprio curriculum, derivano alcune raccomandazioni fondamentali, quali:

- garantire continue opportunità di sviluppo professionale, in modo che gli insegnanti di scienze, anche tramite ripetute esperienze pratiche, possano acquisire le competenze pedagogiche alla base delle strategie didattiche laboratoriali, adeguate ai differenti contesti e contenuti scientifici, e quelle per la valutazione degli apprendimenti degli studenti;
- assicurare la formazione sui BES, in modo che gli insegnanti possano differenziare le strategie didattiche garantendo un'istruzione efficace a tutti gli studenti, fornendo inoltre, a seconda delle neces-

sità, risorse di supporto e personale educativo aggiuntivo;

- verificare annualmente il grado di integrazione delle attività laboratoriali nel programma di insegnamento e l'efficacia didattica di queste ultime;
- garantire una formazione continua sulla logistica del laboratorio, che includa le procedure per la gestione della strumentazione e dei materiali di consumo e quelle per la sicurezza (NSTA, 2000).

Messi in luce alcuni nodi centrali del tema oggetto qui del nostro interesse, nella sezione successiva, ci si concentrerà specificamente sull'educazione STEM, andando ad analizzare i risultati che la ricerca ha raccolto sul rapporto tra tecnologie e apprendimenti e discutendone in sintesi le evidenze emergenti.

2. TECNOLOGIE E APPRENDIMENTI NELL'EDUCAZIONE STEM¹



Braccio Robot Festo, Istituto Tecnico Professionale “Ponti” di Gallarate (VA), giugno 2018

2.1. I risultati della ricerca

In questo capitolo si presenteranno i risultati di ricerca tratti da una selezione di sintesi della ricerca internazionale (revisioni sistematiche e meta-analisi; Tabella 2.1) relative all’impatto di differenti tecnologie sull’apprendimento. In particolare, saranno prima descritti e confrontati i risultati delle rassegne

incentrate su due strumenti digitali altamente interconnessi tra loro come le simulazioni e i giochi educativi (Paragrafo 2.1.1); seguirà un approfondimento relativo alle applicazioni educative rese possibili dallo sviluppo della tecnologia mobile (Paragrafo 2.1.2); successivamente, ci si concentrerà sugli studi relativi alla realtà aumentata e virtuale che permettono esperienze immersive e multisensoriali applicate all’educazione scolastica (Paragrafo 2.1.3); per finire

¹ Daniela Fadda.

Tabella 2.1 – Rassegna di studi relativi alle nuove tecnologie

Autore	Anno	Titolo	Rivista	Tipologia rassegna	Numero di studi	Anni di riferimento	Tipo di tecnologia	Livello scolastico	Area disciplinare
D'Angelo <i>et al.</i>	2016	Learning with STEM Simulations in the Classroom: Findings and Trends from a Meta-analysis	Educational Technology	Meta-analisi	59	1991-2012	Simulazioni	K-12	STEM
Boyle <i>et al.</i>	2016	An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games	Computers & Education	Rassegna	143	2009-2014	Giochi digitali	> 14 anni	STEM e letteratura
Lamb <i>et al.</i>	2018	A meta-analysis with examination of moderators of student cognition, affect, and learning outcomes while using serious educational games, serious games, and simulations	Computers in Human Behavior	Meta-analisi	46	2002-2015	Giochi digitali e simulazioni	K6-12 e alta educazione	STEM
Bano <i>et al.</i>	2018	Mobile learning for science and mathematics school education: A systematic review of empirical evidence	Computers & Education	Rassegna	49	2003-2016	Applicazioni-mobili	12-18 anni	STEM
Gao, Sun	2020	A systematic review of mobile game-based learning in STEM education	Educational Technology Research and Development	Rassegna	30	2010-2019	Giochi digitali mobili	K-12 e alta educazione	STEM
Merchant <i>et al.</i>	2014	Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis	Computers & Education	Meta-analisi	67	fino al 2011	Mondo virtuale, simulazioni e giochi digitali	K-12 e alta educazione	STEM e apprendimento
Ibáñez, Delgado-Kloos	2018	Augmented reality for STEM learning: A systematic review	Computers & Education	Rassegna	28	2010-2017	Realtà aumentata	K-12 e alta educazione	STEM
Pellas <i>et al.</i>	2020	A Scoping Review of Immersive Virtual Reality in STEM Education	IEEE Transaction on learning Technologies	Rassegna	41	2009-2019	Realtà virtuale	K-12 e alta educazione	STEM
Xia, Zhong	2018	A systematic review on teaching and learning robotics content knowledge in K-12	Computers & Education	Rassegna	22	precedenti al 2017	Robotica	K-12	STEM
Popat, Starkey	2019	Learning to code or coding to learn? A systematic review	Computers & Education	Rassegna	10	1998-2017	Coding	K-12	STEM e apprendimento

col campo della robotica educativa inclusa l'attività di *coding* (Paragrafo 2.1.4).

2.1.1. Simulazioni e giochi digitali

Le simulazioni sono ambienti di apprendimento digitale interattivi che, imitando un processo o un sistema fisico, consentono agli studenti di esplorare fenomeni reali o ipotetici in modi e tempi che normalmente non sarebbero possibili in una classe (Merchant *et al.*, 2014). Si differenziano dalle semplici visualizzazioni al computer, perché sono caratterizzati da un modello sottostante basato su fenomeni naturali o scientifici e perché includono una certa interattività da parte dell'utente come la capacità di impostare dei parametri per manipolare il fenomeno sotto esame (D'Angelo *et al.*, 2016). Le simulazioni, tentando di ricreare un mondo il più reale possibile, sono spesso utilizzate come base per la realizzazione di giochi digitali e a volte le differenze tra le due forme di istruzione digitale appaiono molto sfumate.

Per comprendere appieno come un gioco digitale differisca da una simulazione si devono tenere in considerazione gli aspetti che lo costituiscono. Un gioco digitale è caratterizzato da un insieme uniforme di regole e obiettivi che governano le azioni dei giocatori e da un sistema di ricompensa, mentre la simulazione chiede allo studente di concentrarsi su uno specifico fenomeno o processo senza chiari obiettivi (D'Angelo *et al.*, 2016).

I giochi digitali educativi (*serious game*) sono progettati per creare esperienze di apprendimento coinvolgenti, dove l'intento è imparare piuttosto che divertirsi. Si caratterizzano per la presenza di sfide adattive, un coinvolgimento emotivo associato ai risultati delle azioni svolte, un *feedback* continuo, stimoli sensoriali e una trama narrativa legata agli obiettivi di apprendimento (Lamb *et al.*, 2018).

Di seguito sono riportati i risultati di tre studi di revisione della letteratura che ci forniscono informazioni interessanti sull'utilizzo e sul confronto dei giochi digitali e delle simulazioni educative per favorire risultati di apprendimento in campo scientifico.

D'Angelo *et al.* (2016)

Gli autori, tramite una meta-analisi, analizzano i benefici delle simulazioni educative in campo STEM per gli studenti di scuola primaria e secondaria.

Risultati

- La maggioranza delle simulazioni in campo STEM riguarda argomenti relativi alle *scienze naturali*. Pochi studi hanno trattato simulazioni relative alla matematica e alla tecnologia.
- I risultati di apprendimento dei 59 studi esaminati in questa meta-analisi rientrano in tre grandi categorie: *rendimento*, *indagine scientifica/ragionamento e risultati non cognitivi* (ad es., atteggiamenti nei confronti della scienza). Tre quarti dei risultati erano relativi al rendimento, mentre il resto era diviso in modo uniforme tra le altre due categorie.
- Metà dei risultati provenivano da studi che confrontavano le simulazioni con una condizione di controllo (di solito basata su una lezione) senza simulazioni e l'altra metà proveniva da studi che confrontavano una simulazione con una sua versione modificata al fine di testare caratteristiche specifiche di interesse (come *scaffolding*² per gli studenti e certi tipi di *feedback*).
- Riguardo il *rendimento* degli studenti, quando le simulazioni sono state confrontate con istruzioni di tipo convenzionale, si è trovato un effetto significativo a favore delle simulazioni ($ES = 0,62$). Variabili quali la dimensione del gruppo, la regione del mondo in cui è avvenuto l'intervento e il gruppo di età non sembrano influenzare questi risultati. Risulta significativo il *numero di sessioni dell'intervento*; gli studi in cui la simulazione è stata utilizzata durante 4-6 sessioni hanno avuto un effetto maggiore rispetto agli studi che hanno impiegato un numero maggiore o minore di sessioni.

² Letteralmente "impalcatura"; utilizzato per la prima volta da Bruner nel 1976 (Wood *et al.*, 1976), rappresenta l'insieme delle azioni di sostegno del docente per la risoluzione di un problema o compito nelle fasi iniziali di apprendimento.

- Quando le simulazioni sono state modificate per includere ulteriori miglioramenti (es. *scaffolding*, rappresentazioni grafiche rispetto a quelle testuali, *feedback* tattile, attività pratiche di laboratorio, apprendimento collaborativo) e poi confrontate con le loro versioni originali non modificate, le simulazioni modificate hanno avuto un effetto sul rendimento degli studenti (ES = 0,49) moderatamente superiore alla loro versione originale.
- I risultati relativi alle *capacità di indagine/ragionamento* e agli *aspetti non cognitivi* sono stati positivi e significativi, ma dovrebbero essere interpretati con cautela a causa del basso numero di studi in ciascuna categoria.
- Durante le indagini sull'efficacia delle simulazioni, la maggior parte degli studi ha utilizzato *valutazioni di tipo carta e matita* progettate dai ricercatori. Anche quando le simulazioni al computer sono state utilizzate sia in condizioni sperimentali che di controllo, la maggior parte delle valutazioni somministrate non erano basate sulla tecnologia. In generale le *valutazioni incorporate all'interno della tecnologia* utilizzata nell'intervento sono risultate associate a maggiori risultati di apprendimento rispetto a quelle carta-matita o a quelle basate su una tecnologia diversa rispetto a quella di apprendimento.
- I giochi digitali possono essere di vario genere. I *giochi di simulazione* sono stati quelli maggiormente utilizzati in campo educativo (n = 24), seguiti dai giochi di ruolo (n = 12), giochi di esercizio e pratica (n = 9), giochi di ruolo in rete multi-giocatore (n = 8), giochi di strategia (n = 8), *puzzle* (n = 6) e giochi di avventura (n = 4).
- La piattaforma maggiormente utilizzata per i giochi educativi è il pc anche se sta aumentando l'utilizzo dei giochi *on-line*.
- Gli autori hanno ripreso la classificazione di Connolly *et al.* (2012) relativa ai *risultati di apprendimento* per i giochi educativi dividendoli in: acquisizione di conoscenza (n = 42), acquisizione di abilità (n = 8), risultati percettivi e cognitivi (n=9), fisiologici (n = 0), affettivi (n = 5), cambiamenti comportamentali (n = 3) e abilità sociali (n = 5).
- Gli studi sperimentali che hanno valutato l'efficacia dei giochi digitali educativi per l'acquisizione di conoscenze, riportano che il *gioco produce prestazioni migliori rispetto alla condizione di controllo*. Inoltre, i giochi educativi producono *cambiamenti comportamentali positivi*, sono altamente *coinvolgenti* e migliorano la *cognizione* e la *percezione* (es. acuità visiva centrale e periferica, attenzione selettiva e memoria) degli studenti.
- Il *design* adottato negli studi era correlato ai risultati di apprendimento, con progetti di qualità superiore (esperimenti) utilizzati per gli interventi sull'acquisizione di conoscenze, capacità percettive, cognitive e fisiologiche.
- Da segnalare che tramite delle interviste (metodo qualitativo) è apparso che gli insegnanti della scuola secondaria sembrano meno favorevoli all'utilizzo dei giochi digitali per l'acquisizione di competenze in classe rispetto agli insegnanti della scuola primaria e che quelli che normalmente utilizzano *social media* e giochi mostrano avere le maggiori conoscenze teoriche e pratiche sull'argomento.

Boyle *et al.* (2016)

Gli autori aggiornano i risultati di una loro precedente revisione sistematica relativa all'evidenza empirica dell'impatto dei giochi digitali sull'apprendimento (Connolly *et al.*, 2012), offrendo un quadro utile per organizzare la ricerca in questo settore.

Risultati

- Gli studi presenti in letteratura sostengono empiricamente i benefici dei giochi digitali sull'apprendimento con un *trend di crescita rispetto al passato*. Si è passati infatti da 129 prove empiriche dei risultati positivi dei giochi nella precedente revisione alle 512 attuali.
- L'area delle discipline STEM ha coinvolto in particolare quella delle *scienze naturali* e dell'*informatica*.

Lamb *et al.* (2018)

Nella loro meta-analisi, gli autori comparano quantitativamente i risultati degli studi presenti in letteratura che

si sono interessati all'effetto dei giochi digitali e delle simulazioni educative sull'apprendimento nelle scienze.

Risultati

- Le simulazioni e i giochi digitali hanno effetti significativi per gli studenti di scuola secondaria di primo (ES = 0,51) e secondo grado (ES = 0,38).
- La durata del trattamento varia da studio a studio (da una sessione a l'intero anno scolastico) ma la maggior parte dei trattamenti sono stati a *breve termine*. In ogni caso la durata del trattamento non è risultato essere un predittore significativo dell'effetto.
- I giochi educativi hanno un impatto maggiore sull'apprendimento (ES = 0,80) rispetto alle simulazioni (ES = 0,63) e ai giochi digitali in cui non è presente uno specifico approccio pedagogico (ES = 0,50).
- In generale, questi strumenti tecnologici hanno un impatto maggiore quando vengono utilizzati per il *miglioramento di specifiche abilità* (ES = 0,82), piuttosto che per sviluppare *processi cognitivi* (ES = 0,67) e *affettivi* (ES = 0,51).
- L'uso di *rappresentazioni tridimensionali* (ES = 0,50) sembra fornire una maggiore stimolazione cognitiva, immersione, realismo e autenticità del compito rispetto a quella bidimensionale (ES = 0,10), aumentando la capacità dello studente di praticare, apprendere contenuti e risolvere problemi in un contesto più ampio.

2.1.2. Applicazioni mobili

Data la proliferazione negli ultimi anni dei dispositivi mobili come *smartphone* e *tablet* si è voluto dare uno spazio alle applicazioni mobili (comprendendo anche le applicazioni di giochi digitali, progettate per scopi educativi). Attraverso i dispositivi mobili gli studenti hanno la possibilità di imparare in qualsiasi luogo e in qualsiasi momento, con un notevole aumento della flessibilità dell'apprendimento. Oltre che dagli studenti nei contesti scolastici e di vita quotidiana, i dispositivi mobili possono essere efficacemente utilizzati all'interno della classe dall'insegnante. I vantaggi interattivi di questi dispositivi, con particolare riferimento ai *tablet*, sono infatti comparabili a

quelli delle più utilizzate Lavagne Interattive Multimediali (LIM) ma, mentre tutto ciò che può essere fatto con una LIM può essere fatto anche con un *tablet*, non è necessariamente vero il contrario garantendo, il primo, maggiore flessibilità (anche di movimento fisico) sia all'insegnante sia agli studenti.

In questo paragrafo, vengono riassunti i risultati di due revisioni sistematiche che indagano le potenzialità delle applicazioni educative sviluppate per dispositivi mobili con lo scopo di favorire l'apprendimento scientifico degli studenti.

Bano et al. (2018)

Questo studio di revisione della letteratura ha voluto analizzare l'evidenza empirica relativa al ruolo delle applicazioni mobili, comprese quelle basate sul gioco, per l'apprendimento della matematica e delle scienze nella scuola secondaria.

Risultati

- La maggior parte degli studi (n = 22) ha riguardato meno di 50 partecipanti con *interventi di breve durata* (meno di un mese) per il 68% degli studi indagati.
- Il metodo di indagine è tipicamente qualitativo (63% degli studi) come studi di casi e interviste. Gli studi quantitativi di tipo sperimentale e quasi-sperimentale sono stati usati solo nel 31% dei casi.
- L'obiettivo principale di tutti gli studi è stato di indagare *l'efficacia delle tecnologie / applicazioni mobili (app) per l'apprendimento degli studenti*. Alcuni studi hanno considerato aspetti pedagogici quali: l'apprendimento collaborativo, il coinvolgimento degli studenti e l'apprendimento costruttivista.
- Il 55% degli studi ha utilizzato un'app per l'apprendimento delle scienze, il 39% della matematica e il 6% le considera entrambe. I domini scientifici più indagati riguardano le *scienze ambientali*, seguite da *geografia e fisica*.
- La maggior parte dei ricercatori (59%) ha preferito *sviluppare autonomamente l'app*, piuttosto che utilizzare quelle già in commercio, con risultati che sono quindi difficilmente replicabili.



Stand di Progetto SI alla Fiera SPS IPC Drives, Parma, 28-30 maggio 2019

- Gli studi inclusi nella rassegna hanno valutato l'uso di un'ampia gamma di app e tecnologie per l'apprendimento (si rimanda alla lettura dell'articolo per una lista dettagliata delle app divise per dominio e contesto di applicazione). *Math4Mobile* è l'unica app analizzata in diversi studi; viene fatto largo uso della "realtà aumentata".
- Sebbene non tutti gli studi riportino un approccio pedagogico alla base dell'intervento, quello che si ritrova più frequentemente è l'*apprendimento collaborativo* (n = 13), seguito dall'*apprendimento basato sull'indagine* (n = 11), su *progetti/problemi* (n = 9) e sul *gioco* (n = 7). Nell'apprendimento collaborativo gli studenti erano invitati a lavorare e discutere in gruppo per il raggiungimento di obiettivi condivisi.
- Nonostante la mobilità sia un vantaggio chiave di questa tecnologia, il 44% degli studi è stato svolto all'interno di *ambienti di apprendimento tradizionali* come l'aula o il laboratorio scolastico, il 27% in un *contesto semi-formale* come cortili, musei o gite scolastiche e solo uno studio si è svolto in *contesti quotidiani* a scelta dello studente, come treni, caffè e parchi.
- Gli studi che usano un approccio basato sul gioco, sono per lo più svolti in un ambiente di apprendimento formale.
- Nel contesto formale, gli studi che utilizzano paradigmi quantitativi (es. studi sperimentali) hanno riportato maggiori risultati rispetto a quelli condotti con un paradigma qualitativo (es. interviste).

- Gli studi che hanno utilizzato *l'approccio pedagogico dell'apprendimento collaborativo* hanno raggiunto in misura maggiore i risultati di apprendimento voluti rispetto agli altri approcci. Tutti gli studi basati sul *gioco* hanno raggiunto i loro risultati di apprendimento.
- Nelle *scienze* gli studi utilizzano maggiormente l'apprendimento basato sull'indagine, l'apprendimento collaborativo e l'apprendimento basato sul gioco, mentre in *matematica* gli approcci pedagogici dominanti negli studi sono l'apprendimento collaborativo e quello basato su progetti/problemi.
- Nel dominio della scienza, contrariamente a quello della matematica, si osserva che gli studi ottengono maggiori risultati, indipendentemente dalla pedagogia sottostante, quando l'app è auto-sviluppata.
- È interessante notare che solo una minoranza degli studi ha riportato come unici risultati di apprendimento quelli relativi alle sole conoscenze matematiche o scientifiche apprese dagli studenti.

Gao et al. (2020)

Gli autori hanno condotto una revisione sistematica per comprendere il potenziale dei giochi digitali mobili sull'apprendimento nell'educazione STEM.

Risultati

- Un terzo degli studi è stato condotto su campioni da 50 a 100 studenti. In due terzi degli studi l'intervento è durato *meno di cinque giorni*, con solo tre studi in cui l'intervento si è prolungato più di un mese.
- Nella maggior parte degli studi è stata coinvolta l'area delle *scienze* (n = 18) seguita da quella *matematica* (n = 11) e *ingegneristica* (n = 2).
- Circa la metà degli studi (n = 13) ha affrontato l'efficacia dei giochi mobili in generale, mentre i rimanenti 17 studi avevano interessi specifici. Tre articoli erano incentrati sul *coinvolgimento degli studenti*, due articoli riguardavano il *miglioramento della collaborazione* tra pari o le capacità di *problem solving collaborativo*. Cinque articoli erano focalizzati su *caratteristiche specifiche di design* e sette erano incentrati esclusivamente sulle *percezioni ed esperienze* degli studenti.
- Riguardo la misura dei *risultati di apprendimento*, la maggior parte degli studi si è interessato alla misurazione della *prestazione* degli studenti (n = 15). In generale, gli studenti che possono usufruire dei giochi digitali mobili hanno delle prestazioni maggiori in termini di risultati accademici, rispetto agli studenti nella condizione di istruzione tradizionale.
- Per quanto riguarda la *componente affettiva*, molti studi hanno indagato la soddisfazione e l'attitudine verso l'esperienza di apprendimento (n = 12), riportando che gli studenti trovano i giochi piacevoli, divertenti e interessanti ma pochi studi si interessano alla motivazione verso la materia di studio (n = 4). Questo aspetto è importante perché la *motivazione verso la materia ha una forte connessione con l'apprendimento futuro* e le scelte di carriera. In particolare, i giochi digitali sembrano aumentare la motivazione soprattutto in termini di auto-efficacia verso la materia di studio.
- La percezione degli studenti riguardo le proprie capacità di apprendimento è poco indagata. In generale sembra che le attività di apprendimento basate sul gioco mobile influenzino la capacità di *collaborazione* percepita dagli studenti e quella di *risoluzione dei problemi*.
- Da segnalare la *preoccupazione degli insegnanti* riguardo il fatto che l'uso di uno smartphone possa disturbare l'apprendimento degli studenti, sebbene essi in generale appaiano concordare sul fatto che il gioco mobile sia uno strumento utile per l'apprendimento.
- Gli aspetti legati alle *differenze di genere* andrebbero ulteriormente esaminati, ma in generale è apparso che i ragazzi apprezzano l'uso della tecnologia e il divertimento puro; le ragazze sono interessate alla narrazione e apprezzano gli aspetti legati al perseguimento degli obiettivi. Sebbene entrambi gradiscano la collaborazione, i ragazzi sono attratti più delle ragazze dal senso di competizione. Non emergono particolari differenze in termini di

apprendimento, anche se le ragazze appaiono solitamente più veloci nel completare le missioni applicando i concetti appresi.

- Per comprendere appieno l'influenza dei giochi digitali mobili sull'apprendimento, è necessario indagare meglio diversi fattori, inclusi i livelli iniziali di rendimento degli studenti, l'età o il tipo di scuola.
- I risultati hanno mostrato che le *diverse caratteristiche dei dispositivi* (peso e dimensione) non avevano alcuna influenza sulla conoscenza acquisita, coinvolgimento, soddisfazione e facilità d'uso degli studenti. Quindi sia i *tablet* sia gli *smartphone* sembrano ugualmente adatti per i giochi educativi.
- Le *funzionalità* di gioco più utilizzate sono i punteggi (punti, monete, stelle), la narrazione e i livelli.
- Il 60% degli studi ha menzionato le *teorie o i principi di apprendimento* alla guida del *design* del gioco. Questi includono i principi di apprendimento di Gee (2003), la teoria dell'intelligenza multipla di Gardner (1983), i principi di apprendimento basato sul gioco digitale di Prensky (2001), la tassonomia delle motivazioni intrinseche di Malone e Lepper (1987) e la teoria del flusso di Csikszentmihalyi (1997).
- La *connettività* e l'*individualità* dovrebbero essere caratteristiche incluse nei giochi perché permettono di interagire e confrontarsi con altri giocatori e supportano un apprendimento adattivo e personalizzato, in grado sia di cambiare la quantità di tempo concesso agli studenti per risolvere ogni problema sia di fornire suggerimenti espliciti quando gli studenti rispondono o agiscono in modo sbagliato.

2.1.3. Realtà aumentata e realtà virtuale

La realtà virtuale e quella aumentata rappresentano delle forme di tecnologia immersiva e multisensoriale che cerca di emulare un mondo fisico attraverso i mezzi di un ambiente digitale o simulato creando nello studente un senso di immersione, più o meno forte, in una realtà che non sarebbe altrimenti possibile rappresentare e indagare in un'aula.

La caratteristica principale della realtà virtuale è quella di rappresentare un ambiente aperto che,

diversamente all'ambiente strutturato di simulazioni e giochi digitali, offre agli studenti una maggiore flessibilità per poter progettare e creare i propri oggetti. I mondi virtuali si possono caratterizzare dall'illusione di trovarsi in uno spazio 3-D, dalla capacità di costruire e interagire con gli oggetti, dalla rappresentazione digitale di studenti in forma di *avatar* e dalla capacità di comunicare con altri studenti nei mondi virtuali.

La realtà virtuale non va confusa con la realtà aumentata che è una tecnologia 3-D in grado di migliorare la percezione sensoriale del mondo reale, ad esempio, attraverso dispositivi di visione (per es. occhiali a proiezione sulla retina), di ascolto (auricolari) e di manipolazione (guanti) che aggiungono informazioni multimediali alla realtà già normalmente percepita. In altre parole, la realtà aumentata parte dalla nostra realtà e vi aggiunge qualcosa senza trasportare altrove ma semplicemente amplificando il nostro attuale stato di presenza. La realtà virtuale invece, si basa su una tecnologia capace, nella sua massima espressione, di trasportare lo studente in un mondo diverso da quella che sta vivendo.

Per prima cosa riassumeremo i risultati di uno studio che confronta tre forme di strumenti digitali basati sulla realtà virtuale: le simulazioni, i giochi digitali e i mondi virtuali immersivi. Seguiranno due rassegne di studi sistematici relativi all'influenza della realtà aumentata e virtuale sugli obiettivi di apprendimento scientifico.

Merchant *et al.* (2014)

Lo studio descrive e confronta il ruolo di diverse tecnologie basate sulla realtà virtuale quali: simulazioni (n = 29), giochi digitali (n = 13) e mondi virtuali (n = 27) sull'apprendimento degli studenti.

Risultati

- I risultati suggeriscono che i giochi (ES = 0,51), le simulazioni (ES = 0,41) e i mondi virtuali (ES = 0,41) sono tutti efficaci nel migliorare i risultati di apprendimento, ma i *giochi mostrano risultati di apprendimento maggiori*.

- Per i giochi digitali e le simulazioni non vi sono differenze nell'efficacia dell'intervento a seconda che questo misuri la *conoscenza* o le *abilità procedurali* degli studenti. Per i mondi virtuali, gli studi che valutano il livello di conoscenza degli studenti sono apparsi più efficaci degli studi che valutano il livello di abilità.
- L'efficacia dei *giochi* è la stessa se gli studenti vengono *valutati immediatamente o dopo il passare del tempo*. Per le simulazioni, i vantaggi sono maggiori quando l'apprendimento degli studenti è testato immediatamente dopo l'intervento, mentre per i mondi virtuali vi è poca letteratura al riguardo.
- Per i *giochi*, sembrerebbe che gli studenti ottengano i risultati migliori quando lavorano *individualmente* piuttosto che in modo collaborativo. Riguardo le simulazioni e i mondi virtuali, non vi sono differenze legate al fatto che l'attività venga svolta individualmente o in gruppo.
- La *presenza dell'insegnante* non ha prodotto una differenza significativa nell'apprendimento degli studenti né nelle simulazioni né nei mondi virtuali, mentre non è stata calcolata per i giochi a causa della mancanza di studi.
- Vi è un *effetto novità*³ per gli studi basati sui giochi, in quanto più gli studenti trascorrono tempo a giocare, più i guadagni in termini di apprendimento iniziano a diminuire. Gli studi di simulazione beneficiano del numero di *sessioni di trattamento*, ma questo effetto è piuttosto piccolo. Per i mondi virtuali, non vi è alcuna differenza statisticamente significativa tra gli studi legata al numero di sessioni di trattamento, la durata di ciascuna sessione o le ore totali spese in un ambiente di apprendimento virtuale.
- Le *simulazioni* funzionano meglio quando sono proposte in *forma pratica* (esempio laboratori virtuali) piuttosto che quando vengono utilizzati in modo autonomo. Gli studi che hanno utilizzato simulazioni per fornire agli studenti l'opportunità di *mettere in pratica un concetto che hanno appreso* tramite un altro metodo didattico sono stati più efficaci degli studi in cui non vi è stato tale abbinamento. Questo legame non emerge per i mondi virtuali mentre non è stato possibile valutarlo per i giochi digitali.
- Riguardo le simulazioni, gli studenti del *gruppo di controllo* hanno prestazioni migliori se anche le attività da loro svolte avvengono in un *ambiente virtuale*, rispetto a quelli che ricevono istruzioni tradizionali, immagini 2-D oppure nessun trattamento.
- Per quanto riguarda il *feedback* da parte dell'insegnante nell'ambito della *simulazione*, quando i compiti di apprendimento sono di *natura dichiarativa*, un tipo di *feedback* elaborato (istruzioni o informazioni dettagliate per completare un'attività) risulta più efficace. Quando il compito è di *natura procedurale*, un semplice *feedback* relativo a quale risposta sia quella corretta è sufficiente per guidare ulteriormente gli studenti nel completamento del compito didattico. Non è stato possibile calcolare gli effetti del *feedback* per i giochi e i mondi virtuali.

Ibáñez e Delgado-Kloos (2018)

Questo studio presenta una rassegna sistematica della letteratura sull'uso della realtà aumentata per supportare l'apprendimento nelle discipline STEM.

Risultati

- La maggior parte degli studi ha riguardato la fisica (n = 10), seguita dalla matematica (n = 7), scienze della vita (n = 7), scienze della terra (n = 3) e aree multidisciplinari (n = 1).
- Gli interventi sono stati svolti principalmente all'interno dell'*aula scolastica* (n = 19). Gli interventi al di fuori della classe sono avvenuti in vari contesti come musei della scienza (n = 3), orti botanici (n = 2) e uno in un centro naturalistico. In generale, la maggior parte degli interventi relativi ad argomenti di *scienze della vita* si sono svolti in contesti extrascolastici aiutando gli studenti a immergersi nel contesto educativo, mentre gli interventi di *fisica e matematica* sono stati

3 In questo contesto, per effetto novità ci si riferisce alla tendenza dello studente, quando viene inserita una nuova tecnologia, a migliorare inizialmente le proprie prestazioni non a causa di un effettivo miglioramento nell'apprendimento, ma in risposta all'interesse per lo stimolo nuovo che però è destinato a durare poco nel tempo.

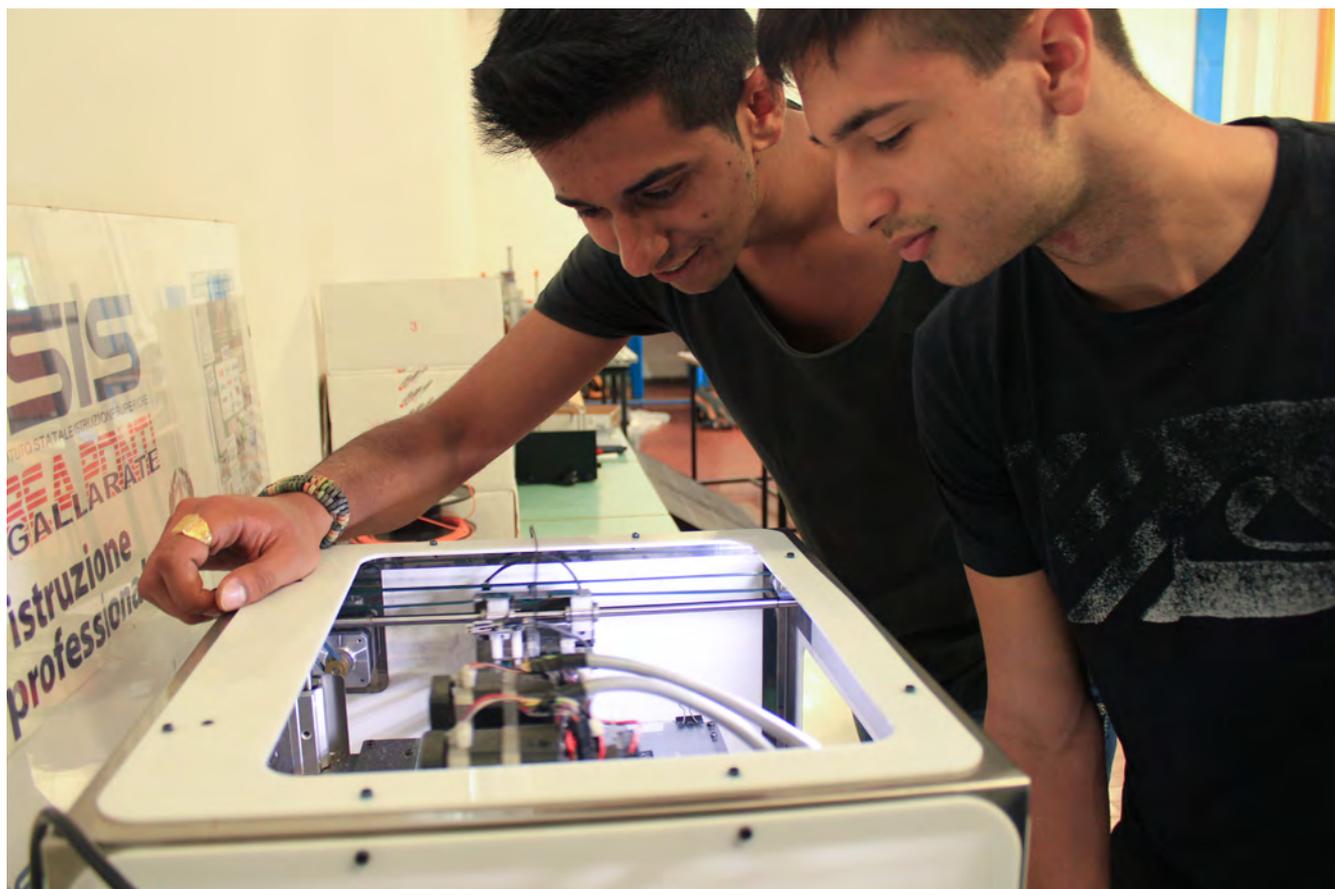
- solitamente effettuati in classe permettendo agli studenti di visualizzare oggetti concreti o astratti in 3D.
- Le applicazioni utilizzavano una grande varietà di informazioni digitali per aumentare il mondo reale. Più della metà delle applicazioni esaminate utilizzava almeno *due tipi di informazioni digitali* quali testi, immagini 2D, animazioni e oggetti 3D, video, audio e applicazioni che collegavano il mondo reale con il web.
 - Le strategie didattiche utilizzate possono essere suddivise in tre categorie: *istruzione attraverso una presentazione, istruzione attraverso la scoperta e apprendimento collaborativo*.
 - Le *caratteristiche demografiche* (età, genere, stile di apprendimento) degli studenti sono solitamente trascurate nella progettazione degli interventi e nella valutazione dei risultati di apprendimento.
 - La realtà aumentata aumenta la *motivazione, l'impegno e l'atteggiamento positivo* verso le materie STEM.
 - In generale gli *studenti di livello medio-basso* sembrano beneficiare di maggiori vantaggi dalla realtà aumentata in termini cognitivi rispetto agli studenti con già risultati accademici elevati.
 - In particolare, è emerso un aumento significativo del livello di conoscenza e motivazione negli studenti con *difficoltà di apprendimento, disturbi dell'apprendimento, deficit di attenzione e iperattività*.
 - Il risultato cognitivo più comunemente misurato è stato la *capacità di ricordare le informazioni* (n = 18). Questi studi tipicamente utilizzano *domande a scelta multipla o a risposta breve* per valutare la conservazione del materiale più o meno nella stessa forma in cui è stato presentato. Tre studi hanno misurato la comprensione degli studenti degli argomenti STEM attraverso la costruzione di mappe concettuali e per altri tre l'acquisizione di abilità spaziali potenziate è stata la chiave per la comprensione dei fenomeni scientifici.
 - Riguardo i *risultati cognitivi complessi* (creare, applicare, analizzare e valutare), sei studi hanno misurato l'efficacia della realtà aumentata sull'applicazione da parte degli studenti di procedure per risolvere problemi STEM, pensiero critico e autovalutazione dei loro progressi.
 - Uno studio ha mostrato l'efficacia della realtà aumentata per gli studenti con *bisogni educativi speciali* che sono stati in grado di risolvere problemi matematici interagendo con uno strumento di apprendimento basato sulla realtà aumentata e con la collaborazione dei loro coetanei.
 - La realtà aumentata sembra essere particolarmente utile nel processo di indagine scientifica come l'interpretazione dei dati sperimentali e la capacità di trarre conclusioni.
 - Per l'uso efficace della realtà aumentata è necessario che sia *gli studenti sia gli insegnanti siano formati* all'utilizzo di questa tecnologia (soprattutto con interfacce non intuitive) prima del suo impiego nell'attività di apprendimento.

Pellas et al. (2020)

Gli autori sono interessati alle pratiche di progettazione didattica supportate da realtà virtuale in cui lo studente è completamente immerso nel mondo digitale (*feedback* sensoriale ottico, acustico, cinematografico e/o tattile) dando l'impressione di realtà, presenza spaziale e coinvolgimento in prima persona.

Risultati

- Questo tipo di tecnologia *non può essere facilmente utilizzata dagli studenti* a causa dell'alto costo di alcuni dispositivi informatici e la preparazione richiesta per la progettazione e lo sviluppo degli interventi.
- La realtà virtuale ha supportato gli *interventi in classe* (con campioni dai 30 ai 75 studenti), piuttosto che fuori del contesto scolastico con *interventi* (per lo più di tipo sperimentale) *brevi* di una singola sessione (dai 5 ai 40 minuti).
- La maggior parte degli studi (n = 5) ha spinto verso un'*istruzione attraverso la scoperta* in cui gli studenti "*imparano facendo*" compiti guidati da una formulazione delle ipotesi, manipolazione del materiale di apprendimento, analisi dei dati e interpreta-



Stampa 3D, Istituto Tecnico Professionale “Ponti” di Gallarate (MI), giugno 2018

- zione dei risultati. Altri studi hanno utilizzato invece una *istruzione tramite la presentazione del materiale* in un ambiente simulato realistico per l'acquisizione di conoscenze (n = 2), oppure hanno invitato a una *collaborazione tra studenti* (es. giochi di ruolo) per comprendere le potenzialità della realtà virtuale e migliorare l'apprendimento (n = 3).
- Oltre l'80% degli studi quantitativi esaminati descrive *l'impatto positivo della realtà virtuale* in diverse condizioni di apprendimento. Tutti gli studi comparativi hanno mostrato che gli studenti beneficiano di una maggiore *acquisizione di conoscenza* rispetto a coloro che non hanno usufruito di tale tecnologia. La realtà virtuale supporta in particolare la *rappresentazione di quei fenomeni scientifici complessi* attraverso l'immersione in un mondo che permette l'esplorazione e la manipolazione dei materiali di apprendimento.
 - Nella maggior parte degli studi, i ricercatori utilizzano formati pre post-test con *domande a scelta multipla o a risposta breve* per valutare la conservazione del materiale presentato.
 - La realtà virtuale risente dell'*effetto di novità* dell'utilizzo di tali tecnologie immersive in specifiche materie di apprendimento.
 - Anche se le apparecchiature solitamente non hanno un'età minima di utilizzo è necessario considerare la possibilità dell'*insorgenza di eventuali effetti sul fisico* degli studenti, quali stanchezza e vertigini.
- 2.1.4. Robotica e coding**
- La robotica, tramite la programmazione, lo studio, la costruzione e l'impiego dei *robot* è in grado di favorire lo sviluppo del pensiero computazionale⁴ e ha un'am-

⁴ Secondo le *Indicazioni Nazionali e Nuovi Scenari* del

pia gamma di applicazioni in campo STEM, potendo essere adattata agli interessi degli studenti in una prospettiva multidisciplinare. La padronanza dei linguaggi di programmazione di *computer* e *robot*, anche semplici e versatili tramite giochi digitali e siti web interattivi, può aiutare gli studenti a governare la tecnologia e a comprenderne meglio il funzionamento.

Di seguito, vengono riportati due studi di revisione della letteratura, il primo sull'utilizzo della robotica e il secondo focalizzato più specificatamente delle strategie di programmazione tramite attività di *coding*.

Xia e Zhong (2018)

Gli autori hanno riassunto i risultati degli studi empirici sull'insegnamento e l'apprendimento della robotica esplorando le prospettive di ricerca futura del settore.

Risultati

- Quasi la metà degli articoli selezionati (48%) include studi con *meno di 40 partecipanti*; la *durata* è relativamente *breve* con il 63% degli studi di durata inferiore ai due mesi. Gli studi sono comunemente condotti in maniera *non sperimentale* (59%).
 - In questo campo, la *LEGO* con il 67% degli studi ha assunto una posizione dominante, probabilmente a causa dei budget scolastici limitati per l'acquisto di tecnologie più complesse.
 - La maggior parte degli studi (64%) è basata su interventi pedagogici quali l'apprendimento basato sulla *risoluzione di problemi* e l'*apprendimento collaborativo*.
 - Riguardo i *risultati di apprendimento*, le conoscenze coinvolte possono essere suddivise in: 1. *Struttura e costruzione* (ingranaggi, trasmissione del robot); 2. *Sensazione* (sensori visivi e sonori); 3. *Controllo* (programmazione); 4. *Comunicazione* (*wifi*, *blue-tooth*); 5. *Sistema dinamico* (potenza, motore); 6. *Caratteristiche del robot* (processo di progettazione ingegneristica).
-
- 2018 da parte del MIUR per pensiero computazionale si intende un processo mentale che consente di risolvere problemi di varia natura seguendo metodi e strumenti specifici pianificando una strategia (MIUR, 2018).
- La maggior parte degli studi indaga più di un risultato e l'86% degli interventi coinvolge il *controllo*. Il 77% degli articoli tratta la *struttura e la costruzione di robot* e il 59% considera l'*utilizzo di sensori*.
 - In generale, emerge che la robotica può aiutare gli studenti a trarre vantaggio per la *comprensione dei concetti* (ad es. programmazione, sensori, ecc.); il *cambiamento di atteggiamento* (ad es., motivazione STEM, autoefficacia, ecc.) e lo *sviluppo di abilità* (ad es. risoluzione di problemi, pensiero computazionale, ecc.). Vi sono però degli studi in cui la robotica non mostra di produrre miglioramenti significativi nell'apprendimento degli studenti (ad esempio nella comprensione del funzionamento meccanico degli ingranaggi o della motivazione alle discipline STEM).
 - Una questione importante in questo campo è quella relativa alle *differenze di genere*, con le ragazze che esprimono *atteggiamenti più negativi* nei confronti dei *robot* rispetto ai ragazzi e una *minore autoefficacia*. In ogni caso, le ragazze con esperienza di programmazione riportano un maggiore interesse per la tecnologia e autoefficacia rispetto alle ragazze senza questa esperienza.
 - Non sembrano inoltre esserci *differenze di genere* riguardo alla *capacità di costruire, programmare* e più in generale gestire il materiale LEGO. Delle differenze emergono nelle *strategie di apprendimento*, con i ragazzi meno disposti a seguire le istruzioni rispetto alle ragazze che risultano più concentrate e intente a seguire il compito scritto.
 - Gli *strumenti di misurazione* dell'apprendimento maggiormente utilizzati sono l'osservazione (59%), seguito da questionari (50%), interviste verbali (45%) e gli artefatti prodotti dagli studenti (robot, programmi; 40%). Solo l'8% degli studi utilizzano test o esami per la valutazione.
 - Suggerimenti pratici emersi:
 - agli studenti dovrebbero essere forniti *ampi spazi di lavoro*, un *tempo adeguato*, *hardware e software* appropriati;

- dovrebbe essere data importanza allo *sviluppo di una formazione tecnologica* e di una *conoscenza iniziale* dei principi di base da apprendere;
- si dovrebbe favorire un'atmosfera di *apprendimento collaborativo e creativo*;
- gli insegnanti dovrebbero dare importanza alla *progettazione e all'organizzazione dei contenuti* (ad es. un collegamento tra la robotica e la vita quotidiana);
- si dovrebbe garantire la collaborazione con *gruppi di lavoro non troppo grandi* (massimo 2-3 alunni);
- *gli insegnanti* sono la chiave di volta per l'implementazione della robotica in campo educativo e quindi dovrebbero essere *adeguatamente formati* per essere in grado di supportare gli studenti e fornire una guida durante l'intero corso di robotica;
- gli studenti dovrebbero essere incoraggiati a *condividere* le loro idee ed esperienze ponendo domande;
- nelle *attività collaborative*, poiché la collaborazione comporta inevitabilmente *conflitti*, gli insegnanti dovrebbero guidare gli studenti non solo nella prevenzione di questi conflitti ma anche nell'imparare a gestirli, comunicare e coordinarsi con gli altri;
- quando si progettano esperienze di apprendimento per la *risoluzione dei problemi*, gli insegnanti dovrebbero far capire agli studenti l'importanza dell'interazione per gestire efficacemente l'incertezza con l'aiuto dei compagni;
- per sviluppare *comportamenti creativi*, gli studenti dovrebbero essere incoraggiati a utilizzare oltre che tecniche di creatività standard anche quelle tecniche che racchiudono un valore personale.

Popat e Starkey (2019)

Questo studio di revisione ha indagato i risultati educativi degli studenti che imparano a programmare tramite le attività di *coding* a scuola.

Risultati

- La programmazione ha un *impatto positivo* sull'apprendimento degli studenti al di là della conoscenza del codice.
- In particolare, gli interventi di *coding* aiutano:
 - la *risoluzione dei problemi* (elemento centrale del pensiero computazionale) *attraverso concetti matematici* come procedure algoritmiche o il ragionamento logico (capacità di interpretare schemi, sequenze numeriche e la relazione tra le forme per risolvere il problema). In generale, è chiara una sovrapposizione tra concetti matematici e programmazione; tuttavia, sebbene le abilità matematiche possano essere migliorate dall'apprendimento della programmazione, se l'obiettivo accademico è che gli studenti imparino a risolvere problemi matematici, insegnare direttamente queste abilità è più efficace che apprenderle attraverso le attività di *coding*.
 - *Le abilità sociali inclusa la collaborazione tra compagni*. Il *coding* permette una comunicazione efficace invitando al dialogo e alla discussione sulle attività e compiti; facilita la collaborazione portando gli studenti a condividere la loro conoscenza e comprensione, incoraggiando l'accettazione del punto di vista dell'altro e la condivisione dei codici con chi ha bisogno di aiuto o è rimasto indietro.
 - *L'apprendimento attivo*. Gli studenti possono impegnarsi nelle attività e possono avere il controllo sul proprio apprendimento completando più fasi e più livelli al proprio ritmo. È comunque necessaria la progettazione dei compiti da parte dell'insegnante per sviluppare negli studenti la comprensione su come svolgere con successo le attività di apprendimento e consentire loro di autogestirsi.
 - *Il pensiero critico*, cioè l'abilità di analizzare un compito, impostare o attuare un piano, valutare i risultati, identificare e applicare le azioni necessarie per migliorare o correggere la prestazione, valutare se si sono ottenuti i risultati desiderati. La



Fondazione Cariplo insieme al performing partner Fondazione Politecnico di Milano, presenta Progetto SI ai docenti e agli studenti delle scuole coinvolte, maggio 2018

progettazione dei compiti da parte dell'insegnante dovrebbe quindi incoraggiare gli studenti a testare, valutare e modificare il codice per sviluppare le loro capacità di ordine superiore relative al pensiero critico. Si deve però sottolineare che le abilità di ordine superiore apprese con il *coding* possono essere più facilmente utilizzate e trasferite in contesti simili a quelli in cui è avvenuto l'apprendimento.

- *La conoscenza e le abilità accademiche* al di là delle capacità matematiche e informatiche. Il coding aiuta a sviluppare le capacità di ordine inferiore come la comprensione, l'applicazione dei contenuti e il recupero delle informazioni dalla memoria.
- Questi risultati sono *altamente correlati tra loro*; ad esempio per risolvere i problemi gli studenti devono pensare in modo critico e possono farlo in modo collaborativo.
- *La progettazione pedagogica* è importante nell'influenzare i risultati di apprendimento precedentemente identificati. La spiegazione da parte dell'insegnante (soprattutto in caso di attività complesse), il supporto e il modellamento di determinati comportamenti (es. favorire il sostegno tra pari), intervenendo per identificare e correggere eventuali idee sbagliate, sono tutti elementi necessari per influenzare i risultati educativi. È importante che la classe sia organizzata in modo da favorire la collaborazione con la creazione di coppie o piccoli gruppi in cui gli studenti sono seduti uno accanto all'altro piuttosto che di fronte per aiutarsi in caso di necessità.
- La risorsa maggiormente utilizzata è *code.org* che, oltre a essere *open-source*, dispone di video-tutorial per un apprendimento autogestito e attività adatte alle diverse fasce d'età.

2.2. Sintesi delle evidenze

I risultati di ricerca riportati nel precedente capitolo permettono di mettere in luce alcune tendenze più generali relative all'utilizzo delle nuove tecnologie nell'educazione scientifica. In particolare, si deve partire dalla considerazione che sebbene i diversi strumenti digitali abbiano delle caratteristiche peculiari, a volte le differenze tra di loro appaiono sfumate (ad es. tra giochi digitali, simulazioni e applicazioni mobili; o tra simulazioni, realtà aumentata e realtà virtuale).

Le nuove tecnologie hanno un impatto positivo sull'apprendimento STEM

In generale, i risultati degli studi di revisione considerati indicano che l'uso delle nuove tecnologie nel contesto scolastico ha un impatto positivo sui risultati di apprendimento scientifico degli studenti con effetti a volte superiori rispetto a chi non utilizza tali tecnologie (Boyle *et al.*, 2016; D'Angelo *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2020; Pellas *et al.*, 2020). Si deve comunque tenere presente che l'utilizzo di tecnologie altamente coinvolgenti quali giochi digitali e realtà virtuale può portare a ripercussioni fisiche quali stati di stanchezza e vertigini (Pellas *et al.*, 2020) così come a problemi di distrazione segnalati in classe dagli insegnanti (Gao *et al.*, 2020).

La tecnologia è un supplemento piuttosto che un sostituto dell'insegnamento abituale

Le nuove tecnologie non sono sostitutive ma aggiuntive rispetto alla normale esperienza degli studenti. Ad esempio, le simulazioni risultano più efficaci se danno la possibilità di mettere in pratica un concetto appreso tramite un altro metodo didattico (Merchant *et al.*, 2014) e, sebbene le abilità matematiche possano essere migliorate dall'apprendimento della programmazione, se l'obiettivo è il miglioramento delle competenze di risoluzione dei problemi matematici, insegnare direttamente queste abilità è più efficace che apprenderle attraverso le attività di *coding* (Popat, Starkey, 2019).

I giochi digitali appaiono più promettenti in termini di efficacia

Quando confrontati con le simulazioni e i mondi virtuali, i giochi digitali educativi risultano avere un

effetto maggiore sull'apprendimento (Lamb *et al.*, 2018; Merchant *et al.*, 2014). Da considerare che le simulazioni sono risultate più efficaci quando sono state proposte in forma pratica (Merchant *et al.*, 2014), come nel caso dei laboratori in cui gli studenti sperimentano, manipolano variabili e traggono conclusioni in un ambiente virtuale. Sebbene i giochi digitali mostrino alte potenzialità, si deve comunque osservare che i giochi di simulazione sono quelli maggiormente utilizzati per modellare l'apprendimento con attività virtuali accattivanti che riflettono o replicano quelle richieste nel mondo reale (Boyle *et al.*, 2016). In generale, poiché la vita reale è tridimensionale, l'uso di rappresentazioni 3-D sembra fornire una maggiore stimolazione cognitiva, immersione, realismo e autenticità del compito rispetto a quella bidimensionale aumentando la capacità dello studente di praticare, apprendere contenuti e risolvere problemi in un contesto più ampio (Lamb *et al.*, 2018).

L'acquisizione di conoscenze è il risultato maggiormente indagato

Rispetto alle loro potenzialità come metodo innovativo e coinvolgente per supportare l'apprendimento, la maggior parte degli studi sulle nuove tecnologie, con particolare riferimento ai giochi digitali, realtà virtuale e aumentata, sono ancora mirati a valutare il rendimento scolastico, l'impatto sull'acquisizione di conoscenze e la conservazione in memoria del materiale presentato piuttosto che concentrarsi su altri aspetti di apprendimento come le capacità di ragionamento e di indagine scientifica (Boyle *et al.*, 2016; D'Angelo *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2020; Ibáñez, Delgado-Kloos, 2018; Pellas *et al.*, 2020). Quanto alla valutazione dei risultati, un aspetto da segnalare è che questi dovrebbero essere misurati con le stesse modalità in cui è avvenuto l'apprendimento all'interno della tecnologia di riferimento; l'utilizzo di valutazioni basate sulla tecnologia mostra infatti i maggiori guadagni in termini di apprendimento (permettendo più facilmente allo studente di dimostrare ciò che ha appreso) rispetto a valutazioni carta-matita o all'utilizzo di strumenti digitali diversi rispetto a quelli usati nell'intervento (D'Angelo, 2016).

Importanza di un'adeguata formazione tecnologica e progettazione pedagogica

Si dovrebbe dare importanza allo sviluppo negli studenti di una formazione tecnologica e di una conoscenza iniziale dei principi di base da apprendere (Xia, Zhong, 2018). Per l'uso efficace di alcune nuove tecnologie, come la realtà aumentata o la robotica, è particolarmente necessario che sia gli studenti sia gli insegnanti siano formati al loro utilizzo prima dell'impiego nell'attività di apprendimento (Ibáñez, Delgado-Kloos, 2018; Xia, Zhong, 2018). Le pratiche didattiche in cui lo studente è completamente immerso nel mondo digitale, come quelle supportate dalla realtà virtuale, oltre che essere di difficile attuazione a causa dell'alto costo di alcuni dispositivi informatici, richiedono una notevole preparazione tecnologica e pedagogica per la progettazione e lo sviluppo degli interventi (Pellas *et al.*, 2020). In generale, la progettazione pedagogica è importante per sviluppare negli studenti la comprensione su come svolgere con successo le attività di apprendimento e consentire loro di autogestirsi, così come sviluppare le loro capacità di ordine superiore come quelle relative al pensiero critico (Popat, Starkey, 2019; Xia, Zhong, 2018).

L'insegnante ha un ruolo centrale per il raggiungimento dei risultati educativi

La spiegazione da parte dell'insegnante (soprattutto in caso di attività complesse), il supporto e il modellamento di determinati comportamenti, intervenendo per identificare e correggere eventuali errori, sono tutti elementi necessari per influenzare i risultati educativi (Popat, Starkey, 2019). Inoltre, l'insegnante dovrebbe sostenere la discussione e un *feedback* continuo (mediato dalla tecnologia o diretto) in grado di adattarsi alle necessità dello studente e alla natura del compito. Ad esempio, nell'ambito della simulazione, quando i compiti di apprendimento sono di natura dichiarativa, un tipo di *feedback* elaborato con istruzioni o informazioni dettagliate risulta più efficace, mentre quando il compito è di natura procedurale, un semplice *feedback* relativo a quale risposta sia quella corretta è sufficiente per guidare gli studenti

nel completamento dei compiti (Merchant *et al.*, 2014). Non si deve infatti dimenticare che alcune tecnologie come i giochi digitali sono in grado esse stesse di fornire un *feedback* allo studente sul raggiungimento degli obiettivi prefissati, mentre altre forniscono solo *feedback* di tipo sensoriale e hanno bisogno di un ruolo attivo da parte dell'insegnante. Prendendo come spunto il modello costruttivista, ampiamente impiegato negli studi sulle nuove tecnologie in ambito didattico (Bano *et al.*, 2012), l'intervento dovrebbe favorire un ruolo dell'insegnante che da una parte aiuti con i suoi *feedback* lo studente nell'attività, ma dall'altra gradualmente gli lasci spazio per consentirgli di interiorizzare le nuove informazioni, organizzandole e adattandole alla conoscenza esistente per migliorare la propria esperienza di apprendimento.

Si fa un largo impiego dell'apprendimento collaborativo

Gli interventi nel campo della tecnologia sono spesso svolti tramite un apprendimento di tipo collaborativo (Bano *et al.*, 2018; D'Angelo *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2020; Ibáñez, Delgado-Kloos, 2018; Pellas *et al.*, 2020; Popat, Starkey, 2019). Sebbene questo approccio sia largamente impiegato, Merchant *et al.* (2014) trovano che non vi sono differenze significative in ambienti di apprendimento basati sulla realtà virtuale tra un lavoro individuale o collaborativo e che, anzi, nel caso dei giochi digitali gli studenti ottengono i risultati migliori quando li utilizzano individualmente. Si deve comunque sottolineare che perché la collaborazione sia efficace dovrebbe riguardare non la semplice condivisione dell'attrezzatura ma una collaborazione attiva alla risoluzione di problemi, in cui gli studenti sono invitati a cooperare per il raggiungimento di obiettivi condivisi (Bano *et al.*, 2018). Riguardo l'ambito della robotica, Xia e Zhong (2018) suggeriscono, che si dovrebbe garantire la collaborazione con gruppi di lavoro non troppo grandi (massimo 2-3 alunni) e che, poiché la collaborazione comporta inevitabilmente conflitti, gli insegnanti dovrebbero guidare gli studenti non solo nella prevenzione di questi conflitti, ma anche nell'imparare a gestirli, comunicare e coordinarsi con gli altri.

Gli interventi hanno solitamente una durata breve e risentono dell'effetto novità

La maggior parte degli interventi sulle nuove tecnologie hanno una durata breve (Bano *et al.*, 2018; Gao *et al.*, 2020; Lamb *et al.*, 2018; Pellas *et al.*, 2020), non permettendo di comprendere appieno l'impatto dei dispositivi digitali sull'apprendimento a lungo termine (a questo scopo sono consigliabili gli studi longitudinali). Sembra però che gli studenti che imparano tramite i giochi digitali abbiano un livello di ritenzione, quindi di conservazione e recupero dalla memoria, che va oltre l'apprendimento a breve termine al contrario delle simulazioni, i cui vantaggi sono maggiori quando l'apprendimento degli studenti viene testato immediatamente dopo l'intervento. Sebbene la questione della lunghezza dell'intervento sia ancora da chiarire meglio (Lamb *et al.*, 2018), D'angelo *et al.* (2016) trovano che gli studi in cui la simulazione è stata utilizzata durante 4-6 sessioni hanno avuto un effetto maggiore rispetto agli studi che hanno impiegato un numero maggiore o minore di sessioni.

A questo proposito, si deve sottolineare che i risultati degli studi possono risentire dell'effetto novità, cioè di quella spinta motivazionale al cambiamento che ci porta ad avere un interesse immediato per uno stimolo nuovo che però è destinato a durare poco nel tempo. Quando viene inserita una nuova tecnologia, lo studente tenderà infatti a migliorare inizialmente le proprie prestazioni, non a causa di un effettivo miglioramento nell'apprendimento, ma in risposta al crescente interesse per la novità. Infatti, più gli interventi sono lunghi e più gli studenti trascorrono tempo a giocare o a esplorare una realtà virtuale, più si è visto che i guadagni in termini di apprendimento iniziano a diminuire (Merchant *et al.*, 2014; Pellas *et al.*, 2020). In ogni caso, tale spinta motivazionale legata alla novità dovrebbe essere sfruttata per agevolare un apprendimento più duraturo da parte degli studenti, in quanto l'inserimento della tecnologia nell'ambiente scolastico ha senso solo se produce cambiamenti significativi. Anche in questo caso l'insegnante, che deve essere adeguatamente formato, ha un ruolo importante nel riuscire a supportare e sostenere il cambiamento, trasformando le prestazioni dettate dall'entusiasmo

normalmente manifestato dagli studenti per la nuova tecnologia introdotta, in un cambiamento più profondo e duraturo dell'apprendimento.

I fattori demografici sono ancora poco studiati

I fattori demografici, inclusi i livelli iniziali di rendimento degli studenti e il livello scolastico, sono variabili ancora poco indagate rispetto al loro potenziale ruolo nell'influenzare il rapporto tra nuove tecnologie e apprendimento (D'Angelo *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2020; Ibáñez, Delgado-Kloos, 2018). Riguardo alla realtà aumentata, sembra però che gli studenti di livello medio-basso godano di maggiori vantaggi in termini cognitivi rispetto agli studenti che già beneficiano di risultati accademici elevati. In particolare, emerge un aumento significativo del livello di conoscenza e motivazione negli studenti con difficoltà di apprendimento, disturbi dell'apprendimento, deficit di attenzione e iperattività (Ibáñez, Delgado-Kloos, 2018).

Anche gli aspetti legati alle differenze di genere andrebbero ulteriormente esaminati, con le ragazze che mostrano ad esempio atteggiamenti più negativi nei confronti dei *robot* rispetto ai ragazzi e una minore autoefficacia nell'uso di tale tecnologia sebbene non emergano differenze di genere riguardo alla capacità di costruire o programmare e anzi le ragazze siano più disposte a seguire le istruzioni rispetto ai ragazzi (Xia, Zhong, 2018). Dallo studio di Gao *et al.* (2020) sui giochi digitali mobili, appare che i ragazzi gradiscano l'uso della tecnologia e il divertimento puro mentre le ragazze siano interessate maggiormente alla narrazione e apprezzino gli aspetti legati al perseguimento degli obiettivi. Sebbene entrambi gradiscano la collaborazione, i ragazzi sono attratti più delle ragazze dal senso di competizione.

Le nuove tecnologie vengono principalmente utilizzate in classe

Vi è una naturale tendenza a utilizzare le nuove tecnologie, come la realtà aumentata, la realtà virtuale o i giochi digitali e le applicazioni mobili principalmente all'interno di ambienti formali quali aule e laboratori scolastici (Bano *et al.*, 2018; Ibáñez, Delgado-Kloos, 2018; Pellas *et al.*, 2020). Nonostante la tecnologia

mobile renda l'apprendimento più flessibile con l'esplorazione scientifica che può avvenire nell'ambiente domestico e in spazi ricreativi e informali, la maggior parte degli insegnanti si trova infatti, per soddisfare i

requisiti curriculari, ad affrontare l'opportunità dell'insegnamento con dispositivi mobili in un ambiente scolastico programmato e faccia a faccia (Bano *et al.*, 2018).

3. LABORATORI ONLINE NELL'EDUCAZIONE STEM¹



Raccontar_SI il percorso di miglioramento e supporto alla didattica attuato da Progetto SI Scuola Impresa Famiglia, Itis Paleocapa di Bergamo, febbraio 2019

3.1. I risultati della ricerca

La rassegna della letteratura ha messo in luce la presenza di dieci sintesi di ricerca (Tabella 3.1) sui risultati degli studi relativi all'impatto dei laboratori *online* sull'apprendimento degli studenti nell'educazione STEM. In generale, tramite i laboratori *online* è possibile eseguire esperimenti al di là dei vincoli fisici di un labora-

torio scolastico, interagendo con apparecchiature reali localizzate in luoghi diversi da quelli in cui ci si trova fisicamente (laboratori remoti) o osservando e indagando i vari fenomeni scientifici in maniera simulata (laboratori virtuali; vedi Paragrafo 1.2). Da notare che i laboratori virtuali costituiscono una categoria speciale di simulazioni che, riproducendo un modello di un sistema fisico reale o ipotetico, si prestano alla creazione di ambienti di apprendimento utilizzabili da altre forme di istruzione

¹ Daniela Fadda.

Tabella 3.1 – Rassegna di studi relativi ai laboratori online

Autore	Anno	Titolo	Rivista	Tipologia rassegna	Numero di studi	Anni di riferimento	Tipo di laboratori	Livello scolastico	Area disciplinare
Scalise <i>et al.</i>	2011	Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains	Journal of Research in Science Teaching	Rassegna	79	1995-2009	Virtuale	K6-12	STEM
Wang <i>et al.</i>	2014	A review of research on technology-assisted school science laboratories	Educational Technology and Society	Rassegna	42	1990-2011	Virtuale remoto	K-16	STEM
Brinson	2015	Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research	Computer & Education	Rassegna	56	2005-2015	Virtuale remoto	K12 e alta educazione	STEM
Zacharias <i>et al.</i>	2015	Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: a literature review	Educational Technology Research and Development	Rassegna	31	2006-2015	Virtuale remoto	K12 e alta educazione	STEM
Brinson	2017	A Further Characterization of Empirical Research Related to Learning Outcome Achievement in Remote and Virtual Science Labs	Journal of Science Education and Technology	Rassegna	56	2005-2015	Virtuale remoto	K12 e alta educazione	STEM
Tho <i>et al.</i>	2017	A Systematic Review of Remote Laboratory Work in Science Education with the Support of Visualizing its Structure through the HistCite and CiteSpace Software	International Journal of Science and Mathematics Education	Rassegna	62	1992-2014	Remoto	K12 e alta educazione	STEM
Sypsas, Kalles	2018	Virtual Laboratories in Biology, Biotechnology and Chemistry education: A Literature Review	22nd Pan-Hellenic Conference	Rassegna	29	precedenti al 2018	Virtuale	K12 e alta educazione	Biologia, Biotecnologia e Chimica
Tsihouridis <i>et al.</i>	2019	The Timeless Controversy Between Virtual and Real Laboratories in Science Education – “And the Winner Is...”	International Conference on Interactive Collaborative Learning	Meta-analisi	106	1978-2018	Virtuale	K12 e alta educazione	STEM
Rubim <i>et al.</i>	2019	The Use of Remote Experimentation as a Teaching Tool: A Literature Review	International Journal of Information and Education Technology	Rassegna	99	2003-2015	Remoto	K12 e alta educazione	STEM
Udin <i>et al.</i>	2020	Virtual laboratory for enhancing students' understanding on abstract biology concepts and laboratory skills: A systematic review	Journal of Physics: Conference Series	Rassegna	47	2010-2018	Virtuale	K12 e alta educazione	Biologia, Biotecnologia e Chimica

digitale (es. i giochi didattici) così come alla replica dei processi sperimentali di un laboratorio pratico.

Di seguito, diamo una breve descrizione dei risultati principali emersi da ogni studio. Questi lavori hanno fornito considerazioni interessanti riguardo il confronto tra i laboratori *online* e tradizionali, i fattori che ne influenzano l'efficacia, gli obiettivi, i risultati di apprendimento e i principi di progettazione didattica per ottimizzare il loro utilizzo.

Scalise et al. (2011)

Tramite una revisione di settantanove studi, gli autori identificano una serie di principi di progettazione didattica che risultano maggiormente rilevanti nei laboratori virtuali e nelle simulazioni dei fenomeni scientifici.

Risultati

- La maggior parte degli studi svolti in quest'ambito ha coinvolto studenti di scuola secondaria (n = 59).
- L'area disciplinare prevalente è la fisica (n = 48), seguita dalle scienze della vita (n = 44), scienze della terra (n = 13) e tecnologia (n = 6).
- Pochi studi hanno riportato dati quantitativi relativi all'apprendimento degli studenti, dandone una dimensione dell'effetto, ma in generale sembra che *i laboratori virtuali e le simulazioni scientifiche supportino l'apprendimento*.
- Gli studi hanno indagato maggiormente risultati di apprendimento legati all'*indagine scientifica*, come la capacità di sviluppare una domanda di ricerca, la progettazione di esperimenti, l'acquisizione e l'analisi dei dati, l'esame degli errori e la sintesi dei risultati.
- La metà dei progetti esaminati (n = 41) ha utilizzato un confronto "*pre-post*" per confrontare i guadagni in termini di apprendimento ottenuti dagli studenti prima e dopo l'intervento.
- Per l'efficacia dell'intervento è emersa l'importanza di considerare sia gli aspetti relativi all'*interfaccia dei laboratori virtuali (software, hardware)*, in grado di influenzare l'attenzione degli studenti, sia gli aspetti legati alla *visualizzazione* (es. *zoom*, prospettive alternative, controllo della velocità) che pos-

sono facilitare la percezione positiva del laboratorio e la comprensione degli argomenti trattati.

- I *principi didattici* associati all'indagine scientifica, utili per un uso efficace della sperimentazione virtuale e della simulazione scientifica, che sono emersi dalla loro indagine sono riportati nella tabella 3.2.

Wang et al. (2014)

La revisione ha esaminato i risultati degli studi che hanno incorporato la tecnologia per supportare i laboratori scientifici scolastici e universitari.

Risultati

- La maggior parte degli studi selezionati ha usato laboratori *online* per l'insegnamento della fisica (n = 18), chimica (n = 15) e biologia (n = 10).
- Il *desktop del computer* è la piattaforma maggiormente utilizzata per i laboratori virtuali. Sebbene gli smartphone, i *tablet* e le lavagne interattive stiano diventando sempre più popolari nelle classi, gli autori non hanno trovato studi che li applicassero ai laboratori scientifici.
- Gli interventi sono stati progettati relativamente *a breve termine*. La durata variava da: un solo giorno (n = 5), una/due settimane (n = 14), tre/otto settimane (n = 15) e l'intero semestre (n = 6). La durata ideale dell'attività laboratoriale è una questione da risolvere con studi futuri.
- Le tecnologie erano utilizzate più frequentemente con studenti che lavoravano in *piccoli gruppi* (n = 23) o *individualmente* (n = 18) piuttosto che dall'insegnante per una dimostrazione (n = 6).
- In generale, le tecnologie sono state utilizzate più frequentemente per supportare l'*osservazione di fenomeni* (n = 29), l'*esecuzione di procedure* (n = 31) e la *comprensione dei dati* (n = 33), mentre la *condivisione dei risultati* è stata la componente meno enfatizzata (n = 2).
- La maggior parte degli studi inseriti ha indagato la *comprensione concettuale* e i *processi cognitivi* (manipolazione delle variabili, visualizzazione dei dati o dei fenomeni scientifici) degli studenti (n = 41).

Tabella 3.2 – Principi didattici associati all'indagine scientifica (tratta da Scalise et al., 2011)

Livello Base	Livello Intermedio	Livello Avanzato
<i>Domande scientifiche</i>		
L'indagine attiva include il saper identificare il quesito dello studio e formulare le ipotesi. Evitare che la scienza diventi un libro di ricette, con domande che sono dei dati di fatto. È importante avere dei chiari propositi e assicurarsi che gli studenti li conoscano	Supportare lo studente attraverso l'interfaccia per tutto il processo di indagine, inclusa la formulazione delle ipotesi, il <i>design</i> dello studio e l'interpretazione dei risultati. Interventi di sostegno (<i>scaffold</i>) sono necessari per incoraggiare le domande da parte degli studenti	La risposta alla domanda di ricerca è problematica se gli studenti non sono in grado di identificare delle domande iniziali mirate o riformularle sulla base delle evidenze. Evitare di far percepire la collaborazione come un semplice uso condiviso degli stessi materiali elettronici
<i>Priorità all'evidenza</i>		
Durante l'utilizzo di simulazioni, gli studenti raccolgono dati, fanno osservazioni, influenzano i risultati e applicano le informazioni che possiedono. Ciò include l'impostazione e l'osservazione dei parametri, il funzionamento dell'attrezzatura virtuale e la registrazione dei dati. Il <i>software</i> o l'insegnante dovrebbero fornire una buona prassi	Mirare a includere dati reali (non solo algoritmi), diversi tipi di metodologie scientifiche ed esperimenti adeguati alle ipotesi. Rendere il computer un valore aggiunto per l'analisi dei dati o la simulazione dei gruppi di controllo, se possibile, usandolo come integrazione dell'attrezzatura fisica	Offrire diversi livelli di difficoltà man mano che gli studenti progrediscono. Includere valutazioni e incorporare complessità, ambiguità ed errori del lavoro empirico. Gli insegnanti controllano il numero/ tipo di variabili gestite dagli studenti; ne bilanciano le scelte determinando ciò che deve essere fatto e non può essere ignorato
<i>Design e conduzione dell'indagine</i>		
Assicurarsi che gli studenti riconoscano i risultati sperimentali come indizi sui fenomeni scientifici. Collegare i dati quantitativi con gli aspetti concettuali. Favorire un processo decisionale dello studente che vada oltre il controllo del <i>software</i> . Fornire sufficienti informazioni procedurali	Evitare un procedimento a "tentativi ed errori" casuali e includere dei momenti che stimolino il processo decisionale: metodi per raccogliere / visualizzare i dati ed esaminare le relazioni, euristiche per il controllo sistematico delle variabili, modelli scientifici per descrivere i fenomeni	Assicurarsi che gli studenti dalle alte prestazioni abbiano sfide sufficienti, pur rimanendo consapevoli che i principianti potrebbero necessitare di più tempo per svolgere gli esperimenti ed estrarre le informazioni. La manipolazione attiva del quadro di riferimento e dei punti di vista può estendere la sfida
<i>Formulazione e valutazione delle spiegazioni</i>		
Interventi di sostegno (<i>scaffold</i>) sono necessari per mettere in relazione osservazioni, conclusioni e spiegazioni plausibili. La sistematizzazione nel processo di conferma delle ipotesi è necessaria per evitare conclusioni sbagliate	Alcuni studenti riconoscono che le ipotesi originali sono sbagliate ma non sono in grado di spiegarsi un comportamento inaspettato. Affrontare questi casi favorisce la comunicazione insegnante/studente	Realizzare conferenze via Internet e giochi di ruolo che favoriscano la comunicazione. La collaborazione è efficace quando ogni studente porta i propri dati e le proprie riflessioni, per convergere su delle spiegazioni maggiormente descrittive dei fenomeni
<i>Comunicazione e giustificazione dei risultati</i>		
Le convinzioni epistemologiche possono portare studenti e insegnanti a pensare che la verità sia come "ricevuta" da una figura autorevole piuttosto che esplorata sulla base di prove. La giustificazione dei risultati aiuta gli studenti a "pensare come scienziati"	L'autoriflessione e il confronto nei gruppi di lavoro aiutano gli studenti. Discutere i risultati e utilizzare grafici e altri facilitatori visivi facilitano un efficace approccio comunicativo	Sviluppare negli studenti la capacità di auto-valutazione tramite dei suggerimenti aiuta gli studenti a costruire la conoscenza. Si dovrebbe considerare una valutazione tramite la simulazione

- Solo la metà di queste misurazioni viene integrata con la misura dell'*atteggiamento* degli studenti (n = 22), perlopiù relativo alla soddisfazione, all'interesse e alle preferenze per le tecnologie utilizzate mentre *viene trascurata la motivazione verso la disciplina scientifica*.
- Nonostante la grande flessibilità dei laboratori *online* nel supportare tutti gli aspetti della ricerca scientifica, pochissimi studi sono stati interessati a valutare le *abilità psicomotorie* (n = 4) o di *indagine* (n = 2)
- *I laboratori remoti* sono stati ugualmente efficaci in termini di apprendimento (conoscenza, osservazione, analisi) rispetto a quelli tradizionali. Inoltre, i *laboratori virtuali* promuovono i processi cognitivi, la comprensione concettuale degli studenti e la percezione positiva della tecnologia.
- La *combinazione* di simulazioni o manipolazioni virtuali *con attività di laboratorio fisico* crea un maggiore effetto sull'apprendimento. Si dovrebbero quindi meglio indagare gli aspetti delle esperienze fisiche che possono o non possono essere sostituiti con esperienze virtuali o remote.
- Gli autori hanno notato che sebbene la *formazione degli insegnanti* (in termini di conoscenza del contenuto pedagogico e delle conoscenze tecnologiche per strutturare le interazioni degli studenti con una simulazione) possa migliorare in modo significativo la qualità dell'apprendimento in laboratorio, la formazione degli insegnanti è un'area che attira poca attenzione negli studi selezionati.
- Quasi tutti gli studi revisionati hanno misurato la *conoscenza e la comprensione degli studenti* (n = 53; fig. 5.1) e di questi l'87% (n = 46) ha fornito un'evidenza di uguali o maggiori risultati nei laboratori *online* rispetto a quelli tradizionali. È interessante notare che, nel 38% degli studi (n = 20), la conoscenza è stato l'unico risultato misurato.
- Nonostante le *capacità di indagine* siano al centro dell'apprendimento scientifico, solo il 7% (n = 4) degli studi indagati ha considerato questo risultato che però non è stato mai l'unico studiato all'interno di una specifica ricerca. Tutti gli studi hanno fornito prove a sostegno del raggiungimento di capacità d'indagine uguali o superiori nei laboratori *online*.
- Le *abilità pratiche* sono state poco esaminate (n = 9) dagli studi ma, in 7 di questi, i risultati di apprendimento misurati faccia a faccia dall'insegnante sembrano pari o superiori dopo aver completato un laboratorio *online* rispetto agli studenti che hanno completato lo stesso laboratorio in modo tradizionale.
- Riguardo la *percezione degli studenti* dell'attività laboratoriale, dei 28 studi che l'hanno indagata (la metà del totale), la maggioranza (86%, n = 25) ha fornito un'evidenza di una percezione uguale o superiore nei laboratori *online*. La percezione è stata quasi sempre valutata insieme ad altri risultati di apprendimento e solo il 10% (n = 3) degli studi che hanno valutato la percezione l'hanno utilizzata come unico risultato di apprendimento.
- Anche le capacità *analitiche* (n = 8) e di *comunicazione sociale e scientifica* (n = 5) sono risultati di apprendimento poco studiati. È interessante notare che quasi tutti (rispettivamente l'88% e l'80%) gli studi che hanno valutato questi risultati hanno dimostrato che il rendimento degli studenti è uguale o superiore nei laboratori *online*.
- Quasi tutti gli studi revisionati hanno misurato la conoscenza e comprensione degli studenti con *quiz o esami di tipo tradizionale* (n = 40).
- Solo pochi studi hanno misurato i risultati attraverso *esami pratici* (n = 5) o *report di laboratorio* (n = 5).

Brinson (2015)

L'autore ha presentato un tentativo di sintetizzare cinquantasei studi empirici che si sono occupati di comparare i risultati di apprendimento dei laboratori tradizionali e *online* (virtuali e remoti).

Risultati

- La quasi totalità degli studi revisionati ha fornito un'evidenza di un *uguale* (n = 14) o *maggiore* (n = 36) *apprendimento nei laboratori online rispetto a quelli tradizionali*.

- Il voto al corso è stato poco utilizzato, costituendo uno strumento poco discriminante con cui misurare i risultati di apprendimento (n = 6).
- Oltre la metà degli studi ha valutato la percezione di studenti e insegnanti (quasi sempre in abbinamento ad altri risultati di apprendimento) con *questionari* (n = 22) o *interviste* (n = 10).
- L'autore ha utilizzato un'interessante categorizzazione dei risultati di apprendimento (Figura 3.1; Modello KIPPAS, Tabella 3.3) basata sugli obiettivi dell'esperienza laboratoriale messi a punto dal *National Research Council* (NRC, 2006) che incorpora otto pratiche essenziali nell'educazione scientifica (NRC, 2012): 1. *Porre domande (per la scienza) e definire i problemi (per l'ingegneria)*; 2. *Sviluppare e utilizzare i modelli*; 3. *Pianificare e svolgere delle indagini*; 4. *Analizzare e interpretare i dati*; 5. *Utilizzare la matematica e il pensiero computazionale*; 6. *Identificare spiegazioni (per la scienza) e progettare soluzioni (per l'ingegneria)*;

ria); 7. *Impegnarsi nella discussione delle evidenze*; 8. *Ottenere, valutare e comunicare informazioni*.

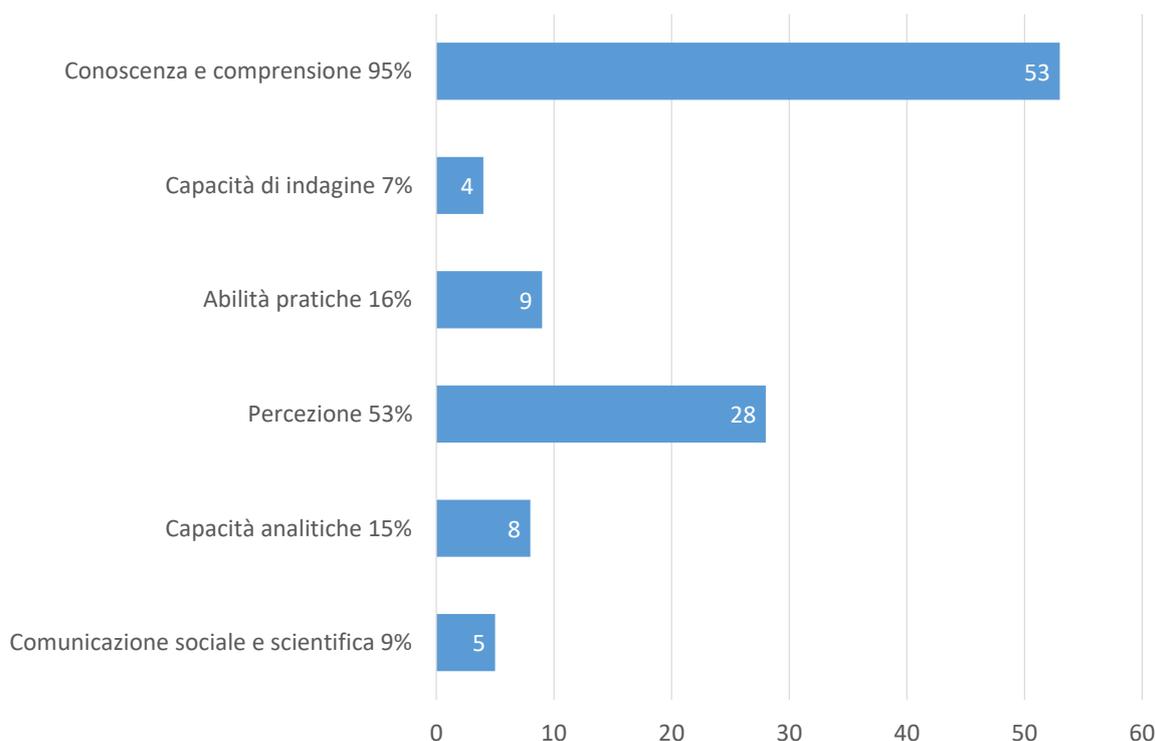
Zacharia et al. (2015)

Il lavoro di revisione si è interessato a identificare gli strumenti di guida da parte dell'insegnante nelle diverse fasi dei laboratori scientifici *online* (virtuali e remoti), valutandone l'efficacia in termini di apprendimento.

Risultati

- Gli autori hanno classificato gli strumenti di guida da parte dell'insegnante in: *dashboard* (adattare il comportamento di ricerca individuale fornendo informazioni sui suoi risultati e processi) *vincoli* (ridurre o restringere le attività non necessarie degli studenti), *euristiche* (suggerire che cosa fare), *prompt* (dare agli studenti specifiche indicazioni su cosa fare), *scaffold* (dare delle strutture o "impalcature" per svolgere un compito che altrimenti

Figura 3.1 – Frequenza degli studi che valutano i risultati di apprendimento. I totali non sono pari al 100% perché alcuni studi hanno considerato più risultati (tratta da Brinson, 2015)



- sarebbe al di fuori delle loro capacità), *presentazione diretta delle informazioni* (ideale se non si hanno conoscenze precedenti o non si riescono a trovare da soli le informazioni necessarie per un'attività). Ognuno di questi tipi di orientamento mira a fornire agli studenti un supporto personalizzato, in modo tale che l'ambiente laboratoriale si adatti alle esigenze cognitive e metacognitive di ognuno in una specifica fase di ricerca.
- Gli autori hanno identificato cinque fasi di ricerca per l'implementazione dei laboratori: *Orientamento, Concettualizzazione, Indagine, Conclusione, Discussione*.
 - Gli 89 strumenti di guida identificati sono stati classificati sulla base della fase di ricerca per cui erano stati progettati (Tabella 3.4).
 - *La fase di Orientamento riceve il minor numero di indicazioni* (n = 4) probabilmente perché è focalizzata sulla sola stimolazione dell'interesse degli studenti sul problema/argomento da indagare. Solo uno dei quattro studi riporta un impatto positivo della guida dell'insegnante sul pensiero critico degli studenti.
 - Nella fase di *Concettualizzazione*, la maggior parte degli strumenti di guida identificati (n = 14) sono stati sviluppati per supportare (*scaffold*; n = 6) gli studenti a generare domande di ricerca e/o ipotesi per i loro esperimenti. Degli studi che hanno utilizzato gli strumenti di guida in questa fase, solo sette hanno riportato risultati relativi al loro impatto sull'apprendimento, sei dei quali hanno avuto risultati positivi.
 - *La fase di Indagine è quella che riceve più indicazioni* (n = 27) probabilmente a causa della sua natura spe-

Tabella 3.3 – Modello KIPPAS dei risultati di apprendimento (tratta da Brinson, 2015)

Risultato di apprendimento	Descrizione	Obiettivi NRC 2006	Pratiche NRC 2012
Conoscenza e comprensione	Grado in cui gli studenti modellano concetti teorici e confermano, applicano, visualizzano e/o risolvono problemi relativi a contenuti importanti della lezione	Migliorare la padronanza della materia	1-2-5-6-7
Capacità di indagine	Grado in cui gli studenti fanno osservazioni, creano e verificano ipotesi, definiscono progetti sperimentali e/o acquisiscono un'epistemologia della scienza	Sviluppare il ragionamento scientifico. Comprendere la natura della scienza	1-2-3-5
Abilità pratiche	Grado in cui gli studenti utilizzano correttamente le attrezzature, la tecnologia e la strumentazione scientifica, seguono protocolli tecnici e professionali e /o dimostrano competenza riguardo tecniche, procedure e misurazioni di laboratorio	Sviluppare abilità pratiche	2-3
Percezione	Grado con cui gli studenti si impegnano ed esprimono interesse, apprezzamento e/o desiderio per la scienza e l'apprendimento scientifico	Coltivare l'interesse per la scienza e per l'apprendimento delle scienze	
Capacità analitiche	Grado con cui gli studenti prevedono, inferiscono, criticano, interpretano, integrano e rilevano pattern nei dati sperimentali, utilizzandoli per generare modelli di comprensione	Sviluppare il ragionamento scientifico. Comprendere la complessità e l'ambiguità del lavoro empirico	2-4-5-6-7-8
Comunicazione sociale e scientifica	Grado con cui gli studenti sono capaci di collaborare, riassumere e presentare i risultati sperimentali, preparare <i>report</i> scientifici, mostrare e rappresentare graficamente i dati	Sviluppare capacità di lavoro di squadra	8

Tabella 3.4 – Strumenti di guida presenti nelle diverse fasi di sviluppo dei laboratori online (tratta da Zacharia et al., 2015)

Fase	Vincoli	Dashboard	Prompt	Euristiche	Scaffold	Presentazione diretta	Totale
<i>Orientamento</i>							
Gli studenti vengono introdotti al problema da approfondire	1	-	-	-	2	1	4
<i>Concettualizzazione</i>							
Gli studenti acquisiscono familiarità con i concetti relativi al problema in esame	1	-	1	4	6	2	14
<i>Indagine</i>							
Gli studenti vengono coinvolti in un'esplorazione o sperimentazione	4	1	4	13	5	-	27
<i>Conclusione</i>							
Gli studenti traggono conclusioni stabilendo se le domande di ricerca o le ipotesi formulate all'inizio dell'indagine sono supportate dai risultati	-	1	2	1	3	-	7
<i>Discussione</i>							
Si basa sulla condivisione della propria indagine con altri, compagni di studio o insegnante	-	-	2	2	1	1	6
<i>Fasi Multiple</i>							
Strumenti di guida applicabili in più fasi	3	1	7	4	14	2	31
Totale	9	3	16	24	31	6	89

rimentale che coinvolge la messa a punto di esperimenti e l'analisi /interpretazione dei dati raccolti. In particolare, vengono fornite numerose *euristiche* (n = 13) utilizzate, ad esempio, per confermare l'ipotesi, gestire valori estremi, creare un grafico, interpretare risultati inaspettati. Inoltre, i *vincoli* aiutano a ridurre la complessità limitando il numero di opzioni che gli studenti devono considerare; e una serie di *prompt* possono venire utilizzati per ricordare agli studenti di non trascurare dei passaggi richiesti prima di poter andare avanti. Sono stati riportati risultati di efficacia per 17 di questi 27 strumenti di orientamento, la maggior parte dei quali (n = 10) ha avuto un impatto positivo sull'apprendimento.

- Gli strumenti di guida da parte dell'insegnante per le fasi di *Conclusione* e *Discussione* sono molto simili, in quanto ci si concentra principalmente sulle istruzioni (*prompt* ed *euristiche*) e sugli strumenti di supporto (*scaffold*) per trarre conclusioni e discutere i risultati. Per entrambe le fasi, gli strumenti di guida hanno un impatto positivo sull'apprendimento.
- Gli strumenti di guida possono essere utilizzati ampiamente in più fasi per guidare il processo di apprendimento degli studenti (n = 31 in totale). Per 17 di questi, gli studi riportano un impatto positivo sull'apprendimento.



Meetme@school: tre giorni di incontri tra scuole e aziende, in preparazione al concorso SI Fabbrica. Testimonial d'eccezione: Luca Abete, ottobre 2019

Brinson (2017)

L'autore ha caratterizzato ulteriormente la letteratura selezionata nel suo precedente studio di revisione, sulla base della nazionalità, livello di studio, caratteristiche demografiche e metodo di studio.

Risultati

- La maggior parte degli studi è stata condotta nei paesi occidentali (n = 43).
- La ricerca ha riguardato soprattutto studenti universitari (n = 34) e di scuola secondaria (n = 10).
- La quasi totalità degli studi si è interessata a laboratori nel campo delle *scienze naturali* (n = 46) e pochi nell'ingegneria (n = 9). In particolare, la fisica (n = 19) è la più studiata, seguita dalla biologia (n = 14) e la chimica (n = 12).
- *Pochi studi hanno considerato i fattori demografici*, tra cui le precedenti conoscenze/esperienze o lo stile di apprendimento (n = 9) come fattori in grado di influenzare i risultati dell'apprendimento.
- Solo due studi sui laboratori virtuali hanno esaminato le *differenze di genere*, non trovando differenze significative.
- La maggior parte degli studi ha usato *metodi quantitativi* (n = 44) che permettono l'uso di analisi statistiche (es. t-test, regressione e analisi della varianza) e solo pochi (n = 7) hanno riportato unicamente analisi minori, come le statistiche descrittive (frequenze, medie, deviazioni standard) per la

valutazione dei *report* di laboratorio, compiti scritti, test, quiz, esercitazioni e/o voti del corso.

Tho *et al.* (2017)

Nella revisione sistematica su ventisei articoli di ricerca, gli autori si sono interessati agli studi che indagano gli effetti dei laboratori remoti sull'educazione scientifica.

Risultati

- I laboratori hanno riguardato nella quasi totalità dei casi tematiche legate all'insegnamento della *fisica*.
- Vengono svolti per l'85% dei casi su *piccoli campioni* inferiori ai 200 studenti.
- Gli studi hanno utilizzato maggiormente un *design di tipo non sperimentale* (n = 16). Per gli studi sperimentali (n = 10) non sempre è stato indicato chiaramente il numero dei partecipanti ai due gruppi (sperimentale e di controllo).
- Quasi l'80% degli studi di ricerca non ha menzionato uno *studio pilota* (applicazione iniziale, su piccola scala, di un protocollo di studio al fine di verificarne l'adeguatezza). Nessun articolo ha affrontato il tema relativo al *consenso etico* per la conduzione della ricerca.
- Per raccogliere e analizzare i dati, la maggior parte degli studi ha utilizzato metodi quantitativi (n = 18), seguiti da metodi misti (sia quantitativi sia qualitativi; n = 7) e qualitativi (n = 1).
- La maggioranza degli studi *non ha riportato dati relativi alla dimensione dell'effetto* sugli apprendimenti. I laboratori remoti sembrano però essere una valida esperienza di apprendimento alternativa o di supplemento al laboratorio tradizionale.
- I dati sulla comprensione concettuale vengono normalmente raccolti tramite *test di conoscenza* (n = 17), mentre pochi hanno utilizzato i *voti degli studenti* (n = 4) o hanno usato i *report* di laboratorio (n = 5).
- È *frequente l'uso del questionario* per misurare le attitudini (n = 16). In particolare, vengono indagati il divertimento, la soddisfazione, la motivazione, la collaborazione e la fiducia in sé.
- Solo uno studio ha considerato le *differenze di genere* associate all'apprendimento degli studenti, non rilevando differenze significative, mentre due studi hanno affermato di non aver potuto analizzare questo dato a causa del basso numero di ragazze presenti nel campione esaminato.
- Sebbene il laboratorio remoto presenti *vantaggi* in termini di *design*, senso della realtà, interesse, usabilità e utilità, presenta dei *limiti* relativi al suo approccio innovativo a cui gli studenti non sono abituati, ad arresti anomali del sistema dovuti ai troppi utenti collegati contemporaneamente o alla connessione internet instabile.

Sypsas e Kalles (2018)

La revisione è stata svolta su ventinove ricerche empiriche che hanno esaminato l'applicazione dei laboratori virtuali in biologia, biotecnologia e chimica.

Risultati

- I laboratori virtuali sono stati utilizzati nella scuola secondaria (n = 9) soprattutto al fine di fornire una *prima esperienza di familiarizzazione alla pratica in laboratori tradizionali*.
- I laboratori virtuali *consentono la sperimentazione essenziale* (es. dissezione) che non sarebbe altrimenti possibile nel campo della biologia e forniscono *rappresentazioni visive* dei concetti astratti di chimica.
- Le simulazioni hanno *effetti positivi sulle conoscenze, sulle capacità di adottare un pensiero scientifico, sul problem solving, sul pensiero critico e sulla motivazione* degli studenti supportando il lavoro in classe dell'insegnante.
- Nella scuola secondaria, le simulazioni hanno avuto *effetti comparabili a quelli degli insegnamenti tradizionali*, promuovendo l'apprendimento autonomo e aumentando la preparazione degli studenti alla materia.
- Più della metà (61%) degli studi ha utilizzato un metodo di *apprendimento misto* tra laboratorio simulato e tradizionale, in grado di coniugare i vantaggi di entrambi i metodi.

Tsihouridis *et al.* (2019)

Lo studio ha indagato l'efficacia dei laboratori tradizionali e virtuali nell'ambito delle scienze naturali tramite una meta-analisi su centosei studi.

Risultati

- Per quanto riguarda gli studi interessati all'educazione nella scuola secondaria (n = 29), nel 62% dei casi i ricercatori hanno ottenuto *risultati di apprendimento simili* dopo aver confrontato gli ambienti virtuali con quelli tradizionali; mentre il 31 % degli studi valuta i laboratori virtuali come lo *strumento di apprendimento più efficace*.
- I laboratori virtuali stimolano *l'interesse* degli studenti, ma una proporzione significativa di ricercatori che hanno chiesto ai propri partecipanti il tipo di laboratorio che preferivano, indipendentemente dai risultati di apprendimento, hanno riportato la *preferenza* degli studenti per la *combinazione dei due laboratori* piuttosto che per il solo uso dell'uno o dell'altro laboratorio.
- Nella scuola secondaria si è osservata una *"tendenza" crescente negli anni dei risultati di apprendimento* ottenuti con l'ambiente virtuale, derivante dalla graduale familiarizzazione e integrazione delle nuove tecnologie nella vita quotidiana degli studenti.

Rubim *et al.* (2019)

Gli autori hanno eseguito una revisione relativa alle caratteristiche di novantanove studi presenti in letteratura sui laboratori remoti e sul loro confronto con i laboratori tradizionali indicando, ad esempio, gli articoli più citati e le tecnologie maggiormente utilizzate in questo settore.

Risultati

- L'analisi dei dati ha indicato che l'area di ingegneria è quella con il maggior numero di studi (n = 59), seguita dall'area delle scienze naturali, matematica e tecnologie (n = 26), al cui interno rientrano la biologia, la fisica e la chimica.

- Come tecnologia *server*, quella più utilizzata è *Lab-View* che ha il vantaggio di avere un linguaggio completo e un facile utilizzo. Come tecnologia *client* viene ampiamente utilizzato *Java Applet* grazie alla sua popolarità e indipendenza dal sistema operativo.
- I *risultati di apprendimento* raggiunti dagli studenti sono stati uguali o superiori nei laboratori a distanza rispetto ai laboratori tradizionali in tutte le categorie di risultati di apprendimento (conoscenza e comprensione, abilità di indagine, abilità pratiche, percezione, abilità analitiche e comunicazione sociale e scientifica).
- Gli autori hanno elencato diversi *vantaggi e svantaggi dei laboratori remoti* rispetto a quelli tradizionali (Tabella 3.5), in generale appare però che i laboratori remoti *non possono sostituire quelli tradizionali*.
- I risultati della revisione hanno mostrato inoltre che, a seconda degli studi esaminati, le stesse caratteristiche dei laboratori remoti possono costituire allo stesso tempo, a seconda dei casi, un vantaggio o uno svantaggio (Figura 3.2).

Udin *et al.* (2020)

La revisione sistematica ha indagato i risultati di ventitre studi relativi ai laboratori virtuali nell'apprendimento della biologia.

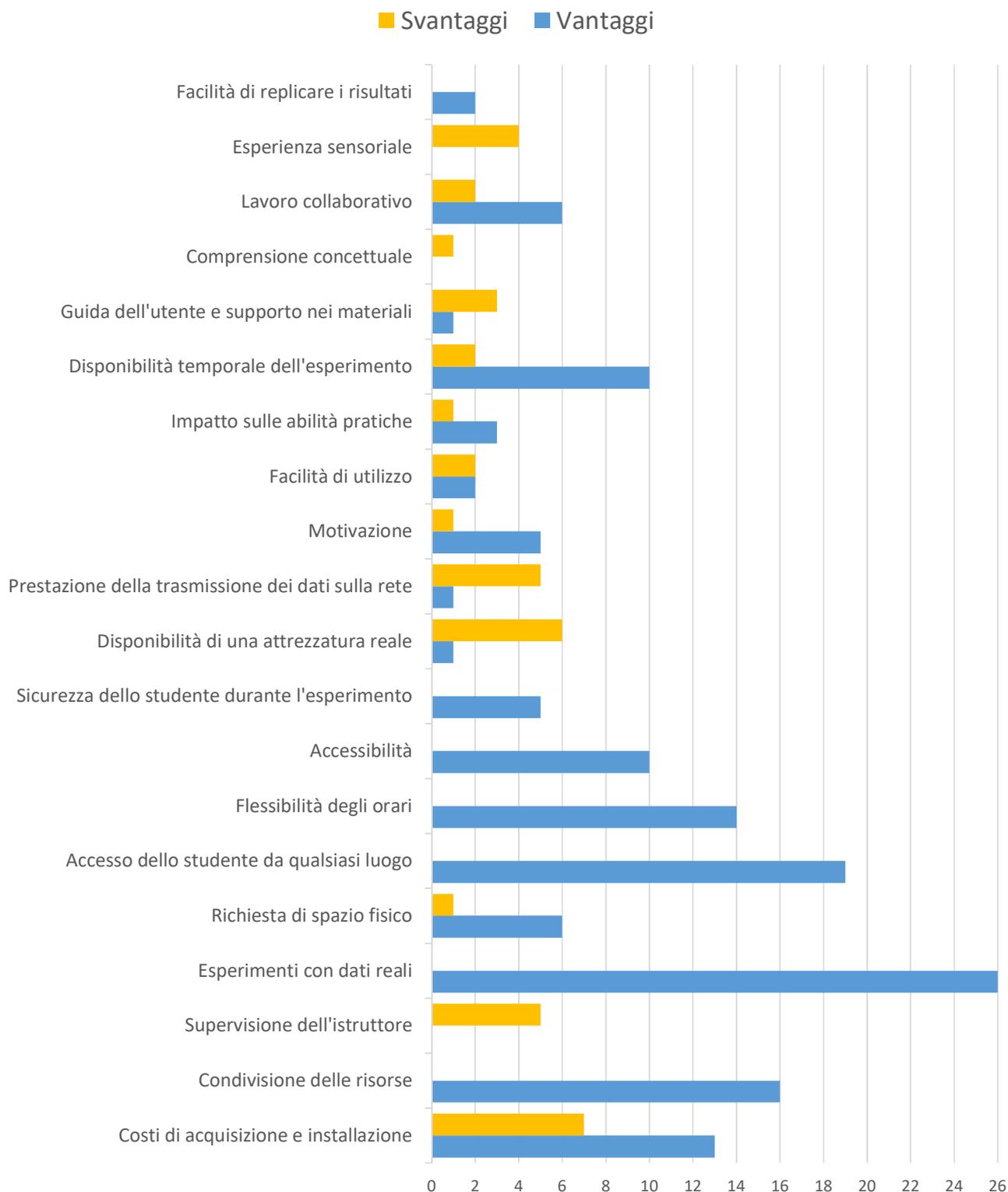
Risultati

- Il *tema più trattato* nei laboratori è stato l'introduzione alla biologia (inclusa la biodiversità; n = 7), seguito dalla biologia molecolare (n = 5), la biotecnologia (n = 2), la genetica (n = 2) e l'ecologia (n = 2).
- I *motivi* che spingono a utilizzare i laboratori sono stati: *l'astrattezza degli argomenti trattati* (es. cellula, DNA), la loro *dinamicità* (es. sintesi proteica, divisione cellulare), la *difficoltà di visualizzazione nella vita reale* (es. biologia molecolare, virus) e le *complesse relazioni tra gli elementi* (es. sistemi ecologici).
- Gli *argomenti interdisciplinari* sono stati usati raramente, ma in tal caso hanno riguardato la biochimica (integrazione tra scienze biologiche e chimiche) e la biofisica (integrazione tra scienze biologiche e fisiche).

Tabella 3.5 – Vantaggi e svantaggi dei laboratori remoti (tratta da Rubim *et al.*, 2019)

Vantaggi laboratorio remoto	Svantaggi laboratorio remoto
<i>Condivisione delle risorse</i>	<i>Manipolazione di apparecchiature reali</i>
Le diverse istituzioni educative, spesso molto distanti tra loro, possono utilizzare la stessa attrezzatura	Lo studente non ha un contatto diretto con l'apparecchiatura
<i>Supervisione dell'istruttore durante l'utilizzo dell'attrezzatura</i>	<i>Impianto</i>
Il laboratorio remoto non richiede una supervisione costante dello studente che può realizzare esperimenti in sicurezza	Normalmente il laboratorio remoto necessita di banda larga ad alta velocità limitandone l'applicabilità proprio dove sarebbe più necessario
<i>Accesso alle apparecchiature</i>	<i>Presenza di esperti</i>
Consente l'accesso 24 ore su 24, 7 giorni su 7 da qualsiasi luogo; facilita l'accesso degli studenti con disabilità e mobilità ridotta che possono realizzare l'esperimento a casa propria	Il laboratorio di sperimentazione a distanza richiede la presenza di un team professionale specializzato e interdisciplinare per la sua realizzazione, per ovviare a difficoltà comuni associate alla pianificazione, progettazione di sistemi e funzionamento delle apparecchiature
<i>Richiesta di spazio fisico</i>	
La necessità di spazio fisico è molto minore	
<i>Sicurezza dello studente</i>	
Garantisce la sicurezza in caso di esperimenti che coinvolgono alta tensione, radiazioni, ecc.	
<i>Lavoro collaborativo</i>	
Gli strumenti di comunicazione offrono prospettive di lavoro di squadra che possono coinvolgere studenti provenienti da luoghi diversi	

- La maggior parte dei ricercatori è interessata alla *comprensione concettuale* della biologia da parte degli studenti. In particolare, i guadagni più elevati sono stati osservati per gli studenti dalle *basse prestazioni* scolastiche. Alcuni studi indagano le abilità affettive e psicomotorie e solo pochi sono interessati al processo di apprendimento scientifico.
- I *laboratori virtuali accompagnati da attività pratiche in laboratorio* sono risultati più efficaci dei soli laboratori tradizionali o dei soli laboratori virtuali in termini di comprensione concettuale; possono essere quindi utilizzati come mezzi di apprendimento alternativi ai laboratori tradizionali ma non li possono sostituire del tutto.
- I laboratori virtuali hanno effetti positivi significativi sulle *capacità di svolgere una corretta attività di sperimentazione laboratoriale* rispetto ai laboratori tradizionali. In particolare, risultano avere effetti positivi se supportati da libri di testo e attrezzature adeguate, cioè combinando i laboratori virtuali con altri mezzi di apprendimento.
- Si sono trovati effetti positivi sulla *fiducia in sé* e sulla *motivazione* degli studenti, anche se, in alcuni studi, gli studenti preferivano le rappresentazioni reali.
- I laboratori faccia a faccia risultano un ambiente migliore per le interazioni e la collaborazione degli studenti rispetto ai laboratori virtuali.

Figura 3.2 Vantaggi e svantaggi dei laboratori remoti negli studi primari esaminati (tratta da Rubim *et al.*, 2019)



Stand di Progetto SI alla Fiera SPS IPC Drives, Parma, 28-30 maggio 2019

- I laboratori virtuali possono essere *più efficaci* di quelli tradizionali se: a) i materiali e le attrezzature per gli esperimenti tradizionali sono costosi, b) le finestre temporali sono limitate, c) vi sono problemi etici di sperimentazione reale, (d) vi è difficoltà nell'interpretazione dei risultati, (e) sono necessari strumenti sofisticati e (f) se si richiede l'utilizzo di sostanze pericolose.

3.2. Sintesi delle evidenze

I progetti interessati a sviluppare e utilizzare i laboratori *online*, sfruttandone appieno le potenzialità di apprendimento per gli studenti, non possono fare a meno di prendere come punto di riferimento i risultati dell'evidenza empirica. In particolare, di seguito sono riportate alcune interessanti considerazioni emerse dal confronto dei risultati degli studi di revisione precedentemente illustrati che sintetizzano la letteratura esistente sull'efficacia dei laboratori virtuali e remoti per il raggiungimento degli obiettivi educativi in campo scientifico.

I laboratori online permettono di raggiungere risultati comparabili a quelli tradizionali

I laboratori *online* nascono dall'esigenza di rimediare alla carenza di laboratori scientifici nelle scuole, offrendo una soluzione semplice a problemi di costi e disponibilità di apparecchiature. In questo senso, un risultato incoraggiante che emerge dalla letteratura riguarda il confronto con i laboratori tradizionali. Gli studenti dei laboratori *online* raggiungono gli stessi (Sypsas, Kelles, 2018; Tsihouridis *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2014) o maggiori risultati degli studenti dei laboratori pratici (Brinson, 2015, 2017; Rubim *et al.*, 2019).

I laboratori online sono spesso pensati in abbinamento alle attività pratiche

L'uso combinato degli esperimenti virtuali e reali può portare a grandi vantaggi in termini di apprendimento, risultando più efficace e preferito dagli studenti rispetto all'uso del solo laboratorio tradizionale o del solo laboratorio virtuale (Sypsas, Kelles, 2018; Tsihouridis *et al.*, 2019; Udin *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2014). Il laboratorio virtuale può essere utilizzato come un ambiente preparatorio per i tradizionali

esperimenti scolastici, avendo il vantaggio di fornire una prima esperienza di familiarizzazione alla pratica laboratoriale (Sypsas, Kalles, 2018) e i laboratori remoti possono costituire una valida esperienza di integrazione al lavoro pratico (Tho *et al.*, 2017). Si dovrebbe quindi sempre tenere a mente che i laboratori *online* possono essere utilizzati come mezzi di apprendimento di supporto per migliorare la comprensione concettuale, le abilità pratiche degli studenti e la loro motivazione, ma non possono sostituire del tutto quelli tradizionali (Rubim *et al.*, 2019; Udin *et al.*, 2020). Studi futuri dovrebbero indagare meglio quali aspetti delle esperienze fisiche possono o non possono essere sostituiti con esperienze virtuali o remote, nonché in che misura questa sostituzione o integrazione influenzi lo sviluppo delle capacità psicomotorie e l'atteggiamento degli studenti nei confronti della scienza (Wang *et al.*, 2014).

Negli studi viene data più importanza al sapere che al saper fare

Nel progettare un laboratorio non si dovrebbe dimenticare che la scienza non è solo un insieme di conoscenze che riflettono l'attuale comprensione del mondo ma è anche un insieme di pratiche usate per stabilire, estendere e perfezionare quella conoscenza. Entrambi gli elementi, conoscenza e pratica, sono essenziali. Nonostante queste premesse, la letteratura mostra che molti degli studi nel campo della didattica laboratoriale *online* valutano principalmente gli aspetti legati alla conoscenza e alla comprensione degli studenti trascurando gli aspetti pratici (Brinson, 2015; Udin *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2014). Tali abilità, centrali per un laboratorio, sono poco indagate probabilmente perché gli insegnanti delle materie STEM sono portati a pensare che la pratica sia di solo appannaggio dei laboratori tradizionali. La ricerca mostra invece che anche gli studenti che frequentano i laboratori *online* ottengono importanti risultati nella capacità di svolgere una corretta attività di sperimentazione laboratoriale, con gli stessi o addirittura migliori risultati di apprendimento rispetto a quelli che possono usufruire dei tradizionali laboratori scolastici (Brinson, 2015), anche se gli effetti maggiori per i laboratori virtuali si hanno quando combinati

con altri metodi di apprendimento (Udin *et al.*, 2020). Inoltre, gli studenti che hanno frequentato un laboratorio *online* sono in grado, una volta portati in un laboratorio tradizionale, di utilizzare correttamente le attrezzature, la tecnologia e la strumentazione scientifica, seguendo protocolli tecnici e professionali e dimostrando competenze sulle tecniche, procedure e misurazioni di laboratorio (Brinson, 2015). Infine, si dovrebbe tenere in considerazione che molte delle abilità che gli studenti apprendono nei laboratori scolastici sono obsolete nelle carriere scientifiche rispetto a quelle che si ha la possibilità di apprendere nei più innovativi laboratori remoti o virtuali.

Pochi studi si concentrano sullo sviluppo del ragionamento scientifico

Sebbene le pratiche utilizzate per sviluppare e testare le teorie scientifiche differiscano da un dominio scientifico all'altro, esistono dei concetti trasversali, basati sull'indagine dell'evidenza empirica e sulla risoluzione dei problemi che sono centrali in tutti i campi. In particolare, l'educazione scientifica richiede il possesso di importanti abilità, quali le capacità di indagine e le capacità analitiche in grado di sviluppare il ragionamento scientifico. Le prime riguardano l'abilità di indagare i principi e le teorie scientifiche e di esplorare i limiti dell'attrezzatura, dei materiali e della teoria che si sta cercando di convalidare; le seconde sono legate all'abilità di prevedere, inferire, criticare e interpretare i dati (Brinson, 2015). Si dovrebbe infatti evitare che la scienza diventi un libro di ricette, ma si dovrebbe essere capaci di formulare delle ipotesi, raccogliere dati, analizzarli e interpretarli dando sempre priorità all'evidenza (Scalise *et al.*, 2011). Dall'analisi della letteratura appare che gli studi che hanno considerato queste abilità supportino l'utilizzo dei laboratori *online*, con risultati di apprendimento uguali o superiori rispetto ai laboratori tradizionali (Brinson, 2015; Sypas, Kelles, 2018; Wang *et al.*, 2014).

Gli studenti vivono positivamente l'esperienza laboratoriale

Risultati incoraggianti si hanno anche in riferimento alla percezione degli studenti che sembrano vivere

piacevolmente l'esperienza laboratoriale *online* (Brinson, 2015; Tho *et al.*, 2017). Da notare però che quando viene misurato l'atteggiamento, per lo più con questionari e interviste, questo è quasi sempre relativo alla soddisfazione per l'attività laboratoriale e all'interesse per le tecnologie utilizzate mentre viene trascurata la motivazione verso la disciplina scientifica (Wang *et al.*, 2014). Questo aspetto è importante in quanto la motivazione alle discipline STEM costituisce un fattore in grado di influenzare l'apprendimento, la persistenza di fronte alle difficoltà e le future scelte di carriera in ambito scientifico (Wigfield, Eccles, 2000). Un fattore in grado di influenzare la motivazione è il realismo dell'ambiente laboratoriale *online*. In particolare, nel caso del laboratorio virtuale in cui la realtà è digitalizzata, rispetto a quello remoto dove la realtà è solo mediata dalla distanza, è importante che lo studente abbia sempre la sensazione di lavorare con veri dispositivi in uno spazio il più autentico e trasparente possibile, dandogli l'illusione di un comune esperimento reale condotto in un ambiente tradizionale (Ma, Nickerson, 2006).

Per valutare i risultati di apprendimento si fa affidamento soprattutto a domande teoriche

L'importanza data alla conoscenza maturata dagli studenti a seguito di un laboratorio *online* emerge dall'esame dei criteri di valutazione dei laboratori. È interessante infatti notare che la maggior parte degli studi utilizzano domande teoriche a risposta aperta o chiusa come strumento principale di valutazione dei risultati di apprendimento (Brinson, 2015; Tho *et al.*, 2017). Solo pochi studi utilizzano esami pratici, *report* di laboratorio o strumenti di valutazione alternativi per ottenere una comprensione più ricca dell'esperienza laboratoriale (Brinson, 2015; Tho *et al.*, 2017). Per riflettere accuratamente il modo reale di procedere della scienza, gli studenti, come gli scienziati, dovrebbero essere spinti a discutere le loro idee, scrivere *report*, mettere a punto delle presentazioni ed esporle agli altri (Brinson, 2015). In ogni caso, qualunque siano gli strumenti di valutazione del laboratorio scelti è importante che essi siano coerenti con gli obiettivi di partenza relativi ai risultati di apprendimento.

Il feedback dell'insegnante è un fattore importante per una pratica laboratoriale efficace

L'apprendimento degli studenti, seppur incoraggiato da aspetti quali l'interfaccia dei sistemi digitali utilizzati (Scalise *et al.*, 2011), non può essere attribuito alla sola tecnologia del laboratorio, ma è importante concentrarsi sull'importanza di altri fattori legati alla gestione del laboratorio da parte dell'insegnante. Ad esempio, vi è da segnalare che il tipo di *feedback* e gli strumenti di guida utilizzati dall'insegnante nelle diverse fasi di ricerca sono in grado di influenzare l'apprendimento degli studenti (Merchant *et al.*, 2014; Zacharia *et al.*, 2015). Rispetto alle fasi di sviluppo dei laboratori *online*, la maggior parte delle indicazioni da parte degli insegnanti sono solitamente concentrate nella fase di indagine in cui gli studenti vengono coinvolti nell'esplorazione e sperimentazione. In particolare, gli insegnanti aiutano gli studenti tramite numerose euristiche utilizzate, ad esempio, per confermare ipotesi, gestire valori estremi e interpretare risultati inaspettati. Sono ampiamente impiegati anche gli *scaffold* sia nella fase di indagine sia in quella di concettualizzazione, per supportare gli studenti nella formulazione di domande di ricerca e ipotesi per i loro esperimenti (Zacharia *et al.*, 2015).

Si deve dare importanza alla formazione dell'insegnante

Sebbene la formazione degli insegnanti sulle conoscenze tecnologiche e il contenuto pedagogico possa migliorare in modo significativo la qualità dell'apprendimento in un laboratorio *online*, la formazione degli insegnanti è un'area di ricerca che attira ancora poca attenzione (Wang *et al.*, 2014). Per garantire che le indagini di laboratorio facciano efficacemente parte del processo di apprendimento è importante che agli insegnanti di materie scientifiche e tecnologiche venga concesso il tempo e la formazione necessaria per sviluppare modi di insegnamento e valutazione adatti a espandere e rilevare le conoscenze, le capacità pratiche, di ragionamento scientifico e di indagine degli studenti.

Emergono indicazioni riguardo i principi pedagogici alla base dei laboratori online

Una domanda fondamentale quando si considerano esperimenti mediati dalla tecnologia a supporto di qualsiasi materia scientifica è se tali laboratori siano in grado di offrire un valore aggiunto in termini pedagogici. Perché ciò avvenga, Scalise *et al.* (2011) vedono al centro della pratica laboratoriale virtuale alcuni principi didattici che si sviluppano secondo una progressione dal livello di base a quello avanzato. In particolare, gli autori consigliano di favorire l'indagine attiva dello studente a partire dal saper identificare il problema di ricerca e sviluppare le ipotesi; dare priorità all'evidenza, facendo osservazioni e raccogliendo i dati; stimolare il processo decisionale dello studente, fornendo a ognuno i propri tempi; dare spazio alla valutazione delle spiegazioni plausibili dei risultati, anche di quelli inaspettati; imparare a comunicare, giustificare e discutere i risultati portando gli studenti a pensare come scienziati.

Un'interessante categorizzazione dei risultati dell'apprendimento arriva dal modello KIPPAS proposto da Brinson (2015) per laboratori virtuali e remoti. Il modello si basa sull'importanza di sviluppare: la conoscenza e comprensione dei concetti teorici; le capacità di indagine e di sviluppo del ragionamento scientifico; le abilità pratiche e di gestione delle attrezzature; la percezione legata all'impegno e all'interesse per la scienza; le capacità analitiche di prevedere, criticare, integrare e interpretare i dati; la comunicazione sociale e scientifica intesa sia come lavoro di squadra sia come capacità di riassumere e presentare i dati. Questo modello deriva dalle indicazioni del *National Research Council* (NRC) che, basandosi sulle pratiche comuni per scienziati e ingegneri, possono rappresentare una guida per insegnanti di scienze, educatori e altri professionisti interessati a sviluppare e valutare attività educative in campo scientifico, sia di tipo teorico che applicato.

Il ruolo di alcune caratteristiche dei partecipanti e dell'intervento è ancora da chiarire

Per quanto riguarda le caratteristiche dei partecipanti, pochi studi considerano i fattori demografici, tra cui ad esempio le precedenti conoscenze/esperienze

o lo stile di apprendimento, come fattori in grado di influenzare i risultati dell'apprendimento (Brinson, 2017). Allo stesso modo vengono trascurate le differenze di genere (Tho *et al.*, 2017), con Brinson (2017) che nella sua rassegna trova solo due studi sui laboratori *online* che considerano tale aspetto

non mostrando differenze significative. Per quanto riguarda le caratteristiche dell'intervento, gli aspetti legati alla durata dell'attività laboratoriale, alla qualità del *design* dello studio o al fatto che l'attività venga svolta individualmente o in gruppo, sono questioni ancora da indagare in studi futuri (Wang *et al.*, 2014).

4. RACCOMANDAZIONI PRATICHE¹



Fondazione Cariplo insieme al performing partner Fondazione Politecnico di Milano, presenta Progetto SI ai docenti e agli studenti delle scuole coinvolte, maggio 2018

In questo lavoro, siamo partiti da un quadro più generale sui principi dell'istruzione efficace, sul rapporto tra applicazioni tecnologiche e apprendimenti nella scuola e sulla didattica laboratoriale mediata dalle tecnologie digitali. Quindi sono stati riportati i risultati di una ricerca sistematica condotta nell'ambito dell'educazione STEM a livello scolastico, incentrata sull'efficacia delle tecnolo-

gie digitali e dei laboratori *online* (virtuali e remoti) per il miglioramento degli apprendimenti, e le evidenze verso cui questi tendono a convergere. In ogni passaggio, si è cercato di garantire l'affidabilità delle affermazioni riportate, sulla base delle migliori evidenze scientifiche disponibili maturate nell'ambito della ricerca educativa.

Compito di quest'ultima è, da un lato, quello di contribuire allo sviluppo delle conoscenze disponibili, e dall'altro, quello di fornire ai professionisti informa-

¹ Giuliano Vivonet.

zioni utili a prendere decisioni più consapevoli, sulla base di ciò che, allo stato attuale, sappiamo funzionare meglio. In questa ottica, e in conclusione del nostro lavoro, vorremmo pertanto proporre al lettore alcune raccomandazioni derivanti dall'insieme di evidenze disponibili. Queste sono da intendersi come orientamenti volti a due differenti livelli di decisione: un primo livello *macro*, identificato nelle scelte di *policy* (quelle del decisore politico, dei soggetti pubblici e/o privati che hanno un ruolo nella definizione degli indirizzi di sistema a livello nazionale o locale, ma anche del dirigente scolastico per la *governance* del proprio istituto); e un livello *micro*, che si colloca nella pratica didattica quotidiana (quella degli insegnanti, degli educatori e dei progettisti didattici), e che esprimeremo attraverso una sorta di decalogo per una buona progettazione e azione istruttiva, mediata da tecnologie, nell'educazione STEM.

4.1. Il livello macro: le policy

Con riferimento al primo livello, appare ancora oggi attuale la riflessione di Bottani (2009, pp. 18-20): *"In Italia la politica scolastica sembra poter fare a meno della ricerca scientifica in educazione. [...] Qualunque sia l'ipotesi che sottenda il caso italiano, occorre rilevare una "stranezza" della politica scolastica di questo Paese. In quasi ogni proposta di legge o di regolamento che riguardi la scuola emanata in questi ultimi anni in Italia si parla di sperimentazione. Ma la cosa singolare è che le sperimentazioni non si fanno mai prima dell'assunzione delle decisioni per capire se il modello d'intervento proposto permetta o meno di risolvere il problema che si vuole affrontare. [...] Le riforme scolastiche costano; non si possono fare senza risorse economiche, questo è un dato ben noto. Proprio per questa ragione, prima di decidere una riforma o un'innovazione i responsabili politici, che non possono contare su risorse illimitate, chiedono alla ricerca scientifica se valga o meno la pena di intraprendere un determinato programma. Questo succede nei sistemi governati secondo criteri di responsabilità che tengono conto della spesa pubblica e del bene comune, che sanno che non si può mettere in cantiere tutto quanto è auspicabile e neppure fare promesse che non si potranno mantenere. [...] Senza uno sforzo adeguato di ricerca scientifica sulla scuola non si*

*combattono i cattivi risultati degli studenti, non si riduce il disagio di molti insegnanti e dirigenti in un sistema che affonda lentamente nell'indifferenza, né si attenuano le ingiustizie e i macroscopici squilibri esistenti sul territorio nazionale. Tranne alcune eccezioni, l'offuscamento della realtà pare prassi corrente nel dibattito scolastico italiano. Questa operazione è resa possibile dalla mancanza di prove e di dati verificati, frutto di indagini rigorosamente condotte."*².

Condividendo la medesima riflessione, avanziamo quattro raccomandazioni per la *policy*.

Raccomandazioni per la policy

1. Indirizzare l'innovazione tecnologica verso obiettivi prioritari del sistema di istruzione.
2. Privilegiare le strategie di innovazione tecnologica basate su evidenze.
3. Garantire un'adeguata formazione degli insegnanti all'uso didatticamente efficace delle tecnologie.
4. Accompagnare l'innovazione tecnologica con un sistema rigoroso di valutazione dell'efficacia degli interventi.

Indirizzare l'innovazione tecnologica verso obiettivi prioritari del sistema di istruzione

Tipicamente ogni sistema di istruzione, sia nazionale sia regionale-locale, presenta punti di forza e di debolezza. Le risorse per ottenere dei miglioramenti sono limitate e, di fronte alla complessità intrinseca di tali sistemi, appare utopico immaginare di poter programmare interventi che possano risolvere al medesimo tempo l'insieme di criticità presenti. Data tale premessa, è auspicabile che chi deve prendere decisioni che possono avere un impatto sul sistema di istruzione, a

- 2 Già Visalberghi nel 1975 (Costa *et al.*, 1975, p. 29) si esprimeva similmente riferendosi alla scuola italiana: *"In carenza di un serio esame scientifico delle questioni, ci si affida semplicemente a dei movimenti d'opinione. La nostra legislazione scolastica è purtroppo soggetta ai movimenti d'opinione, anche contingenti, in maniera incredibile [...] queste questioni sono affidate in misura sproporzionata a movimenti d'opinione, giustificatissimi, ma che sarebbe giusto che fossero corretti in qualche misura dai dati di ricerche serie"*.

qualunque livello si collochi, debba fissare delle priorità, identificando dapprima quelle che sono le debolezze più importanti da risolvere e via via stabilire un ordine di rilevanza. L'innovazione tecnologica, e il connesso sistema di investimenti (non solo economici, ma anche sociali e culturali), impegna significative risorse, per questo dovrebbe essere indirizzata secondo tale scala di rilevanza verso quelli che si ritengono essere gli obiettivi prioritari identificati, evitando investimenti indiscriminati, privi di una precisa direzione e giustificazione.

Privilegiare le strategie di innovazione tecnologica basate su evidenze

Definita una scala di rilevanza dei problemi e dei conseguenti obiettivi per il miglioramento del sistema di istruzione, considerata ancora la limitatezza delle risorse, il decisore politico dovrebbe documentarsi in modo rigoroso, accompagnato dagli esperti di settore, su quali interventi, in rapporto agli obiettivi identificati, hanno maggiori probabilità di ottenere in quel dato contesto i migliori risultati (in termini di efficacia, efficienza e/o sostenibilità). La ricerca scientifica infatti permette di definire ipotesi sull'effetto dei diversi tipi di intervento, con differente grado di affidabilità sulla base della qualità e quantità delle evidenze disponibili. In tal senso, è un esempio la recente normativa statunitense, denominata *Every Students Succeeds Act* (ESSA)³ del 2015, in accordo alla quale si distinguono interventi che dimostrano un effetto statisticamente significativo sul miglioramento dei risultati dello studente o su altri risultati sulla base della forza delle evidenze disponibili (Pellegrini, 2017). Sulla base di queste, dunque, tenuto conto delle caratteristiche del contesto specifico del sistema di istruzione e dell'insieme di vincoli che su tale decisione esercitano eventuali condizionamenti (valoriali, socio-culturali, economici, normativi, etc.), il decisore politico

dovrebbe indirizzare l'innovazione tecnologica verso gli interventi più promettenti in termini di efficacia.

Garantire un'adeguata formazione degli insegnanti all'uso didatticamente efficace delle tecnologie

Già nel 2005, con la pubblicazione del *report Attracting, developing and retaining effective teachers – Teachers matter*, l'OECD metteva in evidenza come tra i diversi fattori che possono condizionare l'esito dei percorsi di apprendimento, la maggiore variazione è spiegabile nei termini del *background* dello studente (il suo pregresso insieme di conoscenze, abilità, attitudini, condizioni familiari e sociali); variabile su cui, tuttavia, i decisori politici hanno meno probabilità di incidere nel breve periodo. Tra i fattori su cui è possibile intervenire direttamente e in tempi più rapidi, invece, quelli relativi all'insegnamento sono quelli in grado di influire maggiormente sugli esiti dei percorsi degli studenti (OECD, 2005). Questo dato è coerente con tutti i risultati analizzati e discussi in questo *report*, che mostrano chiaramente come a fare la differenza non siano in sé i dispositivi tecnologici, quanto le strategie e i metodi dell'insegnante. La conseguenza è intuitiva: non ci può essere innovazione tecnologica in grado di migliorare gli apprendimenti, senza che questa sia accompagnata da un'adeguata formazione degli insegnanti all'uso didatticamente efficace dei *media* digitali. Il discorso è in realtà ancora più ampio e si inquadra nel più generale fine della ri-valorizzazione della professionalità docente a livello sociale e culturale (discendendo poi da questi anche un corrispondente riconoscimento economico), quale chiave per il miglioramento del sistema di istruzione.

Accompagnare l'innovazione tecnologica con un sistema rigoroso di valutazione dell'efficacia degli interventi

In linea con quanto fin qui discusso e coerentemente ai punti precedenti, i benefici dell'innovazione tecnologica non possono essere vantati sulla base di posizioni *a priori* o dettati dall'entusiasmo techno-centrico del senso comune che talvolta pervade il dibattito sulle riforme scolastiche. Qualsiasi intervento, soprattutto se impegna risorse ingenti, deve essere giustificato e reso trasparente nei suoi effetti agli occhi degli *stakeholders* e del pubblico, a favore del bene comune. Non ci può essere pertanto innovazione tecnologica senza un ade-

3 Tale intervento normativo segue quello precedente, denominato *No Child Left Behind Act* del 2002, in cui si introduceva il concetto di "*scientifically based research*" nella definizione degli interventi promossi dalla politica dell'istruzione statunitense. Per approfondimenti sulla normativa definita dall'ESSA, si rimanda a www.ed.gov/essa.

guato impegno di valutazione rigorosa dei suoi effetti, rispetto agli obiettivi posti. La ricerca può infatti indirizzare e orientare le scelte dell'innovazione tecnologica, mostrando le strategie che hanno maggiori probabilità di successo, ma, come più volte sottolineato in questo *report*, queste devono poi essere contestualizzate e validate nei singoli *setting* in cui sono attuate. La valutazione assume in tal modo la prima fonte di evidenze per comprendere cosa ha funzionato e cosa no e dove intervenire per migliorare, assumere decisioni per indirizzare le risorse future, privilegiando le strategie che si sono dimostrate di maggiore beneficio ed evitando di disperdere tali risorse seguendo piste che hanno dato prova di non portare a chiari vantaggi.

4.2. Il livello micro: la didattica quotidiana

Spostando la nostra attenzione sulla pratica didattica quotidiana, l'insieme di evidenze che decenni di ricerca scientifica ha capitalizzato ci porta di seguito a redarre una sorta di decalogo per la buona progettazione didattica⁴, con interesse specifico per l'integrazione della didattica digitale in quella più tradizionale nell'ambito dell'educazione STEM; pur nella consapevolezza che l'istruzione non è una pratica riducibile a "ricette di successo" da applicarsi meccanicamente, ma che ciascuna delle raccomandazioni seguenti deve trovare nelle competenze dell'insegnante la migliore "configurazione" nello specifico del proprio contesto educativo.

Raccomandazioni per la pratica didattica

1. Chiarire agli studenti l'obiettivo di apprendimento e allineare scrupolosamente obiettivo > strategia didattica > valutazione.

4 A giustificazione delle raccomandazioni qui presentate, non richiameremo nuovamente i riferimenti alla letteratura scientifica da cui esse sono derivate, avendo esplicitato ogni fonte che ne è alla base nelle diverse sezioni di questo rapporto. Esse sono il frutto della integrazione e della comparazione, tra gli elementi verso cui sono andate convergendo l'*instructional design* (così come sintetizzate in Calvani, 2011; 2012; Calvani, Marzano, 2020; SAPlE, 2017); l'*evidence-based education*; le scienze cognitive; e più specificamente per l'educazione STEM le revisioni sistematiche e le meta-analisi analizzate nei paragrafi 2.1 e 3.1.

2. Partire da un problema rilevante per lo studente per stimolarne la motivazione.
3. Agganciare le nuove conoscenze a quelle già in possesso degli studenti, gradualmente e strutturando le conoscenze.
4. Alternare frequentemente la pratica, integrando didattica in presenza e didattica digitale.
5. Integrare attività collaborative ben strutturate (in coppia o a piccoli gruppi) e didattica istruttiva.
6. Valorizzare il feedback, favorendo l'autoregolazione degli apprendimenti nello studente.
7. Stimolare la riflessione sulle procedure (meta-cognizione).
8. Variare forme e modi di applicazione e richiamare le conoscenze a distanza di tempo (rinforzo).
9. Utilizzo delle tecnologie digitali con interventi bilanciati nel tempo, tenendone sotto controllo i rischi di effetti collaterali.
10. Progettare didattiche laboratoriali integrate tradizionali-digitali per il raggiungimento di obiettivi che vanno oltre la mera conoscenza.

Chiarire agli studenti l'obiettivo di apprendimento e allineare scrupolosamente obiettivo > strategia didattica > valutazione

Gli studenti devono avere chiaro l'obiettivo di apprendimento da raggiungere (*che cosa ci si aspetta da me al termine dell'intervento?; che cosa devo sapere?; che cosa devo saper fare?*). Spetta all'insegnante chiarire prima a sé stesso tale obiettivo e quindi accertarsi che ogni studente lo abbia ben compreso, anche attraverso esemplificazioni pratiche. Una volta definito l'obiettivo, è necessario definire una strategia didattica (anche mediata dalle tecnologie) coerente. Non sarebbe, ad esempio, corretto porsi come obiettivo lo sviluppo di competenze "meta" di ragionamento scientifico e proporre una didattica che privilegi l'acquisizione di mere conoscenze relative a concetti o fenomeni. Al riguardo, l'insegnante, nel definire la propria strategia didattica, si deve domandare se, rispetto allo specifico obiettivo definito, le tecnologie potranno portare un reale valore aggiunto, ad esempio aiutando gli studenti a lavorare in modo più effi-

ciente, più efficace, più intensivo, più approfondito o più produttivo. Coerentemente con la natura dell'obiettivo di apprendimento, inoltre anche le modalità di valutazione (*in itinere*, con funzione formativa, ed *ex-post* con funzione sommativa) dovranno essere definite, al fine di garantire la coerenza e logicità dell'intero percorso.

Partire da un problema rilevante per lo studente per stimolarne la motivazione

Un genuino e naturale interesse, la curiosità, la motivazione sono elementi fondamentali che agiscono come “molla per l'apprendimento”. Partire da un problema rilevante per lo studente, traendo ispirazione dal variegato mondo empirico oggetto dell'educazione STEM, che sia per quest'ultimo significativo per le sue esperienze attuali o per le sue prospettive di crescita future, può favorire l'attivazione di tali fattori. Questa dimensione che genericamente chiameremo motivazionale, ma che coinvolge lo studente anche sul piano emotivo-affettivo, assume infatti grande rilevanza per lo sviluppo dei processi cognitivi. Nel caso specifico dell'educazione STEM, tale dimensione dovrebbe essere indirizzata non solo verso le tecnologie in sé o la pratica laboratoriale, quanto verso l'apprendimento scientifico più in generale.

Agganciare le nuove conoscenze a quelle già in possesso degli studenti, gradualmente e strutturando le conoscenze

Ogni studente porta con sé un bagaglio di conoscenze, abilità e competenze (oltre che esperienze e attitudini) che sono i principali predittori del suo successo scolastico. L'insegnante dovrebbe favorire il più possibile l'integrazione delle nuove conoscenze dell'allievo con quelle precedenti, partendo dal già noto e “agganciandosi” a questo; favorendo in lui una continua ristrutturazione della rete di conoscenze, procedendo gradualmente e in ordine di complessità (ad es. dal generale allo specifico).

Alternare frequentemente la pratica, integrando didattica in presenza e didattica digitale

L'introduzione di nuove conoscenze e la costruzione di sempre più elevate competenze dovrebbe prevedere una continua e costante alternanza con la pratica, con

l'esercizio ripetuto (aspetto particolarmente favorito dalle applicazioni tecnologiche che consentono di esercitarsi ripetutamente, anche adeguando il livello di complessità in modo graduale) e sollecitando il riuso di conoscenze e abilità in contesti differenti. In tale prospettiva, si dovrebbe favorire anche l'integrazione tra la didattica in presenza e quella digitale, concepite non secondo una logica di mera alternanza, ma piuttosto come l'una a reale supporto dell'altra (esplicitando il modo in cui questo effettivamente viene realizzato), ad esempio sfruttando strategie quali la *flipped classroom* e le potenzialità della didattica laboratoriale digitale (laboratori virtuali e remoti). L'uso della tecnologia digitale deve rappresentare un supplemento piuttosto che un sostituto dell'insegnamento abituale.

Integrare attività collaborative ben strutturate (in coppia o a piccoli gruppi) e didattica istruttiva

Allo stesso modo di come si integrano conoscenze e pratica, didattica in presenza e didattica digitale, si dovrebbe favorire l'integrazione di pratiche di istruzione diretta (che non si riduce alla lezione frontale unidirezionale, ma che può realizzarsi ad esempio attraverso efficaci lezioni frontali interattive o la strategia del *mastery learning*) e istruzione collaborativa. Quest'ultima non può ridursi, se non vuole perdere di significato e di efficacia, a generiche indicazioni per lavori di gruppo, richiedendo piuttosto la definizione di interventi ben strutturati, con chiara organizzazione di attività, ruoli e tempistiche (con maggiore o minore guida da parte dell'insegnante, dipendente dal livello di *expertise* raggiunto dai singoli studenti), in coppia o piccoli gruppi (evitando invece gruppi troppo numerosi), per favorire l'attivazione cognitiva – e non meramente fisica – degli allievi.

Valorizzare il feedback, favorendo l'autoregolazione degli apprendimenti nello studente

Dedicare del tempo adeguato al *feedback* (anche sfruttando le potenzialità delle tecnologie a tal fine) in senso bidirezionale insegnante-allievo, utile al primo per monitorare il progresso degli studenti e a questi ultimi per acquisire consapevolezza del proprio stato

di avanzamento nel percorso di apprendimento e delle strategie migliori per raggiungere l'obiettivo successivo. Un buon *feedback* dovrebbe essere centrato sul compito e non sullo studente, continuo durante il percorso di apprendimento (abituando la classe a momenti frequenti di discussione) e tempestivo; chiarendo qual è il punto in cui ci si trova lungo tale percorso; qual è il prossimo passo da compiere; quali sono le indicazioni utili e/o le strategie che possono facilitare il compimento di quest'ultimo. Si valorizza in tal modo la funzione formativa della valutazione e si potenziano quelle strategie di autoregolazione degli apprendimenti, riconosciute tra le più efficaci nel promuovere questi ultimi e fondamentali per l'apprendimento permanente.

Stimolare la riflessione sulle procedure (meta-cognizione)

Oltre a quelle a favore della efficacia delle strategie di autoregolazione ora citate, la ricerca porta innumerevoli prove empiriche a favore dell'efficacia delle strategie meta-cognitive per il miglioramento degli apprendimenti. Queste possono essere attuate con differenti tecniche volte a stimolare la riflessione sulle procedure seguite, ad esempio ponendo frequentemente domande in grado di attivare cognitivamente lo studente; attuando tecniche di modellamento cognitivo da parte dell'insegnante; o invitando l'allievo a esplicitare a voce (*thinking aloud* e riflessione parlata) il processo di ragionamento seguito nel corso di attività didattiche laboratoriali (ma certamente non solo in esse), "tradizionali" o mediate da tecnologie che siano, e ragionando insieme all'insegnante o tra pari (es. in coppia) su questo ed eventuali errori compiuti.

Variare forme e modi di applicazione e richiamare le conoscenze a distanza di tempo (rinforzo)

Le strategie citate nei punti precedenti dovrebbero essere accompagnate da una proposta didattica articolata dall'insegnante in molteplici opportunità, variate nel rispetto delle differenze individuali degli studenti per forma e modi, anche sfruttando le potenzialità della multimedialità e del digitale. L'insegnamento dovrebbe prevedere richiami a distanza di tempo di

quanto appreso, favorendo quei meccanismi di rinforzo e consolidamento di conoscenze, abilità e competenze che la letteratura classica di settore ha riconosciuto essere strategici nei processi di apprendimento.

Utilizzo delle tecnologie digitali con interventi bilanciati nel tempo, tenendone sotto controllo i rischi di effetti collaterali

In fase di progettazione di interventi didattici mediati da tecnologie digitali, si dovrebbe fare attenzione alla definizione precisa delle tempistiche, bilanciandone durata e frequenza, in modo che non siano troppo brevi da risultare inefficaci a medio e/o lungo termine, ma neanche troppo lunghi da perdere l'effetto novità che può motivare gli studenti. Nel progettare l'intervento, si dovrebbero sempre tenere presenti i rischi associati all'uso delle tecnologie per l'apprendimento, su cui esiste una letteratura scientifica ormai vastissima, che ne ha messo in evidenza gli effetti collaterali sul piano della memorizzazione, della distrazione del *focus* dell'attenzione, del sovraccarico cognitivo, della dipendenza e delle negative conseguenze fisiche (es. affaticamento, disturbi del sonno).

Progettare didattiche laboratoriali integrate tradizionali-digitali per il raggiungimento di obiettivi che vanno oltre la mera conoscenza

L'integrazione di attività didattiche laboratoriali e digitali, coerentemente con quanto precedentemente discusso, può essere una buona strategia per sfruttare i benefici di entrambe le condizioni. Le potenzialità di tali attività tuttavia sarebbero gravemente limitate se esse fossero indirizzate al raggiungimento di obiettivi di mera conoscenza (obiettivi che potrebbero essere realisticamente raggiunti in modo più efficace, efficiente e sostenibile con strategie didattiche meno onerose per l'insegnamento, in termini di tempo, energie e risorse). La didattica laboratoriale in tal senso può favorire lo sviluppo di differenti abilità cognitive e meta-cognitive (es. *problem solving* e pensiero critico), le competenze trasversali all'indagine scientifica e l'acquisizione di abilità pratiche.

BIBLIOGRAFIA



Meetme@school: tre giorni di incontri tra scuole e aziende, in preparazione al concorso SI Fabbrica. Testimonial d'eccezione: Luca Abete, ottobre 2019

Bandura A. (1977), *Social learning theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Bell M. (2020), *The fundamentals of teaching: A five-step model to put the research evidence into practice*. London: Routledge – Doi: [4324/9780429342318](https://doi.org/4324/9780429342318).

Bernard R.M., Borokhovski E., Schmid R.F., Tamim R.M. (2018), Gauging the effectiveness of educational technology integration in education: What the best-quality meta-analyses tell us. In: Spector M., Lockee B., Childress M. (eds.), *Learning, Design, and Technology*. Cham, CH: Springer. 1-25 – Doi: [1007/978-3-319-17727-4_109-1](https://doi.org/1007/978-3-319-17727-4_109-1).

Bocconi S., Earp J., Panesi S. (2018), *DigCompEdu. Il quadro di riferimento europeo sulle competenze digitali dei docenti*. Istituto per le Tecnologie Didattiche, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Doi: [17471/54008](https://doi.org/10.17471/54008).

- Bottani N. (2009), *Il difficile rapporto tra politica e ricerca scientifica sui sistemi scolastici*. Torino: Fondazione Giovanni Agnelli, Programma Education, *FGA working paper* n. 17.
- Calvani A. (2011), *Principi dell'istruzione e strategie per insegnare. Criteri per una didattica efficace*. Roma: Carocci Editore.
- Calvani A. (2012), *Per un'istruzione evidence based. Analisi teorico-metodologica internazionale sulle didattiche efficaci e inclusive*. Trento: Edizioni Erickson.
- Calvani A., Marzano A. (2020), Evidence Based Education e didattica efficace: Come integrare conoscenze metodologiche e tecnologiche nella formazione degli insegnanti. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, 22: 125-141 – Doi: 7358/ecps-2020-022-maca.
- Chalmers I., Altman D.G. (1995), *Systematic Reviews*. London: BMJ Publishing Group.
- Coe R. (2012), Effect Size. In: Arthur J., Waring M., Coe R., Hedges L.V. (eds.), *Research Methods and Methodologies in Education*. Thousand Oaks: SAGE. 368-377. ISBN 9780857020390.
- Connolly T.C., Boyle E.A., Hailey T., McArthur E., Boyle J.M. (2012), A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59: 661-686 – Doi: 1016/j.compedu.2012.03.004.
- Costa M.C., Vertecchi B., Visalberghi A. (1975), *Orientamenti per la sperimentazione didattica*. Torino: Loescher.
- Csikszentmihalyi M. (1997), *Finding flow: The psychology of engagement with everyday life*. New York: Basic Books.
- Davies P. (1999), What is evidence-based education? *British journal of educational studies*, 47, 2: 108-121 – Doi: 1111/1467-8527.00106.
- EEF – Education Endowment Foundation (2019), *Teaching & Learning Toolkit. Digital technology*. – EEF – Education Endowment Foundation.
- Gagné R., Briggs L.J. (1974), *Principles of instructional design*. New York: Holt, Rinehart & Winston (trad. it., 1990, *Fondamenti di progettazione didattica*. Torino: SEI).
- Gardner H. (1983), *Stati d'animo: la teoria delle intelligenze multiple*. New York: Basic Books.
- Gee J.P. (2003), *What video games have to teach us about learning and literacy*. New York: Palgrave Macmillan – Doi: 1145/950566.950595.
- Glass G.V. (1976), Primary, secondary and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 10: 3-8 – Doi: 3102/0013189X005010003.
- Gonzalez H.B., Kuenzi J.J. (2012), *Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: A primer*. Washington, DC: Congressional Research Service, Library of Congress.
- Hattie J. (2009), *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. London-New York: Routledge.
- Hattie J. (2016), *Apprendimento visibile, insegnamento efficace. Metodi e strategie di successo dalla ricerca evidence-based*. Trento: Erickson.
- Hernández-de-Menéndez M., Guevara A.V., Morales-Menéndez R. (2019), Virtual reality laboratories: a review of experiences. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13, 3: 947-966 – Doi: 1007/s12008-019-00558-7.
- Higgins S., Xiao Z., Katsipatakis M. (2012), *The Impact of Digital Technology on Learning: a Summary for the Education Endowment Foundation*. – EEF – Education Endowment Foundation.

- Hofstein A., Mamlok-Naaman R. (2007), The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry education research and practice*, 8, 2: 105-107 – Doi: [1039/B7RP90003A](https://doi.org/10.1039/B7RP90003A).
- Howard-Jones P.A. (2009), *Introducing neuroeducational research: Neuroscience, education and the brain from contexts to practice*. New York: Routledge – Doi: [4324/9780203867303](https://doi.org/10.4324/9780203867303).
- Kraft M.A. (2020), Interpreting Effect Sizes of Education Interventions. *Educational Researcher*, 49, 4: 241-253 – Doi: [3102/0013189X20912798](https://doi.org/10.3102/0013189X20912798).
- Li Q., Ma X. (2010), A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22: 215-243 – Doi: [1007/s10648-010-9125-8](https://doi.org/10.1007/s10648-010-9125-8).
- Ma J., Nickerson J.V. (2006), Hands-on, simulated and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38, 3: 1-24 – Doi: [1145/1132960.1132961](https://doi.org/10.1145/1132960.1132961).
- Malone T.W., Lepper M.R. (1987), Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In: Snow R.E., Farr M.J. (eds.), *Aptitude, learning, and instruction: Conative and affective process analyses*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 223-253.
- Merrill M.D. (2002), First principles of instruction. *Educational Technology, Research and Development*, 50, 3: 43-59 – Doi: [1007/BF02505024](https://doi.org/10.1007/BF02505024).
- Mitchell D. (2014), *What really works in special and inclusive education: Using evidence-based teaching strategies (2nd ed)*. London-New York: Routledge.
- MIUR (2015), *Piano Nazionale Scuola Digitale*. Roma: MIUR – www.miur.gov.it.
- MIUR (2018), *Indicazioni Nazionali e Nuovi Scenari*. Roma: MIUR – www.miur.gov.it.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018), *Indicators for monitoring undergraduate STEM education*. Washington, DC: The National Academies Press – Doi: [17226/24943](https://doi.org/10.17226/24943).
- NRC – National Research Council (2006), *America's lab report: Investigations in high school science*. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC – National Research Council (2012), *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.
- NSTA – National Science Teachers Association (2000), *Safety and School Science Instruction*. Arlington, VA: NSTA – www.nsta.org.
- NSTA – National Science Teachers Association (2007), *The Integral Role of Laboratory Investigations in Science Instruction*. Arlington, VA: NSTA – www.nsta.org.
- OECD (2005), *Attracting, developing and retaining effective teachers – Final report: Teachers matter*. Paris: OECD Publishing – ISBN: 9264018026.
- OECD (2012), *The PISA 2012 Technical Report*. Paris: OECD – Doi: [1787/19963777](https://doi.org/10.1787/19963777).
- OECD (2015), *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. Paris: OECD – Doi: [1787/9789264239555-en](https://doi.org/10.1787/9789264239555-en).
- OECD (2019), *TALIS 2018 Results, Volume 1: Teachers and School Leaders as Lifelong Learners*. Paris: OECD – Doi: [1787/23129638](https://doi.org/10.1787/23129638).
- OECD (2020), *PISA 2018 Results, Volume V: Effective Policies, Successful Schools*. Paris: OECD – Doi: [1787/ca768d40-en](https://doi.org/10.1787/ca768d40-en).

- Pellegrini M. (2017), L'evoluzione del concetto di "evidenza" nelle politiche dell'istruzione statunitense. *Form@re*, 17, 3 – <https://oaj.fupress.net>.
- Pellegrini M., Trincherò R., Vivanet G., (2018), Gli indici di *effect size* nella ricerca educativa. Analisi comparativa e significatività pratica. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, 18: 275-309 – Doi: 7358/ecps-2018-018-pel1.
- Pellegrini M., Vivanet G. (2018), *Sintesi di ricerca in educazione: Basi teoriche e metodologiche*. Roma: Carocci editore.
- Prensky M. (2001), *Digital game-based learning*. New York: McGraw-Hill.
- Ranieri M. (2011), *Le insidie dell'ovvio. Tecnologie educative e critica della retorica tecnocentrica*. Pisa: ETS.
- Redecker C., Punie Y. (ed.) (2017), *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-73494-6.
- Reigeluth C.M. (2013), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory, Vol. 2*. London: Routledge – Doi: 4324/9781410603784.
- Rosenshine B. (2010), *Principles of instruction*. International Academy of Education & International Bureau of Education, *Educational Practices Series* n. 21 – www.iaoe.org.
- Russell T.L. (1999), No significant difference phenomenon. *Education, Communication & Information*, 3, 2: 241-280.
- SAPiE – Società per l'Apprendimento e l'Istruzione informate da Evidenza (2017), *Manifesto SAPiE. – Orizzonti della ricerca scientifica in educazione. Come raccordare ricerca e decisione didattica – www.sapie.it*.
- Schleicher A. (2020), *The Impact of Covid-19 on education – Insights from education at a glance 2020*. Paris: OECD.
- Tamim R.M., Bernard R.M., Borokhovski E., Abrami P.C., Schmid R.F. (2011), What forty years of research says about the impact of technology on learning: A second-order meta-analysis and validation study. *Review of Educational research*, 81, 1: 4-28 – Doi: 3102/0034654310393361.
- U.S. Department of Education, Office of Planning, Evaluation, and Policy Development (2009), *Evaluation of evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies*. Washington D.C.
- Vivanet G. (2017), Tecnologie per apprendere. Quando e come utilizzarle. In: Bonaiuti G., Calvani A., Menichetti L., Vivanet G. (a cura di), *Le tecnologie educative*. Roma: Carocci editore. 81-125.
- Vivanet G. (2020), Tecnologie per l'inclusione: ovvietà, evidenze, orizzonti da esplorare. In: Calvani A. (a cura di), *Tecnologie per l'inclusione. Quando e come avvalersene*. Roma: Carocci editore. 39-72.
- Wigfield A., Eccles J.S. (2000), Expectancy-value theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25: 68-81 – Doi: 1006/ceps.1999.1015.
- Wood D., Bruner J. S., Ross G. (1976), The role of tutoring in problem solving. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 17, 2: 89-100 – Doi: 1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x.

Studi inseriti nella rassegna sulle tecnologie digitali

- Bano M., Zowghi D., Kearney M., Schuck S., Aubusson P. (2018), Mobile learning for science and mathematics school education: A systematic review of empirical evidence. *Computers & Education*, 121: 30-58 – Doi: 1016/j.compedu.2018.02.006.
- Boyle E.A., Hainey T., Connolly T.M., Gray G., Earp J., Ott M., ... Pereira J. (2016), An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Computers & Education*, 94: 178-192 – Doi: 1016/j.compedu.2015.11.003.

- D'Angelo C., Rutstein D., Harris C. (2016), Learning with STEM simulations in the classroom: Findings and trends from a meta-analysis. *Educational Technology*, 56, 3: 58-61 – <http://www.jstor.org/stable/44430495>.
- Gao F., Li L., Sun Y. (2020), A systematic review of mobile game-based learning in STEM education. *Educational Technology Research and Development*, 68: 1791-1827 – Doi: [1007/s11423-020-09787-0](https://doi.org/10.1007/s11423-020-09787-0).
- Ibáñez M., Delgado-Kloos C. (2018), Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123: 109-123 – Doi: [1016/j.compedu.2018.05.002](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002).
- Lamb R.L., Annetta L., Firestone J., Etopio E. (2018), A meta-analysis with examination of moderators of student cognition, affect, and learning outcomes while using serious educational games, serious games, and simulations. *Computers in Human Behavior*, 80: 158-167 – Doi: [1016/j.chb.2017.10.040](https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.10.040).
- Merchant Z., Goetz E.T., Cifuentes L., Keeney-Kennicutt W., Davis T.J. (2014), Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70: 29-40 – Doi: [1016/j.compedu.2013.07.033](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033).
- Pellas N., Dengel A., Christopoulos A. (2020), A scoping review of immersive virtual reality in STEM education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13: 748-761 – Doi: [1109/TLT.2020.3019405](https://doi.org/10.1109/TLT.2020.3019405).
- Popat S., Starkey L. (2019), Learning to code or coding to learn? A systematic review. *Computers & Education*, 128: 365-376 – Doi: [1016/j.compedu.2018.10.005](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.005).
- Xia L., Zhong B. (2018), A systematic review on teaching and learning robotics content knowledge in K-12. *Computers & Education*, 127: 267-282 – Doi: [1016/j.compedu.2018.09.007](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.007).
- Studi inseriti nella rassegna sui laboratori online**
- Brinson J.R. (2015), Learning outcome achievement in non-traditional (virtual, remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computer & Education*, 87: 218-237 – Doi: [1016/j.compedu.2015.07.003](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003).
- Brinson J.R. (2017), A further characterization of empirical research related to learning outcome achievement in remote and virtual science labs. *Journal of Science Education and Technology*, 26: 546-560 – Doi: [1007/s10956-017-9699-8](https://doi.org/10.1007/s10956-017-9699-8).
- Rubim J.P., Mota V.P., Garcia L.G., Brito G.L.R., Santos G.F. (2019), The use of remote experimentation as a teaching tool: A literature review. *International Journal of Information and Education Technology*, 9, 11: 826-830 – Doi: [18178/ijiet.2019.9.11.1312](https://doi.org/10.18178/ijiet.2019.9.11.1312).
- Scalise K., Timms M., Moorjani A., Clark L., Holtermann K., Irvin P.S. (2011), Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 9: 1050-1078 – Doi: [1002/tea.20437](https://doi.org/10.1002/tea.20437).
- Sypsas A., Kalles D. (2018), Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: A literature review. *Proceedings of 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics*. Athens, Greece, November-December – Doi: [1145/3291533.3291560](https://doi.org/10.1145/3291533.3291560).
- Tsihouridis C., Vavougiou D., Batsila M., Ioannidis G.S. (2019), The timeless controversy between virtual and real laboratories in science education – “And the winner is...”. In: Auer M., Tsiatsos T. (eds.), *The Challenges of the Digital Transformation in Education*. ICL 2018 – International Conference on Interactive Collaborative Learning: Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 917. Berlin: Springer International Publishing – Doi: [1007/978-3-030-11935-5_59](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11935-5_59).
- Tho S.W., Yeung Y.Y., Wei R., Chan K.W., So W.W. (2017), A systematic review of remote laboratory work in science education with the support of visualizing its structure through the HistCite and CiteSpace soft-

ware. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15: 1217-1236 – Doi: [1007/s10763-016-9740-z](https://doi.org/10.1007/s10763-016-9740-z).

Udin W.N., Ramli M., Muzzazinah (2020), Virtual laboratory for enhancing students' understanding on abstract biology concepts and laboratory skills: A systematic review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521 – Doi: [1088/1742-6596/1521/4/042025](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042025).

Wang C.Y., Wu H.K., Lee S.W.Y., Hwang F.K., Chang H.Y., Wu Y.T., ... Tsai C.C. (2014), A review of research on technology-assisted school science laboratories. *Educational Technology & Society*, 17, 2: 307-320.

Zacharia Z.C., Manoli C., Xenofontos N., de Jon T., Pedaste M., van Riesen S.A.N., ... Tsourlidak E. (2015), Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: A literature review. *Educational technology research and development*, 63: 257-302 – Doi: [1007/s11423-015-9370-0](https://doi.org/10.1007/s11423-015-9370-0).

NOTA METODOLOGICA¹



Laboratorio presso l'Istituto Tecnico Tecnologico "Ernesto Breda" Sesto San Giovanni (MI), maggio 2018

Criteria di inclusione ed esclusione delle fonti sui laboratori online

Per rispondere agli obiettivi dello studio e favorire la generalizzabilità dei risultati, sono stati presi in considerazione gli studi di sintesi della letteratura scientifica sull'efficacia dei laboratori *online* che rispettavano i seguenti criteri:

- **Design dello studio:** lavori di revisione sistematica e meta-analisi;
- **Partecipanti:** studi svolti su studenti di scuola secondaria;
- **Intervento:** studi relativi agli effetti dei laboratori *online* nell'educazione STEM;

1 Daniela Fadda.

- *Misure di apprendimento*: studi includenti dati qualitativi o quantitativi riferiti a vari risultati di apprendimento;
- *Tempistica*: studi pubblicati a partire dal 2010;
- *Lingua*: inglese;
- *Stato di pubblicazione*: studi pubblicati su riviste scientifiche, atti di convegni o capitoli di libri.

Per restringere il campo di indagine e prevenire la selezione di studi che potevano interferire con la qualità dei dati raccolti, sono stati esclusi gli studi di sintesi che adottavano i seguenti criteri:

- *Design dello studio*: sintesi narrative di tipo descrittivo;
- *Partecipanti*: studi focalizzati sull'istruzione primaria o sull'alta formazione;
- *Intervento*: sintesi che non trattano discipline rientranti in ambito dell'educazione STEM;
- *Misure di apprendimento*: studi non interessati ai risultati di apprendimento;
- *Tempistica*: considerato il rapido evolversi delle tecnologie digitali, studi di sintesi della letteratura scientifica precedenti al 2010;
- *Lingua*: letteratura non di interesse internazionale e quindi non pubblicata in inglese;
- *Stato di pubblicazione*: letteratura grigia (studi non pubblicati).

Strategia di ricerca

Per la ricerca nei database elettronici degli studi pertinenti alla presente indagine è stata utilizzata una combinazione di parole chiave e operatori booleani relativi al:

- *Design*: "meta-analysis" OR review OR synthesis OR "systematic map" OR survey;
- *Partecipanti*: school OR education OR instruction OR teaching;
- *Tipo di intervento*: "remote lab*" OR "remote laboratory" OR "virtual lab*" OR "virtual laboratory" OR "simulated laboratory" OR "simulated lab*"

OR "online laboratory" OR "online lab*" OR "internet-based laboratory";

- *Tipo di risultati*: learning OR achievement OR knowledge OR skills OR satisfaction OR motivation OR attitude;
- *Contesto*: STEM OR math OR mathematics OR science OR technology OR engineer* OR chemistry OR biology OR physics.

Database

Una esauriente ricerca della letteratura pubblicata è stata eseguita prendendo in considerazione diverse fonti di informazione per progetti in ambito pedagogico. In particolare sono state considerate le informazioni presenti nei database elettronici: ERIC, SCOPUS e Web of Science.

Parole chiave

Database ERIC

- ("remote lab*" OR "virtual lab*" OR "simulated lab*" OR "online lab*" OR "internet-based laboratory") AND (learning OR achievement OR knowledge OR skills OR satisfaction OR motivation OR attitude) AND (STEM OR math OR mathematics OR science OR technology OR engineer* OR chemistry OR biology OR physics) AND (school OR education OR instruction OR teaching) AND ("meta-analysis" OR review OR synthesis OR "systematic map" OR survey);
- La ricerca ha prodotto 120 risultati.

Database SCOPUS

- ABS-TIT-KEY ("remote lab*" OR "virtual lab*" OR "simulated lab*" OR "online lab*" OR "internet-based laboratory") AND ALL (learning OR achievement OR knowledge OR skills OR satisfaction OR motivation OR attitude) AND ALL (STEM OR math OR mathematics OR science OR technology OR engineer* OR chemistry OR biology OR physics) AND ALL (school OR education OR instruction OR teaching) AND ABS-TIT-KEY ("meta-analysis" OR review OR synthesis OR "systematic map" OR survey);
- La ricerca ha prodotto 558 risultati.

Database Web of Science

- ALL=("remote lab*" OR "virtual lab*" OR "simulated lab*" OR "online lab*" OR "internet-based laboratory") AND ALL=(learning OR achievement OR knowledge OR skills OR satisfaction OR motivation OR attitude) AND ALL=(STEM OR math OR mathematics OR science OR technology OR engineer* OR chemistry OR biology OR physics) AND ALL=(school OR education OR instruction OR teaching) AND ALL=("meta-analysis" OR review OR synthesis OR "systematic map" OR survey);
- La ricerca ha prodotto 335 risultati.

Selezione degli studi e codifica

Dopo un incontro preliminare degli autori, con l'obiettivo di costruire un consenso sull'applicazione dei

criteri di inclusione ed esclusione, sono stati visionati i titoli e gli abstract di ogni studio (n = 1013) eliminando gli eventuali duplicati (n = 899). In questa fase sono stati esclusi gli studi che non soddisfacevano i criteri di inclusione ed esclusione (ad es. studi di tipo primario, studenti universitari o materie non scientifiche). Successivamente sono stati letti i testi integrali degli articoli che avevano superato la fase di screening (n = 65). I dati bibliografici (autori, anno, titolo, rivista, tipologia di rassegna, numero di studi primari, anni di riferimento) e le altre informazioni rilevanti alla presente indagine (tipo di laboratorio, livello scolastico, area disciplinare) della rassegna di studi che soddisfacevano tutti i criteri (n = 10) sono stati codificati in un foglio Excel e riportati in tabella 3.1.

I QUADERNI DELL'OSSERVATORIO

Nella Collana QUADERNI DELL'OSSERVATORIO sono stati pubblicati i seguenti titoli, scaricabili sul sito www.fondazionecripio.it/osservatorio.

Quaderno N.1 Periferie, cultura e inclusione sociale

Quaderno N.2 Il valore potenziale dei lasciti alle istituzioni di beneficenza

Quaderno N.3 Stranieri si nasce...e si rimane?

Quaderno N.4 Oltre la famiglia: strumenti per l'autonomia dei disabili

Quaderno N.5 L'educazione finanziaria per i giovani

Quaderno N.6 Ricerca scientifica in ambito biomedico

Quaderno N.7 Servizi per l'infanzia

Quaderno N.8 Assicurazione per persone con disabilità e loro famiglie

Quaderno N.9 Progetti e politiche per la mobilità urbana sostenibile

Quaderno N.10 Le organizzazioni culturali di fronte alla crisi

Quaderno N.11 I Social Impact Bond

Quaderno N.12 Lavoro e Psiche. Un progetto sperimentale per l'integrazione lavorativa di persone con gravi disturbi psichiatrici

Quaderno N.13 Il bando "Audit energetico degli edifici di proprietà dei comuni piccoli e medi"

Quaderno N.14 Infrastrutture di ricerca in Italia

Quaderno N.15 Performance economica e sociale delle istituzioni di microfinanza: alcune evidenze empiriche

Quaderno N.16 Cessione della nuda proprietà da parte di soggetti fragili: il possibile ruolo di un soggetto dedicato

Quaderno N.17 Abitare leggero. Verso una nuova generazione di servizi per anziani

Quaderno N.18 Progetti culturali e sviluppo urbano. Visioni, criticità e opportunità per nuove politiche nell'area metropolitana di Milano

Quaderno N.19 Sperimentare politiche sociali innovative. Manuale introduttivo

Quaderno N.20 #BICittadini. Interventi a favore della mobilità ciclistica

Quaderno N.21 Resilienza tra territorio e comunità. Approcci, strategie, temi e casi

- Quaderno N.22 Favorire la coesione sociale con le biblioteche. Valutazione del bando
- Quaderno N.23 Il “mercato” dei lasciti testamentari. Nuove stime per Italia e Lombardia (2014-2030)
- Quaderno N.24 Il bando abitare sociale temporaneo. Mappatura e analisi dei progetti finanziati (2000-2013)
- Quaderno N.25 Lo sviluppo dei Green Jobs. Uno scenario di evoluzione quantitativa e qualitativa e alcune ipotesi di adeguamento dei percorsi formativi
- Quaderno N.26 House rich, cash poor. Come rendere liquida la ricchezza rappresentata dalla casa di abitazione
- Quaderno N.27 Bando materiali avanzati 2003-2013. Progetti e risultati
- Quaderno N.28 Sperimenta, impara, adatta. Sviluppare politiche pubbliche con gli esperimenti randomizzati controllati
- Quaderno N.29 Conoscere per conservare. 10 anni per la Conservazione Programmata
- Quaderno N.30 Il collocamento mirato e le convenzioni ex-art.14. Evidenze e riflessioni
- Quaderno N.31 Fondazioni di comunità. L’esperienza di Fondazione Cariplo
- Quaderno N.32 Prendiamoci un caffè. I luoghi del welfare nel Bando Welfare in azione
- Quaderno N.33 Ricerca scientifica in ambito biomedico. Progetti e risultati del Bando 2001-2013
- Quaderno N.34 Tecniche di *nudging* in ambito ambientale. Una rassegna di esperienze e risultati
- Quaderno N.35 L’impatto del Covid-19 sugli enti di terzo settore – Prime stime sui dati delle candidature al Bando LETS GO!
- Quaderno N.36 Responsabilità sociale per la rigenerazione delle periferie – Imprese ed esperienze sul campo
- Quaderno N.37 Tecnologie digitali e didattica laboratoriale nell’educazione STEM – Evidenze scientifiche e raccomandazioni pratiche

Questo quaderno é scaricabile dal sito – *This document can be downloaded from*
www.fondazionecariplo.it/osservatorio

Può essere citato – Quote as:

Daniela Fadda, Giuliano Vivaret (2021), TECNOLOGIE DIGITALI E DIDATTICA LABORATORIALE NELL'EDUCAZIONE STEM – Evidenze scientifiche e raccomandazioni pratiche. Milano: Fondazione Cariplo.

Is licensed under a Creative Commons Attribuzione Condividi allo stesso modo 3.0 Unported License.

Doi: 10.4460/2021quaderno37

ISBN: 979-12-80051-03-5





Fondazione
CARIPLO

TUTE SERVARE MUNIFICE DONARE • 1816



Fondazione Cariplo
Via Daniele Manin, 23
20121 Milano
www.fondazionecariplo.it
ISBN: 979-12-80051-03-5